



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας με χρήση γεωγραφικών
συστημάτων πληροφοριών (GIS) και πολυκριτηριακής ανάλυσης
- μελέτη εφαρμογής στη Θεσσαλία”**

ΡΕΦΑΕΛΑ ΖΥΛΛΑΛΙ

Επιβλέπων καθηγητής: Σταύρος Σακελλαρίου

ΛΑΡΙΣΑ, 2024



Ρεφαέλα Ζυλάλι - Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας με χρήση
γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS) και πολυκριτηριακής
ανάλυσης - μελέτη εφαρμογής στη Θεσσαλία





ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς όλους εκείνους που με στήριξαν και συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Πρώτα από όλα, θερμές ευχαριστίες οφείλω στην οικογένεια και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση και ενθάρρυνση κατά τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου σταδιοδρομίας. Η στοργή και η κατανόησή τους, μου έδωσαν το κουράγιο να επιμείνω και να πετύχω την προσπάθειά μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Σ. Σακελλαρίου, για την συνεχή καθοδήγηση, τις συμβουλές και την υποστήριξή του κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας καθώς και τον κ. Ι. Φαρασλή. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές και ερευνητές του Τμήματος Περιβάλλοντος, για τη βοήθεια και τις γνώσεις τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, ευχαριστώ τους συναδέλφους μου για τη συμβολή και τις προτάσεις τους, οι οποίες ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωση αυτής της όμορφης φοιτητικής εμπειρίας.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πλημμύρες αποτελούν μία από τις πιο καταστροφικές φυσικές καταστροφές, με σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή, τις υποδομές και το περιβάλλον. Η παρούσα πτυχιακή εργασία εστιάζει στην εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στη Περιφέρεια Θεσσαλίας, χρησιμοποιώντας γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) και Πολυκριτηριακή Ανάλυση. Σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την εκτίμηση και διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου, με στόχο την πρόληψη και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των πλημμυρών.

Το πρώτο κεφάλαιο, αναλύει το θεωρητικό υπόβαθρο που σχετίζεται με τις φυσικές καταστροφές και την κλιματική αλλαγή, τους παράγοντες που συμβάλλουν στις πλημμύρες και τους τρόπους διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου. Επίσης, εξετάζονται οι επιπτώσεις τους στην υγεία και το περιβάλλον.

Το δεύτερο κεφάλαιο επικεντρώνεται στα υλικά και τις μεθόδους, δίνοντας έμφαση στη χρήση των GIS, τις δομές χωρικών δεδομένων, τις εφαρμογές στη διαχείριση φυσικών καταστροφών, και τη διαδικασία της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης και της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεραρχίας (AHP).

Το τρίτο κεφάλαιο, περιγράφει τη περιοχή έρευνας και την εφαρμογή της μεθοδολογίας, αναλύοντας τη γεωμορφολογία, τη γεωλογία, το κλίμα και την ένταση βροχόπτωσης της Θεσσαλίας. Παρουσιάζονται θεματικοί χάρτες όπως το υδρογραφικό δίκτυο, οι χρήσεις γης, η συσσώρευση ροής, η κλίση, το υψόμετρο και το δίκτυο αποστράγγισης, καθώς και η βαθμονόμησή τους σε επίπεδα πλημμυρικής επικινδυνότητας.

Το τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μελέτης, εστιάζοντας στον δείκτη επικινδυνότητας πλημμύρας της περιοχής έρευνας, δείχνοντας την κατανομή της πλημμυρικής επικινδυνότητας και τις πιο ευάλωτες περιοχές.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, συζητούνται τα ευρήματα και η αξιοπιστία της μεθοδολογίας, ενώ στο έκτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και προτείνονται μέτρα για τη βελτίωση της διαχείρισης των πλημμυρικών κινδύνων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η Θεσσαλία παρουσιάζει υψηλό επίπεδο πλημμυρικής επικινδυνότητας, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη αστικοποίηση και κοντά σε υδρογραφικά δίκτυα. Οι χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας που δημιουργήθηκαν με τη χρήση των GIS και της μεθόδου AHP, εντόπισαν ζώνες υψηλού κινδύνου, αναδεικνύοντας την ανάγκη για στοχευμένες παρεμβάσεις και στρατηγικές διαχείρισης για την αύξηση ανθεκτικότητας των κοινοτήτων της Θεσσαλίας.



Λέξεις κλειδιά: πλημμυρική επικινδυνότητα, πολυκριτηριακή ανάλυση, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, QGIS, Θεσσαλία, πλημμύρα, χαρτογράφηση.

ABSTRACT

Floods are one of the most devastating natural disasters, with significant impacts on human life, infrastructure and the environment. This thesis focuses on flood risk assessment in the Region of Thessaly, using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Analysis. The aim of the thesis is to develop a methodology for flood risk assessment and management, with the aim of preventing and minimizing the impacts of floods.

The first chapter discusses the theoretical background related to natural disasters and climate change, the factors contributing to flooding and the ways to manage flood risk. It also examines their impact on health and the environment.

The second chapter focuses on materials and methods, emphasizing the use of GIS, spatial data structures, applications in natural disaster management, and the process of Multi-Criteria Analysis and Analytic Hierarchy Process (AHP).

The third chapter, describes the research area and the application of the methodology, analyzing the geomorphology, geology, climate and rainfall intensity of Thessaly. Thematic maps such as the hydrographic network, land use, flow accumulation, slope, elevation and drainage network are presented, as well as their calibration to flood risk levels.

Chapter four presents the results of the study, focusing on the flood risk index of the study area, showing the distribution of flood risk and the most vulnerable areas.

Chapter five discusses the findings and the reliability of the methodology, while chapter six presents the conclusions and proposes measures to improve flood risk management.

The results showed that Thessaly has a high level of flood risk, especially in areas in high urbanization and close to hydrographic networks. Flood risk maps generated using GIS and the AHP method identified high-risk zones, highlighting the need for targeted interventions and management strategies to increase resilience of Thessaly's communities.

Keywords: flood risk, multicriteria analysis, Geographical Information Systems, QGIS, Thessaly, flood, mapping.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	13
1.1.1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ	13
1.1.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ.....	13
1.1.3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ: ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	14
1.1.4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	15
1.1.4.1. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	15
1.1.4.2. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	16
1.1.4.3. ΛΙΩΣΙΜΟ ΤΩΝ ΠΑΓΕΤΩΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΟΔΟΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (ΜΣΘ)	16
1.1.4.4. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ.....	18
1.1.5. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	18
1.2. ΠΛΗΜΜΥΡΑ	19
1.2.1. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	20
1.2.2. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	21
1.2.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ.....	21
1.2.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.....	22
1.2.5. ΟΔΗΓΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	23
1.2.5.1. ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ, ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	24
1.2.6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.....	25
1.2.7. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	27
1.2.8. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ	29
1.2.9. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΝΗΣΥΧΙΕΣ.....	29
1.2.10. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	30
1.2.11. ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	31
1.2.12. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΣΥΝΤΡΙΜΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ	31
1.2.13. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗ ΑΙΤΙΑ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.....	32
1.2.14. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.....	32
1.2.15. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ	33
1.2.16. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	34
1.3. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ	35
1.3.1. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ	35
1.3.2. ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ	36
1.3.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ.....	36
1.3.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ.....	38
1.3.5. ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	38
1.3.5.1. ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	38



1.3.5.2.	ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	39
1.3.5.3.	ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....		40
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....		40
2.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)		40
2.1.1.	ΔΟΜΕΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (VECTOR, RASTER).....	41
2.1.2.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ GIS.....	42
2.1.3.	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ GIS ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ.....	43
2.1.4.	ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	43
2.2. ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ		44
2.2.1.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	46
2.2.2.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	47
2.2.3.	ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΕΥΠΑΘΕΙΑ	47
2.2.4.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS - AHP).....	48
2.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....		50
2.3.1.	ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	50
2.3.2.	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:		
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....		53
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....		53
3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....		54
3.1.1.	Η ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΚΑΙ Η ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ.....	54
3.1.2.	ΓΕΩΛΟΓΙΑ	55
3.1.3.	ΦΥΣΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ.....	56
3.1.4.	ΚΛΙΜΑ.....	56
3.1.5.	ΕΝΤΑΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	58
3.1.6.	ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	58
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ		59
3.2. ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ -DEM (DIGITAL ELEVATION MODEL)		61
3.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....		63
3.4. ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ (ΑΗΡ) ΣΤΗΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ		64
3.5. ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....		67
3.5.1.	ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	68
ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ		70
3.5.2.	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ – CORINE LAND COVER 2018.....	71
ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ.....		75
3.5.3.	ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ.....	79
ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΡΟΗΣ ..		81
3.5.4.	ΚΛΙΣΗ	82
ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΛΙΣΕΩΝ		84
3.5.5.	ΥΨΟΜΕΤΡΟ.....	86



ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ	87
3.5.6. ΔΙΚΤΥΟ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ	89
ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ	90
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	93
4.1. ΕΞΑΓΩΓΗ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ.....	93
4.2. ΕΞΑΓΩΓΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΧΑΡΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ.....	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	99
5.1. ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ	99
5.2. ΖΩΝΕΣ ΔΥΝΗΤΙΚΑ ΥΨΗΛΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ (ΖΔΥΚΠ)	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104
ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ.....	104
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ.....	105

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Πλημμύρα του ποταμού Μισισσιπή, στο Ντάβενπορτ της Αϊόβα, το 2019 Πηγή: Dorothy (2019)	13
Εικόνα 2. Πυροσβέστες σε μια πυρκαγιά στο Pumarejo de Tera κοντά στη Zamora, βόρεια Ισπανία, τον Ιούνιο 2022. Πηγή: Manso (2022)	14
Εικόνα 3. Μάρτιος 2019: Ο κυκλώνας Idai διεκδικεί περισσότερες από 900 ζωές στην Αφρική. Πηγή: Learning English (2019).....	14
Εικόνα 4. Σεισμός στην επαρχία Σιτσουάν (Κίνα). Πηγή: Daryo.uz (2021).....	14
Εικόνα 5. Διάγραμμα θερμοκρασιών του πλανήτη τα τελευταία 11.000 χρόνια. Πηγή: Ψιλοβίκος (2020).....	15
Εικόνα 6. Η παγκόσμια μεταβολή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της γης σε βαθμούς κελσίου ανάμεσα στα έτη 1940-1980 και 1999-2008. Πηγή: Ψιλοβίκος (2020).....	16
Εικόνα 7. Πρόβλεψη για την παγκόσμια αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της γης σε βαθμούς κελσίου ανάμεσα στα έτη 1960-1990 και 2070-2100. Πηγή: Ψιλοβίκος (2020)	16
Εικόνα 8. Μέση παγκόσμια σχετική μεταβολή του πάχους των πάγων. Πηγή: Ψιλοβίκος (2020)	17
Εικόνα 9. Η σχετική άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας σε ίντσες κατά τα τελευταία 140 χρόνια. Πηγή: Ψιλοβίκος, (2020)	17
Εικόνα 10. Σχετική μεταβολή στη μέση ετήσια βροχόπτωση (σε ποσοστό %) για τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος – Αύγουστος)(εικόνα 10α) και για τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριος – Φεβρουάριος) (εικόνα 10β). Οι κλιματικές αλλαγές προέρχονται από την	



σύγκριση των κλιματικών εκτιμήσεων για τις περιόδους 1960-1990 και 2017-2100. Πηγή: Ψιλοβίκος (2020).....	18
Εικόνα 11. Περιοχές πιθανώς υψηλού κινδύνου πλημμύρας στην Ελλάδα. Πηγή: Τιτόνη (2018)	20
Εικόνα 12. Απεικόνιση συντονισμένου ελέγχου πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού Πηγή: Ειδική Έκθεση: Οδηγία Για Τις Πλημμύρες (2018).....	24
Εικόνα 13. Απεικόνιση προσέγγισης για την αποφυγή πλημμύρας κατάντη. Πηγή: Ειδική Έκθεση: Οδηγία Για Τις Πλημμύρες (2018).....	25
Εικόνα 14. Φυσικά μεγέθη πλημμυρών. Πηγή: Πάνου (2018)	26
Εικόνα 15. Η θεωρητική σχέση ανάμεσα στον περιβαλλοντικό Κίνδυνο (Hazard), την Πιθανότητα (Probability) και την Επικινδυνότητα (Risk). Οι κίνδυνοι για την ανθρώπινη ζωή αξιολογούνται ως Υψηλότεροι από τους Περιβαλλοντικούς και των Αγαθών/Ιδιοκτησιών. Πηγή: Τιτόνη (2018).....	28
Εικόνα 16. Περιοχή των Η.Π.Α. με υψηλό κίνδυνο πλημμύρας. Πηγή: Eslit (2016).....	29
Εικόνα 17. Πλημμύρες στον Παλαμά Καρδίτσας μετά το πέρασμα της κακοκαιρίας Daniel. Πηγή: Capital.gr (2023)	33
Εικόνα 18. Οδηγίες από το Υπουργείο Υγείας για προστασία από πλημμύρα. Πηγή: Moh, Gov. Gr, 2024.	34
Εικόνα 19. Διάγραμμα ροής εκτίμησης περιβαλλοντικού κινδύνου. Πηγή: Zeleňáková (2012)	37
Εικόνα 20. Τύποι δεδομένων Raster και Vector ως αντιπροσωπευτικοί του γεωγραφικού χώρου του «πραγματικού κόσμου». Πηγή: Campus Archeology Program (2021).....	41
Εικόνα 21. Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας.....	51
Εικόνα 22. Χαρτογράφηση περιοχής έρευνας (Περιφέρεια Θεσσαλίας)	53
Εικόνα 23. Η περιφέρεια Θεσσαλίας από το Google Earth, © 2024 Google, Image Landsat/ Copernicus	54
Εικόνα 24. Χάρτης διαφόρων κλιματικών περιοχών της Ελλάδος. Πηγή: quora.com	57
Εικόνα 25. Ένταση υετού από τον Κλιματικό Άτλαντα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) από το 1971 έως το 2000.....	58
Εικόνα 26. Χαρτογράφηση λεκανών απορροής της Θεσσαλίας	60
Εικόνα 27. Χαρτογράφηση λεκανών απορροής και υδρογραφικού δικτύου Θεσσαλίας... ..	61
Εικόνα 28. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της περιοχής έρευνας.....	62
Εικόνα 29. Κατανομή χαρακτηριστικών ανάγλυφου περιοχής έρευνας	63
Εικόνα 30. Χαρτογράφηση υδρογραφικού δικτύου Θεσσαλίας.....	69
Εικόνα 31. Βαθμονομημένος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο της Θεσσαλίας.....	71
Εικόνα 32. Χάρτης χρήσεων γης σύμφωνα με το CORINE LAND COVER 2018.....	73
Εικόνα 33. Βαθμονομημένος χάρτης επικινδυνότητας χρήσεων γης της Θεσσαλίας.....	77
Εικόνα 34. Διάγραμμα κατανομής επικινδυνότητας χρήσεων γης της περιοχής μελέτης σε ποσοστά.	79
Εικόνα 35. Χάρτης συσσώρευσης ροής Θεσσαλίας.....	80
Εικόνα 36. Βαθμονομημένος χάρτης επικινδυνότητας συσσώρευσης ροής	81
Εικόνα 37. Διάγραμμα κατανομής επικινδυνότητας συσσώρευσης ροής.....	82
Εικόνα 38. Χαρτογράφηση κλίσης σε μοίρες της περιοχής μελέτης	83
Εικόνα 39. Βαθμονομημένος χάρτης επικινδυνότητας κλίσης εδάφους.....	85
Εικόνα 40. Διάγραμμα κατανομής επικινδυνότητας κλίσης	85
Εικόνα 41. Χαρτογράφηση υψομέτρου Θεσσαλίας	87
Εικόνα 42. Βαθμονομημένος χάρτης επικινδυνότητας υψομέτρου.....	88



Εικόνα 43. Κατανομή επικινδυνότητας υψομέτρου Θεσσαλίας	89
Εικόνα 44. Χαρτογράφηση δικτύου αποστράγγισης Θεσσαλίας	90
Εικόνα 45. Βαθμονομημένος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας της απόστασης από το δίκτυο αποστράγγισης	91
Εικόνα 46. Κατανομή ποσοστού FHI της Θεσσαλίας, με βάση την έκταση σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (km ²).....	94
Εικόνα 47. Ενιαίος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας Θεσσαλίας.....	95
Εικόνα 48. Ενιαίος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας μαζί με το υδρογραφικό δίκτυο και τις πόλεις της Θεσσαλίας	96
Εικόνα 49. Εστιασμένος ενιαίος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας Θεσσαλίας.....	98
Εικόνα 50. Ενιαίος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας μαζί με τις σημαντικές ιστορικές πλημμύρες της Θεσσαλίας.....	100
Εικόνα 51. Ενιαίος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας μαζί με τις ΖΔΥΚΠ όπως δίνονται από το ΥΠΕΝ	101

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αριθμητική κλίμακα σύγκρισης κατά ζεύγη του Saaty (1990).....	49
Πίνακας 2: Τιμές τυχαίου δείκτη RI (Ταουκίδου, 2021).....	49
Πίνακας 3: Ταξινόμηση ανάγλυφου με βάση το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας	62
Πίνακας 4: Σύγκριση κατά ζεύγη των παραμέτρων - κριτηρίων κατά τον Saaty (1990) ..	65
Πίνακας 5: Ομαλοποιημένος πίνακας σύγκρισης κατά ζεύγη κατά τον Saaty (1990).....	65
Πίνακας 6: Συντελεστές βαρύτητας παραμέτρων - κριτηρίων μεθόδου	66
Πίνακας 7: Πολλαπλασιασμός του πίνακα σύγκρισης κατά ζεύγη παραμέτρων με τον πίνακα συντελεστή βαρύτητας παραμέτρων	66
Πίνακας 8: Υπολογισμός $\lambda_{\max}$	66
Πίνακας 9: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας	68
Πίνακας 10: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο	70
Πίνακας 11: Κατηγορίες χρήσεων γης σύμφωνα με το CORINE LAND COVER 2018. Τα δεδομένα ανακτήθηκαν από την Διαδικτυακή Πύλη Γεωχωρικών Πληροφοριών του ΥΠΕΝ	74
Πίνακας 12: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας των χρήσεων γης της Θεσσαλίας	76
Πίνακας 13: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης των χρήσεων γης.....	78
Πίνακας 14: Συσσώρευση ροής περιοχής μελέτης σε μέτρα	80
Πίνακας 15: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης της συσσώρευσης ροής.	81
Πίνακας 16: Κλίση εδάφους σε μοίρες και σε ποσοστό	83
Πίνακας 17: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης της κλίσης εδάφους.....	84
Πίνακας 18: Τιμές υψομέτρου Θεσσαλίας	86
Πίνακας 19: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης του υψομέτρου.....	87
Πίνακας 20: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης της απόστασης από το δίκτυο αποστράγγισης.	91
Πίνακας 21: Κατάταξη των τιμών του FHI.....	94



ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Ελληνικές	
ΓΣΠ	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΚ	Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο
ΕΜΥ	Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία
ΖΔΥΚΠ	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας
ΗΠ	Ηλεκτρονική Πολιτική
κ.α.	Και άλλα
ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΛΑΠ	Λεκάνη Απορροής Ποταμού
ΜΣΘ	Μέση Στάθμη Θάλασσας
ΥΠΕΝ	Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας της Κυβερνήσεως

Ξενόγλωσσες	
AHP	Analytic Hierarchy Process, Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας
ANFIS	Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, Προσαρμοστικό Νευρο-Ασαφές Σύστημα Συμπερασμού
CBA	Cost-Benefit Analysis, Ανάλυση κόστους-οφέλους
CLC	Corine Land Cover, Εδαφοκάλυψη
CORINE	Coordination of Information on the Environment, Συντονισμός Ενημέρωσης για το Περιβάλλον
DEM	Digital Elevation Model, Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους
DSS	Decision Support System, Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων
EC	European Community, Ευρωπαϊκή Κοινότητα
FHI	Flood Hazard Index, Δείκτης επικινδυνότητας πλημμύρας
GIS	Geographic Information System, Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών
INSETTE	Institute of Greek Tourism Confederation, Ινστιτούτο Συνδέσμου Ελληνικών Τουριστικών Επιχειρήσεων
MCA	Multi Criteria Analysis, Ανάλυση Πολλαπλών Κριτηρίων
MCDA	Multiple Criteria Decision Analysis, Ανάλυση Απόφασης Πολλαπλών Κριτηρίων
MCDM	Multi-Criteria Decision Making, Λήψη Αποφάσεων Πολλαπλών Κριτηρίων
Natura 2000	Δίκτυο ζωνών προστασίας της φύσης που στοχεύει να διασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη διατήρηση πολύτιμων και απειλούμενων ειδών και οικοτόπων σε ολόκληρη την Κοινότητα.
n.d.	no date, δίχως ημερομηνία
OWA	Ordered Weighted Averaging, Διατεταγμένος Σταθμισμένος Μέσος όρος
QGIS	Quantum Geographic Information System, Κβαντικό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών
SDSS	Spatial Decision Support System, Χωρικό Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων
WLC	Weighted Linear Combination, Σταθμισμένος Γραμμικός Συνδυασμός,



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας είναι ένα σημαντικό ζήτημα για την ασφάλεια των ανθρώπων, των υποδομών και του φυσικού περιβάλλοντος. Η παρούσα πτυχιακή εργασία αξιοποιεί τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) και την πολυκριτηριακή ανάλυση για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας στη Θεσσαλία. Από αυτή την άποψη, το πρώτο κεφάλαιο παρέχει τη θεωρητική βάση που απαιτείται για την κατανόηση των ιδεών και των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.

Αρχικά, οι φυσικές καταστροφές είναι γεγονότα που έχουν την ικανότητα να βλάψουν σοβαρά τόσο το περιβάλλον όσο και την ανθρώπινη κοινωνία. Αυτή η ενότητα εξετάζει τους πολλούς τύπους φυσικών καταστροφών, τις ταξινομήσεις τους, καθώς και τις δυνατότητες και τις απειλές που θέτουν για τα οικοσυστήματα. Επιπλέον, ένα σημαντικό στοιχείο που επηρεάζει τη συχνότητα και τη σοβαρότητα των φυσικών καταστροφών είναι η κλιματική αλλαγή. Ο κίνδυνος πλημμύρας αυξάνεται λόγω της κλιματικής αλλαγής, η οποία περιλαμβάνει την αύξηση της θερμοκρασίας και τα αλλοιωμένα πρότυπα βροχοπτώσεων. Αυτή η ενότητα εξετάζει πώς επηρεάζονται οι πλημμύρες από την κλιματική αλλαγή και γιατί πρέπει να τροποποιηθούν οι τεχνικές διαχείρισης κινδύνου.

Στη συνέχεια, μεταξύ των πιο επιζήμιων φυσικών καταστροφών που μπορεί να συμβούν σε μια περιοχή είναι οι πλημμύρες. Αυτή η ενότητα εξετάζει τους πολλούς τύπους περιστατικών πλημμύρας, συμπεριλαμβανομένων των πηγών και των επιπτώσεών τους. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην κατανόηση του ελληνικού αντιπλημμυρικού καθεστώτος, και ιδιαίτερα αυτού της Θεσσαλίας, καθώς και στην ταξινόμηση των πλημμυρών ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Εξετάζονται επίσης οι νόμοι και οι κανονισμοί που αφορούν τον έλεγχο των πλημμυρών, μαζί με τα στοιχεία που οδηγούν σε πλημμύρες.

Τέλος, η έννοια της επικινδυνότητας συνδέεται στενά με την πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρών και τις επιπτώσεις που αυτές μπορεί να έχουν. Στην ενότητα αυτή, αναλύεται η έννοια της πλημμυρικής επικινδυνότητας, οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που σχετίζονται με τις πλημμύρες και η διαδικασία αξιολόγησής τους. Εξετάζονται επίσης τα αίτια και οι συνέπειες των πλημμυρικών φαινομένων, καθώς και οι διαφορές μεταξύ κινδύνου και επικινδυνότητας.

1.1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

1.1.1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ

Οι φυσικές καταστροφές περιλαμβάνουν κάθε ολέθριο συμβάν που προκύπτει από την επίδραση φυσικών φαινομένων και όχι ανθρωπογενών γεγονότων και έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές ανθρώπινες απώλειες ή καταστροφή του περιβάλλοντος, της ιδιωτικής ιδιοκτησίας ή της δημόσιας υποδομής. Μια φυσική καταστροφή μπορεί να προκληθεί από αλλαγές στον καιρό και τη θερμοκρασία, καθώς και από σεισμούς, κατολισθήσεις και άλλα φαινόμενα που ξεκινούν από την επιφάνεια της Γης ή βαθιά κάτω από την υδρόγειο. Οι φυσικές καταστροφές μπορούν να χτυπήσουν παντού στη Γη. Ωστόσο, ορισμένες καταστροφές συνήθως περιορίζονται ή συμβαίνουν συχνότερα σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές (Metych, 2023).

1.1.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Κατά τον Σούρλα (2021), τα φυσικά φαινόμενα όπως οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πλημμύρες και οι κατολισθήσεις είναι παραδείγματα δυνάμεων που μπορεί να παρατηρηθούν σε μια φυσική καταστροφή. Αυτά τα φυσικά γεγονότα δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της περίπλοκης αλληλεπίδρασης μεταξύ των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στη λιθόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και την ατμόσφαιρα. Όταν μια εκδήλωση αυτών των φυσικών φαινομένων έχει τη δυνατότητα να θέσει σε κίνδυνο τόσο το περιβάλλον όσο και την ανθρώπινη ζωή, θεωρείται σοβαρή. Τα αποτελέσματα τέτοιων γεγονότων μπορούν επομένως να αναφερθούν ως φυσικές καταστροφές, οι οποίες ομαδοποιούνται στις ακόλουθες κατηγορίες από την Παγκόσμια Βάση Δεδομένων Φυσικών Καταστροφών:

- i. Υδρογεωλογικές (εικόνα 1)
- ii. βιολογικές
- iii. κλιματικές (εικόνα 2)
- iv. μετεωρολογικές (εικόνα 3)
- v. γεωφυσικές (εικόνα 4)



Εικόνα 1. Πλημμύρα του ποταμού Μισισσιπή, στο Ντάβενपोर्ट της Αϊόβα, το 2019 | Πηγή: Dorothy (2019)



Εικόνα 2. Πυροσβέστες σε μια πυρκαγιά στο Pumarejo de Tera κοντά στη Zamora, βόρεια Ισπανία, τον Ιούνιο 2022. Πηγή: Manso (2022)



Εικόνα 3. Μάρτιος 2019: Ο κυκλώνας Idai διεκδικεί περισσότερες από 900 ζωές στην Αφρική. Πηγή: Learning English (2019)



Εικόνα 4. Σεισμός στην επαρχία Σιτσουάν (Κίνα). Πηγή: Daryo.uz (2021)

1.1.3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ: ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ ΣΤΑ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

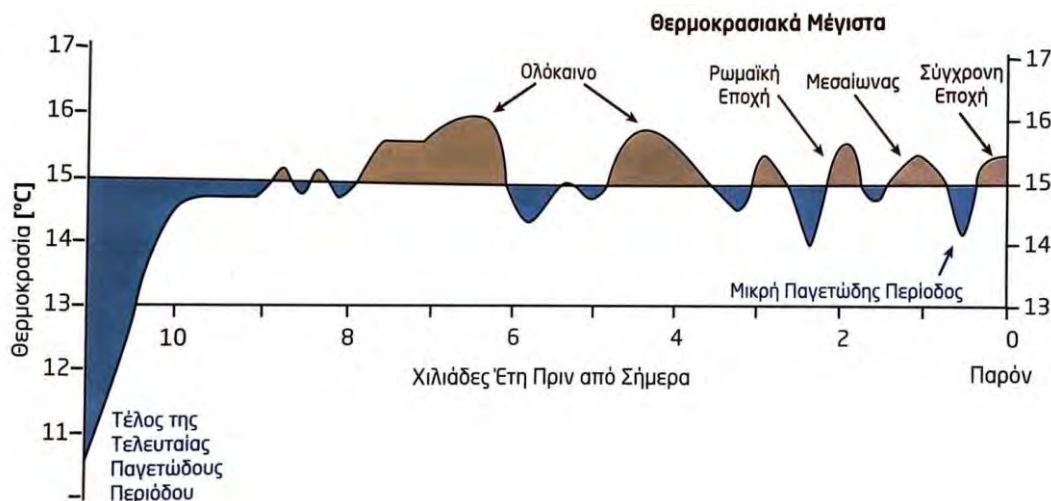
Οι διαταραχές στην οικολογία είναι διακριτά γεγονότα που διαταράσσουν τα οικοσυστήματα, τις κοινότητες ή τις πληθυσμιακές δομές, επηρεάζοντας τους πόρους, τη διαθεσιμότητα υποστρωμάτων και το φυσικό περιβάλλον. Ενώ οι φυσικές διαταραχές συχνά θεωρούνται ανεπιθύμητες για την κοινωνία, είναι ζωτικής σημασίας για τα κοινωνικό-οικολογικά συστήματα που εξαρτώνται από την υγεία του οικοσυστήματος. Οι φυσικές διαταραχές ανοίγουν ευκαιρίες για επαναξιολόγηση καταστάσεων, κοινωνική κινητοποίηση και καινοτομία. Οι φυσικοί κίνδυνοι χρησιμεύουν επίσης ως ευκαιρίες μάθησης για τη βελτίωση του βιοπορισμού. Οι αλλαγές που γίνονται μετά από μια καταστροφή μπορούν να επηρεάσουν την ανθεκτικότητα, όπως προσαρμογές σε ενέργειες ή πολιτικές διαχείρισης

κινδύνου. Ωστόσο, οι φυσικοί κίνδυνοι δεν οδηγούν πάντα σε καταστροφές και όλες οι πλημμύρες παρουσιάζουν ευκαιρίες για μάθηση (Kuang & Liao, 2020).

1.1.4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Με τον όρο κλιματική αλλαγή εννοούνται «οι μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων που οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή φυσικές διεργασίες και εκτείνονται σε χρονική κλίμακα δεκαετίας ή και μεγαλύτερη» (Ψιλοβίκος, 2020).

Η γραμμή που χωρίζει τον καιρό και το κλίμα ορίζεται από τον χρονικό ορίζοντα. Το κλίμα είναι «μέσος καιρός», ή ακριβέστερα, «η στατιστική περιγραφή ως προς το μέσο όρο και τη διακύμανση των σχετικών ποσοτήτων σε μια χρονική περίοδο», σε αντίθεση με τον καιρό, που αναφέρεται σε αυτό που συμβαίνει τώρα στην ατμόσφαιρα. Ακόμη, οι φυσικές διεργασίες και η ανθρώπινη δραστηριότητα συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Η αλλαγή της σύνθεσης της ατμόσφαιρας είναι η κύρια αιτία της (Ψιλοβίκος, 2020).



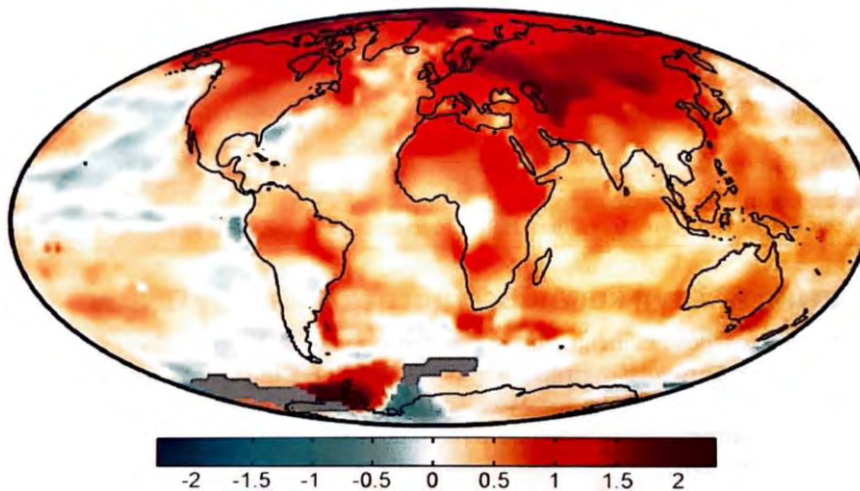
Εικόνα 5. Διάγραμμα θερμοκρασιών του πλανήτη τα τελευταία 11.000 χρόνια. Πηγή: Ψιλοβίκος (2020)

1.1.4.1.ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η εμφάνιση σοβαρών γεγονότων βροχοπτώσεων και η επικράτηση των θερμότερων ημερών είναι μερικές από τις πιο σημαντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Την ίδια περίοδο αναμένονται επίσης μείωση των βροχοπτώσεων, αύξηση των ζεστών ημερών και καλύτερες συνθήκες για την εκδήλωση πυρκαγιών (Ψιλοβίκος, 2020).

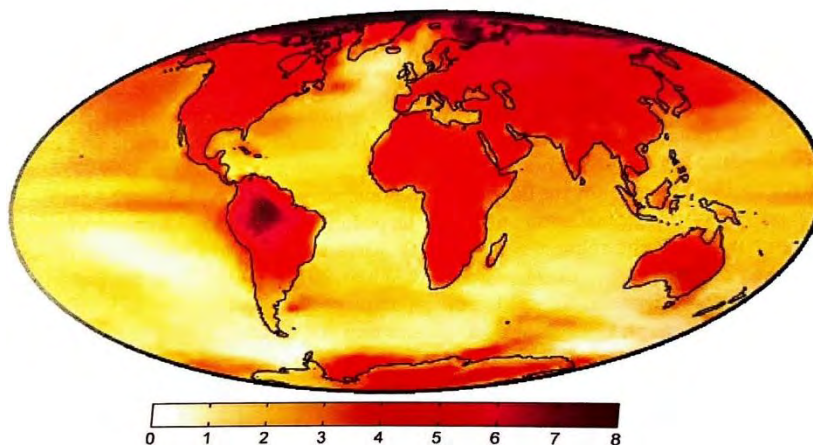
1.1.4.2. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει ανέβει κατά $0,74^{\circ}\text{C}$ τα τελευταία 100 χρόνια.



Εικόνα 6. Η παγκόσμια μεταβολή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της γης σε βαθμούς κελσίου ανάμεσα στα έτη 1940-1980 και 1999-2008. Πηγή: Ψιλοβίκος (2020)

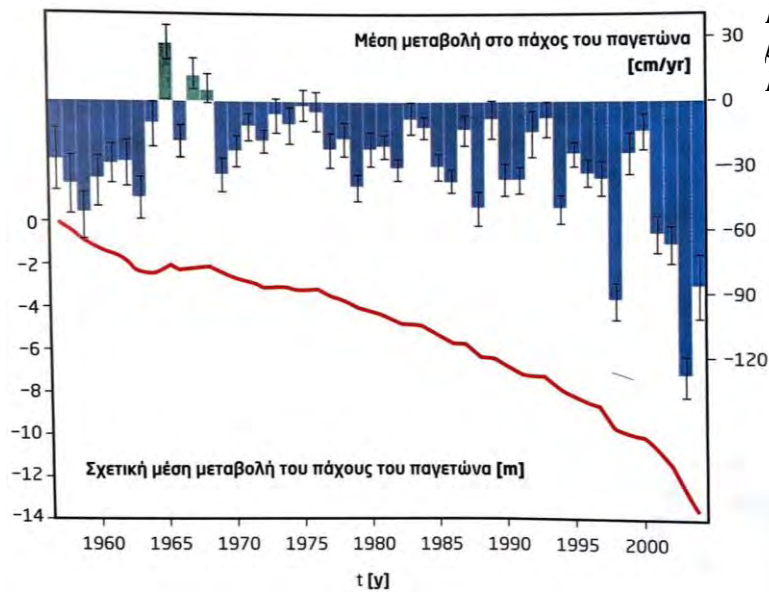
Αν συνεχιστούν οι σημερινές τάσεις, τις επόμενες δεκαετίες η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια του πλανήτη προβλέπεται ότι θα αυξηθεί κατά 1,8 έως 4 βαθμούς κελσίου (Ψιλοβίκος, 2020).



Εικόνα 7. Πρόβλεψη για την παγκόσμια αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της γης σε βαθμούς κελσίου ανάμεσα στα έτη 1960-1990 και 2070-2100. Πηγή: Ψιλοβίκος (2020)

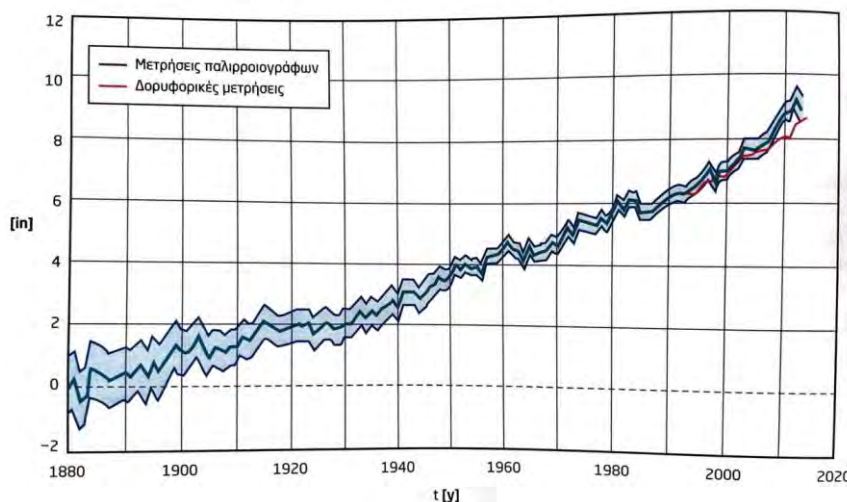
1.1.4.3. ΛΙΩΣΙΜΟ ΤΩΝ ΠΑΓΕΤΩΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΟΔΟΣ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (ΜΣΘ)

Φυσικό επακόλουθο της ανόδου της θερμοκρασίας της γης, είναι το λιώσιμο των πάγων στους δύο πόλους της γης και όπου αλλού υπάρχουν παγετώνες, π.χ. στις Άλπεις, στα Ιμαλάια, στην Ισλανδία, στην Παταγονία, στη Σιβηρία, στη Βόρεια Ευρώπη και Βόρεια Αμερική, όπου αναμένεται να συρρικνωθούν (Ψιλοβίκος, 2020).



Εικόνα 8. Μέση παγκόσμια σχετική μεταβολή του πάχους των πάγων. Πηγή: Ψιλοβίκος (2020)

Η άνοδος της Μ.Σ.Θ. σχετίζεται με την άνοδο της θερμοκρασίας. Σύμφωνα με προβλέψεις του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον ελλαδικό χώρο, ο ρυθμός αύξησης της Μ.Σ.Θ. στη Μεσόγειο εκτιμήθηκε με βάση τα τότε στοιχεία σε 5cm ανά δεκαετία μέχρι το έτος 2100 (Ψιλοβίκος, 2020).



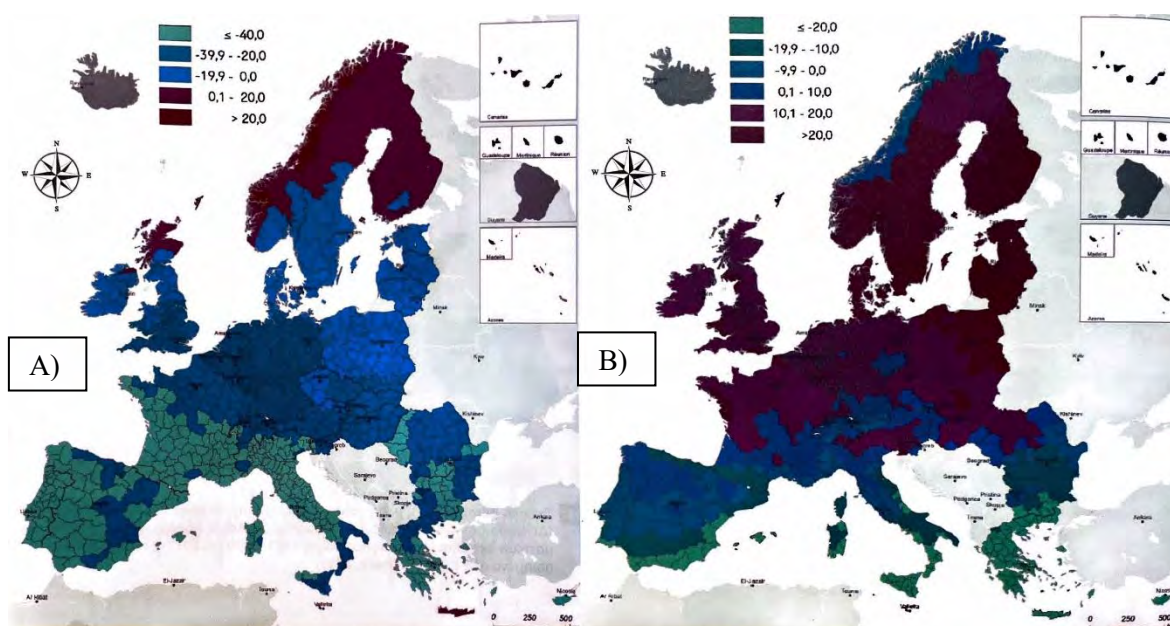
Εικόνα 9. Η σχετική άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας σε ίντσες κατά τα τελευταία 140 χρόνια. Πηγή: Ψιλοβίκος, (2020)

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα προκαλέσει διείσδυση του θαλασσινού νερού σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες και επιφανειακά ύδατα, μειώνοντας τη διαθεσιμότητα γλυκού νερού για τις ανθρώπινες δραστηριότητες, τα οικοσυστήματα και την παράκτια ζώνη. Αυτό μπορεί να προκαλέσει τη βύθιση των παράκτιων νησιωτικών ομάδων, αποδυναμώνοντας τις καλλιέργειες και δυσκολεύοντας τη ζωή. Ως αποτέλεσμα, θα δημιουργηθεί ένας νέος τύπος προσφύγων, οι περιβαλλοντικοί πρόσφυγες (Ψιλοβίκος, 2020). Τέλος, η ετήσια παγκόσμια άνοδος της στάθμης της θάλασσας από το 1993 ήταν

κατά μέσο όρο 2,6 έως 3,4mm/έτος, με τον ρυθμό τήξης από το στρώμα πάγου της Ανταρκτικής να τριπλασιάζεται τα τελευταία πέντε χρόνια και να εξαφανίζεται ταχύτερα από ποτέ (DIRECTIVE 2007/60/EC).

1.1.4.4. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ

Μεταξύ άλλων, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τις βροχοπτώσεις, οι οποίες στη Βόρεια Ευρώπη, αυξήθηκαν δραματικά από το 1900 έως το 2005, αν και μειώθηκαν στη Μεσόγειο. Με άλλα λόγια, παρατηρείται το φαινόμενο της επιδείνωσης της χωρικής και χρονικής ανισότητας με την κλιματική αλλαγή. Αφενός, μεγαλύτερη διαθεσιμότητα νερού εμφανίζεται σε αγροτικές και τουριστικές περιοχές και σε εποχές που υπάρχουν ιδιαίτερα αυξημένες ανάγκες (άνοιξη, καλοκαίρι και φθινόπωρο), ενώ αφετέρου λείπει σε περιοχές και εποχές όπου υπάρχουν μειωμένες ανάγκες και δεν είναι ζωτικής σημασίας (χειμώνας) (Ψιλοβίκος, 2020).



Εικόνα 10. Σχετική μεταβολή στη μέση ετήσια βροχόπτωση (σε ποσοστό %) για τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος – Αύγουστος) (εικόνα 10α) και για τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριος – Φεβρουάριος) (εικόνα 10β). Οι κλιματικές αλλαγές προέρχονται από την σύγκριση των κλιματικών εκτιμήσεων για τις περιόδους 1960-1990 και 2017-2100. Πηγή: Ψιλοβίκος (2020)

1.1.5. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Ο όγκος, η ένταση και η χρονική και γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων είναι πιθανό να ποικίλλουν μαζί με την αύξηση των βροχοπτώσεων. Οι πλημμύρες είναι άμεσο αποτέλεσμα των βροχοπτώσεων, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Εξαιτίας αυτού, μπορεί να προκύψουν και να αναπτυχθούν πλημμύρες ανάλογα με τις διακυμάνσεις στις παραμέτρους βροχοπτώσεων (Σούρλας, 2021).



Η πιο πρόσφατη έκθεση του Ευρωπαϊκού Ελεγκτικού Συνεδρίου δείχνει ότι από το 1985, η συχνότητα των καταστροφών από πλημμύρες στην Ευρώπη έχει αυξηθεί. Πιο μέτριες έως σοβαρές ξαφνικές πλημμύρες σημειώθηκαν πρόσφατα από ό,τι στα τέλη της δεκαετίας του 1980, και η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται στην Ευρώπη μαζί με συχνότερες καταιγίδες και μεγαλύτερες βροχοπτώσεις (Σούρλας, 2021).

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, οι επιπτώσεις από τις πλημμύρες ποταμών, τις πλημμύρες βροχοπτώσεων και τις παράκτιες πλημμύρες έχουν γενικά επιδεινωθεί σε όλη την Ευρώπη ως αποτέλεσμα της αύξησης της σοβαρότητας και της συχνότητας των πλημμυρών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο. Υπάρχουν αξιοσημείωτες περιφερειακές διαφορές στις βροχοπτώσεις στην Ευρώπη, με αύξηση της ετήσιας βροχόπτωσης στα βόρεια, σύμφωνα με τα παρατηρούμενα κλιματικά πρότυπα και τις μελλοντικές κλιματικές εκτιμήσεις (Σούρλας, 2021).

1.2. ΠΛΗΜΜΥΡΑ

Ως πλημμύρες ορίζονται «η προσωρινή κάλυψη της γης με νερό, η οποία δεν καλύπτεται από νερό υπό κανονικές συνθήκες» (Άρθρο 2, του πρώτου Κεφαλαίου της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ για τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας) (DIRECTIVE 2007/60/EC). Μπορούν να εμφανιστούν από ποτάμια, ρυάκια, εφήμερα υδάτινα ρεύματα ή από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές. Οι αιτίες περιλαμβάνουν έντονες και παρατεταμένες βροχοπτώσεις (φθινοπορινές πλημμύρες), ταχεία τήξη χιονιού και παγετώνων (ανοιξιάτικες πλημμύρες), άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω παλιρροϊκών επιπτώσεων, τσουνάμι ή απότομη διάρρηξη φράγματος τεχνητής λίμνης (Αναγνωστοπούλου, 2013).

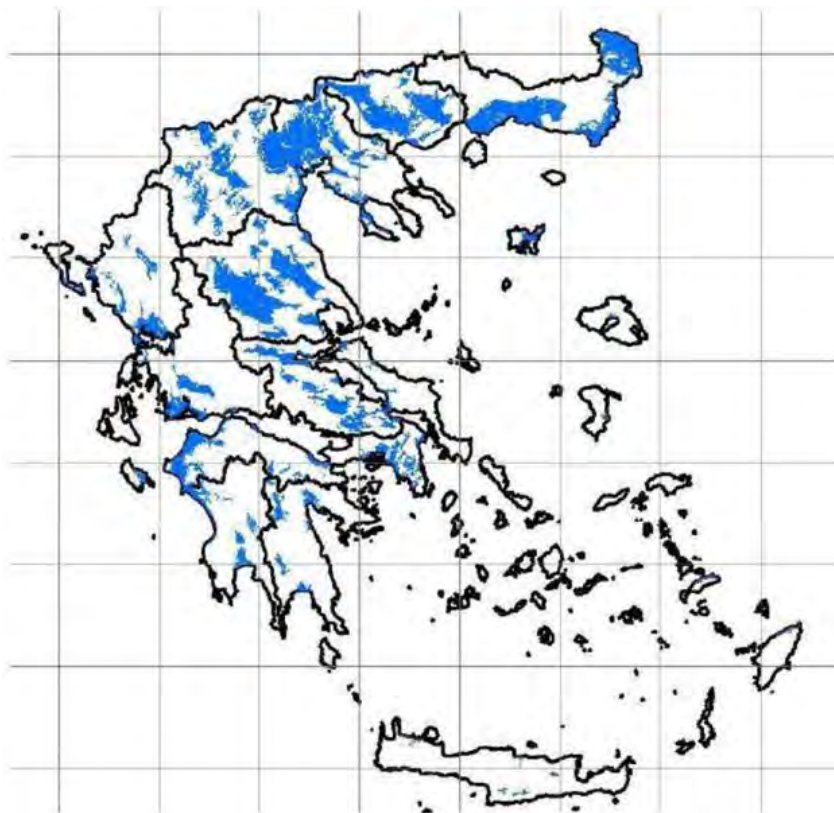
Οι πλημμύρες είναι από τις πιο συχνές φυσικές καταστροφές. Εκδηλώνονται ως αργές, ετήσιες πλημμύρες ή ξαφνικές πλημμύρες με σοβαρές επιπτώσεις στις πληγείσες περιοχές. Οι κύριες παράμετροι μιας πλημμύρας περιλαμβάνουν τη μέγιστη απόρριψη νερού, τον όγκο πλημμύρας και τη διάρκεια του συμβάντος. Το μέγεθος μιας πλημμύρας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά βροχόπτωσης, την περιοχή λεκάνης απορροής και τα υδάτινα ρεύματα (Αναγνωστοπούλου, 2013).

Κατά την Αναγνωστοπούλου (2013), η ανάλυση πλημμύρας περιλαμβάνει υδρολογική και υδραυλική ανάλυση. Η υδρολογική ανάλυση μελετά το φαινόμενο της βροχής και εκτιμά τα οφέλη απορροής σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Η υδραυλική ανάλυση περιγράφει την εξέλιξη της ροής στο υπάρχον υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης και πιθανή πλημμύρα σε πλημμυρικά πεδία και στις δύο πλευρές των καναλιών.

1.2.1. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η ελληνική περιοχή, με το έντονο ανάγλυφο και τη μεγάλη ακτογραμμή της, έχει σημαντική μεταβλητότητα σε τοπογραφικά, εδαφικά, υδρολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά. Η χώρα χωρίζεται σε 14 λεκάνες απορροής, με την οροσειρά της Πίνδου να παίζει σημαντικό ρόλο στις βροχοπτώσεις. Η Δυτική Ελλάδα παρουσιάζει υψηλότερες βροχοπτώσεις από την ανατολική Ελλάδα, με μέση ετήσια βροχόπτωση 1800mm (Αναγνωστοπούλου, 2013).

Οι πλημμύρες αποτελούν μια μεγάλη φυσική καταστροφή στην Ελλάδα, προκαλώντας οικονομικές και ανθρώπινες απώλειες. Οι συνήθεις τύποι πλημμυρών περιλαμβάνουν πλημμύρες ποταμών, αστικών, κρουσμάτων και παράκτιων πλημμυρών. Οι έντονες βροχοπτώσεις, οι χαμηλές βαρομετρικές πιέσεις και τα κρύα μέτωπα αυξάνουν την ένταση και την καταστροφική δύναμη των πλημμυρών. Η αποψίλωση των δασών και η αστικοποίηση συμβάλλουν στη διάβρωση του εδάφους, με μόνο το 18% της έκτασης να καλύπτεται από δάση σήμερα. Η ενεργή τεκτονική και οι μικρές υδρολογικές λεκάνες αυξάνουν την τρωτότητα σε κάθε περιοχή. Το μεσογειακό κλίμα ευνοεί τις πλημμύρες και τις ομοιογενείς υδρολογικές λεκάνες, αυξάνοντας την τρωτότητα. Καταστροφικές πλημμύρες σημειώνονται σε όλη την ελληνική επικράτεια, κυρίως σε παραθαλάσσιες και πεδινές περιοχές και κοντά σε πόλεις. Πλημμύρες ποταμών σημειώνονται κυρίως στους ποταμούς Έβρο και Πηνειό, με το μεγαλύτερο ποσοστό ανθρώπινων θυμάτων το φθινόπωρο (Τιτόνη, 2018).



Εικόνα 11. Περιοχές πιθανώς υψηλού κινδύνου πλημμύρας στην Ελλάδα. Πηγή: Τιτόνη (2018)



1.2.2. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Οι πλημμύρες είναι υδρογεωλογικές καταστροφές που συμβαίνουν όταν ένα φυσικό ή ανθρωπογενές σύστημα αποστράγγισης δεν είναι σε θέση να καθαρίσει την ποσότητα του νερού που συσσωρεύεται. Συνήθως, αυτή η ανεπιθύμητη συγκέντρωση προκαλείται από έναν συνδυασμό ανθρώπινης συμμετοχής, όπως η κατάρρευση ενός ανθρωπογενούς κτιρίου, η εσκεμμένη δημιουργία κοινοτήτων και φυσικές διεργασίες όπως βροχοπτώσεις, υπερχειλίση ποταμών και εισροή θαλασσινού νερού σε παράκτιες τοποθεσίες. (Σούρλας, 2021)

1.2.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Ο "Υδρολογικός Κύκλος" - ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη συνεχή κίνηση του νερού πάνω, πάνω και κάτω από την επιφάνεια της Γης - ελέγχεται από την αρχή της ισορροπίας μάζας. Ο υδρολογικός κύκλος υφίσταται τις ακόλουθες αλλαγές, οι οποίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τις πλημμύρες:

$$\text{Απορροή (Q)} + \text{Εξάτμιση (EVA)} +/\text{- Αποθήκευση (S)} = \text{Κατακρήμνιση (P)}.$$

Οι πλημμύρες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως φυσικά γεγονότα σε αυτή τη σύνθεση. Γεωμορφολογικοί, γεωγραφικοί και κοινωνικοί παράγοντες επηρεάζουν όλες τις απορροές και τις πλημμύρες. Είτε η τοποθεσία είναι πολύ περιορισμένη είτε εκτεταμένη, οι πλημμύρες συνδέονται με φυσικά μη φυσιολογικά φαινόμενα, που μερικές φορές αναφέρονται ως σοβαρά γεγονότα που είναι ιδιόμορφα για την περιοχή. Τέτοιες τοποθεσίες έχουν κοινό ότι συνδέονται με λεκάνες απορροής (Γιαννοπούλου, 2019).

Η μεγαλύτερη ποσότητα απορροής που μπορεί να ταξιδέψει μέσω ενός ανοιχτού καναλιού, όπως ενός ποταμού ή ενός ρέματος, χωρίς να αναγκάσει τη ροή να εξέλθει από το κανάλι και να εισέλθει στη λεκάνη απορροής, είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία που καθορίζουν τις πλημμύρες. Ο λόγος διείσδυσης, ή η ποσότητα του νερού που απορροφάται από το έδαφος και επομένως λειτουργεί ως εμπόδιο σε οποιαδήποτε πρόσθετη κατακόρυφη κίνηση του νερού στο έδαφος, είναι κυρίως υπεύθυνη για τον προσδιορισμό της ροής του νερού μέσα σε μια λεκάνη απορροής ποταμού (Γιαννοπούλου, 2019).

Οι ακόλουθες μεταβλητές επηρεάζουν την αναλογία κατείσδυσης σύμφωνα με τη Γιαννοπούλου (2019):

- i. **Τύπος εδάφους:** επηρεάζει την ικανότητα απορρόφησης. Για παράδειγμα, τα αργιλώδη εδάφη είναι συχνά αδιαπέραστα.
- ii. **Κορεσμός εδάφους:** μετρά το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα του εδάφους.



- iii. **Κάλυμμα βλάστησης:** Το είδος και η ποσότητα της βλάστησης μπορεί να λειτουργήσει ως φυσικός φραγμός ροής, επηρεάζοντας τόσο τη διείσδυση όσο και την ταχύτητα της επιφανειακής ροής.
- iv. **Παγωμένος τύπος:** το νερό μπορεί να διεισδύσει μόνο εν μέρει στο παγωμένο έδαφος.
- v. **Ανθρωπογενείς ουσίες:** μπορούν να «σκληρύνουν» τις φυσικές επιφάνειες, μειώνοντας τη διείσδυση και αυξάνοντας την απορροή.

1.2.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Σύμφωνα με τον Σούρλα (2021), οι πλημμύρες μπορούν να ταξινομηθούν ως ποτάμιες, παράκτιες (παλιρροϊκές) ή πλημμύρες λιμνών ανάλογα με το πού προέρχεται το νερό της πλημμύρας. Οι πλημμύρες πεδίου μπορούν να ταξινομηθούν ως βαθμιαίες ή απότομες ανάλογα με το χρόνο και τη διαδρομή του γεγονότος πλημμύρας. Επίσης, μπορεί συμβαίνουν σε αστικό ή αγροτικό περιβάλλον. Λόγω της ασυνήθιστης γεωμορφολογίας της Ελλάδας, οι ξαφνικές πλημμύρες, οι οποίες χαρακτηρίζονται από τον γρήγορο ρυθμό ανάπτυξής τους, είναι το πιο συχνό είδος πλημμύρας. Γενικά, οι ακόλουθες κατηγορίες περιγράφουν καλύτερα τα φαινόμενα πλημμύρας:

- i. **Παράκτιες πλημμύρες:** Προκαλούνται από την είσοδο θαλασσινού νερού στην ακτή ή από έντονες βροχοπτώσεις που προκαλούν πλημμυρικά νερά να συσσωρεύονται κατά μήκος της ακτής, προκαλώντας πρόσθετη καθίζηση της ακτής, ενώ παρατηρείται επίσης υποβάθμιση του εδάφους και των υδάτων (Σούρλας, 2021).
- ii. **Αστικές πλημμύρες:** Οι πλημμύρες που συμβαίνουν σε αστικές περιοχές και πόλεις αναφέρονται ως αστικές πλημμύρες. Λόγω των αδιαπέραστων αστικών επιφανειών τους, οι περιοχές με βαριά αστικά κτίρια έχουν υψηλή επιφανειακή απορροή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η βροχόπτωση σε ορισμένες τοποθεσίες δεν μπορεί να εισχωρήσει στο υπέδαφος και αντ' αυτού συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του εδάφους. Η έλλειψη δέντρων και δασών αυξάνει τη συγκέντρωση των επιφανειακών υδάτων και κάνει συχνότερες τις πλημμύρες (Ταουκίδου, 2021).
- iii. **Πλημμύρες ποταμών:** Η εμφάνιση παρατεταμένων βροχοπτώσεων, το λιώσιμο μεγάλων ποσοτήτων χιονιού και πάγου ή η πιθανή κατάρρευση τεχνικών έργων, με τα νερά της πλημμύρας να καταλαμβάνουν πλημμυρικές πεδιάδες δίπλα στα ποτάμια, είναι οι κύριες αιτίες πλημμύρας των ποταμών. Προκαλούνται κυρίως από κλιματικούς, λιθολογικούς και μορφολογικούς λόγους, αλλά είναι επίσης



αποτέλεσμα της αυξανόμενης ανθρώπινης δραστηριότητας στις λεκάνες απορροής (Σούρλας, 2021).

- iv. **Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων:** Οι πλημμύρες που συμβαίνουν ξαφνικά, έντονα και για σύντομο χρονικό διάστημα είναι ένα από τα χαρακτηριστικά των καταρρακτωδών βροχοπτώσεων (Σούρλας, 2021).
- v. **Ξαφνικές – αιφνίδιες πλημμύρες.** Οι πλημμύρες που συμβαίνουν ξαφνικά και έντονα σε σύντομο χρονικό διάστημα είναι γνωστές ως ξαφνικές πλημμύρες. Είναι ένα από τα πιο θανατηφόρα είδη πλημμυρών και γενικά ξεκινούν απροσδόκητα. Έχουν την ικανότητα να προκαλέσουν σημαντική ζημιά σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτού του είδους οι πλημμύρες είναι συνηθισμένες σε έθνη γύρω από τη Μεσόγειο, συμπεριλαμβανομένου του δικού μας. Είναι ικανά να μεταφέρουν πολλά απόβλητα και να προκαλέσουν διάβρωση του εδάφους (Ταουκίδου, 2021).

1.2.5. ΟΔΗΓΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Η κοινοτική Οδηγία 2007/60/EK, που εκδόθηκε το 2007 σύμφωνα με το Πλαίσιο 2000/60/EK, στοχεύει στη δημιουργία ενός πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας για τη μείωση των αρνητικών συνεπειών τους στους ανθρώπους, το περιβάλλον και όλες τις συνδεδεμένες περιοχές. Η οδηγία ενσωματώθηκε στο ελληνικό εθνικό δίκαιο μέσω της ΚΥΑ Η.Π. 31822/1542/Ε103/2010, η οποία τροποποιήθηκε αργότερα με την ΚΥΑ 177772/924/2017 (Ταουκίδου 2021).

Η προσέγγιση σε στάδια που προβλέπει η Οδηγία από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ, 2023) στα σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, είναι:

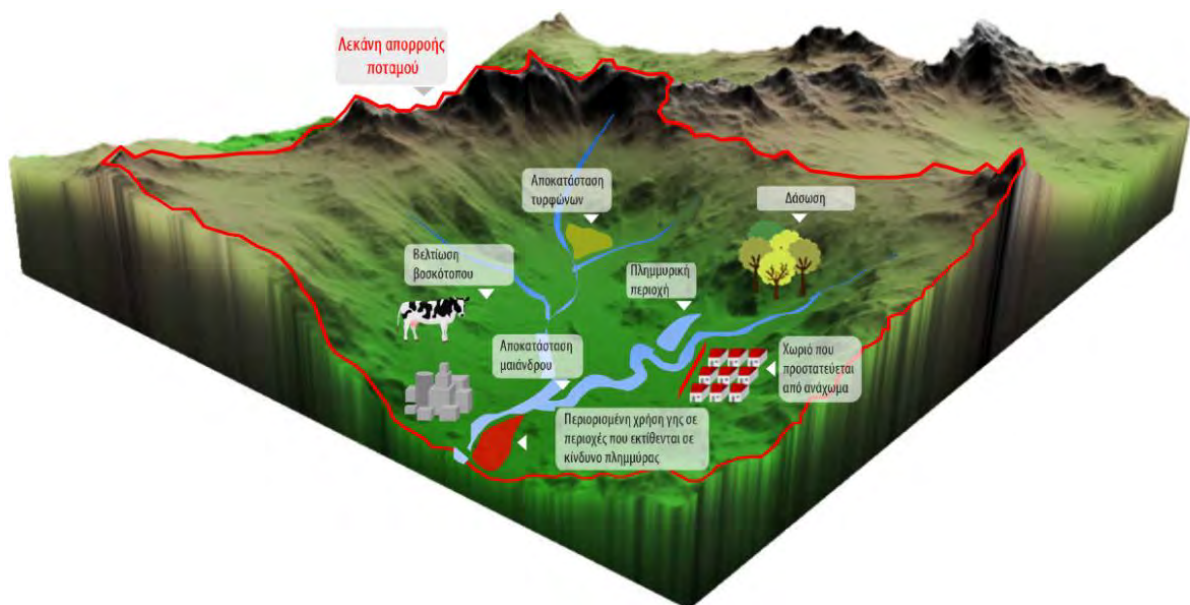
- i. Προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας
- ii. Περιοχές δυνητικά σημαντικού κινδύνου πλημμύρας
- iii. Χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας
- iv. Χάρτες κινδύνων πλημμύρας
- v. Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας

Η Ταουκίδου (2021), αναφέρει ότι η Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνου Πλημμύρας διενεργείται για κάθε περιοχή ΛΑΠ ή τμήμα διεθνούς ΛΑΠ που βρίσκεται στην επικράτειά τους, όπως ορίζεται στα άρθρα 4 και 5 της Οδηγίας 2007/60/EK. Αυτή η αξιολόγηση καθορίζει περιοχές όπου είναι πιθανό να εμφανιστούν πλημμύρες ή όπου εντοπίζονται

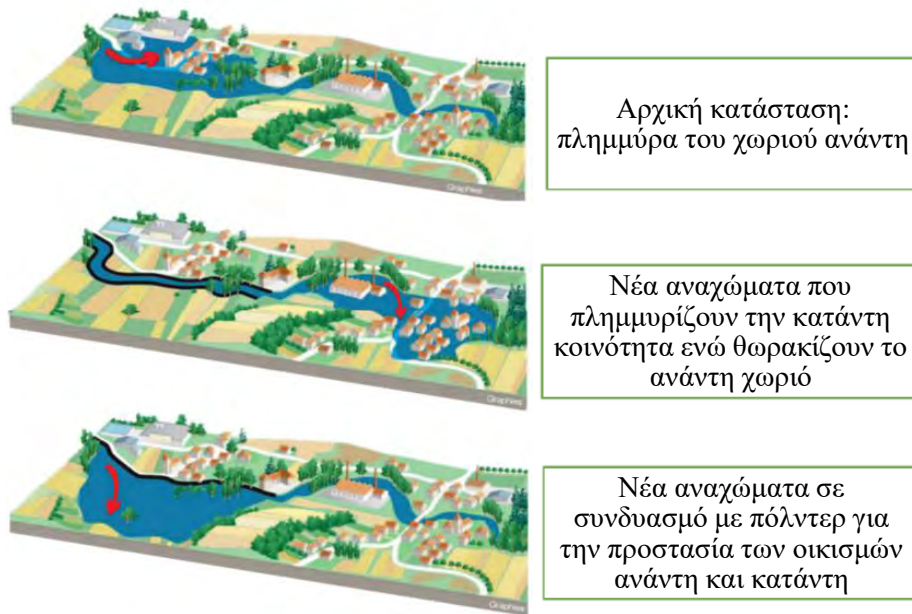
σοβαροί δυνητικοί κίνδυνοι πλημμύρας και καθορίζει τις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ), εντός των οποίων καταρτίζονται οι Χάρτες Επικινδυνότητας και Κινδύνου Πλημμύρας, καθώς και Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. Οι ζώνες δημιουργήθηκαν συνδυάζοντας τα ευρήματα για τον εντοπισμό τόπων όπου αναμένεται να εκδηλωθούν πλημμύρες και τοποθεσιών με δυνητικά σημαντικές επιπτώσεις από μελλοντικά πλημμυρικά φαινόμενα, λαμβάνοντας επίσης υπόψη αναφορές περιφερειακών υπηρεσιών και μεγάλες προηγούμενες καταστροφές.

1.2.5.1. ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ, ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Η ΕΕ ενέκρινε την οδηγία για τις πλημμύρες το 2007 ως αντίδραση στις καταστροφικές πλημμύρες που έπληξαν τη νότια Γαλλία και την Κεντρική Ευρώπη το 2002 (Ειδική Έκθεση: Οδηγία Για Τις Πλημμύρες, 2018). Στόχος της οδηγίας είναι να ενσωματώσει την ετοιμότητα, την πρόληψη και τη διαχείριση των υδάτινων καταστροφών τόσο εντός όσο και μεταξύ των κρατών-μελών σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού. Η διαχείριση αυτών των φαινομένων γίνεται καλύτερα σε επίπεδο λεκάνης χρησιμοποιώντας μια ποικιλία στρατηγικών που περιορίζουν την απορροή, τη μέτρια ροή ποταμών, αφήνουν τις πλημμύρες να επεκταθούν σε γεωργικές και φυσικές περιοχές, προστατεύουν τα ευαίσθητα περιουσιακά στοιχεία χωρίς να επιδεινώνουν τις κατάντη συνέπειες, όπως απαιτείται από την οδηγία (DIRECTIVE 2007/60/EC).



Εικόνα 12. Απεικόνιση συντονισμένου ελέγχου πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού
Πηγή: Ειδική Έκθεση: Οδηγία Για Τις Πλημμύρες (2018)



Εικόνα 13. Απεικόνιση προσέγγισης για την αποφυγή πλημμύρας κατάντη. Πηγή: Ειδική Έκθεση: Οδηγία Για Τις Πλημμύρες (2018)

1.2.6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

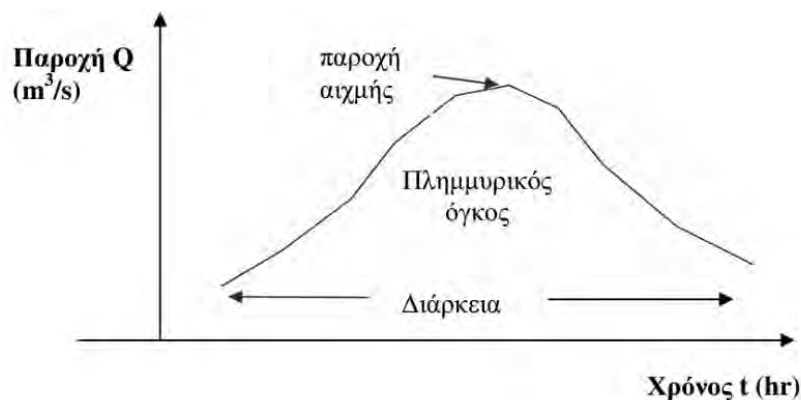
Οι πλημμύρες προκαλούνται κυρίως από δύο φυσικά φαινόμενα που είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξέλεγκτα: τις βροχοπτώσεις και το επίπεδο της θάλασσας. Ωστόσο, το εάν ένα γεγονός βροχοπτώσεων έχει ως αποτέλεσμα ζημιές από πλημμύρες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό τόσο από φυσικούς όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της αποψίλωσης των δασών στην ανώτερη λεκάνη απορροής, της ευθυγράμμισης των ποταμών και της εξάλειψης των φυσικών πλημμυρικών εκτάσεων, της ανεπαρκούς αποστράγγισης και, το πιο σημαντικό, της εκτεταμένης κατασκευής κτιρίων σε επικίνδυνες πλημμυρικές πεδιάδες μιας λεκάνης (Τιτόνη, 2018).

Ως αποτέλεσμα, σύμφωνα με την Τιτόνη (2018), οι μεταβλητές που επηρεάζουν τις υδρολογικές διεργασίες και, κατά συνέπεια, την πιθανότητα πλημμυρών μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: στατικές μεταβλητές, που αντιπροσωπεύουν τις γνωστές σταθερές που συνοψίζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης και δυναμικές μεταβλητές, που περιλαμβάνουν όλες τις μεταβλητές που αλλάζουν κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού γεγονότος, όπως, για παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης. Η γεωγραφία της περιοχής, η χρήση γης, ο τύπος του εδάφους στη λεκάνη απορροής και τα προϋπάρχοντα επίπεδα υγρασίας είναι όλοι παράγοντες που συμβάλλουν στις πλημμύρες ως φυσικά φαινόμενα, εκτός από τις ποσότητες και τα ποσοστά βροχής. Πιο συγκεκριμένα, τα ακόλουθα στοιχεία είναι οι σταθερές αιτίες των πλημμυρών:

- I. Το μέγεθος της λεκάνης απορροής, το οποίο επηρεάζει το πόσο νερό ρέει μετά από μια καταιγίδα.
- II. Η δομή της λεκάνης απορροής σε σχέση με το χρόνο και τον τρόπο με τον οποίο διαφορετικές περιοχές της λεκάνης απορροής συμβάλλουν στην απορροή κατά την εκροή της.
- III. Η κατεύθυνση της λεκάνης σε σχέση με το τοπικό κλίμα, καθώς αυτό επηρεάζει τη μορφή του υδρογράφου καθώς και τη συχνότητα και την ένταση των βροχοπτώσεων.
- IV. Η μέση κλίση της υδρολογικής λεκάνης, η οποία ελέγχει πόσο γρήγορα ρέουν τα επιφανειακά ύδατα και σχετίζεται αντιστρόφως τόσο με τη διάρκεια της ροής του νερού όσο και με την ποσότητα της απορροής, καθώς αναστέλλει τη διήθηση όταν ανυψώνεται στα χαμηλότερα τμήματα του ανάγλυφου.
- V. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζει τις υδρογεωλογικές και υδρολογικές διεργασίες μιας λεκάνης είναι η υδατοπερατότητα των σχηματισμών (ανάλογα με τον τύπο του βράχου, τη φυτική κάλυψη και την κάλυψη του εδάφους), καθώς αυξάνει την ποσότητα του νερού που ρέει και διαπερνά το έδαφος.

Τα τρία κύρια μεγέθη της πλημμύρας σύμφωνα με την Πάνου (2008) όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα 14 είναι:

- i. η παροχή αιχμής και η αντίστοιχη στάθμη στο υδατόρεμα,
- ii. ο πλημμυρικός όγκος και
- iii. Η χρονική διάρκεια



Εικόνα 14. Φυσικά μεγέθη πλημμυρών. Πηγή: Πάνου (2018)



Τα παρακάτω είναι τα δυναμικά συστατικά που συμβάλλουν στις πλημμύρες σύμφωνα με την Τιτόνη (2018):

- i. Ο όγκος της απορροής που παράγεται από καταιγίδες μικρής διάρκειας και υψηλών εντάσεων.
- ii. Η κίνηση της καταιγίδας, η οποία επηρεάζει το χρονοδιάγραμμα της αποστράγγισης των διαφόρων περιοχών της λεκάνης. Αυτή η κίνηση υπαγορεύει τη μορφή του υδρογράφου.
- iii. Η θέση και η ένταση της βροχόπτωσης, καθώς αυτό επηρεάζει το πόσο συμβάλλει κάθε περιοχή της λεκάνης στην απορροή στην έξοδο.
- iv. Η διάρκεια της καταιγίδας.

1.2.7. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Σύμφωνα με την Τιτόνη (2018), τα φαινόμενα πλημμύρας είναι μια φυσική υδρολογική διαδικασία που λαμβάνει χώρα όταν ένα τμήμα του υδρογραφικού δικτύου δεν μπορεί να αποστραγγίσει την ποσότητα του νερού που ρέει μέσα από αυτό, με αποτέλεσμα το νερό να υπερχειλίζει τις όχθες και να καταλάβει εφήμερες, άγονες περιοχές.

Με τον όρο **πλημμύρα**, εννοούμε συγκεκριμένα τη στιγμιαία πλημμύρα της γης με νερό που κανονικά δεν είναι βυθισμένο. Αυτό καλύπτει υπερχειλίσσεις λιμνών, πλημμύρες υπόγειων υδάτων, πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, πλημμύρες από ποτάμια, ορεινά ρέματα και εφήμερα ρέματα. Επιπλέον, καλύπτει πλημμύρες που προκαλούνται από καταστροφές που αφορούν μεγάλες υδραυλικές κατασκευές, όπως ρήγματα φραγμάτων και αναχωμάτων (Τιτόνη, 2018).

Το **πλημμυρικό πεδίο (floodplain)** ενός ποταμού είναι ένα φυσικό χαρακτηριστικό της κοιλάδας που μπορεί να εντοπιστεί με ακρίβεια και είναι απλώς μια πολύ επίπεδη περιοχή που περιβάλλει τον ποταμό. Υπάρχει ένα τεράστιο, περίπλοκο σύστημα ρεμάτων σε λοφώδεις περιοχές που συγκλίνουν σε μια χαμηλή περιοχή που μπορεί να έχει πλάτος εκατοντάδες χιλιάδες χιλιόμετρα (Τιτόνη, 2018).

Πλημμυρική επικινδυνότητα (Flood Risk), είναι ο συνδυασμός της πιθανότητας να συμβεί μια πλημμύρα και των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων που μπορεί να έχει αυτή η πλημμύρα στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα (Τιτόνη, 2018).

Κίνδυνος πλημμύρας (Flood Hazard) είναι η γενική πιθανότητα ότι μια πλημμύρα θα συμβεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή (ποσοτικοποιημένη από το βάθος του νερού, το ρυθμό ροής ή άλλα υδρολογικά ή υδραυλικά χαρακτηριστικά ποσότητας), που αντιστοιχεί σε μια δεδομένη πιθανότητα υπέρβασης, και επομένως ορίζεται ως πιθανή αιτία απώλειας (Τιτόνη, 2018).

Τρωτότητα (Vulnerability) είναι η ικανότητα ενός συστήματος να προβλέπει, να αντιμετωπίζει, να ανακάμπτει και να αντιστέκεται στις επιπτώσεις μιας καταστροφής. Αναφέρεται επίσης στο πόσο επιρρεπές είναι ένα σύστημα του φυσικού ή τεχνητού περιβάλλοντος σε έναν κίνδυνο (Τιτόνη, 2018).

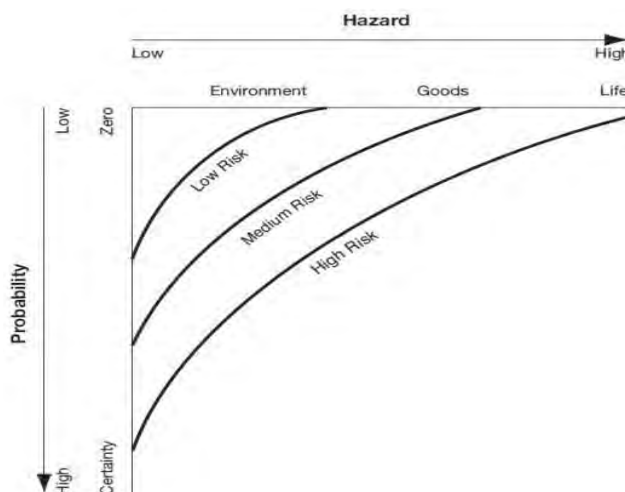
Η ακόλουθη εξίσωση δείχνει πώς ο κίνδυνος και η τρωτότητα συνδέονται άρρηκτα μεταξύ τους:

$$R = H \times V$$

όπου R είναι ο κίνδυνος, H είναι η επικινδυνότητα και V είναι η τρωτότητα.

Η σχέση μεταξύ των τριών μεταβλητών όσον αφορά την εκτίμηση του κινδύνου ταξινομείται συνήθως σε τρεις κατηγορίες: Υψηλός, Μέτριος και Χαμηλός ή πέντε: Πολύ υψηλός, Υψηλός, Μέτριος, Χαμηλός, Πολύ Χαμηλός (Τιτόνη, 2018).

Η Τιτόνη (2018) αναφέρει, ότι όσον αφορά την πιθανότητα και την απώλεια, ο περιβαλλοντικός κίνδυνος μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες: κίνδυνος για την υποδομή, κίνδυνος για άτομα και κίνδυνος για το περιβάλλον. Επομένως, με τον ίδιο τρόπο που μπορεί να υπολογιστεί ο κίνδυνος πλημμύρας, μπορεί επίσης να αξιολογηθεί η θεωρητική σύνδεση μεταξύ κινδύνου και πιθανότητας, προκειμένου να καθοριστεί τελικά ο συνολικός βαθμός κινδύνου. Αυτό γίνεται τοποθετώντας την πιθανότητα από το 0 έως το 1 σε ένα θεωρητικό πλαίσιο.



Εικόνα 15. Η θεωρητική σχέση ανάμεσα στον περιβαλλοντικό Κίνδυνο (Hazard), την Πιθανότητα (Probability) και την Επικινδυνότητα (Risk). Οι κίνδυνοι για την ανθρώπινη ζωή αξιολογούνται ως Υψηλότεροι από τους Περιβαλλοντικούς και των Αγαθών/Ιδιοκτησιών. Πηγή: Τιτόνη (2018)

1.2.8. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ

Σύμφωνα με την Τιτόνη (2018), οι πλημμύρες ήταν μια σημαντική ανησυχία για όσους ζούσαν κοντά σε ποτάμια ή άλλα υδάτινα σώματα από την προϊστορική εποχή. Μια από τις πιο συχνές και καταστροφικές φυσικές καταστροφές στον κόσμο, τα φαινόμενα πλημμύρας έχουν ως αποτέλεσμα εκτεταμένες ζημιές, όπως απώλεια ζώων, καταστροφή τηλεπικοινωνιών και υποδομών, γεωργικών και κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων, καλλιέργειες και, τελικά, σοβαρή διάβρωση του εδάφους και ρύπανση των πηγών νερού.

Οι πλημμύρες είναι ένα ετήσιο φαινόμενο σε πολλά μέρη του κόσμου και θεωρείται ότι έχουν πολλά πλεονεκτήματα, καθώς αυξάνουν τη γονιμότητα του εδάφους, κάτι που εκτιμάται. Η επίδραση των πλημμυρών στη γεωργία επηρεάζεται κυρίως από την περίοδο ανάπτυξης των καλλιεργειών και την τοπική τοπογραφία (Τιτόνη, 2018).

Η ικανότητα της πληγείσας κοινωνίας να ανταποκριθεί στο επίμαχο συμβάν ξεπερνιέται όταν συμβαίνουν πλημμύρες ασυνήθιστου μεγέθους και έντασης, σε συγκεκριμένες γεωγραφικές θέσεις και με απροσδόκητο τρόπο. Τότε είναι που οι πλημμύρες γίνονται καταστροφές. Ισχυρίζονται ότι σε ετήσια βάση, οι πλημμύρες είναι πιο καταστροφικές και έχουν μεγαλύτερο ανθρώπινο τίμημα από άλλες φυσικές καταστροφές, επηρεάζοντας άμεσα τα δύο τρίτα (2/3) του παγκόσμιου πληθυσμού και αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το ένα τρίτο (1/3) των εκτιμώμενων δαπανών καταστροφής περιουσίας (Τιτόνη, 2018).



Εικόνα 16. Περιοχή των Η.Π.Α. με υψηλό κίνδυνο πλημμύρας. Πηγή: Eslit (2016)

1.2.9. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΝΗΣΥΧΙΕΣ

Η διαχείριση κινδύνου πλημμύρας περιλαμβάνει στρατηγικές και πρακτικές για τον μετριασμό των επιπτώσεων των περιστατικών που σχετίζονται με τις πλημμύρες σε άτομα, ομάδες και παγκόσμια κλίμακα. Στοχεύει στην ενσωμάτωση όλων των περιστατικών πλημμύρας σε τακτικές λειτουργίες σπιτιών, κοινωνικών οργανώσεων ή πολιτειών (Vinet, 2017).



Πολιτικές ανησυχίες προκύπτουν λόγω των υλικών ζημιών που προκαλούν οι πλημμύρες και του ελέγχου των πλημμυρικών φαινομένων. Οι κοινότητες συχνά πρέπει να επιλέξουν μεταξύ των πιθανών απωλειών και της προστασίας σε ευπαθείς τοποθεσίες, εκτός εάν η αποφυγή έκθεσης στον κίνδυνο είναι ο καλύτερος τρόπος για τον μετριασμό του κινδύνου καταστροφών. Οι δημόσιες συζητήσεις σχετικά με τις πλημμύρες περιλαμβάνουν το κατάλληλο επίπεδο προστασίας, το αν πρέπει να απαγορεύεται αυστηρά η ανάπτυξη σε περιοχές που είναι επιρρεπείς στις πλημμύρες, και το αν οι άνθρωποι που αναλαμβάνουν το ρίσκο πρέπει να φέρουν τις συνέπειες (Vinet, 2017).

1.2.10. ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Οι καταστροφές από πλημμύρες προκαλούν σημαντικές ζημιές και διακόπτουν την κοινωνικοοικονομική δραστηριότητα, ενώ οι κίνδυνοι αυτού του είδους αντιπροσωπεύουν πιθανές απειλές για μια κοινότητα. Η ικανότητα πρόληψης ή μείωσης των ζημιών από τέτοια γεγονότα όταν συμβαίνουν, ή σε ακραίες καταστάσεις, για αποκατάσταση και επιστροφή σε λειτουργική κατάσταση μετά από μια καταστροφή, είναι γνωστή ως ανθεκτικότητα στις υδάτινες καταστροφές. Όταν οι κοινότητες δεν είναι σε θέση να μειώσουν τις επιπτώσεις αυτών των απειλών, συμβαίνουν τραγωδίες. Η ανθεκτικότητα σε τέτοια φαινόμενα είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση ενός ασφαλούς και βιώσιμου μέλλοντος (Kuang & Liao, 2020).

Κατά τον Vinet (2017), οι διαδικασίες για την παραγωγή κινδύνων λειτουργούν υπό την προϋπόθεση ότι οι έλεγχοι διαχείρισης κινδύνου δεν μπορούν ποτέ να μετριάσουν πλήρως τον κίνδυνο και θα επαναλαμβάνονται πάντα. Η γεωϊστορική προσέγγιση αποκαλύπτει ότι το παρελθόν των περιοχών που είναι ευάλωτες στις πλημμύρες χαρακτηρίζεται από μεταλλάξεις που οδηγούν σε μεταβλητό κίνδυνο. Ο κίνδυνος μπορεί περιστασιακά να μειωθεί με ανθρώπινη παρέμβαση, αλλά μπορεί επίσης περιστασιακά να αυξηθεί. Μέσα σε ιστορικά και περιβαλλοντικά χρονικά πλαίσια, ο κίνδυνος μπορεί να μειωθεί ή ακόμα και να εξαλειφθεί.

Αντιθέτως, το φαινόμενο μπορεί να είναι σχεδόν ανύπαρκτο για κάποιο διάστημα πριν επανεμφανιστεί. Οι χρονικές κλίμακες για σοβαρές πλημμύρες κυμαίνονται από 50 έως 100 χρόνια, και ενδεχομένως μεγαλύτερες. Οι μεγαλουπόλεις είναι εγγενώς ευάλωτες, αλλά αποτελούν επίσης παγκόσμια κέντρα δραστηριότητας και συντονισμού, γεγονός που σημαίνει ότι οποιαδήποτε αδυναμία σε αυτές μπορεί να έχει επιπτώσεις σε παγκόσμια κλίμακα (Vinet, 2017).

Μετά από μια πλημμύρα, σύμφωνα με τον Vinet (2017), υπάρχουν τρεις τύποι ανθρώπων. Εκείνοι που καταφέρνουν να ανασυνθέσουν τη ζωή τους σε υψηλότερη ποιότητα από πριν, εκείνοι που ξεκινούν από την αρχή και αποκτούν μια νέα ταυτότητα και άλλοι που δεν μπορούν να το κάνουν. Παρά τις πολλές διαφορετικές ερμηνείες όλα αυτά τα χρόνια, η



ανθεκτικότητα ορίζεται πλέον ως η ικανότητα να μετατρέπεται κάθε τραγωδία σε μια «νέα αρχή» μελετώντας τις γενικές συνθήκες που είναι πιθανό να υπάρχουν. Περιλαμβάνει τόσο τα ατομικά όσο και ομαδικά στοιχεία, τα οποία είναι στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους.

1.2.11. ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Αρχικά, υπάρχουν δύο τύποι μάθησης, η άμεση απόκτηση γνώσης και η εμπειρική μάθηση. Η πρώτη είναι η απόκτηση κωδικοποιημένης γνώσης από βιβλία, δασκάλους, μέσα ενημέρωσης κλπ., η οποία έχει προεπεξεργαστεί για τον μαθητή και συνήθως είναι σαφής. Η εμπειρία δίνει μια πιο συγκεκριμένη γνώση που είναι συνήθως περιβαλλοντική. Για παράδειγμα, δεν είναι απαραίτητο να βιώσει κάποιος μια πλημμύρα για να γνωρίζει ότι η υψομετρική ανύψωση ενός κτιρίου πάνω από το επίπεδο της πλημμύρας μπορεί να αποτρέψει τις ζημιές. Ωστόσο, η πραγματική εμπειρία μπορεί να εμπλουτίσει αυτήν τη γνώση με τοπικές λεπτομέρειες, όπως η κατάλληλη υψομετρική ανύψωση ή η κατάλληλη δομική σχεδίαση (Kuang & Liao, 2020).

Επιπλέον, η πραγματική εμπειρία βοηθά στον εντοπισμό προβλημάτων στη διαχείριση των πλημμυρών, καθώς κάθε πλημμύρα δοκιμάζει την αποτελεσματικότητά της. Πρέπει να τονιστεί ότι η εμπειρία πλημμύρας δεν είναι απαραίτητα καταστροφική, αλλά μπορεί να είναι ακίνδυνη ή ακόμα και ευεργετική για την κοινότητα ή τον τρόπο ζωής. Επομένως, η επίδραση μιας πλημμύρας μπορεί να είναι είτε αβλαβής (ή ακόμη και ωφέλιμη), είτε ενοχλητική, είτε καταστροφική. Τα διάφορα είδη πλημμυρών μπορούν επίσης να δημιουργήσουν διαφορετικές εμπειρίες, ανάλογα με τη συχνότητα, τη διάρκεια και την έντασή τους (Kuang & Liao, 2020).

1.2.12. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΣΥΝΤΡΙΜΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Τα συντρίμια πλημμύρας αποτελούνται από υλικά, ουσίες, αντικείμενα και ιζήματα που δεν είναι πλέον αποδεκτά για χρήση μετά την άνοδο του νερού. Αυτά τα υλικά μπορεί επίσης να αποτελούν απειλή για τη βιοποικιλότητα και να έχουν αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον, τη δημόσια και την ανθρώπινη υγεία. Οι πλημμύρες δημιουργούν μια απίστευτη ποσότητα μικτών, διασκορπισμένων ή συσσωρευμένων επικινδυνών και μη συντρίμμων μέσα σε λίγες ώρες ή ημέρες, περισσότερα από όσα μπορούν συνήθως να συλλεχθούν, να ταξινομηθούν, να ανακυκλωθούν και να υποστούν επεξεργασία. Δεν εξετάζεται καλά πώς αυτή η «υπερδοσολογία» υπολειμμάτων μπορεί να επηρεάσει την ανθρώπινη υγεία και το οικοσύστημα συνολικά (Vinet, 2017).



1.2.13. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗ ΑΙΤΙΑ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Σύμφωνα με την Τιτόνη (2018), καθώς η ατμοσφαιρική υγρασία αυξάνεται με τη θερμοκρασία, αυξάνεται και η πιθανότητα έντονης βροχόπτωσης, αυξάνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας. Οι καταστροφές από πλημμύρες επηρεάζονται τόσο από κλιματικούς όσο και από ανθρωπογενείς παράγοντες, με σοβαρότητα ανάλογα με την ένταση του φυσικού κινδύνου. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η υποβάθμιση του εδάφους, η αποψίλωση των δασών, οι πυρκαγιές, η αστικοποίηση και τα φτωχά δίκτυα αποστράγγισης, συμβάλλουν στην ευπάθεια και επιδεινώνουν τον κίνδυνο πλημμύρας.

Επιπλέον, κατά την Τιτόνη (2018), η αστικοποίηση μειώνει την ικανότητα του εδάφους να απορροφά το νερό της έντονης βροχόπτωσης, αυξάνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας. Η παρατεταμένη αστικοποίηση αναγκάζει οικονομικά ασθενέστερους πληθυσμούς να μετακινηθούν από τις αστικές σε αγροτικές περιοχές, αυξάνοντας τις οικονομικές επιπτώσεις των πλημμυρών. Οι παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο πλημμύρας στις αστικές περιοχές περιλαμβάνουν μειωμένα υδρογραφικά δίκτυα, ανεπαρκή υδάτινα ρεύματα, ανεπαρκή συντήρηση του δικτύου αποχέτευσης και μειωμένες διαπερατές επιφάνειες και πράσινο.

1.2.14. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Κατά την Τιτόνη (2018), οι πλημμύρες είναι υδρολογικά φαινόμενα που προκαλούν ζημιές και ανθρώπινες απώλειες, κυρίως λόγω της αλληλεπίδρασής τους με τα κοινωνικά συστήματα και τα υποσυστήματα τους. Διαταράσσουν θεμελιώδεις δομές, όπως οι παραγωγικές και κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες, και συνδέονται άμεσα με την ευπάθεια μιας κοινωνίας στις βιοφυσικές συνθήκες, την έκθεση στον κίνδυνο και την προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Οι πλημμύρες ευθύνονται για το 20-30% των οικονομικών απωλειών που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε άμεσες, έμμεσες, δευτερογενείς, άυλες και αβέβαιες.

Οι άμεσες ζημιές είναι το μεγαλύτερο ποσοστό των απωλειών, ενώ οι έμμεσες ζημιές περιλαμβάνουν αλλαγή δρομολόγησης της κυκλοφορίας, διακοπή της παραγωγής και κλείσιμο επιχειρήσεων. Οι δευτερεύουσες ζημιές αφορούν ακίνητα που δεν επηρεάζονται άμεσα αλλά επηρεάζονται από κατεστραμμένες εγκαταστάσεις. Οι άυλες ζημιές αφορούν την αξία ιστορικών τοποθεσιών ή την περιβαλλοντική υποβάθμιση, που είναι δύσκολο να υπολογιστούν σε πραγματικούς οικονομικούς όρους. Οι αβέβαιες απώλειες αφορούν άτομα που είναι πρόθυμα να πληρώσουν υψηλότερα ασφάλιστρα από τις αναμενόμενες ετήσιες ζημιές λόγω κοινωνικών και ψυχολογικών παραμέτρων (Τιτόνη, 2018).



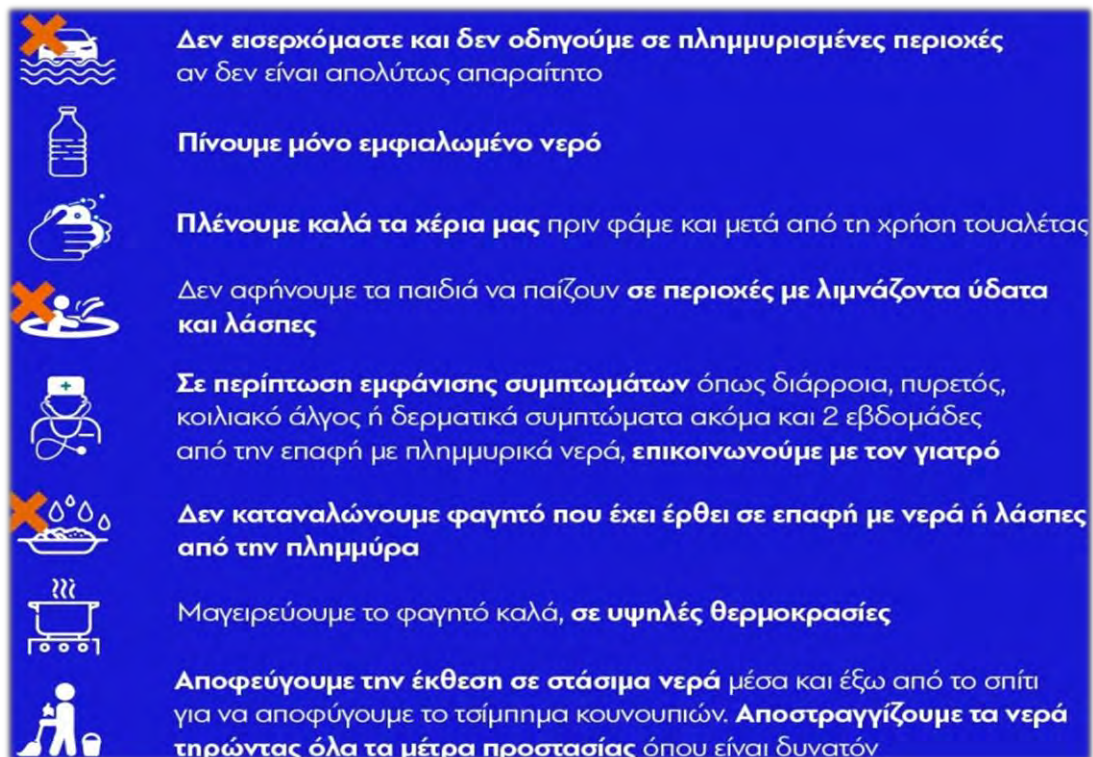
Εικόνα 17. Πλημμύρες στον Παλαμά Καρδίτσας μετά το πέρασμα της κακοκαιρίας Daniel. Πηγή: Capital.gr (2023)

1.2.15. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, οι πλημμύρες έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην υγεία και τις υπηρεσίες υγείας, με άμεσες επιπτώσεις από τις πλημμύρες και τα συντρίμια, συμπεριλαμβανομένου του πνιγμού και των τραυματισμών. Αυτά τα αποτελέσματα επιμένουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας καθαρισμού και μπορεί να επιμείνουν για μήνες ή χρόνια. Οι μακροπρόθεσμες, έμμεσες επιπτώσεις στην υγεία περιλαμβάνουν ζημιές σε υποδομές, προμήθειες τροφίμων και νερού, εκτοπισμό, διαταραχές στη ζωή των ανθρώπων και ψυχική υγεία (Menne & Murray, 2013).

Οι άμεσες επιπτώσεις σε άτομα που εκτίθενται στο νερό από πλημμύρα περιλαμβάνουν πνιγμό, τραυματισμούς, κατάρρευση κτιρίου, ηλεκτροπληξία, διάρροια, ασθένειες που μεταδίδονται από φορείς και τρωκτικά, λοιμώξεις του αναπνευστικού συστήματος, του δέρματος και των ματιών, τη χημική μόλυνση, την έλλειψη νερού και τη ρύπανση νερού λόγω της καταστροφής εγκαταστάσεων επεξεργασίας νερού και λυμάτων. Το άγχος και τα ζητήματα ψυχικής υγείας, συμπεριλαμβανομένου του εκτοπισμού, επηρεάζονται επίσης (Menne & Murray, 2013).

Οι έμμεσες επιπτώσεις των νερών πλημμύρας περιλαμβάνουν απώλεια πρόσβασης στην υγειονομική περίθαλψη, ζημιές σε υποδομές υγειονομικής περίθαλψης, υλικές ζημιές, υποδομές ύδρευσης και αποχέτευσης, ζημιές στις καλλιέργειες, διαταραχές διαβίωσης και εισοδήματος, μετακίνηση πληθυσμού, προβλήματα ψυχικής υγείας λόγω της διάρκειας ανάκαμψης από τις πλημμύρες και φόβο της υποτροπής και των έμμεσων επιπτώσεων του άγχους στην αντιμετώπιση των ασφαλιστικών απαιτήσεων και της ανακαίνισης ακινήτων (Menne & Murray, 2013).



Εικόνα 18. Οδηγίες από το Υπουργείο Υγείας για προστασία από πλημμύρα. Πηγή: Moh, Gov.Gr, 2024.

1.2.16. ANTIMETΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Η διαχείριση των πλημμυρών και η προστασία του περιβάλλοντος είναι αλληλένδετες έννοιες, καθώς ο καλύτερος έλεγχος των πλημμυρών, οδηγεί σε πιο ολοκληρωμένη περιβαλλοντική διαχείριση. Ο σωστός έλεγχος των πλημμυρικών φαινομένων είναι ένα ουσιαστικό βήμα για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους. Η αξιολόγηση των περιοχών που είναι πιο ευάλωτες σε περιστατικά πλημμύρας και οι εκτιμήσεις κινδύνου είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία της ζωής και της ιδιοκτησίας καθώς και για τη διαχείριση της λεκάνης απορροής (Ταουκίδου, 2021).

Σύμφωνα με την Τιτόνη (2018), τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας στοχεύουν στην αντιμετώπιση των συνεπειών των πλημμυρών και στη διασφάλιση της ασφαλούς διέλευσης των πλημμυρικών υδάτων. Οι παράγοντες που οδηγούν σε πλημμύρες περιλαμβάνουν περιβαλλοντικές αλλαγές, ένταση ανθρώπινης δραστηριότητας και αντιπλημμυρικά έργα. Τα προληπτικά και κανονιστικά μέτρα περιλαμβάνουν εποικοδομητικά μέτρα ελέγχου των πλημμυρών και μη δομικά μέτρα διαχείρισης πλημμυρών, τα οποία εξαρτώνται από τις τοπικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο συντονισμός σε επίπεδο λεκάνης απορροής είναι απαραίτητος για την αποτελεσματική μείωση του κινδύνου πλημμύρας.



Ακόμη, τα δομικά μέτρα περιλαμβάνουν την κατασκευή και συντήρηση τεχνικών έργων όπως φράγματα και ταμιευτήρες, που διαφοροποιούν τις πλημμύρες, μειώνουν την τρωτότητα και αποθηκεύουν νερό. Τα μη δομικά μέτρα επικεντρώνονται στην κατανόηση γεγονότων που προκαλούν ζημιές, στα προγράμματα ετοιμότητας, στις προβλέψεις, στον σχεδιασμό χρήσης γης και στον μακροπρόθεσμο ολοκληρωμένο σχεδιασμό διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας. Παραδείγματα μη δομικών μέτρων περιλαμβάνουν τη διατήρηση των δασών, τη χωροθέτηση πλημμυρικών πεδιάδων, τη ρύθμιση των κατασκευών, τη διατήρηση των μαιάνδρων των ποταμών και την εφαρμογή προγραμμάτων απαλλοτρίωσης πλημμυρικών πεδιάδων (Τιτόνη, 2018).

Επιπροσθέτως, τα μεμονωμένα μέτρα για τη μείωση του κινδύνου κατοικιών περιλαμβάνουν την ανύψωση, τη στεγανοποίηση, την κατασκευή αναχωμάτων, τις μελλοντικές εκκενώσεις και την ασφάλιση πλημμύρας. Ο συνδυασμός δομικών και μη μεθόδων είναι η πιο ρεαλιστική και αποτελεσματική λύση για την πρόληψη και την αντιμετώπιση του κινδύνου πλημμύρας (Τιτόνη, 2018).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι η χαρτογράφηση των πλημμυρών είναι μια κρίσιμη διαδικασία για την προστασία των ανθρώπων και του περιβάλλοντος με τον εντοπισμό και τη μελέτη των περιοχών που είναι ευάλωτες στις πλημμύρες. Αυτό βοηθά στην εφαρμογή βιώσιμων μέτρων και στη μείωση των καταστροφών. Η χαρτογράφηση του κινδύνου πλημμύρας είναι ιδιαίτερα επωφελής για τις κατοικημένες περιοχές, καθώς βοηθά στον αστικό σχεδιασμό και την προστασία των περιουσιακών στοιχείων. Η χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης και υδρολογικών δεδομένων, σε συνδυασμό με τα ΓΣΠ, επιτρέπει τον έγκαιρο, ορθολογικό σχεδιασμό διαχείρισης και προστασίας από πλημμύρες. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει σε αύξηση των προσπαθειών χαρτογράφησης των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες (Ταουκίδου, 2021).

1.3. ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

1.3.1. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

Σχετίζεται με την πιθανότητα έντονης ή παρατεταμένης βροχόπτωσης, η οποία μπορεί να προκαλέσει σημαντική περιβαλλοντική ζημιά. Η ανταπόκριση και η ευαισθησία του φυσικού ή αστικού περιβάλλοντος σε αυτά τα γεγονότα θα αποφασίσει εάν θα συμβεί ή όχι ζημιά, υποδεικνύοντας το βαθμό προστασίας ή την ευπάθεια του οικοσυστήματος έναντι μελλοντικών φυσικών καταστροφών (Βασισιούλα & Πολυκρέτη, 2004).



Ο κίνδυνος πλημμύρας ορίζεται από την ΚΥΑ Η.Π. 31822/1542/Ε103/2010 ως «η πιθανότητα να συμβεί μια πλημμύρα σε μια συγκεκριμένη περιοχή (ποσοτικοποιημένη μέσω βάθους νερού, ταχύτητας ροής ή άλλου χαρακτηριστικού υδρολογικού ή υδραυλικού μεγέθους) που αντιστοιχεί σε δεδομένη πιθανότητα υπέρβασης». Όσον αφορά την επιδεκτικότητα πλημμύρας, προσδιορίζει τα πιο ευάλωτα μέρη με βάση τα φυσικά στοιχεία που επηρεάζουν τις πλημμύρες. Επιπλέον, η ευαισθησία στις πλημμύρες περιγράφεται ως «η τάση μιας περιοχής να επηρεάζεται από πλημμύρες» και είναι μια ιδιότητα ενός τόπου που καθορίζεται από τη φυσική του τοπογραφία (Ταουκίδου, 2021).

1.3.2. ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

Οι πλημμύρες αποτελούν σημαντική απειλή για τις τεχνολογικές υποδομές, επηρεάζοντας σταθμούς επεξεργασίας λυμάτων, προκαλώντας μετατόπιση αγωγών και απομάκρυνση του μολυσμένου εδάφους και απορριμμάτων από επιχειρήσεις, είτε σε λειτουργία είτε κλειστές. Η διαχείριση των υπολειμμάτων από τις πλημμύρες περιλαμβάνει αναγνώριση και την ασφαλή συλλογή τους καθώς και τη χρήση ατομικού προστατευτικού εξοπλισμού για την αποφυγή άμεσης επαφής με επικίνδυνα υλικά. Τα μακροχρόνια υπολείμματα δύναται να προσελκύσουν αρουραίους και έντομα, τα οποία ενδέχεται να προκαλέσουν δερματικές και αναπνευστικές ασθένειες (Vinet, 2017).

Ακόμη, τα συστήματα βροχής και αποστράγγισης μπορεί να μολύνουν το έδαφος και το νερό όταν συνδυάζονται επικίνδυνα και μη επικίνδυνα υλικά. Τοξικοί ατμοί απελευθερώνονται κατά την καύση αποβλήτων, ειδικά όταν περιλαμβάνουν ελαστικά και πλαστικά. Τα συντρίμια που συσσωρεύονται σε φυσικές και εγκαταλελειμμένες περιοχές γίνονται σε μη διαχειριζόμενες τοποθεσίες απορριμμάτων. Η λάσπη, ρυπασμένη με επίμονους μικρορύπους ή η βαφή με βάση το μόλυβδο, διαρρέει σε πλημμυρισμένες κατοικίες, προκαλώντας ρύπανση. Τα αδέσποτα και διασκορπισμένα σκουπίδια καταστρέφουν τα φυσικά οικοσυστήματα και επηρεάζουν την υγεία πτηνών και θαλασσινών ζώων (Vinet, 2017).

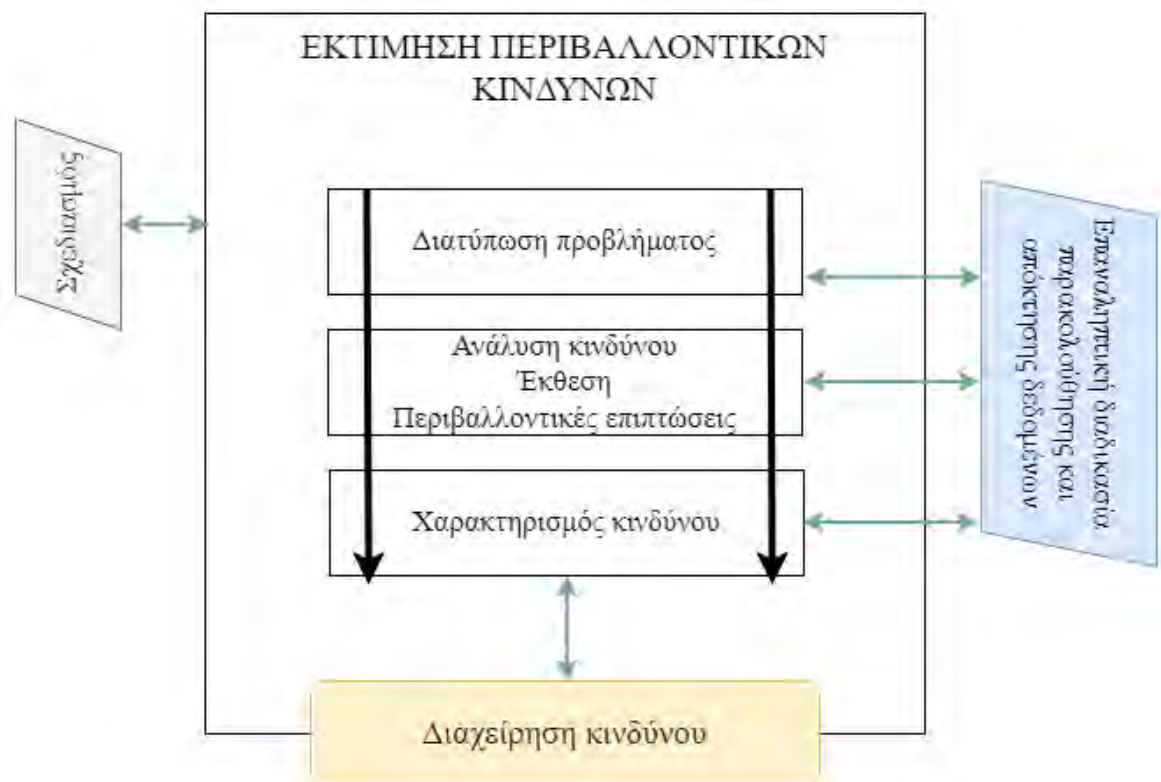
1.3.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Κατά την Zeleňáková (2012), ο κίνδυνος πλημμύρας είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού της πιθανότητας μιας πλημμύρας με τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει μια πλημμύρα στο περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά, την ανθρώπινη υγεία και την οικονομική δραστηριότητα.

Μια αρχική αξιολόγηση κινδύνου πλημμύρας θα πραγματοποιηθεί για να προσφέρει μια εκτίμηση των πιθανών κινδύνων, βασισμένη σε εύκολα προσβάσιμες ή εύκολα εξαγόμενες πληροφορίες, όπως αρχεία και έρευνες για μακροπρόθεσμες αλλαγές, ιδιαίτερα τις

επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην συχνότητα των πλημμυρών. Η αξιολόγηση θα περιλαμβάνει περιγραφή προηγούμενων πλημμυρών με σημαντικό αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα, καθώς και εκτίμηση των αρνητικών επιπτώσεων που προκλήθηκαν και την πιθανότητα παρόμοιων μελλοντικών γεγονότων. Επιπλέον, θα περιλαμβάνει πληροφορίες για την έκταση της πλημμύρας και τις οδούς μεταφοράς (Zeļeňáková, 2012).

Σύμφωνα με την οδηγία 2007/60/ΕΚ, έως τις 22 Δεκεμβρίου 2011, τα κράτη μέλη της ΕΕ θα έπρεπε να έχουν ολοκληρώσει την προκαταρκτική αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας. (DIRECTIVE 2007/60/EC). Δηλαδή, θα έπρεπε να έχουν επισημάνει τις περιοχές τις οποίες κρίνουν ότι μπορεί να υπάρχουν σημαντικοί κίνδυνοι πλημμύρας ή ότι τέτοιοι κίνδυνοι μπορεί να θεωρηθεί πιθανό να πραγματοποιηθούν με βάση τα αποτελέσματα αυτής της αξιολόγησης (Zeļeňáková, 2012).



Εικόνα 19. Διάγραμμα ροής εκτίμησης περιβαλλοντικού κινδύνου. Πηγή: Zeļeňáková (2012)

1.3.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Κίνδυνος: Υποδηλώνει τη δυνατότητα ή την πιθανότητα να συμβεί ένα συμβάν που μπορεί να οδηγήσει σε οτιδήποτε αρνητικό. Αυτό μπορεί να αφορά δραστηριότητες ή καταστάσεις που ενδέχεται να προκαλέσουν ατυχήματα, ασθένειες ή φυσικές καταστροφές. Ο κίνδυνος μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ή να υπολογιστεί σε ποσοστό ή σε πιθανολογική βάση (Robinson, 2023). Κατά τους Ασσαέλ και Κακοσίμο (2017), ο κίνδυνος είναι μια ενέργεια που ενδέχεται να βλάψει την ανθρώπινη υγεία ή και το περιβάλλον.

Επικινδυνότητα: Ο βαθμός βλάβης ή επίδρασης που προκαλείται από ένα συμβάν, εάν συμβεί, αντιπροσωπεύεται από τον όρο "κίνδυνος". Είναι ένα μέτρο της σοβαρότητας ή της βλάβης που μπορεί να προκαλέσει ένας κίνδυνος ή ένα συμβάν. Μπορεί να αξιολογηθεί με βάση τις επιπτώσεις για την υγεία, την ασφάλεια και το περιβάλλον, μεταξύ άλλων. (Robinson, 2023). Οι Ασσαέλ και Κακοσίμος (2017), ορίζουν ότι πιθανότητα είναι η πραγματοποίηση μιας συγκεκριμένης επίπτωσης, εντός δεδομένης χρονικής περιόδου ή υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Επίσης μπορεί να οριστεί και ως:

Επικινδυνότητα = Συχνότητα περιστατικού x Συνέπειες περιστατικού.

Η κατανόηση του κινδύνου και της επικινδυνότητας, μας επιτρέπει να αξιολογούμε καλύτερα και να διαχειριζόμαστε τον συνολικό κίνδυνο που σχετίζεται με μια κατάσταση ή δραστηριότητα.

1.3.5. ΑΙΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

1.3.5.1. ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Τα δάση καλύπτουν φυσικά οικοσυστήματα, μειώνοντας τις κορυφές των πλημμυρών και προστατεύοντας το υπέδαφος. Οι κλίσεις των ρεμάτων σχηματίζονται σε βαθιές χαράδρες σε λοφώδεις περιοχές, περιορίζοντας τις πλημμύρες. Η κανονική ροή νερού σχηματίζει κοίτες σε πεδινά κανάλια ρεμάτων, αλλά δεν είναι επαρκής για μεγάλες παροχές νερού, οδηγώντας σε πλημμύρες στις γειτονικές περιοχές. Η ροή του ρεύματος χωρίζεται σε κλάδους με μικρή έως καθόλου αποστράγγιση στο δέλτα των ρευμάτων, προκαλώντας υπερχειλίση και μακροχρόνιες πλημμύρες (Βασισιούλα & Πολυκρέτη, 2004).

Σύμφωνα με την Βασισιούλα και Πολυκρέτη (2004), οι πλημμύρες που δημιουργούνται από τη φύση μπορεί να είναι ευεργετικές τόσο για τις εύφορες πεδιάδες όσο και για την ανθρωπότητα. Τα πλημμυρικά νερά κατακλύζουν προσωρινά τις αγροτικές περιοχές, συμβάλλοντας στην άρδευση των αγρών. Η μακροχρόνια καθίζηση του εδάφους ή οι έντονες βροχοπτώσεις, από την άλλη πλευρά, μπορεί να έχουν καταστροφικές επιπτώσεις. Οι φυσικές πλημμύρες έχουν από καιρό αντιμετωπιστεί αρνητικά από τους ανθρώπους,



καθώς βλάπτουν τα συμφέροντά τους, εμποδίζουν τις μεταφορές, καταστρέφουν πόλεις και θέτουν σε κίνδυνο τη ζωή τους.

1.3.5.2. ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η αποψίλωση των δασών και η έλλειψη δασικών εκτάσεων στις λεκάνες απορροής οδηγούν σε αυξημένο κίνδυνο πλημμύρας, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη διάρκεια και ένταση πλημμυρών. Αυτό έχει αρνητικό αντίκτυπο στους ανθρώπινους οικισμούς και τις οικονομικές δραστηριότητες σε τοποθεσίες όπου υπάρχουν φυσικές κοίτες ποταμών. Η απορροή πλημμυρών εναπόθεσε συντρίμια, καθιστώντας τα στρώματα αναποτελεσματικά και αυξάνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας. Στα περισσότερα έθνη, τα ποτάμια παρέχουν τον υψηλότερο κίνδυνο, συμβάλλοντας σχεδόν στα δύο τρίτα όλων των καταστροφών μεταξύ 1965 και 1985. Παράγοντες όπως ο όγκος, η συχνότητα, το μήκος, η εποχή, τα ιζήματα και η αποτελεσματικότητα των υπηρεσιών πρόβλεψης, προειδοποίησης και έκτακτης ανάγκης μπορούν να επηρεάζουν όλες τις ζημιές από πλημμύρες. Ορισμένες πλημμύρες, όπως η πλημμύρα Ελ Νίνιο του 1993 στην Αμερική και η πλημμύρα Λα Νίνα του 1988 στο Μπαγκλαντές και το Σουδάν, συνδέονται με ευρύτερα ατμοσφαιρικά και ωκεάνια φαινόμενα. Οι πιο έντονες βροχοπτώσεις συχνά οδηγούν σε καταστροφικές ξαφνικές πλημμύρες, προκαλώντας σημαντικές ζημιές. (Βασισιούλα & Πολυκρέτη, 2004)

1.3.5.3. ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ο κίνδυνος πλημμύρας είναι μεγαλύτερος σε κατοικημένες περιοχές, με πολλές πόλεις να αντιμετωπίζουν καταστροφικές πλημμύρες. Οι μειωμένες διατομές κοίτης ρέματος από απρογραμματίστη κατασκευή, η καταστροφή δασών μέσω πυρκαγιών και αποψίλωσης, η μειωμένη διείσδυση και η επιφανειακή απορροή λόγω αδιαπέραστων επιφανειών, καθώς και η ακατάλληλη κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων αυξάνουν τον κίνδυνο πλημμυρών και τις άμεσες συνέπειες για τις πόλεις (Βασισιούλα & Πολυκρέτη, 2004).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται οι πόροι και οι διαδικασίες εκτίμησης του κινδύνου πλημμύρας στη Θεσσαλία, χρησιμοποιώντας Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και πολυκριτηριακή ανάλυση. Η μεθοδολογία βασίζεται στον συνδυασμό αυτών των τεχνολογιών για την ενοποίηση και ανάλυση διαφορετικών συνόλων δεδομένων, οδηγώντας σε ακριβή και αξιόπιστη αξιολόγηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας.

Η ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων γίνεται μέσω GIS, που επιτρέπει τη διαχείριση, αποθήκευση, ανάλυση και απεικόνιση γεωγραφικών πληροφοριών. Εξετάζονται οι μορφές γεωγραφικών δεδομένων (vector και raster), η λειτουργία του GIS και η χρήση του στη διαχείριση φυσικών καταστροφών. Έμφαση δίνεται στον χάρτη ευαισθησίας στις πλημμύρες, κρίσιμο εργαλείο για την κατανόηση των ευάλωτων περιοχών.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση, μέθοδος λήψης αποφάσεων με πολλαπλά και αντικρουόμενα κριτήρια, αξιοποιείται για την εκτίμηση της κοινωνικής τρωτότητας. Συγκεκριμένα, η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας (AHP) εκτιμά τη σημασία διαφόρων κριτηρίων που επηρεάζουν τον κίνδυνο πλημμύρας.

Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία δημιουργίας του χάρτη και ο υπολογισμός του δείκτη κινδύνου πλημμύρας. Ο χάρτης απεικονίζει τις πιο ευάλωτες περιοχές, ενώ ο δείκτης ποσοτικοποιεί τον κίνδυνο και επιτρέπει συγκριτική ανάλυση διαφορετικών σημείων.

2.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

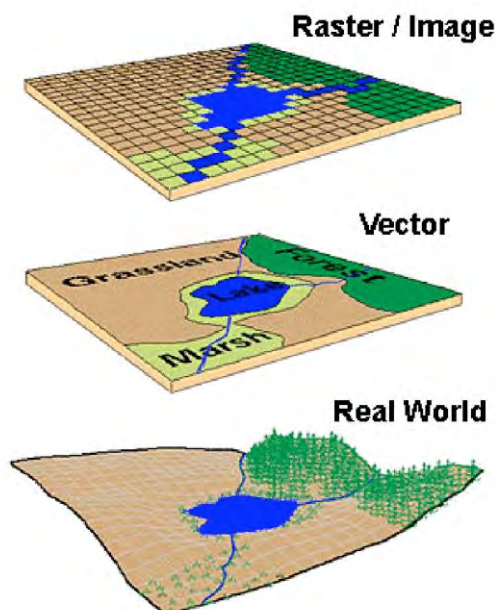
Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) είναι ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων που χρησιμοποιούνται για χωρικό σχεδιασμό, από τοπικό έως εθνικό επίπεδο. Χρησιμοποιούνται σε διάφορες προσεγγίσεις για τη διαμόρφωση και αξιολόγηση πολιτικών και προγραμμάτων που σχετίζονται με φυσικό ή περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Τα συστήματα GIS απαιτούν διαχείριση δεδομένων, αλλά κυρίως διαθέτουν εργαλεία μετασχηματισμού τους για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων. Δεν επικεντρώνονται αποκλειστικά στη διαχείριση γεωγραφικών πληροφοριών, αλλά μπορούν να αποθηκεύουν, να διαχειρίζονται, να ενσωματώνουν μεγάλες ποσότητες χωρικών δεδομένων, να παρέχουν κατάλληλη χωρική ανάλυση και να επιλύουν χωρικά προβλήματα μέσω οργάνωσης, διαχείρισης και μετατροπής μεγάλου όγκου δεδομένων (Χαραμής, 2002).

Η ανάπτυξη των GIS οδήγησε σε ομογενοποίηση και σύγκλιση όλων των συστημάτων προς μια μορφή όπου η διαχείριση, η ανάλυση και ο σχεδιασμός αποτελούν αναπόσπαστα μέρη.

Σήμερα, οι όροι «Γεωματική» και «Γεωπληροφορική» χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη γενική προσέγγιση για την επεξεργασία γεωγραφικών δεδομένων από αναγνωρισμένες επιστήμες όπως η Τοπογραφία, η Φωτογραμμετρία, η Τηλεπισκόπηση και η Γεωλογία. Αυτοί οι όροι αναφέρονται στη συλλογή, διαχείριση ή εφαρμογή γεωγραφικών δεδομένων για την επίλυση προβλημάτων με χρήση GIS. Ωστόσο, αυτές οι επιστήμες ακολουθούν τη δική τους προσέγγιση για να πετύχουν τους δικούς τους στόχους (Κουτσόπουλος, 2017).

Επιπροσθέτως, έχουν εξελιχθεί σε μια αυτόνομη επιστήμη, που εστιάζει στο σχεδιασμό, τη διαχείριση και τις αρχές της συλλογής, ανάλυσης και απόδοσης γεωγραφικών πληροφοριών. Ο όρος «Επιστήμη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών» εισάγεται για να αντιμετωπίσει τη μοναδικότητα των γεωγραφικών δεδομένων, την έρευνα που απαιτείται για την επίλυση γεωγραφικών-χωρικών προβλημάτων, την αλληλεπίδραση μεταξύ της έρευνας GIS και των σχετικών ακαδημαϊκών περιοχών και τον αντίκτυπο του GIS στην κοινωνία. Η επιστήμη αυτή, στοχεύει να παρέχει θεωρητική και οργανωτική συνοχή στην επιστημονική μελέτη των γεωγραφικών πληροφοριών, ενώ αναδιατυπώνει ή επιβεβαιώνει τις βασικές αρχές της γεωγραφίας στο πλαίσιο του GIS. Ενώ οι όροι GIS και Geomatics, Geoinformatics και Spatial Information Science δεν πρέπει να συγχέονται, όλοι προτείνουν μια επιστημονική προσέγγιση στα θεμελιώδη ζητήματα που εισάγει το GIS. Απώτερος στόχος παραμένει η χρήση λογισμικού GIS για την επίλυση σημαντικών προβλημάτων σε κοινωνικά αναγκαίους τομείς (Κουτσόπουλος, 2017).

2.1.1. ΔΟΜΕΣ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (VECTOR, RASTER)



Εικόνα 20. Τύποι δεδομένων Raster και Vector ως αντιπροσωπευτικοί του γεωγραφικού χώρου του «πραγματικού κόσμου». Πηγή: Campus Archeology Program (2021)



Οι δομές χωρικών δεδομένων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε διανυσματικές δομές, όπως σημεία, γραμμές και πολύγωνα (Vector) και σε δομές μωσαϊκού (Raster). Οι διανυσματικές δομές αντιπροσωπεύουν μοναδικά στοιχεία σε περιγραφικούς καταχωρητές δεδομένων, παρέχοντας υψηλή ανάλυση και χωρητικότητα αποθήκευσης δεδομένων. Είναι χρήσιμα για την εμφάνιση ορίων και γραμμικών δεδομένων αλλά απαιτούν ειδικούς αλγόριθμους και μεγάλους χρόνους υπολογισμού (Σκαφίδα, 2014).

Οι δομές μωσαϊκού, από την άλλη πλευρά, χρησιμοποιούνται για πληροφορίες σχετικά με διαρκώς μεταβαλλόμενα χωρικά περιβάλλοντα ή εικόνες, όπως κάλυψη εδάφους ή αεροφωτογραφίες. Είναι χρήσιμα για επικαλυπτόμενα, πυκνά και ετερογενή δεδομένα, αλλά απαιτούν προκαθορισμό χωρικής ανάλυσης, μεγαλύτερο χώρο αποθήκευσης και είναι αναποτελεσματικά για αραιά, ομοιογενή ή γραμμικά δεδομένα. Ωστόσο, οι χειρισμοί τους απαιτούν ειδικούς αλγόριθμους και μπορεί να είναι χρονοβόροι. Συνολικά, οι δομές χωρικών δεδομένων διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην κατανόηση και την ανάλυση πολύπλοκων χωρικών πληροφοριών (Σκαφίδα, 2014).

Η ανάπτυξη του GIS δίνει έμφαση στην τοπολογία, η οποία αναφέρεται σε γεωμετρικούς κανόνες που δεν μπορούν να επηρεαστούν από γεωπληροφορίες, όπως τα όρια ιδιοκτησίας. Σήμερα, το GIS είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για επαγγελματίες και βιομηχανίες, παρέχοντας δυναμικούς χάρτες και υπηρεσίες υψηλού επιπέδου σε συγκεκριμένες κατηγορίες χρηστών (Σκαφίδα, 2014).

2.1.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ GIS

Η ανάπτυξη και η εκμετάλλευση πληροφοριών μέσω GIS περιλαμβάνει διάφορα στάδια: συλλογή και εισαγωγή, επεξεργασία, ανάλυση και οπτικοποίηση. Η συλλογή περιλαμβάνει την ενσωμάτωση χωρικών και περιγραφικών στοιχείων στο σύστημα, τα οποία πρέπει να είναι ψηφιακά και να προέρχονται από υπάρχοντες χάρτες ή συλλογή μέσω ψηφιακής χαρτογράφησης. Η επεξεργασία περιλαμβάνει τη διόρθωση συστημάτων συντεταγμένων, δημιουργία σχέσεων μεταξύ δεδομένων, διόρθωση σφαλμάτων και μετάβαση μεταξύ δομών. Τα στοιχεία κατηγοριοποιούνται σε χωρικά (τοποθεσία και γεωγραφικά χαρακτηριστικά) και περιγραφικά ή μη (αξίες ή ιδιότητες). Η ανάλυση περιλαμβάνει ερωτήματα από τους χρήστες βάσει της βάσης δεδομένων και της φύσης του προβλήματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με διάφορους τρόπους, όπως αναλογικές ή ψηφιακές πλατφόρμες, διαδραστικούς χάρτες ή σε εταιρικά δίκτυα μικρότερης κλίμακας (Σκαφίδα, 2014).

Οι μηχανισμοί ανάκτησης διασφαλίζουν τον ορθολογισμό και την ακρίβεια των πληροφοριών μέσω διαβαθμισμένων κανόνων, ακρίβειας χωρικών συντεταγμένων και ποιοτικών και ποσοτικών ελέγχων. Τα βασικά κριτήρια ποιότητας δεδομένων



περιλαμβάνουν την πληρότητα, την ορθότητα, την επικαιρότητα και τη συνέπεια με τον πραγματικό κόσμο (Κουτσόπουλος, 2017).

2.1.3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ GIS ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Σύμφωνα με τον Κουτσόπουλο (2017), τα GIS χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές όπως καταγραφή και παρακολούθηση, εκτίμηση κινδύνου, σχεδιασμός εκκένωσης, συντονισμός ανάκτησης και ανασυγκρότησης καθώς και συστήματα πρόβλεψης και προειδοποίησης. Ειδικότερα, το GIS διευκολύνει την εκτίμηση κινδύνου πλημμύρας, την ανάλυση ορυζώνων πλημμύρας, τη μοντελοποίηση πλημμύρας, την εκτίμηση ζημιών και τον σχεδιασμό διαχείρισης κινδύνου. Παράλληλα, υποστηρίζει και εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση του κοινού. Συλλέγει, αναλύει και παρουσιάζει δεδομένα σχετικά με φυσικές καταστροφές, αξιολογεί κινδύνους με βάση γεωλογικά και μετεωρολογικά στοιχεία καθώς και δεδομένα ανθρώπινης κατοίκησης και υποδομών. Επιπλέον, βοηθά στον σχεδιασμό εκκένωσης, συντονίζει τις προσπάθειες ανάκτησης και ανασυγκρότησης και δημιουργεί μαθηματικά μοντέλα πλημμύρας λαμβάνοντας υπόψη γεωγραφικά χαρακτηριστικά. Τέλος, συμβάλλει επίσης στη δημιουργία συστημάτων προειδοποίησης, σχεδίων έκτακτης ανάγκης και προγραμμάτων πρόληψης.

2.1.4. ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο χάρτης κινδύνου πλημμύρας (flood susceptibility map) είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό περιοχών που είναι πιο ευαίσθητες σε πλημμύρες και την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Εκχωρεί βάρη σε επίπεδα δεδομένων που επηρεάζουν την εμφάνιση πλημμυρών και χρησιμοποιεί λογισμικό GIS για να δημιουργήσει έναν χάρτη που υποδεικνύει τη χωρική κατανομή των επιρρεπών σε πλημμύρες περιοχές και την πιθανή έκταση της πλημμύρας. Ο χάρτης δείχνει διαφορετικά επίπεδα κινδύνου πλημμύρας, που κυμαίνονται από χαμηλό έως υψηλό, ανάλογα με την πιθανότητα και τη σοβαρότητα της πλημμύρας. Οι παράγοντες που εξετάζονται περιλαμβάνουν τη γεωγραφία, την τοπογραφία, την υδρολογία, την ιστορική συχνότητα και την ένταση των πλημμυρών και υδρολογικές δομές όπως ποτάμια, ρυάκια και λίμνες (Domanikis, 2020).

Η ευαισθησία στις πλημμύρες μπορεί να αναλυθεί χρησιμοποιώντας ποιοτικές και ποσοτικές τεχνικές όπως τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, λόγος συχνότητας, διεργασία αναλυτικής ιεραρχίας (AHP), λογιστική παλινδρόμηση και προσαρμοστικό σύστημα νευροασαφούς διεπαφής (ANFIS). Οι τεχνικές χρησιμοποιούν παράγοντες που σχετίζονται με τα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής, όπως μορφομετρικά χαρακτηριστικά, γεωλογικά δεδομένα, δεδομένα κάλυψης γης και πυκνότητα υδρογραφικών δικτύων (Ταουκίδου, 2021).

Η χαρτογράφηση τρωτότητας από τις πλημμύρες είναι ζωτικής σημασίας για τη μελλοντική πρόληψη και διαχείριση των πλημμυρών, καθώς βοηθά στον εντοπισμό περιοχών με μεγαλύτερη ευπάθεια στις πλημμύρες. Ο χάρτης κινδύνου πλημμύρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη πολιτικών πρόληψης και διαχείρισης κινδύνων, την άμεση χωρική ανάπτυξη, τη λήψη αποφάσεων σχεδιασμού υποδομής και τη διασφάλιση της ετοιμότητας για τις πλημμύρες (Domanikis, 2020)

Η πολυκριτηριακή ανάλυση είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ευαισθησίας στις πλημμύρες. Οι μελέτες φυσικών κινδύνων απαιτούν χρόνο και ακρίβεια για σκοπούς μετριάσμού και έγκαιρης προειδοποίησης, επομένως θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ενδιάμεσες μέθοδοι απόδοσης και αξιοπιστίας (Ταουκίδου, 2021).

Σύμφωνα με την Ταουκίδου (2021), οι χάρτες ευαισθησίας στις πλημμύρες χρησιμεύουν ως βάση για περαιτέρω ανάλυση, όπως χαρτογράφηση κινδύνου και πλημμύρας, και είναι χρήσιμα εργαλεία για τον σχεδιασμό χρήσης γης, τη λήψη αποφάσεων και τη διαχείριση περιβαλλοντικών κινδύνων σε περιοχές που είναι επιρρεπείς στις πλημμύρες. Η περιοχή μελέτης ταξινομείται σε βαθμούς κινδύνου από πολύ χαμηλό έως πολύ υψηλό.

2.2. ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα προβλήματα λήψης αποφάσεων, όπως η κατάταξη, η επιλογή και η ταξινόμηση, είναι πολύπλοκα και συχνά περιλαμβάνουν διάφορους παράγοντες. Για τη λήψη βιώσιμων και περιβαλλοντικά φιλικών αποφάσεων, οι άνθρωποι λαμβάνουν πλέον πολλαπλά κριτήρια. Οι τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων έχουν αναπτυχθεί για να υποστηρίξουν τους υπεύθυνους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Αυτές οι μέθοδοι παρέχουν τεχνικές για την εύρεση της βέλτιστης λύσης και έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων (Ταουκίδου, 2021).

Ο Τατάκης (2018), θεωρεί ότι μια αξιόπιστη και αποτελεσματική τεχνική για το συνδυασμό όλων των παραγόντων στην επίτευξη μιας επιλογής είναι η πολυκριτηριακή ανάλυση απόφασης (MCA). Αυτή η τεχνική, εκτός από τη σύνθεση των δεδομένων, συνεπάγεται την αξιολόγηση του προβλήματος σύμφωνα με τις αρχές του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων, λαμβάνοντας υπόψη ανταγωνιστικούς και αντικρουόμενους παράγοντες. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει μια ενιαία, καθολικά εφαρμόσιμη λύση για κάθε ζήτημα απόφασης και ότι οι προσεγγίσεις πολλαπλών κριτηρίων δεν μπορούν να δώσουν τις βέλτιστες απαντήσεις. Κατά συνέπεια, έχει αφιερωθεί πολύς χρόνος στην έρευνα για τη δημιουργία πιο ευέλικτων θεωριών και διαδικασιών, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις διάφορες προοπτικές και επιτρέπουν πιο προσαρμόσιμες επιλογές κατά τη λήψη αποφάσεων.

Κατά τον Dean (2020), ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων (Multi-Criteria Analysis (MCA), επίσης γνωστή ως λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων (Multi-Criteria Decision Making (MCDM)), ανάλυση απόφασης πολλαπλών κριτηρίων (Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA)), ανάλυση απόφασης πολλαπλών στόχων, λήψη αποφάσεων πολλαπλών χαρακτηριστικών ή πολλαπλών χαρακτηριστικών. Η MCDA, είναι μια συλλογή μεθόδων, τεχνικών και εργαλείων που λαμβάνουν υπόψη πολλαπλούς στόχους και κριτήρια σε προβλήματα λήψης αποφάσεων. Από τα τέλη του 20ου αιώνα, οι μέθοδοι MCA έχουν αποκτήσει αυξανόμενο ενδιαφέρον μεταξύ των ερευνητών και των επαγγελματιών που εργάζονται σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της πολιτικής μεταφορών και του σχεδιασμού.

Σε μια άλλη αναφορά, ο Τατάκης (2018) περιγράφει την πολυκριτηριακή ανάλυση απόφασης (MCA) ως μια συλλογή τεχνικών που βοηθούν στη σύνθεση πολλαπλών κριτηρίων αξιολόγησης, επιτρέποντας την επιλογή, την κατηγοριοποίηση και την περιγραφή μιας ομάδας πιθανών τρόπων δράσης. Ο πρωταρχικός στόχος της μελέτης είναι να παρέχει στον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων τους απαραίτητους πόρους για να αντιμετωπίσει τα ζητήματα, σταθμίζοντας πολλά, συχνά αντιφατικά, κριτήρια με τα διαθέσιμα μέσα.

Ενώ η MCA είναι χρήσιμη για τη διαμόρφωση πολύπλοκων προβλημάτων, δεν εγγυάται πάντα καλύτερες αποφάσεις. Υπάρχει μια αποσύνδεση μεταξύ θεωρίας και πρακτικής αξιολόγησης, με πολλές μεθόδους της ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας να μη χρησιμοποιούνται συχνά στην πράξη. Από τη δεκαετία του 1930, η ανάγκη για συστηματικές αξιολογήσεις αυξήθηκε, οδηγώντας στην υιοθέτηση επίσημων μεθόδων για τη διασφάλιση τεκμηριωμένων αποφάσεων και την ανταπόκριση στις προκλήσεις βιώσιμης ανάπτυξης (Dean, 2020).

Η MCA δεν είναι μια συγκεκριμένη μέθοδος, αλλά ένας όρος-ομπρέλα που καλύπτει διάφορες τεχνικές και εργαλεία μέσω των οποίων πολλαπλοί στόχοι και κριτήρια απόφασης ενσωματώνονται επίσημα στην ανάλυση ενός προβλήματος. Οι ρίζες της MCA είναι αρχαίες και συνδέονται με μελέτες κλασικών οικονομολόγων και μαθηματικών, που επίσης αποτελούν τη βάση ανάλυσης κόστους-οφέλους (CBA). Η εξέλιξη της MCA έχει επηρεαστεί από την έρευνα σε διάφορους τομείς, με αποτέλεσμα να περιλαμβάνει πολλά υποπεδία και διαφορετικές σχολές σκέψης (Dean, 2020).

Επιπροσθέτως, η MCA έχει αποκτήσει σταδιακά σημασία ως προσέγγιση αξιολόγησης σε διάφορους τομείς, όπως η οικολογία, η βιωσιμότητα και η περιβαλλοντική επιστήμη, η λήψη αποφάσεων για την υγειονομική περίθαλψη, τα τραπεζικά και οικονομικά, ο αστικός και περιφερειακός σχεδιασμός, καθώς και η αξιολόγηση έργων μεταφορών (Dean, 2020).

Με λίγα λόγια, το MCDA είναι μια προσέγγιση και ένα σύνολο τεχνικών που στοχεύουν στη παροχή μιας συνολικής σειράς επιλογών, από τις πιο προτιμώμενες έως τις λιγότερο προτιμώμενες. Διασπά το πρόβλημα σε διαχειρίσιμα κομμάτια, επιτρέποντας τη συλλογή



δεδομένων και την αξιολόγηση κάθε κομματιού ξεχωριστά. Ο αριθμός των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται ποικίλλει ανάλογα με τη φύση του προβλήματος που αντιμετωπίζεται. Όσο περισσότερα κριτήρια λαμβάνονται υπόψιν, τόσο πιο ακριβής είναι η λύση (Ταουκίδου, 2021). Ο σκοπός του MCDA είναι να υποστηρίξει τη σκέψη και τη λήψη αποφάσεων, όχι να πάρει την απόφαση. Παρέχει διάφορους τρόπους ανάλυσης ενός σύνθετου προβλήματος, μετρώντας τον βαθμό στον οποίο οι επιλογές επιτυγχάνουν τους στόχους, σταθμίζοντας τους στόχους και συνδυάζοντας τα δεδομένα σε μια ενιαία αξιολόγηση.

2.2.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Κατά τον Tsangaratos et al (2013), η λήψη αποφάσεων είναι μια κρίσιμη πτυχή της καθημερινής ζωής και της επιστημονικής μελέτης, καθώς περιλαμβάνει την επιλογή μεταξύ διαφόρων εναλλακτικών λύσεων και την εξέταση των συνεπειών τους. Τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) είναι εργαλεία που βοηθούν στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων μέσω της εφαρμογής διαφόρων μεθόδων λήψης αποφάσεων. Η διαδικασία περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του στόχου, την επιλογή κριτηρίων ή παραμέτρων, την επιλογή εναλλακτικών λύσεων, την επιλογή μεθόδων καθορισμού βαρών, τις μεθόδους αξιολόγησης και τέλος, τη λήψη αποφάσεων με βάση τα αποτελέσματα.

Τα τελευταία χρόνια η εφαρμογή των Συστημάτων Λήψης Αποφάσεων σε GIS έχει αυξηθεί σημαντικά. Το Σύστημα Υποστήριξης Χωρικών Αποφάσεων (SDSS) είναι ένα διαδραστικό σύστημα που βασίζεται σε υπολογιστή που έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει τους χρήστες στην επίτευξη υψηλότερης αποτελεσματικότητας στη λήψη αποφάσεων, ενώ επιλύουν ημιδομημένα προβλήματα χωρικής απόφασης. Τα GIS ονομάζονται συχνά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων λόγω της ικανότητάς τους να επεξεργάζονται χωρικές πληροφορίες και να λύνουν χωρικές εξισώσεις (Tsangaratos et al., 2013).

Η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των προβλημάτων νερού και ο αριθμός των παραγόντων που τα επηρεάζουν έχουν κάνει τη λήψη αποφάσεων μια σχετικά δύσκολη διαδικασία. Παρά τα πολυάριθμα συστήματα λήψης αποφάσεων που αναπτύχθηκαν για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, η ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων σε αυτόν τον τομέα έχει αναγνωριστεί ευρέως (Ταουκίδου, 2021).

Κατά την Ταουκίδου (2021), τα Συστήματα Λήψης Αποφάσεων μπορούν να επεξεργαστούν την πολυπλοκότητα των προβλημάτων διαχείρισης πλημμυρών, βοηθώντας στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων. Η πρόοδος στη θεωρία αποφάσεων, τις εγκαταστάσεις πολυμέσων και τις υπολογιστικές ικανότητες έχει προσφέρει νέες ευκαιρίες για την ανάπτυξη και την εφαρμογή Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων. Αυτά τα συστήματα συμβάλλουν στη βελτίωση του βιώσιμου μετριασμού του κινδύνου πλημμύρας και στην αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.



Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν στους χρήστες να αναλύουν υδρολογικά δεδομένα, να εφαρμόζουν υδρολογικά μοντέλα προσομοίωσης, να εκτελούν μοντέλα κατανομής νερού λεκάνης απορροής και να μελετούν τον αντίκτυπο διαφόρων πιθανών αποφάσεων. Έχουν σχεδιαστεί για να έχουν πρόσβαση και να παρουσιάζουν υδρολογικά δεδομένα, να ολοκληρώνουν την υδρολογική μοντελοποίηση και να προσδιορίζουν την ικανότητα ενός ποταμού να καλύψει τη μελλοντική ζήτηση νερού (Ταουκίδου, 2021).

2.2.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Σύμφωνα με το Τμήμα Κοινοτήτων και Τοπικής Αυτοδιοίκησης του Ηνωμένου Βασιλείου (Communities and Local Government, 2009), η διαδικασία λήψης αποφάσεων για μελλοντικές προτάσεις δράσης θα πρέπει να ακολουθεί την ακόλουθη σειρά: προσδιορισμός στόχων, προσδιορισμός επιλογών για την επίτευξη στόχων, προσδιορισμός κριτηρίων για σύγκριση επιλογών, ανάλυση επιλογών, λήψη επιλογών και τροφοδότηση της απόφασης. Η διαδικασία μπορεί να ισχύει για την ανάπτυξη πολιτικής, προγράμματος ή έργου, συμπεριλαμβανομένων των σταδίων του προσδιορισμού στόχων, του εντοπισμού επιλογών, της λήψης επιλογών και της τροφοδότησης της απόφασης.

2.2.3. ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΕΥΠΑΘΕΙΑ

Κατά τους Fernandez et al. (2016), η προσέγγιση πολυκριτηριακής ανάλυσης απόφασης που βασίζεται σε GIS, αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για χωρικό σχεδιασμό, καθώς συνδυάζει χωρικά δεδομένα και αξιολογικές κρίσεις για την ανάλυση της κοινωνικής ευπάθειας. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει τον καθορισμό βασικών εννοιών όπως κριτήρια, στόχοι, χαρακτηριστικά, παράγοντες και περιορισμοί. Τα κριτήρια είναι τα μέτρα βάσει των οποίων οι επιλογές αξιολογούνται και συγκρίνονται, δομημένα ως στόχοι και χαρακτηριστικά. Οι στόχοι υποδεικνύουν τις επιθυμητές κατευθύνσεις αλλαγής σε ένα σύστημα, ενώ τα χαρακτηριστικά προσδιορίζουν τις ιδιότητες της διαδικασίας που αξιολογείται. Οι παράγοντες ενισχύουν ή μειώνουν την καταλληλότητα μιας συγκεκριμένης εναλλακτικής λύσης, ενώ οι περιορισμοί επηρεάζουν ή περιορίζουν τις διαθέσιμες εναλλακτικές λύσεις.

Η μεθοδολογική διαδικασία για την αξιολόγηση της κοινωνικής ευαλωτότητας συνίσταται στην καθιέρωση της ιεραρχικής δομής του μοντέλου, στην τυποποίηση των κριτηρίων, στη στάθμιση των κριτηρίων και στη χαρτογράφηση σεναρίων κοινωνικής ευαλωτότητας. Καθορίζεται η ιεραρχική δομή των κριτηρίων απόφασης και οι στόχοι, τα χαρακτηριστικά και οι παράγοντες τους και οι αριθμητικές κλίμακες των παραγόντων κοινωνικής ευπάθειας τυποποιούνται χρησιμοποιώντας συναρτήσεις ιδιότητας μέλους ασαφούς συνόλου. Το σχετικό βάρος του κριτηρίου κοινωνικής ευαλωτότητας εκτιμάται χρησιμοποιώντας τη διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας (AHP) και οι μέθοδοι συγκέντρωσης όπως ο σταθμισμένος



γραμμικός συνδυασμός (WLC) και ο διατεταγμένος σταθμισμένος μέσος (OWA) χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση σεναρίων κοινωνικής ευπάθειας (Fernandez et al. 2016).

2.2.4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS - AHP)

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας (AHP), σύμφωνα με τον Ramanathan (2004), είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη πολυκριτηριακή μέθοδος που ενσωματώνει διαδικασίες αξιολόγησης και συγκέντρωσης για την εύρεση των πιο σχετικών εναλλακτικών, που προτάθηκε από τον Saaty στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Χρησιμοποιεί μια ιεραρχική δομή για να προσδιορίσει τη σημασία των παραγόντων στα προβλήματα λήψης αποφάσεων. Η AHP χρησιμοποιείται συχνά, διότι μπορεί να χειριστεί περίπλοκες καταστάσεις και να λάβει υπόψη τις υποκειμενικές απόψεις των υπευθύνων λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, λόγω της ευελιξίας της μεθόδου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για την παροχή χωρικών μελετών, όπως αυτές για την αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας (Ταουκίδου, 2021).

Κατά την Ταουκίδου (2021), η διαδικασία AHP περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας ιεραρχίας για τη λήψη αποφάσεων και τη λήψη βαρών για κριτήρια. Τα βάρη ταξινομούνται με ιεραρχικό τρόπο και για κάθε κριτήριο προκύπτει ένας πίνακας σύγκρισης κατά ζεύγη. Η σημασία κάθε κριτηρίου φαίνεται μέσω της αριθμητικής κλίμακας σύγκρισης, επιτρέποντας συγκρίσεις με βάση τη σημασία.

Κατά τον Saaty (1990), κάθε κριτήριο εξετάζεται κατά ζεύγη για συνάφεια σε σχέση με το πρόβλημα της επιλογής μόλις δημιουργηθεί η ιεραρχική δομή. Σε μια κλίμακα από το 1 έως το 9, όπου το 1 υποδηλώνει την μικρή συνάφεια και το 9 τη μεγάλη σημασία, αυτές οι συγκρίσεις πραγματοποιούνται μεταξύ των δύο κριτηρίων. Αυτές οι συγκρίσεις δίνουν συγκριτικούς πίνακες, από τους οποίους χρησιμοποιείται ανάλυση ιδιοτιμών για τον προσδιορισμό των βαρών του κριτηρίου. Μια συνολική βαθμολογία δημιουργείται για κάθε εναλλακτική λύση αθροίζοντας τις βαθμολογίες των εναλλακτικών και τα βάρη των κριτηρίων.

Περιγραφή	Αριθμητική Αξία
Εξαιρετικά σημαντικό	9
	8
Πάρα πολύ σημαντικό	7
	6
Πολύ σημαντικό	5
	4
Αρκετά σημαντικό	3
	2
Σημαντικό	1

Πίνακας 1: Αριθμητική κλίμακα σύγκρισης κατά ζεύγη του Saaty (1990)

Στη συνέχεια, κατά τον Saaty (1990), δημιουργείται ένας τελικός πίνακας χρησιμοποιώντας την «κατά προσέγγιση μέθοδο», η οποία κανονικοποιεί τον αρχικό συγκριτικό πίνακα διαιρώντας την τιμή κάθε γραμμής με το άθροισμα κάθε στήλης. Τα τελικά βάρη των κριτηρίων εξάγονται μέσω του κανονικοποιημένου πίνακα.

Απαιτείται έλεγχος συνέπειας, καθώς το AHP δέχεται μια μικρή ποσότητα ασυνέπειας, συχνά λόγω ανθρώπινου λάθους. Η μικρή ασυνέπεια είναι αποδεκτή, ενώ η αναγκαστική συνέπεια χωρίς ακριβείς τιμές είναι ανεπιθύμητη. Ο έλεγχος συνέπειας πραγματοποιείται με την εξαγωγή ενός αριθμητικού λόγου συνέπειας CR , ο οποίος δίνεται από την ακόλουθη σχέση (1.1):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1.1)$$

όπου CR ο λόγος συνέπειας, CI ο δείκτης συνέπειας και RI ο τυχαίος δείκτης συνέπειας.

Η τιμή του τυχαίου δείκτη συνέπειας RI , παρέχεται από τον παρακάτω πίνακα. Οι τιμές του έχουν προσδιοριστεί σύμφωνα με το μέγεθος των κριτηρίων όπως δίνεται στον πίνακα 2. Στην παρούσα μελέτη για $n=6$ το $RI = 1,24$.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Πίνακας 2: Τιμές τυχαίου δείκτη RI (Ταουκίδου, 2021)

Ο δείκτης συνέπειας CI υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση (1.2):

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (1.2)$$

όπου n το μέγεθος των κριτηρίων και λ_{max} η μεγαλύτερη ψευδοτιμή στον πίνακα σύγκρισης.

Σύμφωνα με τον Saaty (1990), ο αριθμητικός λόγος συνέπειας CR μπορεί να δεχθεί τιμές έως και 0,10. Στις περιπτώσεις που αυτός ο λόγος είναι μεγαλύτερος από 0,10, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί επανεξέταση του αρχικού πίνακα σύγκρισης.

2.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

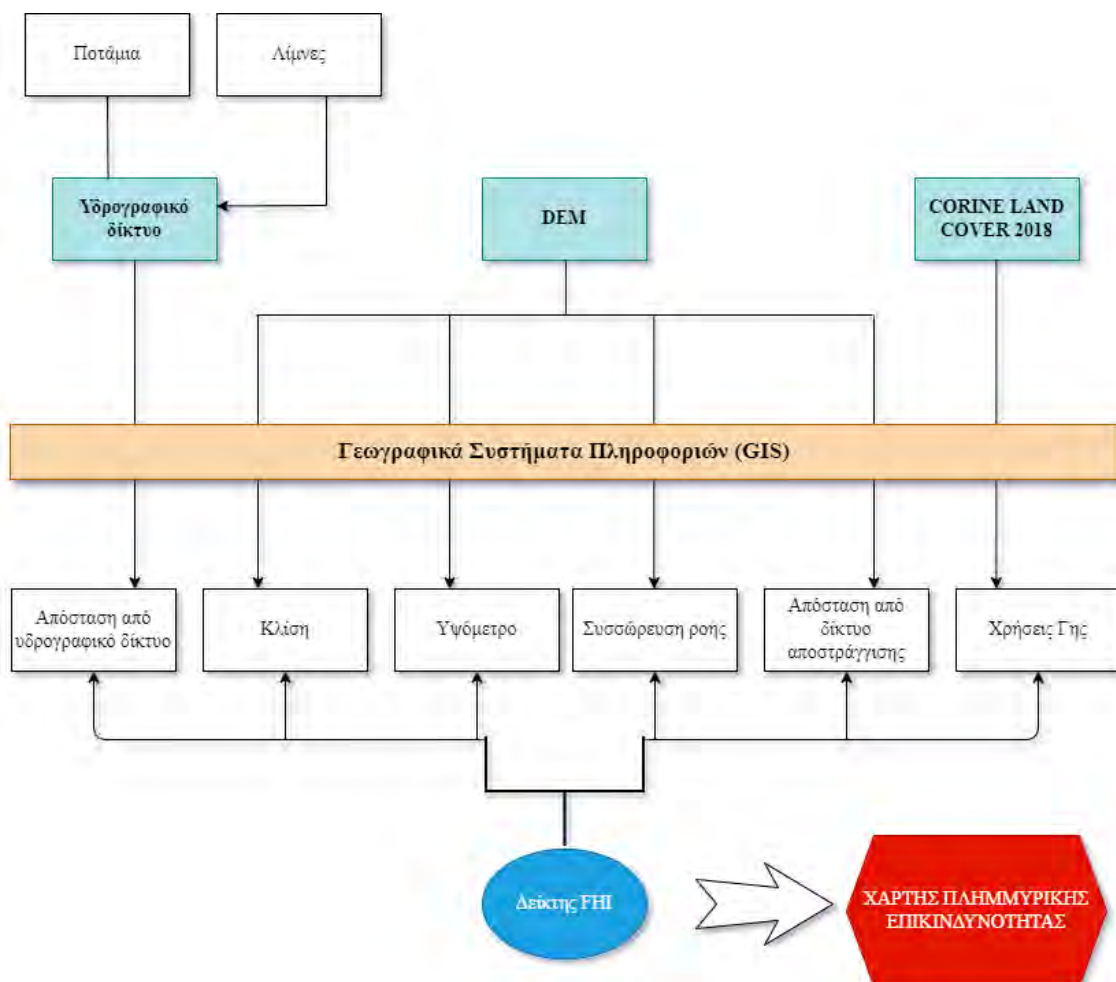
Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται σε αυτή τη διατριβή είναι μια χωρική πολυκριτηριακή ανάλυση που αναλύει δεδομένα από έξι παραμέτρους (κριτήρια) σε ένα περιβάλλον GIS. Αυτές είναι η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο (distance from hydrographic network, H), οι χρήσεις γης (land use, L), η κλίση εδάφους (slope, S), το υψόμετρο (elevation, E), η συσσώρευση ροής του επιφανειακού ύδατος (flow accumulation, F) και η απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης (distance from drainage network, D). Η προσέγγιση χρησιμοποιείται σε ένα πλαίσιο GIS για την εξαγωγή του Δείκτη Επικινδυνότητας Πλημμύρας (FHI) και του Χάρτη Ευαισθησίας Πλημμύρας με την υπέρθεση των θεματικών χαρτών των ακόλουθων παραμέτρων. Η διεργασία αναλυτικής ιεραρχίας (AHP) χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των βαρών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό FHI. Στις πέντε κατηγορίες τιμών που προκύπτουν από τους θεματικούς χάρτες των παραμέτρων εκχωρούνται βαθμοί κινδύνου, με αποτέλεσμα τους τελικούς βαθμονομημένους χάρτες. Αυτοί οι χάρτες χρησιμεύουν ως δεδομένα εισόδου για την εξαγωγή του χάρτη ευαισθησίας σε πλημμύρες και του FHI.

2.3.1. ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Κατά την Ταουκίδου (2021), οι χάρτες κινδύνου πλημμύρας χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό τοποθεσιών που είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμύρες. Για να δείξουν τη γεωγραφική κατανομή των πλημμυρικών περιοχών και την πιθανή έκταση των πλημμυρών, κατασκευάζονται με χρήση λογισμικού GIS. Το GIS χρησιμοποιείται για τον συνδυασμό μεταβλητών εισόδου και δεδομένων χρησιμοποιώντας ορισμένες μαθηματικές και λογικές συνδέσεις. Τεχνικές όπως τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, ο λόγος συχνότητας, η διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας, η λογιστική παλινδρόμηση και το προσαρμοστικό σύστημα νευροασαφούς διεπαφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη της ευαισθησίας στις πλημμύρες. Λαμβάνονται υπόψη οι φυσικές παράμετροι της περιοχής, συμπεριλαμβανομένης της πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου, των μορφομετρικών χαρακτηριστικών και των δεδομένων για την κάλυψη γης.

Η ανάλυση ευαισθησίας πλημμύρας είναι ένα σημαντικό μέρος της έρευνας για την υδρολογία των ποταμών και η χαρτογράφηση της ευπάθειας στις πλημμύρες είναι κρίσιμη για τη διαχείριση και την πρόληψη μελλοντικών πλημμυρών. Μια από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ευαισθησίας στις πλημμύρες είναι η πολυκριτηριακή ανάλυση. Η ανάλυση ευπάθειας είναι ένα εξέχον πεδίο μελέτης και για την έγκαιρη προειδοποίηση και τον μετριασμό των επιπτώσεων, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη προσεγγίσεις με ενδιάμεση απόδοση και αξιοπιστία. Σε περιοχές επιρρεπείς σε πλημμύρες, οι χάρτες ευαισθησίας στις πλημμύρες είναι χρήσιμοι για τον σχεδιασμό χρήσης γης, τη λήψη αποφάσεων και τη διαχείριση περιβαλλοντικών κινδύνων. Αυτοί οι χάρτες, αποτελούν επίσης τη βάση για πρόσθετη ανάλυση και χαρτογράφηση κινδύνων και πλημμυρών (Ταουκίδου 2021).

2.3.2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Εικόνα 21. Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας

Ο Δείκτης Κινδύνου Πλημμύρας (Flood Hazard Index - FHI) είναι ένας γεωγραφικός δείκτης που βασίζεται σε GIS και υπολογίζεται με χρήση QGIS. Το σχήμα στην εικόνα 21 απεικονίζει το διάγραμμα ροής μεθοδολογίας για την ανάπτυξη χάρτη επικινδυνότητας πλημμύρας χρησιμοποιώντας τον δείκτη κινδύνου πλημμύρας (FHI) σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS). Τα δεδομένα από το υδρογραφικό δίκτυο (ποτάμια και λίμνες), το DEM (Ψηφιακό μοντέλο εδάφους) και το CORINE Land Cover 2018 είναι όλα ενσωματωμένα στο GIS. Το αρχείο DEM και το υδρογραφικό δίκτυο αντλήθηκαν από τον περιβαλλοντολόγο και καθηγητή Ι. Φαρασλή και έχουν χωρική ανάλυση περίπου 10x10 μέτρων, με διαστάσεις X: 3063 και Y: 1523. Όσον αφορά το αρχείο CORINE, προήλθε από την Υπηρεσία Παρακολούθησης Γης Copernicus και έχει χωρική ανάλυση 100x100 μέτρων, με διαστάσεις X: 2114 και Y: 1693. Αυτές οι πληροφορίες αναλύονται και μεταφράζονται σε επιμέρους χαρακτηριστικά, όπως η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, η κλίση, το υψόμετρο, η συσσώρευση ροής, η απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης και η χρήση γης. Αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του δείκτη FHI, ο οποίος βοηθά στη δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας πλημμύρας.

Χρησιμοποιώντας την άλγεβρα χαρτών και τους θεματικούς χάρτες των παραμέτρων και κριτηρίων, προκύπτει ο δείκτης κινδύνου πλημμύρας σύμφωνα με τη σχέση (2.1), όπως έχει προταθεί σε παρόμοιες μελέτες από την Ταουκίδου (2021) και τον Σούρλα (2021).

$$FHI = \sum_{i=1}^n r_i * w_i \quad (2.1)$$

όπου FHI ο δείκτης επικινδυνότητας πλημμύρας, r_i οι παράμετροι – κριτήρια της μεθοδολογίας, w_i οι συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων και n το πλήθος των κριτηρίων.

Σύμφωνα με τις παραμέτρους – κριτήρια που θα εξετάσουμε στην παρούσα εργασία η σχέση 2.1. διαμορφώνεται ως εξής:

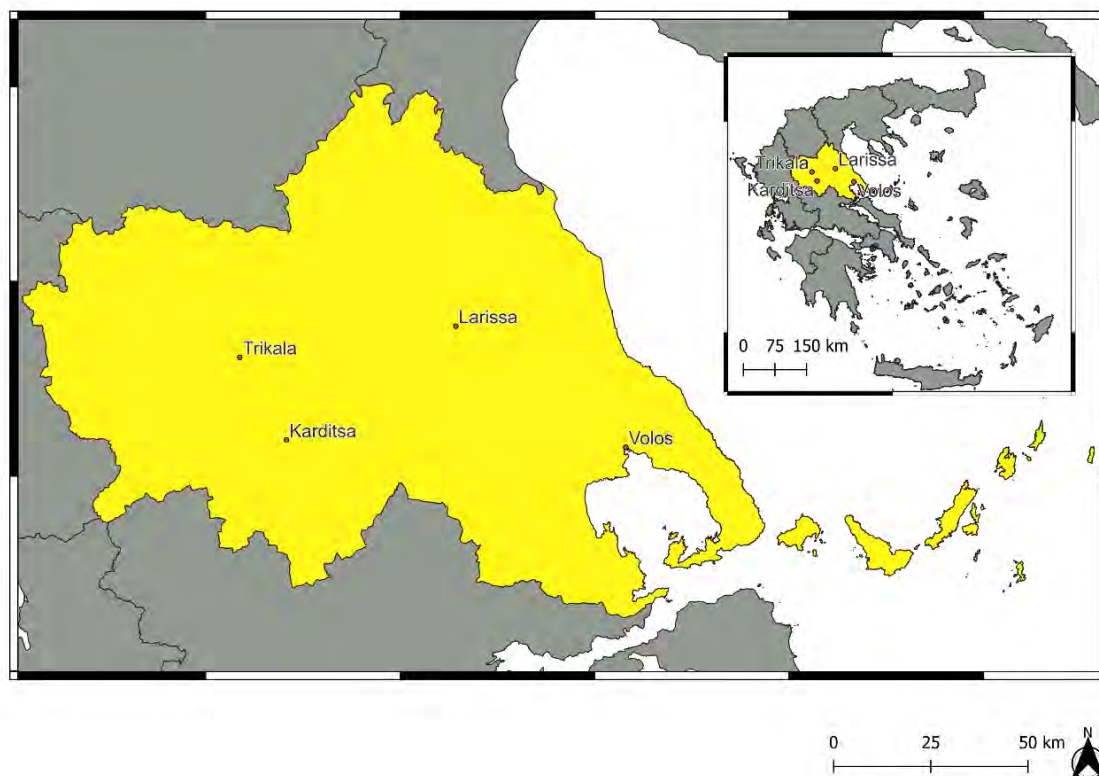
$$FHI = H * w_H + L * w_L + S * w_S + E * w_E + F * w_F + D * w_D \quad (2.2)$$

όπου FHI ο δείκτης επικινδυνότητας πλημμύρας, H η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, w_H ο συντελεστής βαρύτητας της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο, L οι χρήσεις γης, w_L ο συντελεστής βαρύτητας των χρήσεων γης, S η κλίση, w_S ο συντελεστής βαρύτητας της κλίσης εδάφους, E το υψόμετρο, w_E ο συντελεστής βαρύτητας του υψομέτρου, F η συσσώρευση ροής, w_F ο συντελεστής βαρύτητας της συσσώρευσης ροής, D η απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης, w_D ο συντελεστής βαρύτητας της απόστασης από το δίκτυο αποστράγγισης. Οι συντελεστές βαρύτητας του FHI είναι αυτοί οι οποίοι υπολογίστηκαν μέσω της Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεραρχίας, σύμφωνα με την Ταουκίδου, (2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Εικόνα 22. Χαρτογράφηση περιοχής έρευνας (Περιφέρεια Θεσσαλίας)

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται η προσέγγιση εκτίμησης του κινδύνου πλημμύρας στη Θεσσαλία, η οποία επιλέχθηκε λόγω της ιστορίας της σε καταστροφές από πλημμύρες και της οικονομικής της σημασίας ως πεδινή περιοχή με υψηλή γεωργική παραγωγή. Αρχικά, οριοθετείται η ερευνητική περιοχή, συμπεριλαμβανομένων των γεωγραφικών και φυσικών χαρακτηριστικών της. Στη συνέχεια συζητούνται οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της προσέγγισης εκτίμησης κινδύνου πλημμύρας, με έμφαση στη χρήση της ΑΗΡ και στη δημιουργία θεματικών χαρτών της περιοχής έρευνας.

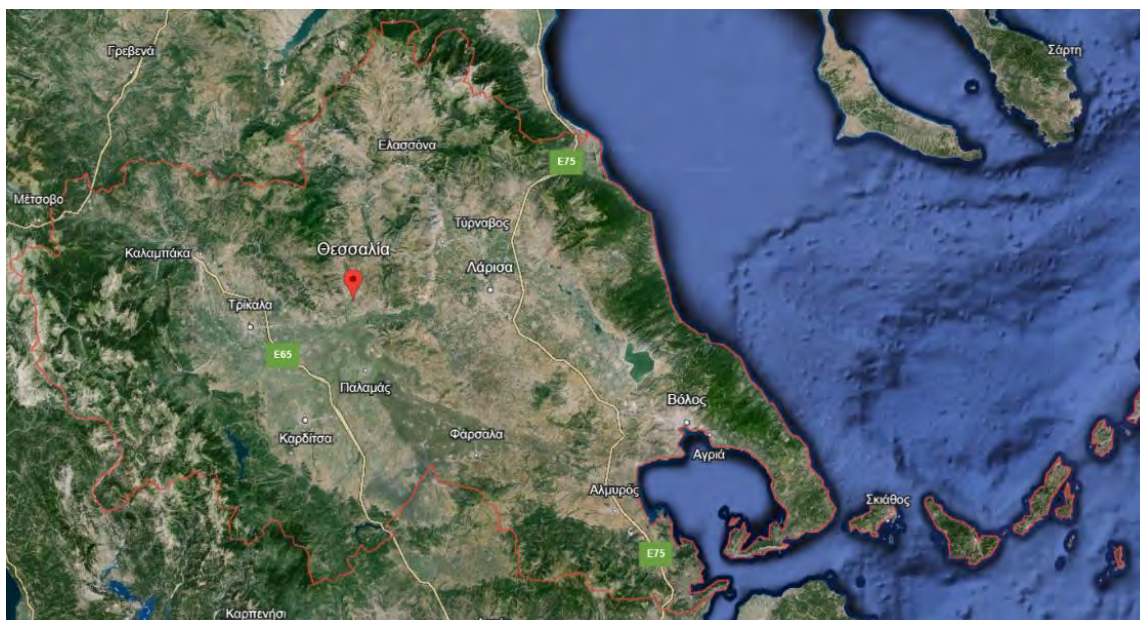
Αρχικά, εξετάζονται οι γεωμορφολογικές πτυχές της περιοχής, συμπεριλαμβανομένης της γεωλογίας και της φυσικής κληρονομιάς. Το κλίμα και η ένταση των βροχοπτώσεων είναι βασικά ζητήματα, καθώς έχουν σημαντικό αντίκτυπο στον κίνδυνο πλημμύρας. Η ανάλυση της περιοχής λεκάνης απορροής είναι κρίσιμη για την κατανόηση των υδρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής.

Επιπλέον, το DEM είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη της τοπογραφίας και την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας. Περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης του DEM για την περιοχή έρευνας και ο τρόπος χρήσης του στις επόμενες αναλύσεις. Η τεχνική αξιολόγηση επικινδυνότητας πλημμύρας στην περιοχή μελέτης πραγματοποιείται με τη χρήση εργαλείων και δεδομένων GIS, συνδυάζοντας διαφορετικά κριτήρια για τη δημιουργία του τελικού χάρτη επικινδυνότητας πλημμύρας. Επιπρόσθετα, η ΑΗΡ χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της συγκριτικής σημασίας των παραγόντων που επηρεάζουν τον κίνδυνο πλημμύρας, παρουσιάζοντας την εφαρμογή της στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων.

Τέλος, ένα κρίσιμο εργαλείο για την οπτικοποίηση δεδομένων και την κατανόηση της χωρικής κατανομής της πλημμυρικής επικινδυνότητας, είναι οι θεματικοί χάρτες της περιοχής μελέτης, οι οποίοι αποτυπώνουν το δίκτυο αποστράγγισης, το υδρογραφικό δίκτυο, τις χρήσεις γης, τη συσσώρευση ροής, την κλίση και το υψόμετρο. Κάθε χάρτης περιλαμβάνει μια μελέτη του επιπέδου κινδύνου πλημμύρας που σχετίζεται με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα της περιοχής.

3.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1.1. Η ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΚΑΙ Η ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ



Εικόνα 23. Η περιφέρεια Θεσσαλίας από το Google Earth, © 2024 Google, Image Landsat/Copernicus

Η Θεσσαλία, μια περιοχή στην κεντρική Ελλάδα, καλύπτει 140.550 km² και φιλοξενεί το 10,7% της συνολικής έκτασης της χώρας. Χαρακτηρίζεται από απλή γεωγραφία με ορεινά τμήματα περιμετρικά και πεδιάδες στις κεντρικές περιοχές. Η πεδιάδα της Θεσσαλίας έχει ηπειρωτικό κλίμα λόγω των βουνών της, ενώ τα δυτικά υψίπεδα είναι ορεινά με άφθονες χιονοπτώσεις και υψηλές βροχοπτώσεις. Η περιοχή περιβάλλεται από τα βουνά της Πίνδου στα δυτικά, τον Όλυμπο στα βόρεια, την Όσσα στα ανατολικά και τον Παγασητικό κόλπο στα νότια. Η ευρεία κοιλάδα της Θεσσαλίας, που περιβάλλεται από βουνά, προσφέρει μια εξαιρετική γεωργική περιοχή, με σημαντική καλλιέργεια σιτηρών, φρούτων και λαχανικών. Η περιοχή έχει επίσης πλούσια ιστορία και πολιτισμό, με αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία που τεκμηριώνουν το παρελθόν της (INSETE, 2019).

3.1.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η γεωλογία της Θεσσαλίας είναι ποικίλη και περίπλοκη. Αποτελείται κυρίως από πολυάριθμους τύπους γεωλογικών σχηματισμών ως αποτέλεσμα της γεωλογικής ιστορίας της περιοχής για εκατομμύρια χρόνια. Επιπλέον, η Πίνδος και ο Όλυμπος αποτελούν μέρος της οροσειράς των Δυτικών Βαλκανίων. Αυτά τα βουνά αποτελούνται κυρίως από πετρώματα όπως σχιστόλιθος, ορυκτά και άλλα, καθώς και από μια ποικιλία από πέτρες που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας της περιοχής. Επιπροσθέτως, η Θεσσαλία διαθέτει επίσης πεδινά τμήματα με καλό έδαφος ως αποτέλεσμα της διεύθυνσης του ποταμού, όπως ο Πηνειός, που οδήγησε στην κατασκευή γεωλογικών σχηματισμών όπως η Θεσσαλική Κοιλάδα. Τέλος, η περιοχή έχει επηρεαστεί από τη σεισμική δραστηριότητα ως αποτέλεσμα της γεωλογικής της θέσης, με την Ελλάδα να βρίσκεται σε μια περιοχή όπου συναντώνται η ευρασιατική και η αφρικανική πλάκα, με αποτέλεσμα τους σεισμούς που συμβαίνουν συχνά στην περιοχή (INSETE, 2019).

Ένας γεωλογικός χάρτης βοηθά στην εκτίμηση της επικινδυνότητας πλημμύρας, προσδιορίζοντας τις γεωτεκτονικές ζώνες και τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων μιας περιοχής. Αυτές οι πληροφορίες είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της διαπερατότητας του εδάφους και της ικανότητας αποστράγγισης. Οι περιοχές με πετρώματα χαμηλής διαπερατότητας είναι πιο ευάλωτες στις πλημμύρες επειδή το νερό απορροφάται πιο δύσκολα στο έδαφος, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη επιφανειακή απορροή. Ως αποτέλεσμα, γεωλογικά χαρακτηριστικά όπως ο ασβεστόλιθος ή ο φλύσχης επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο το νερό ταξιδεύει και αποθηκεύεται από κάτω (Ταουκίδου, 2021).

3.1.3. ΦΥΣΙΚΗ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ

Η περιοχή είναι πλούσια σε χερσαία, θαλάσσια και υδάτινα οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένων πάνω από 1.000 ειδών, με 155 να θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικά και 45 να προστατεύονται από διεθνείς συμβάσεις. Κύριος ποταμός είναι ο Πηνειός, με τους παραποτάμους του Ενιππέα, Κλινοβίτικο, Πορταϊκό, Πάμισο, Καρδίσιώτικο, Μηκάνη, Τρικαλινό, Νεοχωρίτη, Τιταρίσιο, Κομέρη, Καλομοίρη, Καστανιώτικο κ.α. Οι σημαντικότερες λίμνες της Θεσσαλίας περιλαμβάνουν την τεχνητή λίμνη Ταυρόπου ή Πλαστήρα, την τεχνητή λίμνη Κεφαλόβρυσου, τη λίμνη Στεφανιάδα ή Βρωμολίμνη, Στροφυλία και τη λίμνη του Αγίου Γεωργίου στη Σκιάθο. Το έργο αποκατάστασης της αποξηραμένης λίμνης Κάρλας βρίσκεται υπό κατασκευή (INSETTE, 2019).

Η περιοχή διαθέτει πολυάριθμες θεσμοθετημένες περιοχές προστασίας, όπως μέρος του Εθνικού Δρυμού-Εθνικού Δάσους Ολύμπου, ενός Εθνικού Θαλάσσιου Πάρκου (Βόρειες Σποράδες Αλόνησος), 29 περιοχές του Ευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου NATURA 2000, 7 αισθητικά δάση, 2 διατηρητέα φυσικά μνημεία, 2 Συνεδριακές Περιοχές της Βαρκελώνης, ένα Μνημείο Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς (UNESCO), Μετέωρα, 52 καταφύγια άγριας ζωής και 31 παραδοσιακοί οικισμοί (INSETTE, 2019).

3.1.4. ΚΛΙΜΑ

Το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται από τη μοναδική γεωγραφική της θέση στη Μεσόγειο και το πλούσιο ανάγλυφο. Κατατάσσεται στην εύκρατη ηπειρωτική κλιματική ζώνη του βόρειου ημισφαιρίου και χαρακτηρίζεται από ήπιους και βροχερούς χειμώνες, ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και παράκτιες περιοχές λόγω της παρουσίας θαλασσών. Η ηπειρωτική χώρα καταλαμβάνει το 80% της συνολικής έκτασης, ενώ τα νησιά το 20% λόγω της γεωγραφικής τους θέσης και του ανάγλυφου τους. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από λιγότερο από 8°C στις ορεινές περιοχές έως 19,8°C στις νοτιότερες ακτές. Η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από λιγότερο από 300mm στις Κυκλάδες έως πάνω από 2000mm στην Πίνδο. Η Ομβρόσκια, που προκαλείται από την οροσειρά της Πίνδου, επηρεάζει τη δυτική και κεντρική Ελλάδα. Αυτή η ποικιλία δημιουργεί ένα μωσαϊκό κλίματος που συνδυάζει χαρακτηριστικά τόσο των βαλκανικών χωρών στη Βόρεια Ελλάδα όσο και της ανατολικής Μεσογείου στο νότιο τμήμα της χώρας (EMY, n.d.).

Σύμφωνα με τον Παπαθανασίου (2020), η Θεσσαλία έχει ηπειρωτικό κλίμα με μεσογειακές επιρροές σε παράκτιες περιοχές όπως ο Βόλος. Οι μεγάλες πόλεις της Θεσσαλίας περιλαμβάνουν τη Λάρισα, η οποία έχει ζεστά καλοκαίρια με θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 35 βαθμούς Κελσίου, ο Βόλος, ο οποίος έχει ήπιο κλίμα λόγω του Αιγαίου, τα Τρίκαλα, που έχουν ζεστά καλοκαίρια και κρύους χειμώνες και η Καρδίτσα, που έχει ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και κρύους, υγρούς χειμώνες.

Οι ορεινές περιοχές της Θεσσαλίας, όπως τα Άγραφα και ο Όλυμπος, χαρακτηρίζονται από ψυχρότερα και υγρότερα κλίματα, με σκληρούς χειμώνες και χιονοπτώσεις, ενώ τα καλοκαίρια είναι πιο ήπια και πιο δροσερά. Η μορφολογία της Θεσσαλίας δημιουργεί διάφορα μικροκλίματα που επηρεάζουν την τοπική γεωργία, τη βλάστηση και τις καθημερινές δραστηριότητες. Η γεωγραφική ποικιλότητα της περιοχής συνεπάγεται σημαντικές διαφορές στις καιρικές συνθήκες μεταξύ των πόλεων και των ορεινών περιοχών, καθιστώντας τη Θεσσαλία μια περιοχή με κλιματική ποικιλία. Οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες το καλοκαίρι και πιο συχνές το φθινόπωρο και τον χειμώνα (Παπαθανασίου, 2020).

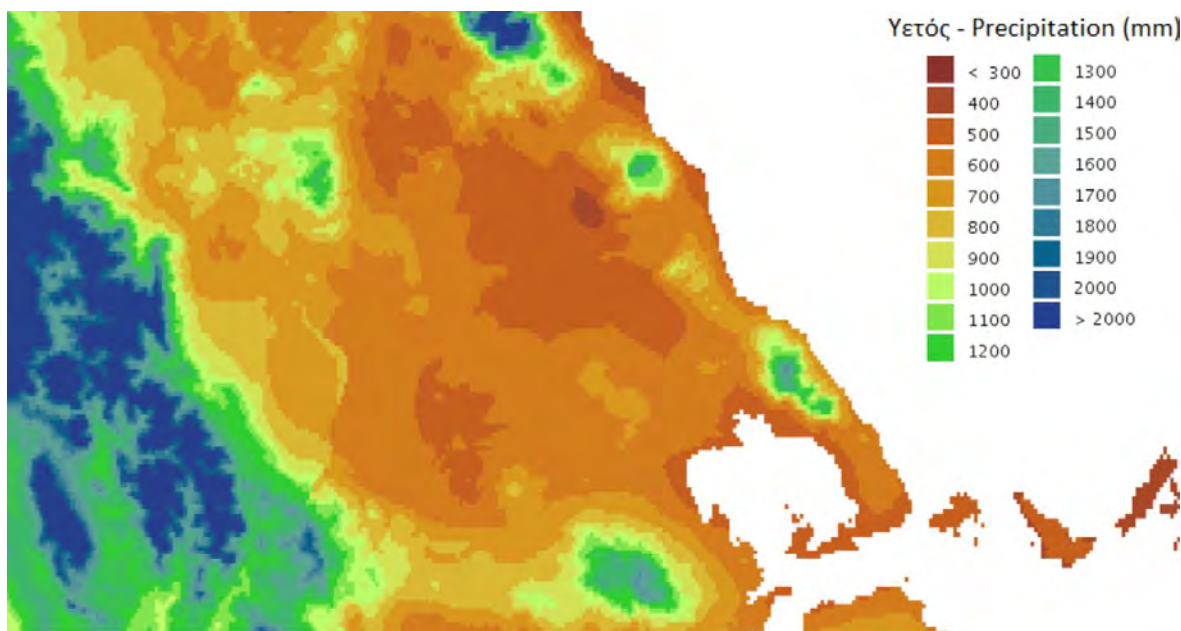
Η εικόνα 24 απεικονίζει τις κλιματικές περιοχές της Ελλάδας, με διαφορετικές ζώνες, που αντιπροσωπεύουν ποικίλα κλίματα. Η Θεσσαλία, που βρίσκεται στο κέντρο, παρουσιάζει ψυχρότερο κλίμα σε σύγκριση με τις παράκτιες περιοχές και έχει ξηρά καλοκαίρια. Οι δυτικές και ορεινές περιοχές που έχουν ορεινό κλίμα με κρύους χειμώνες, δροσερά καλοκαίρια και βροχοπτώσεις όλη τη διάρκεια του έτους.



Εικόνα 24. Χάρτης διαφόρων κλιματικών περιοχών της Ελλάδας. Πηγή: quora.com

3.1.5. ΕΝΤΑΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Η εικόνα 25 απεικονίζει έναν χάρτη υετού (προβλεπόμενης βροχόπτωσης) για την περιοχή της Θεσσαλίας, όπως παρέχεται από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY). Ο χάρτης δείχνει την κατανομή του ετήσιου υετού σε χιλιοστά (mm) σε διάφορα σημεία της περιοχής για την περίοδο 1971-2000. Τα επίπεδα βροχόπτωσης στη Θεσσαλία είναι εμφανή, με την οροσειρά της Πίνδου να είναι η πιο επιρρεπής σε υψηλές ποσότητες. Η ετήσια βροχόπτωση σε αυτές τις περιοχές μπορεί να ξεπεράσει τα 1200 mm, με ορισμένες κορυφές να φτάνουν τα 2000 mm. Τα πεδινά και τα παράκτια τμήματα της ανατολικής Θεσσαλίας δέχονται λιγότερες βροχοπτώσεις, με ετήσια βροχόπτωση να κυμαίνεται μεταξύ 400-600 mm. Αυτή η διακύμανση οφείλεται κυρίως στις ορογραφικές επιδράσεις των ορεινών όγκων. Ένας τέτοιος χάρτης παρέχει κρίσιμα δεδομένα για την κατανόηση των περιοχών που είναι πιο επιρρεπείς σε έντονες βροχοπτώσεις, κάτι που μπορεί να επηρεάσει τον σχεδιασμό υποδομών και την ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου.



Εικόνα 25. Ένταση υετού από τον Κλιματικό Άτλαντα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) από το 1971 έως το 2000

3.1.6. ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Είναι μια περιοχή όπου υδρολογικά κατανεμημένα εδάφη, όπως ποτάμια ή ρυάκια, ρέουν σε μια κοινή έξοδο όπως ένας ωκεανός, ένας κόλπος ή μια λίμνη. Είναι ζωτικής σημασίας για την υδρολογία και τη διαχείριση των υδατικών πόρων, καθορίζοντας την κυκλοφορία του νερού και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε μια συγκεκριμένη περιοχή (Μάρης n.d.).

Ένας χάρτης λεκάνης απορροής παρέχει μια λεπτομερή απεικόνιση της τοπογραφίας μιας περιοχής, αποκαλύπτοντας πώς το νερό συγκεντρώνεται και ρέει προς ένα κεντρικό σημείο



όπως ένα ποτάμι ή μια λίμνη. Δείχνει τα όρια των λεκανών απορροής, όπου το νερό συλλέγεται από πηγές όπως βροχή ή χιόνι και ρέει σε χαμηλότερο κεντρικό σημείο. Ο χάρτης δείχνει επίσης τη δομή των ροών και την κατανομή των υδάτινων ρευμάτων, προσδιορίζοντας τις περιοχές που είναι πιο ευάλωτες σε πλημμύρες. Καταγράφει τοπογραφία με γραμμές περιγράμματος, επιτρέποντας την κατανόηση των πιο απότομων περιοχών και των υψηλότερων σημείων, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση πιθανών πλημμυρών.

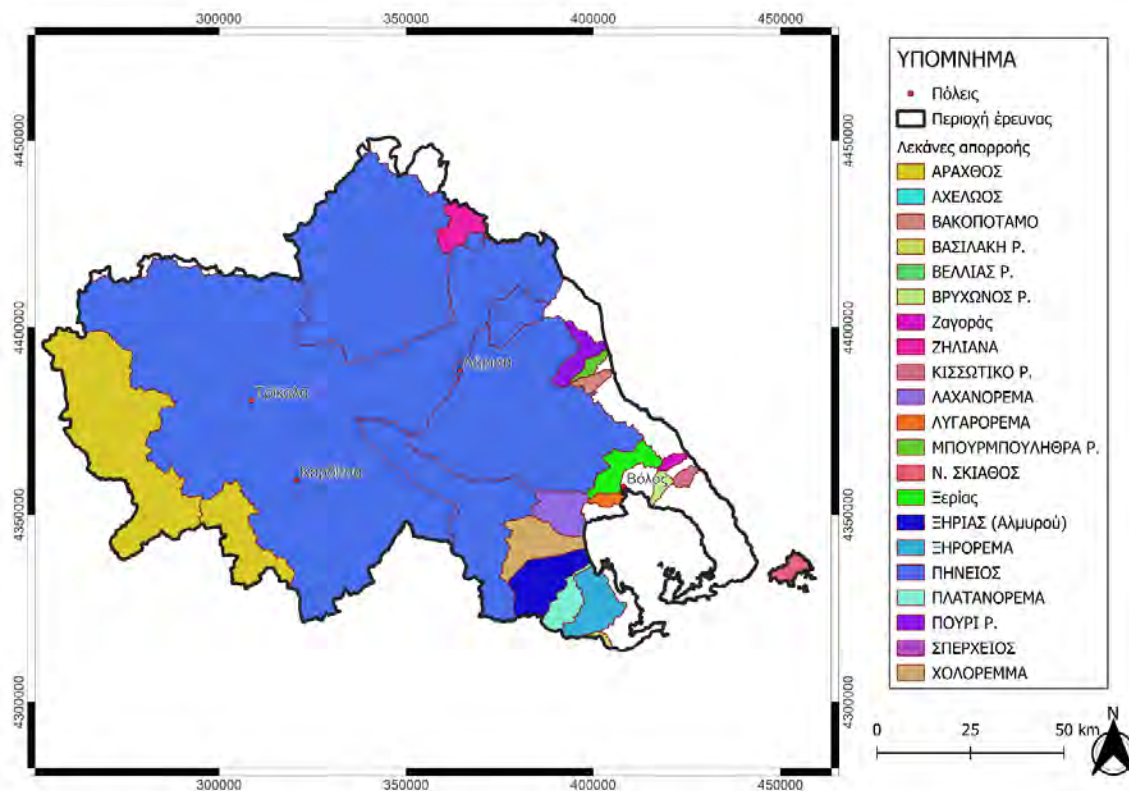
Επιπροσθέτως, είναι απαραίτητος για την ανάλυση και την αντιμετώπιση του κινδύνου πλημμύρας σε μια περιοχή. Δείχνει λεκάνες απορροής, τις περιοχές όπου το νερό συγκεντρώνεται και ρέει σε ένα κεντρικό σημείο και βοηθά στην πρόβλεψη της ροής του νερού σε διάφορα σημεία. Αυτό βοηθά στην αξιολόγηση των περιοχών που μπορεί να υποστούν σοβαρές ζημιές από μια πλημμύρα και λαμβάνει προληπτικά μέτρα για την προστασία τους. Επιπλέον, ο χάρτης λεκάνης απορροής μας βοηθά να κατανοήσουμε τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στη ροή του νερού, επιτρέποντάς μας να προετοιμαστούμε για μελλοντικές προκλήσεις. Συνολικά, είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση των κινδύνων πλημμύρας και τη λήψη αποτελεσματικών μέτρων πρόληψης και προστασίας.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η λεκάνη απορροής της Θεσσαλίας είναι ένα σύνθετο υδρολογικό σύστημα που σχηματίζεται από έναν αριθμό ποταμών και ρεμάτων, όπως ο Πηνειός και ο Αχελώος. Αυτά τα υδρολογικά συστατικά αναμειγνύονται με την τοπική υδρογεωλογία, η οποία αποτελείται από υδροφορείς και υπόγεια ρέματα. Άλλα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν τις τεχνητές λίμνες Πλαστήρα και Κάρλα. Οι βροχοπτώσεις και η διάβρωση στην περιοχή μπορούν να μετρηθούν με τη βοήθεια του κλίματος. Η κατανόηση αυτών των στοιχείων είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων στην περιοχή (geodata.gov.gr., 2015).

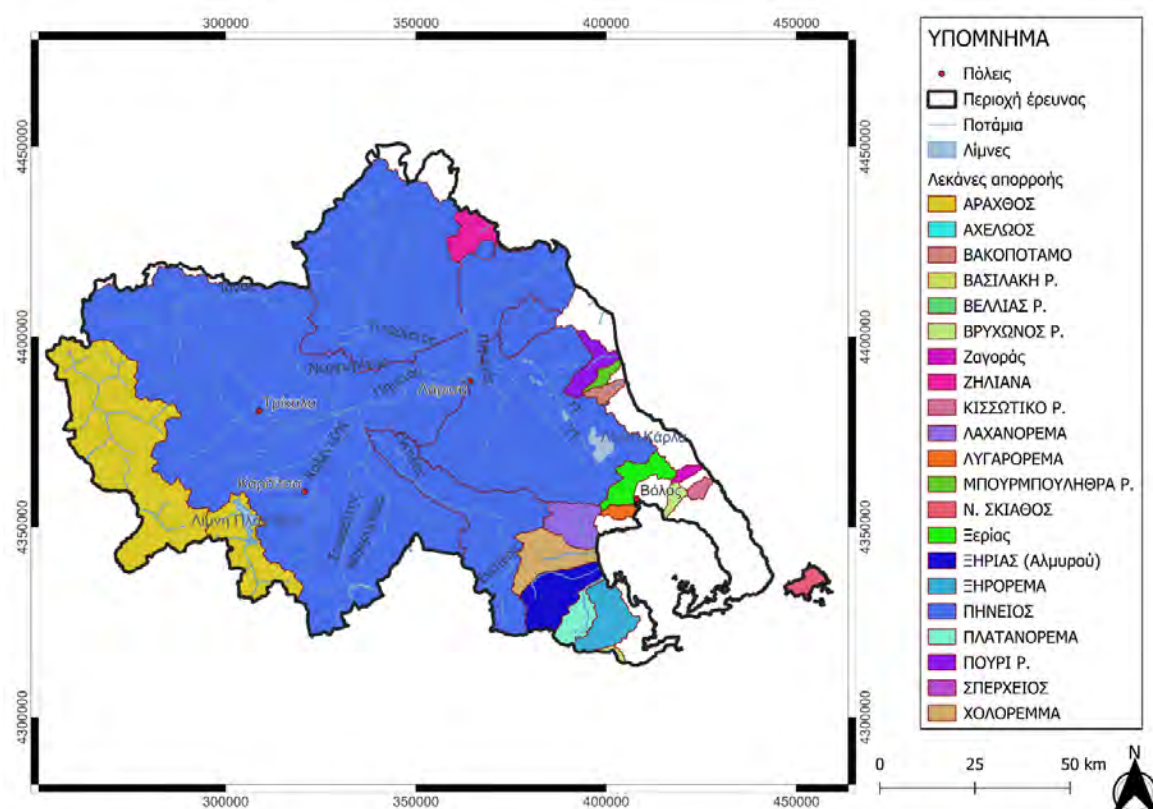
Η γεωγραφική θέση και η γεωλογία της Θεσσαλίας την καθιστούν σημαντική λεκάνη απορροής για τον Πηνειό ποταμό. Η περιοχή είναι μια χαμηλή, πλατιά πεδιάδα που περιβάλλεται από ορεινούς όγκους όπως ο Όλυμπος και η Πίνδος, που συμβάλλουν στη συγκέντρωση του νερού που ρέει από τις βουνοπλαγιές προς τη θεσσαλική πεδιάδα. Το έδαφος στη Θεσσαλία είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά και ιδανικό για τη γεωργία, καθιστώντας την μια σημαντική γεωργική περιοχή. Το νερό που συλλέγεται είναι ζωτικής σημασίας για την άρδευση και τη γεωργία, καθιστώντας αναγκαίες τις αρδευτικές υποδομές. Η Θεσσαλία είναι επίσης γνωστή για τις συχνές πλημμύρες λόγω της χαμηλής θέσης και της υψηλής ροής ποταμών. Ποτάμια όπως ο Πηνειός τείνουν να υπερχειλίζουν κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων ή λιώσιμο χιονιού από τα γύρω ορεινά, καταλαμβάνοντας μεγάλες

λεκάνες απορροής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των λεκανών απορροής άλλων ποταμών της περιοχής (geodata.gov.gr., 2015).



ΕικόνΑ 26. Χαρτογράφηση λεκανών απορροής της Θεσσαλίας

Ο χάρτης στην ΕικόνΑ 26, δημιουργημένος στο πρόγραμμα QGIS, απεικονίζει τις λεκάνες απορροής ποταμών της Θεσσαλίας, όπως ορίζονται και χαρτογραφούνται από την Εθνική Επιτροπή Υδάτων της 16ης Ιουλίου 2010, απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων (ΦΕΚ 1383/8/2-9-10 και ΦΕΚ 1572/Β/28-9-10). Τα δεδομένα προέρχονται από τη βάση δεδομένων Hydroscope (geodata.gov.gr, 2015). Με χρωματική κωδικοποίηση, ο χάρτης αναπαριστά τις λεκάνες απορροής, όπου όλο το νερό που πέφτει καταλήγει σε ένα κοινό σημείο. Είναι χρήσιμος στην έρευνα κινδύνου πλημμύρας, επιτρέποντας τον εντοπισμό περιοχών υψηλού κινδύνου και την ανάλυση υδρολογικών δεδομένων για προβλέψεις. Υποστηρίζει τον σχεδιασμό προληπτικών μέτρων, όπως έργα αντιπλημμυρικής προστασίας, και συμβάλλει στον χωροταξικό σχεδιασμό για τη μείωση του κινδύνου ζημιών. Επίσης, ευαισθητοποιεί το κοινό και υποστηρίζει τις αρχές στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και την πολιτική προστασία.



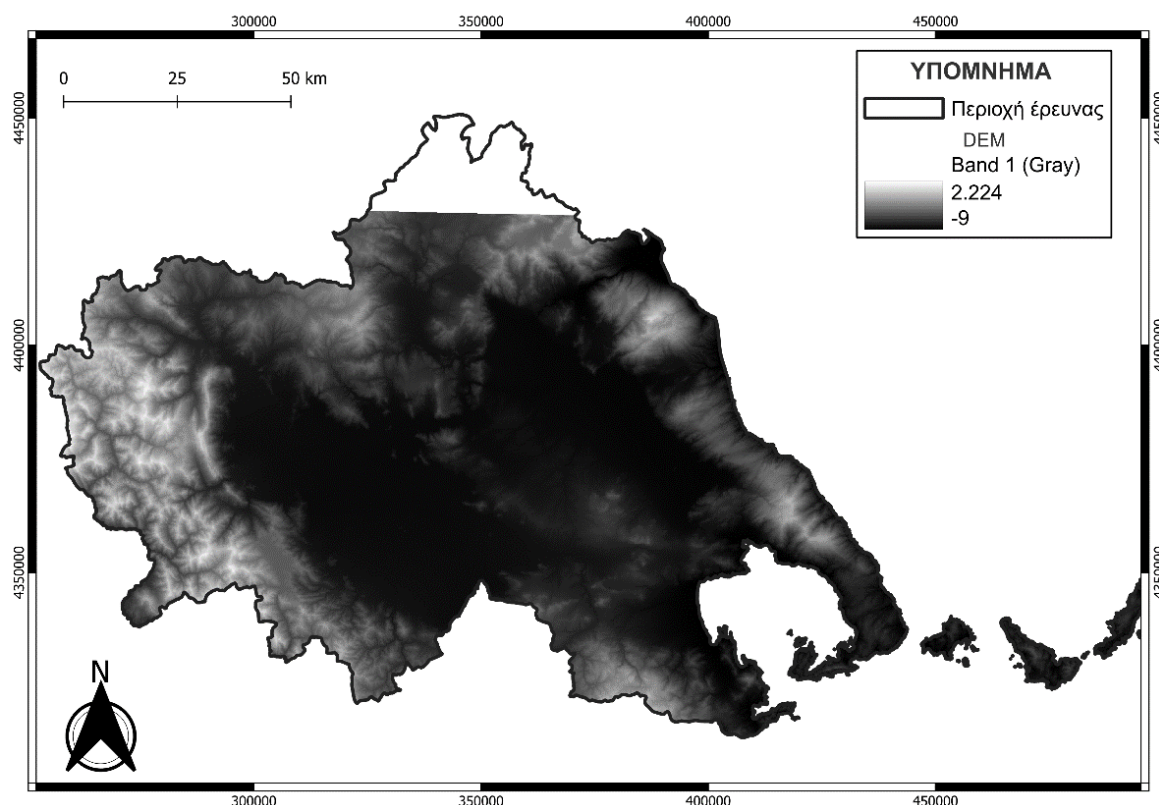
Εικόνα 27. Χαρτογράφηση λεκανών απορροής και υδρογραφικού δικτύου Θεσσαλίας

Ο χάρτης στην εικόνα 27, παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα του υδατικού συστήματος της Θεσσαλίας ενσωματώνοντας δεδομένα από το υδρογραφικό δίκτυο και τις λεκάνες απορροής. Αυτός ο χάρτης καθιστά δυνατή την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αλληλοεπιδρούν ποτάμια και λεκάνες απορροής, γεγονός που βοηθά στον εντοπισμό των περιοχών που είναι πιο ευαίσθητες στις πλημμύρες.

3.2. ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΛΑΦΟΥΣ -DEM (DIGITAL ELEVATION MODEL)

Το Digital Elevation Model (DEM) είναι μια αναπαράσταση της επιφάνειας της Γης με ακρίβεια που εξαρτάται από την ανάλυση, τον τύπο δεδομένων και τη δειγματοληψία. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε GIS και είναι η βάση για τους ψηφιακούς χάρτες. Τα DEM κατασκευάζονται μέσω τεχνικών τηλεπισκόπησης ή επίγειας έρευνας. Η ποιότητά τους υπολογίζεται από την απόλυτη υψομετρική ακρίβεια και τη σχετική μορφολογική ακρίβεια, επηρεαζόμενη από παράγοντες όπως η τραχύτητα του εδάφους, τη μέθοδο συλλογής δεδομένων, το μέγεθος εικονοστοιχείων και τον αλγόριθμο παρεμβολής (Ταουκίδου, 2021).

Η εικόνα 28, απεικονίζει το DEM που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη για την εξαγωγή δεδομένων ανάγλυφου, τα οποία θα μελετηθούν παρακάτω. Το αρχείο αντλήθηκε από τον περιβαλλοντολόγο και καθηγητή Ι. Φαρασλή.



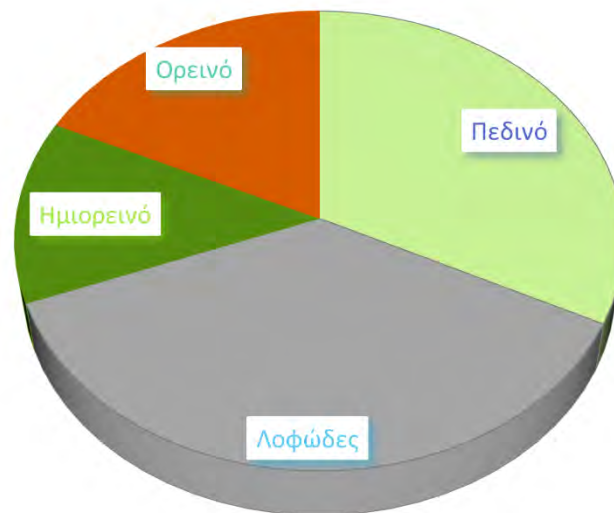
Εικόνα 28. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της περιοχής έρευνας.

Κατά την Ταουκίδου (2021), το ανάγλυφο μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις ομάδες με βάση το υψόμετρο που συναντάται: πεδινό, λοφώδες, ημιορεινό και ορεινό, όπως φαίνεται στον πίνακα 3. Η έκταση σε τετραγωνικά χιλιόμετρα υπολογίστηκε μέσω του QGIS με την λειτουργία “Raster layer unique values report” η οποία προκύπτει έπειτα από υπολογισμό με το “Field Calculator” για τον διαχωρισμό των διαφορετικών υψομέτρων.

Πίνακας 3: Ταξινόμηση ανάγλυφου με βάση το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας

ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ	ΕΚΤΑΣΗ (KM ²)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
<150	Πεδινό	4357	32%
150-600	Λοφώδες	4960	37%
600-900	Ημιορεινό	1738	13%
>900	Ορεινό	2422	18%

Σύμφωνα με τα στοιχεία της περιοχής έρευνας και τις προαναφερθείσες εκτιμήσεις, το ανάγλυφο της Θεσσαλίας ορίζεται ως 37% λοφώδες, 32% πεδινό, 18% ορεινό και 13% ημιορεινό, όπως φαίνεται και στην παρακάτω πίτα κατανομής (εικόνα 29).,



Εικόνα 29. Κατανομή χαρακτηριστικών ανάγλυφου περιοχής έρευνας

3.3.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, πληροφορίες χρήσεων γης και δεδομένα υδρογραφικού δικτύου. Από το DEM αντλήθηκαν τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της Θεσσαλίας, ενώ τα δεδομένα του CORINE LAND COVER χρησιμοποιήθηκαν για τον χαρακτηρισμό των χρήσεων γης στην περιοχή. Τα δεδομένα του υδρογραφικού δικτύου αξιοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας απόστασης από το δίκτυο. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το QGIS, ενώ όλα τα διαγράμματα πίτας υπολογίστηκαν στο Excel.

Η ιεράρχηση των παραμέτρων και ο προσδιορισμός των βαρών τους για τη δημιουργία του Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας και τον υπολογισμό του δείκτη επικινδυνότητας πλημμύρας πραγματοποιήθηκαν ακολουθώντας τη Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας. Τα τελικά αποτελέσματα της μεθοδολογίας ανέδειξαν τις περιοχές με μεγαλύτερη επικινδυνότητα εκδήλωσης πλημμύρας εντός της περιοχής μελέτης.

3.4. ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΙΕΡΑΡΧΙΑΣ (ΑΗΡ) ΣΤΗΝ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Στην ΑΗΡ που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, ως σημαντικότεροι παράγοντες επιλέχθηκαν το υψόμετρο και η κλίση εδάφους, σύμφωνα με σχετικές μελέτες. Πιο συγκεκριμένα, στην πλειονότητα των μελετών αξιολόγησης επικινδυνότητας πλημμύρας που εξετάζουν περιοχή μελέτης με παρόμοια μορφομετρικά χαρακτηριστικά, έχουν λάβει ως σημαντικότερο παράγοντα το υψόμετρο και τη κλίση εδάφους [(Ταουκίδου, 2021), Σούρλας, 2021].

Επειδή οι τοποθεσίες με χαμηλό υψόμετρο είναι πιο πιθανό να αντιμετωπίσουν πλημμύρες, το υψόμετρο είναι κατά συνέπεια το πιο κρίσιμο στοιχείο. Τα πεδινά της Θεσσαλίας είναι χαμηλά και συχνά πλημμυρίζουν πρώτα σε περίπτωση ισχυρών βροχοπτώσεων ή υπερχειλίσης ποταμών.

Σύμφωνα με τον Σούρλα (2021), η κλίση του εδάφους είναι το δεύτερο πιο σημαντικό στοιχείο που επηρεάζει την κατεύθυνση και την ταχύτητα της επιφανειακής απορροής. Στη Θεσσαλία, τοποθεσίες με μεγάλες κλίσεις επιτρέπουν την ταχεία απορροή του νερού, μειώνοντας τον κίνδυνο πλημμυρών, ενώ εκείνες με μέτριες κλίσεις τείνουν να συλλέγουν νερό.

Ο τρίτος πιο σημαντικός παράγοντας - η συσσώρευση ροής ή η ποσότητα νερού που μπορεί να συσσωρευτεί σε μια περιοχή - δίνεται προτεραιότητα σε αρκετές βιβλιογραφικές αναφορές. Οι πλημμύρες είναι πιο πιθανό να συμβούν σε περιοχές όπου η συσσώρευση ροής είναι μεγάλη. Όπως έχουν επίσης δείξει προηγούμενες μελέτες, αυτή η παράμετρος είναι κρίσιμη για την κατανόηση της δυναμικής των πλημμυρών στη Θεσσαλία.

Η απόσταση από τα ποτάμια, τα ρέματα και άλλους υδάτινους πόρους αποτελεί το τέταρτο στοιχείο. Οι περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά στο υδρογραφικό δίκτυο είναι πιο ευάλωτες στις πλημμύρες λόγω της πιθανότητας υπερχειλίσης σε περιόδους υψηλής βροχόπτωσης.

Επειδή οι χρήσεις γης είχαν αντίκτυπο στην επιφανειακή απορροή και τη διαπερατότητα του εδάφους, θεωρήθηκαν ως ο πέμπτος παράγοντας. Το καλλιεργούμενο έδαφος και οι αστικές περιοχές της Θεσσαλίας ενδέχεται να έχουν μειωμένη ικανότητα απορρόφησης νερού, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα πλημμυρών.

Τέλος, διαπιστώθηκε ότι, αν και η απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης ήταν λιγότερο σημαντική, παρέμενε κρίσιμη. Η πιθανότητα απομάκρυνσης του νερού αυξάνεται σε περιοχές κοντά σε δίκτυα αποστράγγισης, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο πλημμυρών.

Χρησιμοποιώντας την κλίμακα Saaty από το 1 έως το 9, ο πίνακας 4 εμφανίζει τις συγκρίσεις μεταξύ όλων των παραμέτρων.

Πίνακας 4: Σύγκριση κατά ζεύγη των παραμέτρων - κριτηρίων κατά τον Saaty (1990)

Παράμετροι	Υψόμετρο	Κλίση	Συσσώρευση ροής	Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	Χρήσεις Γης	Απόσταση από δίκτυο αποστράγγισης
Υψόμετρο	1	3	5	7	7	9
Κλίση	1/3	1	3	5	5	7
Συσσώρευση ροής	1/5	1/3	1	3	3	5
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	1/7	1/5	1/3	1	3	3
Χρήσεις Γης	1/7	1/2	1/3	1/3	1	3
Απόσταση από δίκτυο αποστράγγισης	1/9	1/7	1/5	1/3	1/3	1
Σύνολο	1,93	5,176	9,866	16,666	19,333	28

Οι τιμές στον πίνακα σύγκρισης κατά ζεύγη ομαλοποιούνται διαιρώντας κάθε τιμή με το άθροισμα της στήλης της. Επομένως, προκύπτει ο πίνακας 5 όπου φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 5: Ομαλοποιημένος πίνακας σύγκρισης κατά ζεύγη κατά τον Saaty (1990)

Παράμετροι	Υψόμετρο	Κλίση	Συσσώρευση ροής	Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	Χρήσεις Γης	Απόσταση από δίκτυο αποστράγγισης
Υψόμετρο	0,52	0,580	0,507	0,42	0,362	0,321
Κλίση	0,17	0,193	0,304	0,3	0,259	0,25
Συσσώρευση ροής	0,10	0,064	0,101	0,18	0,155	0,179
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	0,074	0,039	0,034	0,06	0,155	0,107
Χρήσεις Γης	0,074	0,097	0,034	0,02	0,061	0,107
Απόσταση από δίκτυο αποστράγγισης	0,058	0,028	0,02	0,02	0,017	0,036

Οι συντελεστές βαρύτητας (w_i) στον πίνακα 6 προκύπτουν από τον μέσο όρο κάθε γραμμής του ομαλοποιημένου πίνακα 5.

Πίνακας 6: Συντελεστές βαρύτητας παραμέτρων - κριτηρίων μεθόδου

Παράμετροι	Συντελεστής βαρύτητας (w_i)
Υψόμετρο	0,45
Κλίση	0,25
Συσσώρευση ροής	0,13
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	0,09
Χρήσεις Γης	0,07
Απόσταση από δίκτυο αποστράγγισης	0,03

Για κάθε παράμετρο του πίνακα 7, υπολογίζεται το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού του πίνακα σύγκρισης κατά ζεύγη (πίνακας 4) με τους συντελεστές βαρύτητας (πίνακας 6) και το άθροισμα κάθε σειράς.

Πίνακας 7: Πολλαπλασιασμός του πίνακα σύγκρισης κατά ζεύγη παραμέτρων με τον πίνακα συντελεστή βαρύτητας παραμέτρων

Παράμετροι	Υψόμετρο	Κλίση	Συσσώρευση ροής	Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	Χρήσεις Γης	Απόσταση από δίκτυο αποστράγγισης	Άθροισμα
Υψόμετρο	0,45*1	0,25*3	0,13*5	0,09*7	0,07*7	0,03*9	3,24
Κλίση	0,45*1/3	0,25*1	0,13*3	0,09*5	0,07*5	0,03*7	1,8
Συσσώρευση ροής	0,45*1/5	0,25*1/3	0,13*1	0,09*3	0,07*3	0,03*5	0,93
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	0,45*1/7	0,25*1/5	0,13*1/3	0,09*1	0,07*3	0,03*3	0,54
Χρήσεις Γης	0,45*1/7	0,25*1/2	0,13*1/3	0,09*1/3	0,07*1	0,03*3	0,34
Απόσταση από δίκτυο αποστράγγισης	0,45*1/9	0,25*1/7	0,13*1/5	0,09*1/3	0,07*1/3	0,03*1	0,2

Για κάθε παράμετρο, διαιρείται το άθροισμα του πίνακα 7 με τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας του πίνακα 6 για να βρεθεί το λ_{max} , έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας 8.

Πίνακας 8: Υπολογισμός λ_{max}

Παράμετροι	Άθροισμα / Συντελεστής βαρύτητας (w_i)	Αποτέλεσμα
Υψόμετρο	3,24/0,45	7,2
Κλίση	1,8/0,25	7,2
Συσσώρευση ροής	0,93/0,13	7,15
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	0,54/0,09	6
Χρήσεις Γης	0,34/0,07	4,86
Απόσταση από δίκτυο αποστράγγισης	0,2/0,03	6,67

Μέσος όρος αποτελεσμάτων του πίνακα 8:

$$\lambda_{max} = \frac{7,2 + 7,2 + 7,15 + 6 + 4,86 + 6,67}{6} = \frac{39,08}{6} = 6,51$$

Το CI και το CR υπολογίζονται ως εξής:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{6,51 - 6}{6 - 1} = \frac{0,51}{5} = 0,102$$

Για $n=6$, $RI=1,24$ (σύμφωνα με τους πίνακες του Saaty)

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,102}{1,24} = 0,082$$

Η τιμή της ασυνέπειας (CR) είναι 0.082, η οποία είναι μικρότερη από 0.10, συνεπώς το αποτέλεσμα είναι αποδεκτό και δεν χρειάζεται επανεξέταση του πίνακα.

Ως αποτέλεσμα, οι συντελεστές στον πίνακα 6 - οι οποίοι είναι αυτοί που περιλαμβάνονται στη χωρική εξίσωση του δείκτη FHI - είναι κατάλληλοι.

3.5.ΘΕΜΑΤΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Οι θεματικοί χάρτες των παραμέτρων και των κριτηρίων, που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονομημένη μορφή τους, χρησιμεύουν ως δεδομένα εισόδου για την εφαρμογή της προσέγγισης. Χωρίστηκαν σε ομάδες και τους δόθηκε βαθμός βαρύτητας από 2 έως 10, όπου το 2 υποδηλώνει τον πολύ χαμηλό κίνδυνο και το 10 τον πολύ υψηλό.

Η υπηρεσία παρακολούθησης Γης Copernicus και ο περιβαλλοντολόγος Ι. Φαρασλής, παρείχαν τους θεματικούς χάρτες για την εφαρμογή της μεθοδολογίας σε μορφή shapefile, η οποία επέτρεπε την επεξεργασία τους στο λογισμικό QGIS. Ο σκοπός αυτής της αντιστοίχισης ήταν να παράσχει μια τυπική μέθοδο για την περιγραφή και τη βαθμονόμηση κάθε κριτηρίου. Ο πίνακας 9 εμφανίζει τη βαθμολογία βαθμονόμησης, η οποία είναι η ίδια για κάθε παράμετρο.

Πίνακας 9: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ
2	Πολύ χαμηλή
4	Χαμηλή
6	Μέτρια
8	Υψηλή
10	Πολύ υψηλή

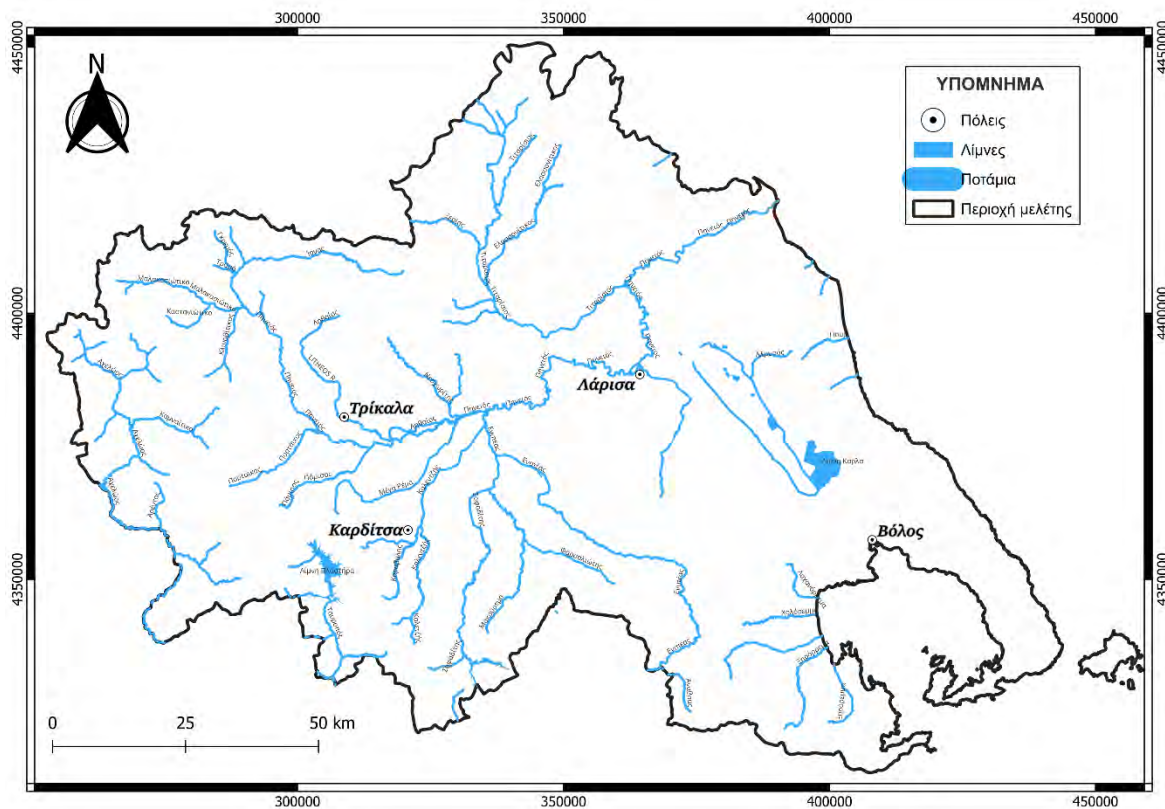
3.5.1. ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Η Θεσσαλία, μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή της Ελλάδας, φιλοξενεί ένα ποικίλο υδρογραφικό δίκτυο που επηρεάζει σημαντικά τη γεωργική και οικολογική ζωή της. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 30, ο Πηνειός ποταμός, ο μεγαλύτερος και σημαντικότερος, διασχίζει τη θεσσαλική πεδιάδα και εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο, εξασφαλίζοντας άρδευση για τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Άλλα σημαντικά ποτάμια περιλαμβάνουν τους Ελασσονίτες, τον Τιταρίσιο και τον Ληθαίο. Η λίμνη Πλαστήρα, μια τεχνητή λίμνη που δημιουργήθηκε από το φράγμα του Ταυρωπού ποταμού, είναι ζωτικής σημασίας για την άρδευση, την υδροηλεκτρική ενέργεια και τον τουρισμό. Η επανασύσταση της λίμνης Κάρλα, μιας ιστορικής λίμνης, συνέβαλε επίσης στην ανάκτηση του οικοσυστήματος και στη βελτίωση της βιοποικιλότητας (Thessaly.gov, 2020).

Η Θεσσαλία διαθέτει επίσης πολυάριθμα φράγματα και τεχνητές λίμνες για άρδευση και ύδρευση, διασφαλίζοντας την ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων. Οι υπόγειοι υδροφορείς της περιοχής τροφοδοτούν πηγάδια και γεωτρήσεις, αλλά η υπερβολική άντληση μπορεί να οδηγήσει σε πτώση της στάθμης των υπόγειων υδάτων. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι ζωτικής σημασίας για την υποστήριξη της γεωργίας, της κτηνοτροφίας και της καθημερινής ζωής, καθώς και για τη διατροφή των οικοσυστημάτων με πλούσια βιοποικιλότητα. Η σωστή διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι απαραίτητη για τη βιωσιμότητα και την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προκλήσεων (Thessaly.gov, 2020).

Ο παρακάτω χάρτης υδρογραφικού δικτύου της Θεσσαλίας (εικόνα 30), δημιουργήθηκε στο QGIS και απεικονίζει το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, περιλαμβάνοντας ποτάμια όπως ο Πηνειός και οι παραπόταμοί του, καθώς και λίμνες όπως η Κάρλα και η Πλαστήρα. Αυτός ο χάρτης είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας στη Θεσσαλία, επιτρέποντας την οπτική και χωρική ανάλυση των συστημάτων ποταμών, την κατανόηση των πιθανών οδών πλημμύρας και την ανάλυση των επιπτώσεών τους σε κατοικημένες περιοχές. Επιπλέον, διευκολύνει τη δημιουργία θεματικών χαρτών που αποδεικνύουν περιοχές υψηλής, μέτριας και χαμηλής επικινδυνότητας πλημμύρας,

εντοπίζοντας έτσι τις περιοχές που χρειάζονται προτεραιότητα στα μέτρα πρόληψης και διαχείρισης.



Εικόνα 30. Χαρτογράφηση υδρογραφικού δικτύου Θεσσαλίας

ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Ο πίνακας 10 δείχνει τη βαθμονόμηση κινδύνου πλημμύρας με βάση το υδρογραφικό δίκτυο. Η επικινδυνότητα κατηγοριοποιείται σε πέντε επίπεδα, από πολύ χαμηλό έως πολύ υψηλό, ανάλογα με την απόσταση σε μέτρα από το υδρογραφικό δίκτυο και την έκταση κάθε κατηγορίας σε τετραγωνικά χιλιόμετρα¹. Παρατηρείται ότι όσο πιο κοντά βρίσκεται μια περιοχή στο υδρογραφικό δίκτυο, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να ανήκει στην κατηγορία υψηλού κινδύνου, πλημμύρας.

Πίνακας 10: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο

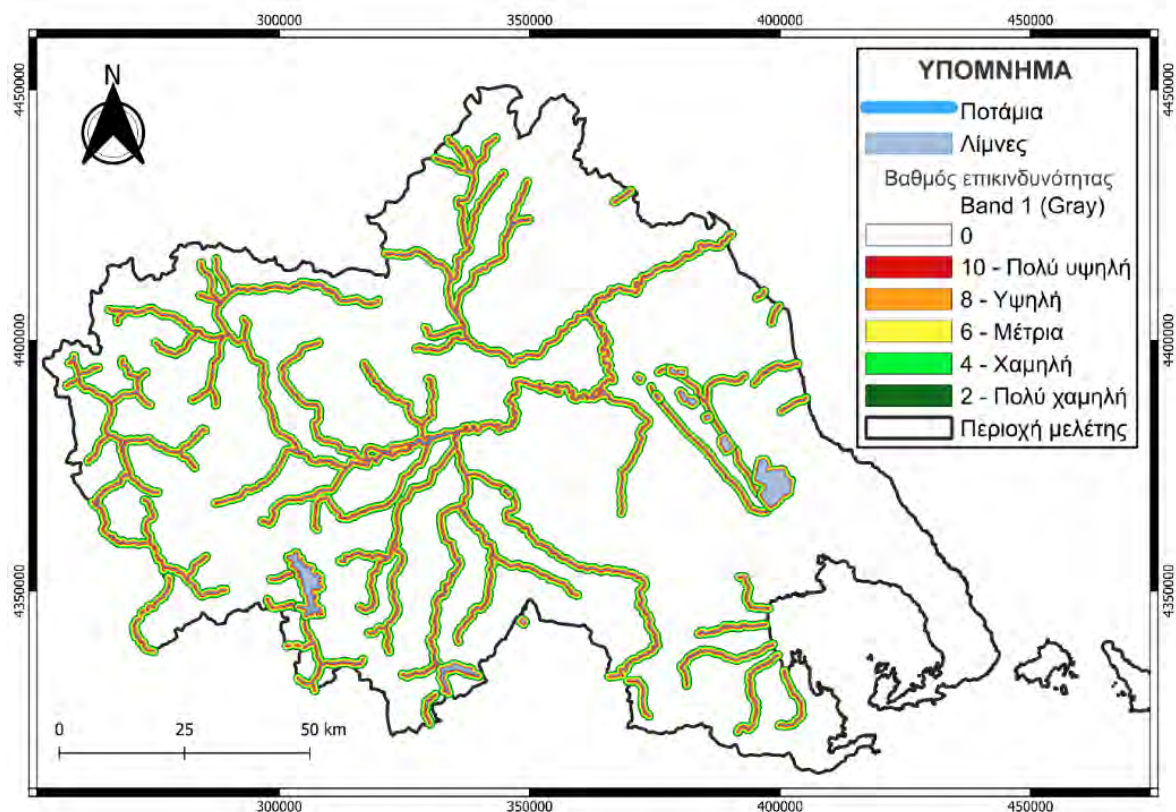
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (m)	ΕΚΤΑΣΗ (KM ²)
2	Πολύ χαμηλή	1000	661
4	Χαμηλή	800	631
6	Μέτρια	600	614
8	Υψηλή	400	604
10	Πολύ υψηλή	200	597

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο Multi Ring Buffer στο QGIS, δημιουργήθηκε ένας χάρτης βαθμονόμησης κινδύνου πλημμύρας του υδρογραφικού δικτύου της Θεσσαλίας, ο οποίος φαίνεται στην εικόνα 31. Ο χάρτης δείχνει τις ζώνες κινδύνου ανάλογα με την απόσταση από ποτάμια και λίμνες. Με τη δημιουργία αυτών των ζωνών γύρω από υδάτινα σώματα, διευκολύνεται η μελέτη κινδύνου πλημμύρας και ο σχεδιασμός προληπτικών ενεργειών. Αξίζει να σημειωθεί ότι κοντά στο δίκτυο υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα πλημμύρας σε σύγκριση με περιοχές που βρίσκονται πιο μακριά από αυτό.

¹ Αναλυτικά βήματα δημιουργίας του χάρτη της εικόνας 31 στο QGIS και Excel.

Το υδρογραφικό δίκτυο, αποτελείται από τα layers ποτάμια και λίμνες. Επομένως τα παρακάτω βήματα εφαρμόζονται στο καθένα ξεχωριστά αντίστοιχα. Ας δούμε το παράδειγμα του layer “ποτάμι”.

1. Χωρισμός πέντε ζωνών επικινδυνότητας από την απόσταση του ποταμιού, επομένως ακολουθείται: Vector -> Multi Ring Buffer -> Buffer distance: 200 -> Number of rings: 5 -> save as: multiringbufferzoneriver.
2. Το layer που δημιουργήθηκε πρέπει να ενωθεί με την περιοχή έρευνας για να γίνει στο επόμενο βήμα raster layer. Επομένως έχουμε: Vector -> Geoprocessing Tools -> Union -> Input layer: multiringbufferzoneriver -> Overlay layer: Περιοχή μελέτης -> save as: unionriver
3. Raster -> Conversion -> Rasterize (Vector to Raster) -> Output raster size units: Georeferenced units -> Width / Horizontal resolution: 30 -> Height / Vertical resolution: 30 -> Output extent: περιοχή έρευνας.
4. Search: Raster layer unique values report -> οι πληροφορίες θα βρίσκονται στο link που θα εμφανιστεί.
5. Excel: μεταφορά των πληροφοριών αυτών στο Excel, για τον υπολογισμό της έκτασης των αποστάσεων σε τετραγωνικά χιλιόμετρα από το ποτάμι.



Εικόνα 31. Βαθμονομημένος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο της Θεσσαλίας

3.5.2. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ – CORINE LAND COVER 2018

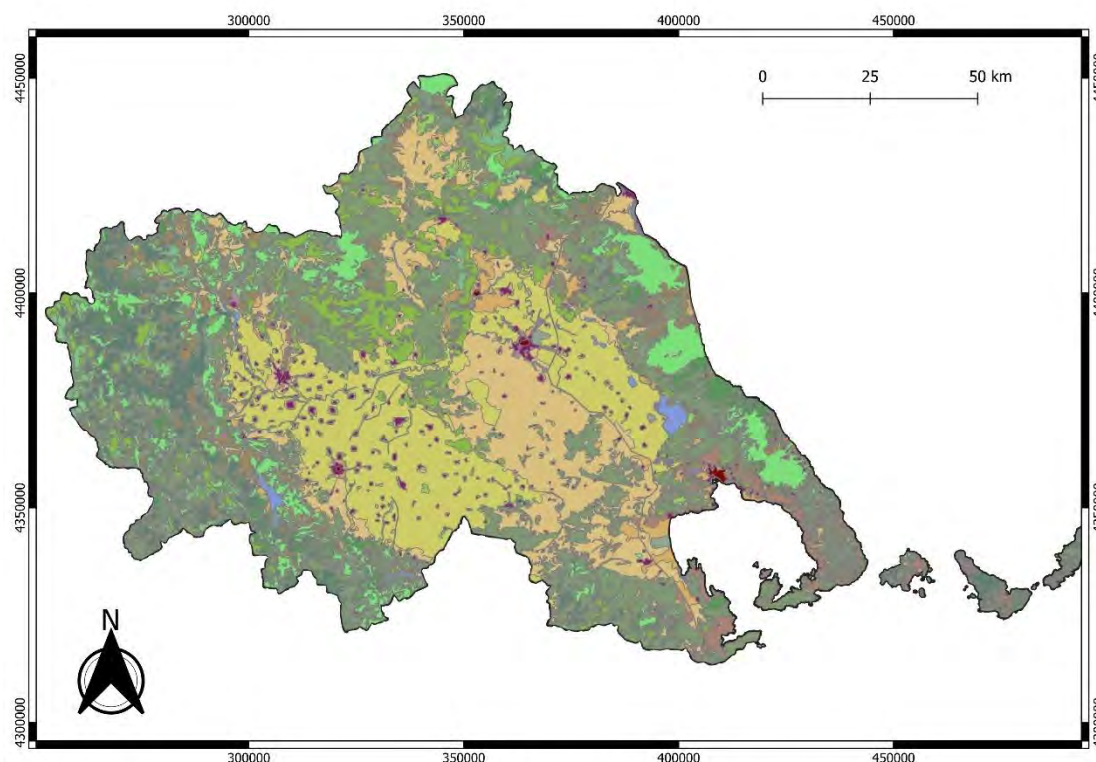
Το CORINE Land Cover 2018 (CLC 2018) είναι ένα σημαντικό πρόγραμμα της Ε.Ε. για την καταγραφή και παρακολούθηση της κάλυψης και της χρήσης γης σε όλη την Ευρώπη. Το πρόγραμμα ξεκίνησε το 1985 και η έκδοση του 2018 είναι η πιο πρόσφατη σε έναν εξαετή κύκλο ενημερώσεων δεδομένων. Τα δεδομένα λαμβάνονται με χρήση δορυφορικών εικόνων και επεξεργάζονται με χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), επιτρέποντας την καταγραφή ακριβών αλλαγών στη χρήση γης σε χωρική ανάλυση 100x100 μέτρων. Η κατηγορία περιλαμβάνει 44 διαφορετικούς τύπους κάλυψης γης, συμπεριλαμβανομένων δασικών εκτάσεων, αστικών περιοχών, γεωργικών εκτάσεων και υδάτινων σωμάτων (data.europa.eu, n.d.).

Τα δεδομένα CLC 2018 είναι δημόσια διαθέσιμα στο κοινό μέσω της Υπηρεσίας Παρακολούθησης Γης Copernicus και χρησιμοποιούνται ευρέως στην περιβαλλοντική διαχείριση, τον χωροταξικό σχεδιασμό, την ανάλυση της κλιματικής αλλαγής και τη διαμόρφωση πολιτικής. Αυτά τα δεδομένα είναι χρήσιμα για την κατανόηση των γεωγραφικών αλλαγών και της δυναμικής του τοπίου στην Ευρώπη, βοηθώντας έτσι τις προσπάθειες για αειφόρο ανάπτυξη και διατήρηση του περιβάλλοντος (data.europa.eu, n.d.).



Ο χάρτης κάλυψης εδάφους της Θεσσαλίας για το 2018 (Εικόνα 32) δημιουργήθηκε με χρήση του προγράμματος QGIS και δεδομένων από την Ηλεκτρονική Πύλη Γεωχωρικών Πληροφοριών του ΥΠΕΝ. Ο χάρτης, βασισμένος στην ταξινόμηση CORINE 2018, κατηγοριοποιεί τις χρήσεις γης. Οι αστικές περιοχές εντοπίζονται κυρίως γύρω από τις μεγάλες πόλεις, οι γεωργικές εκτάσεις καλύπτουν τον κεντρικό θεσσαλικό κάμπο και οι δασικές εκτάσεις βρίσκονται σε ορεινές περιοχές.

Ένας χάρτης κάλυψης γης είναι ζωτικής σημασίας στην έρευνα πλημμυρικής επικινδυνότητας για τον εντοπισμό ευάλωτων περιοχών, την κατανόηση της χρήσης γης και την εκτίμηση της απορροής του νερού. Χρησιμεύει στον εντοπισμό περιοχών με ανεπαρκή φυσική βλάστηση ή έντονη αστικοποίηση, οι οποίες είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμύρες. Οι χάρτες κάλυψης γης βοηθούν επίσης στην εκτίμηση της απορροής νερού σε διάφορες περιοχές, με τη σκληρή κάλυψη να συμβάλλει στην ταχεία απορροή και τις δασικές και γεωργικές περιοχές να έχουν μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης. Βοηθούν επίσης στον προγραμματισμό αντιπλημμυρικού ελέγχου παρέχοντας δεδομένα για το σχεδιασμό και την τοποθέτηση υποδομών αντιπλημμυρικού ελέγχου, όπως φράγματα, κανάλια αποστράγγισης και δεξαμενές κατακράτησης νερού.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ
CORINE LAND COVER 2018

- Συνεχής αστικός ιστός
- Ασυνεχής αστικός ιστός
- Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες
- Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα
- Ζώνες λιμένων
- Αεροδρόμια
- Χώροι εξόρυξης ορυκτών
- Χώροι απορρίψεως απορριμάτων
- Χώροι οικοδόμησης
- Περιοχές αστικού πρασίνου
- Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
- Μη αρδεύσιμη - αρόσιμη γη
- Μόνιμα αρδευόμενη γη
- Ορυζώνες
- Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
- Ελαιώνες
- Λιβάδια
- Σύνθετες καλλιέργειες
- Γη που χρησιμοποιείται κυρίως από γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
- Δάσος πλατύφυλλων
- Δάσος κωνοφόρων
- Μικτό δάσος
- Φυσικοί βοσκότοποι
- Θάμνοι και χερσότοποι
- Σκληροφυλλική βλάστηση
- Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
- Παραλίες, αμμόλοφοι και αμμουδιές
- Απογυμνωμένοι βράχοι
- Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
- Αποτεφρωμένες εκτάσεις
- Βάλτοι στην ενδοχώρα
- Παραθαλάσσιοι βάλτοι
- Υδατορρεύματα
- Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
- Περιοχή έρευνας

Εικόνα 32. Χάρτης χρήσεων γης σύμφωνα με το CORINE LAND COVER 2018

Πίνακας 11: Κατηγορίες χρήσεων γης σύμφωνα με το CORINE LAND COVER 2018. Τα δεδομένα ανακτήθηκαν από την Διαδικτυακή Πύλη Γεωχωρικών Πληροφοριών του ΥΠΕΝ

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ CORINE LAND COVER 2018		
Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3
1. ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	1.1. Αστικός ιστός	1.1.1. Συνεχής αστικός ιστός
		1.1.2. Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2. Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών	1.2.1. Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες
		1.2.2. Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα
		1.2.3. Ζώνες λιμένων
		1.2.4. Αεροδρόμια
	1.3. Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1. Χώροι εξορύξεως ορυκτών
		1.3.2. Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων
		1.3.3. Χώροι οικοδόμησης
	1.4. Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1. Περιοχές αστικού πρασίνου
		1.4.2. Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. ΓΕΩΓΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	2.1. Αρόσιμη γη	2.1.1. Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
		2.1.2. Μόνιμα αρδευόμενη γη
		2.1.3. Ορυζώνες
	2.2. Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1. Αμπελώνες
		2.2.2. Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώσεις καρπούς
		2.2.3. Ελαιώνες
	2.3. Λιβάδια	Λιβάδια
	2.4. Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1. Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες
		2.4.2. Σύνθετες καλλιέργειες
		2.4.3. Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
		2.4.4. Γεωργο-δασικές περιοχές
3. ΔΑΣΗ ΚΑΙ ΗΜΙ-ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	3.1. Δάση	3.1.1. Δάσος πλατύφυλλων
		3.1.2. Δάσος κωνοφόρων
		3.1.3. Μικτό δάσος
		3.2.1. Φυσικοί βοσκότοποι
		3.2.2. Θάμνοι και χερσότοποι

	3.2. Συνδυασμός θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης	3.2.3. Σκληροφυλλική βλάστηση
		3.2.4. Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3. Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1. Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές
		3.3.2. Απογυμνωμένοι βράχοι
		3.3.3. Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
		3.3.4. Αποτεφρωμένες εκτάσεις
4. ΥΓΡΕΣ ΖΩΝΕΣ	4.1. Υγρότοποι ενδοχώρας	3.3.5. Παγετώνες και αέναο χιόνι
		4.1.1. Βάλτοι στην ενδοχώρα
	4.2. Παραθαλάσσιοι υγρότοποι	4.1.2. Τυρφώνες
		4.2.1. Παραθαλάσσιοι βάλτοι
		4.2.2. Αλυκές
		4.2.3. Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
5. ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	5.1. Χερσαία ύδατα	5.1.1. Υδατορρέυματα
		5.1.2. Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
	5.2. Θαλάσσια ύδατα	5.2.1. Παράκτιες λιμνοθάλασσες
		5.2.2. Εκβολές ποταμών
		5.2.3. Θάλασσες και ωκεανοί

ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ

Οι χρήσεις γης ταξινομήθηκαν ανά κάλυψη γης και βαθμολογήθηκαν με βάση την επίδρασή τους στην εμφάνιση πλημμυρών. Στον πίνακα 11 γίνεται κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης σε πέντε κατηγορίες, με βαθμολογίες που κυμαίνονται από 2 έως 10 υποδεικνύοντας αυξανόμενη πλημμυρική επικινδυνότητα. Οι περιοχές χαμηλής επικινδυνότητας, όπως τα δάση και οι φυσικές περιοχές με χαμηλή ανθρώπινη δραστηριότητα, έχουν χαμηλότερο κίνδυνο λόγω της απορρόφησης νερού και της επιφανειακής απορροής. Οι αστικές και βιομηχανικές περιοχές, με τις επιφάνειες ασφάλτου και τσιμέντου, έχουν μεγαλύτερο κίνδυνο λόγω της απορρόφησης του εδάφους και της αυξημένης επιφανειακής απορροής. Οι κατασκευές και οι χώροι απορριμμάτων συμβάλλουν επίσης σε αυξημένες πλημμύρες. Οι ενδιάμεσες κατηγορίες, όπως οι αγροτικές και οι ημιφυσικές περιοχές, έχουν μέτριο κίνδυνο λόγω της απορρόφησης νερού και των πιθανών επιπτώσεων στις πλημμύρες. Αυτή η ταξινόμηση βοηθά στον εντοπισμό περιοχών που χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή και μέτρα πρόληψης από τις πλημμύρες.

Πίνακας 12: Βαθμονόμηση επικινδυνότητας των χρήσεων γης της Θεσσαλίας

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ
2	Πολύ χαμηλή	Δάση, Συνδυασμός θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης, ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση, Υγρότοποι ενδοχώρας, Παραθαλάσσιοι υγρότοποι, Χερσαία ύδατα, Θαλάσσια ύδατα
4	Χαμηλή	Αρόσιμη γη, Ετερογενείς γεωργικές περιοχές
6	Μέτρια	Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου, μόνιμες καλλιέργειες
8	Υψηλή	Λιβάδια
10	Πολύ υψηλή	Αστικός ιστός, Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών, Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης

Σε συνέχεια του πίνακα 12, δημιουργήθηκε ο βαθμονομημένος χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας (εικόνα 33). Η κατηγοριοποίηση των περιοχών έγινε χρησιμοποιώντας τη λειτουργία "open field calculator" μέσω του "open attribute table" στο QGIS². Οι περιοχές με πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύουν περιοχές με πολύ χαμηλή επικινδυνότητα πλημμύρας, κυρίως δάση και φυσικές βλάστησης, επομένως βαθμονομήθηκαν με την τιμή 2. Στην αμέσως επόμενη κατηγορία της χαμηλής επικινδυνότητας με σκούρο πράσινο χρώμα, η οποία βαθμονομήθηκε με την τιμή 4, ανήκουν κυρίως γεωργικές περιοχές. Οι κίτρινες περιοχές έχουν μέτρια επικινδυνότητα και βαθμονομήθηκαν με την τιμή 6. Οι περιοχές αυτές, περιλαμβάνουν συνήθως μόνιμες καλλιέργειες. Οι περιοχές με χαμηλή επικινδυνότητα, όπως λιβάδια, αποδίδονται με ανοιχτό πορτοκαλί χρώμα και βαθμονομούνται με την τιμή 8. Τέλος, οι κόκκινες περιοχές, που αντιπροσωπεύουν αστικούς, βιομηχανικούς και εμπορικούς χώρους, καθώς και περιοχές με σφραγισμένες επιφάνειες, δείχνουν πολύ υψηλή επικινδυνότητα πλημμύρας, λόγω της χαμηλής ικανότητας απορρόφησης του νερού και της υψηλής επιφανειακής απορροής. Οι περιοχές υψηλού κινδύνου βαθμονομήθηκαν με την τιμή 10.

² Τα αναλυτικά βήματα που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία βαθμονομημένο χάρτη χρήσεων γης στο QGIS είναι:

Open Attribute table -> Field Calculator -> Create new field -> Output field type: Whole number (integer) -> Expression:

CASE

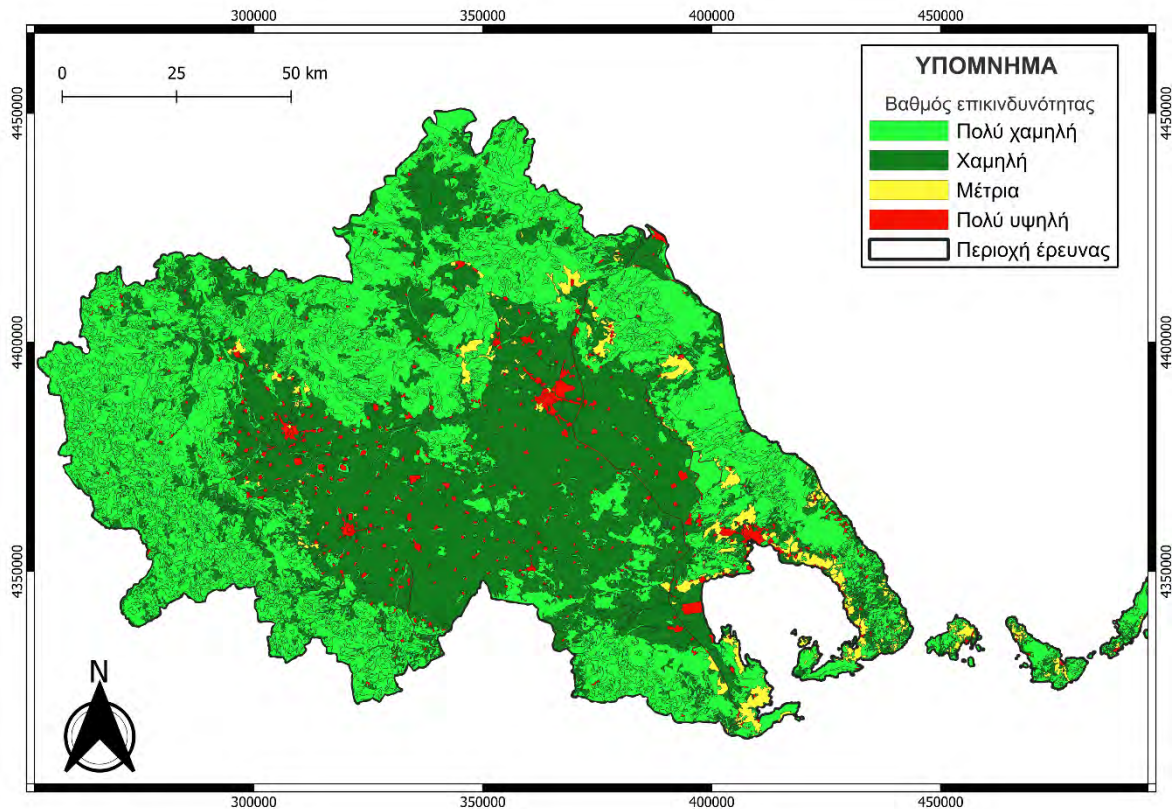
WHEN "code_18" IN ('111', '112') THEN 10 – Υψηλός κίνδυνος

(Επανάληψη κώδικα με τα αντίστοιχα στοιχεία όσες φορές χρειαστεί..)

ELSE 0 –

END

-> Layer Styling -> Symbolology: Graduated for CORINE Land Cover -> Classify -> Change Colors



Εικόνα 33. Βαθμονομημένος χάρτης επικινδυνότητας χρήσεων γης της Θεσσαλίας

Από το βαθμονομημένο χάρτη (εικόνα 32), υπολογίστηκε συνολικά για όλη την περιοχή μελέτης, η έκταση σε km^2 που καταλαμβάνουν οι κατηγορίες χρήσεων γης. Ο υπολογισμός έγινε με τη χρήση στατιστικής μέσω του QGIS³ και οι τιμές δίνονται στον πίνακα 13.

³ Τα αναλυτικά βήματα υπολογισμού της συνολικής έκτασης κάθε κάλυψης γης με χρήση στατιστικής στο QGIS:
Processing toolbox -> statistics by categories



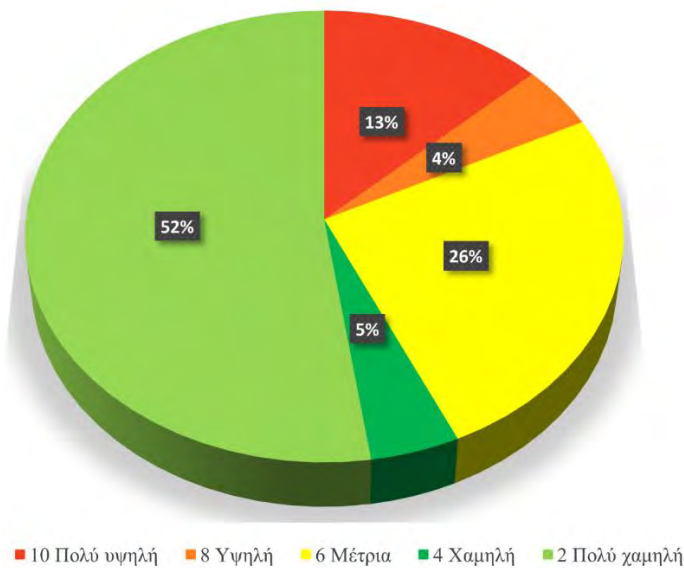
Πίνακας 13: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης των χρήσεων γης.

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (KM ²)
2	Πολύ χαμηλή	Δάση, Συνδυασμός θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης, ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση, Υγρότοποι ενδοχώρας, Παραθαλάσσιοι υγρότοποι, Χερσαία ύδατα, Θαλάσσια ύδατα	3879
4	Χαμηλή	Αρόσιμη γη, Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	334
6	Μέτρια	Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίνου, μόνιμες καλλιέργειες	1894
8	Υψηλή	Λιβάδια	334
10	Πολύ υψηλή	Αστικός ιστός, Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών, Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	971

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 13, ο οποίος δημιουργήθηκε στο Excel, η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης είναι 6107 km², η οποία έχει πολύ χαμηλό, χαμηλό και μέτριο κίνδυνο πλημμύρας, ενώ οι περιοχές με υψηλό και πολύ υψηλό κίνδυνο πλημμύρας καλύπτουν συνολικά 1305 km². Αυτό υποδηλώνει ότι η πλειονότητα της περιοχής μελέτης έχει χαμηλό έως μέτριο κίνδυνο πλημμύρας (83%), όπως φαίνεται στο διάγραμμα κατανομής χρήσεων γης στην εικόνα 34⁴.

⁴ Αναλυτικά βήματα υπολογισμού του συνολικού ποσοστού κάθε κάλυψης γης χρησιμοποιώντας στατιστικά ανά κατηγορίες στο QGIS:

Open Attribute Table -> Statistics – Field calculator -> Output field type: Decimal number (Real) -> Output field length: 5 -> Precision: 2 -> Expression: “Count” / Sum(“count”) *100



Εικόνα 34. Διάγραμμα κατανομής επικινδυνότητας χρήσεων γης της περιοχής μελέτης σε ποσοστά.

Σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής της επικινδυνότητας της παραμέτρου των χρήσεων γης (εικόνα 32), παρατηρούμε πως το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχής μελέτης (57%) εμφανίζει πολύ χαμηλή και χαμηλή επικινδυνότητα πλημμύρας ενώ το 17% υψηλή και πολύ υψηλή.

3.5.3. ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ

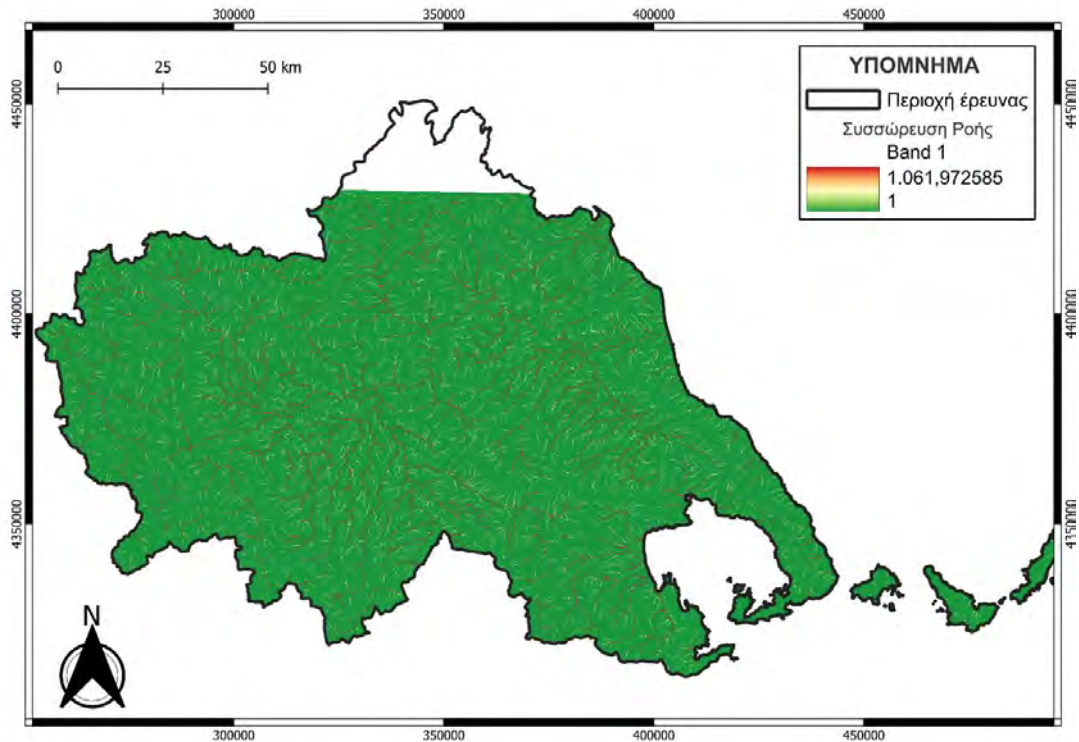
Το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου (DEM) του QGIS καθορίζει τη συσσώρευση ροών. Αυτό το πρόγραμμα υπολογίζει τη θροιστική ροή και δημιουργεί ένα ράστερ που δείχνει τον συνολικό αριθμό των pixel με συγκέντρωση νερού σε αυτά.⁵ Με άλλα λόγια, η συσσώρευση ροής (flow accumulation) είναι μια ανάλυση που υπολογίζει την ποσότητα νερού που συσσωρεύεται σε κάθε σημείο ενός τοπογραφικού χάρτη, λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του εδάφους. Χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση των περιοχών όπου είναι πιθανό να σχηματιστούν υδάτινα ρεύματα και πλημμυρικές ζώνες (Ταουκίδου, 2021).

Ο χάρτης συσσώρευσης ροής της Θεσσαλίας, όπως φαίνεται στην εικόνα 35, απεικονίζει την περιοχή με διαφορετικές αποχρώσεις πράσινου που αντιπροσωπεύουν τη διαβάθμιση της συσσώρευσης ροής. Οι περιοχές με τις υψηλότερες τιμές συσσώρευσης (όπως σημειώνονται στο υπόμνημα) υποδεικνύουν περιοχές όπου το νερό συσσωρεύεται

⁵ Αναλυτικά βήματα δημιουργίας χάρτη συσσώρευσης ροής από το DEM στο QGIS.

- 1) Calculate flow direction map: Processing Toolbox -> PCRaster -> Hydrological and material transport operations -> Idd create -> Save as Idd.
- 2) Calculate flow accumulation: Processing Toolbox -> PCRaster -> Data management -> Spatial -> Output data type: sscalar -> save as: material.
- 3) Calculate flow accumulation map: Processing Toolbox -> PCRaster -> Hydrological and material transport operations -> Accuflux -> Save as: flow accumulation.

περισσότερο, γεγονός που μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση πιθανών περιοχών πλημμύρας. Η γεωγραφική περιοχή της Θεσσαλίας είναι κεντρική και περιλαμβάνει ποικίλα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, από ορεινές περιοχές μέχρι πεδιάδες, επηρεάζοντας σημαντικά την κατανομή της ροής του νερού.



Εικόνα 35. Χάρτης συσσώρευσης ροής Θεσσαλίας

Ο θεματικός χάρτης της συσσώρευσης ροής που φαίνεται στην εικόνα 35, κατασκευάστηκε με βάση τη βαθμονόμηση των κλάσεων που αναγράφονται στην 3^η στήλη του πίνακα 15, χρησιμοποιώντας τη λειτουργία “Raster Calculator” στο QGIS. Η Ταουκίδου (2021), χρησιμοποίησε τη μέθοδο Natural Breaks για να δημιουργήσει τάξεις βάσει φυσικών ομαδοποιήσεων στα δεδομένα, ελαχιστοποιώντας την απόκλιση εντός των κλάσεων και μεγιστοποιώντας την απόκλιση μεταξύ τους. Στην περιοχή μελέτης, η συσσώρευση ροής κυμαίνεται από 0 έως 1062, με υψηλές τιμές να υποδηλώνουν αυξημένο κίνδυνο πλημμύρας, όπως φαίνεται και στον πίνακα 14.

Πίνακας 14: Συσσώρευση ροής περιοχής μελέτης σε μέτρα

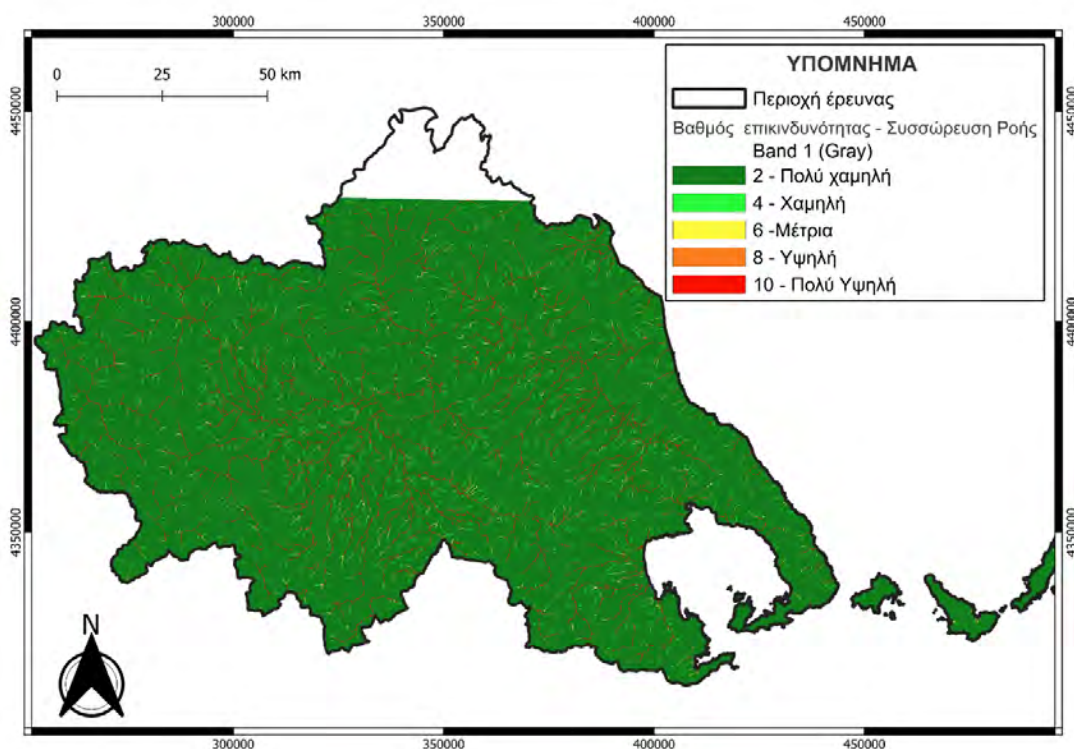
ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ (m)
0-266
266-531
531-796
796-1062
>1062

ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΡΟΗΣ

Σε συνέχεια της παραπάνω μεθόδου, δημιουργήθηκε η κατανομή επικινδυνότητας συσσώρευσης ροής (εικόνα 35), στο Excel⁶, η οποία δείχνει ότι το 97% της περιοχής παρουσιάζει πολύ χαμηλό και χαμηλό κίνδυνο λόγω της διαμόρφωσης και της κατεύθυνσης ροής της περιοχής, ενώ μόνο το 2% παρουσιάζει υψηλό και πολύ υψηλό κίνδυνο.

Πίνακας 15: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης της συσσώρευσης ροής.

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ (m)	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)
2	Πολύ χαμηλή	0-266	12899
4	Χαμηλή	266-531	168
6	Μέτρια	531-796	76
8	Υψηλή	796-1062	45
10	Πολύ Υψηλή	>1062	290



Εικόνα 36. Βαθμονομημένος χάρτης επικινδυνότητας συσσώρευσης ροής

⁶ Αναλυτικά βήματα υπολογισμού έκτασης σε τετραγωνικά χιλιόμετρα κάθε βαθμονομημένης περιοχής επικινδυνότητας πλημμύρας από την συσσώρευση ροής στο QGIS και Excel.

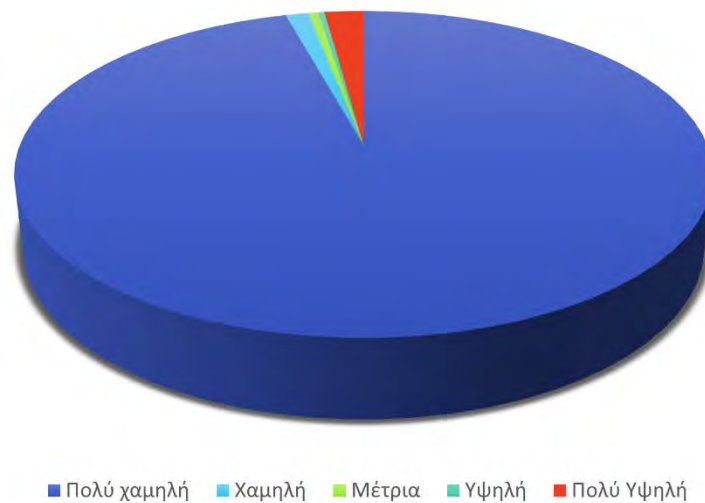
QGIS: 1) Processing -> Toolbox -> Αναζήτηση: Reclisify by Table -> Δημιουργία πίνακα επαναταξινόμησης

2) Symbology -> Render type: Palletted / Unique values.

3) Search: Raster layer unique values report -> οι πληροφορίες θα βρίσκονται στο link που θα εμφανιστεί.

Excel: μεταφορά των πληροφοριών αυτών στο Excel για την δημιουργία του διαγράμματος της εικόνας 34.

Η πλειονότητα της περιοχής φαίνεται να έχει εξαιρετικά χαμηλό κίνδυνο, σύμφωνα με τον βαθμονομημένο χάρτη επικινδυνότητας συσσώρευσης ροής της Θεσσαλίας (εικόνα 35), υποδηλώνοντας ελάχιστη πιθανότητα πλημμύρας. Οι περιοχές με υψηλότερη επικινδυνότητα συσσώρευσης ροής υποδεικνύονται από τις κατηγορίες υψηλότερου κινδύνου, οι οποίες βρίσκονται γενικά κοντά σε ποτάμια και ρέματα. Αυτή η κατανομή δείχνει ότι αν και οι τοποθεσίες χαμηλού κινδύνου ενδέχεται να μην απαιτούν επείγουσα δράση, τα υδάτινα ρεύματα και οι γύρω περιοχές απαιτούν πρόσθετα μέτρα ελέγχου των πλημμυρών.



Εικόνα 37. Διάγραμμα κατανομής επικινδυνότητας συσσώρευσης ροής

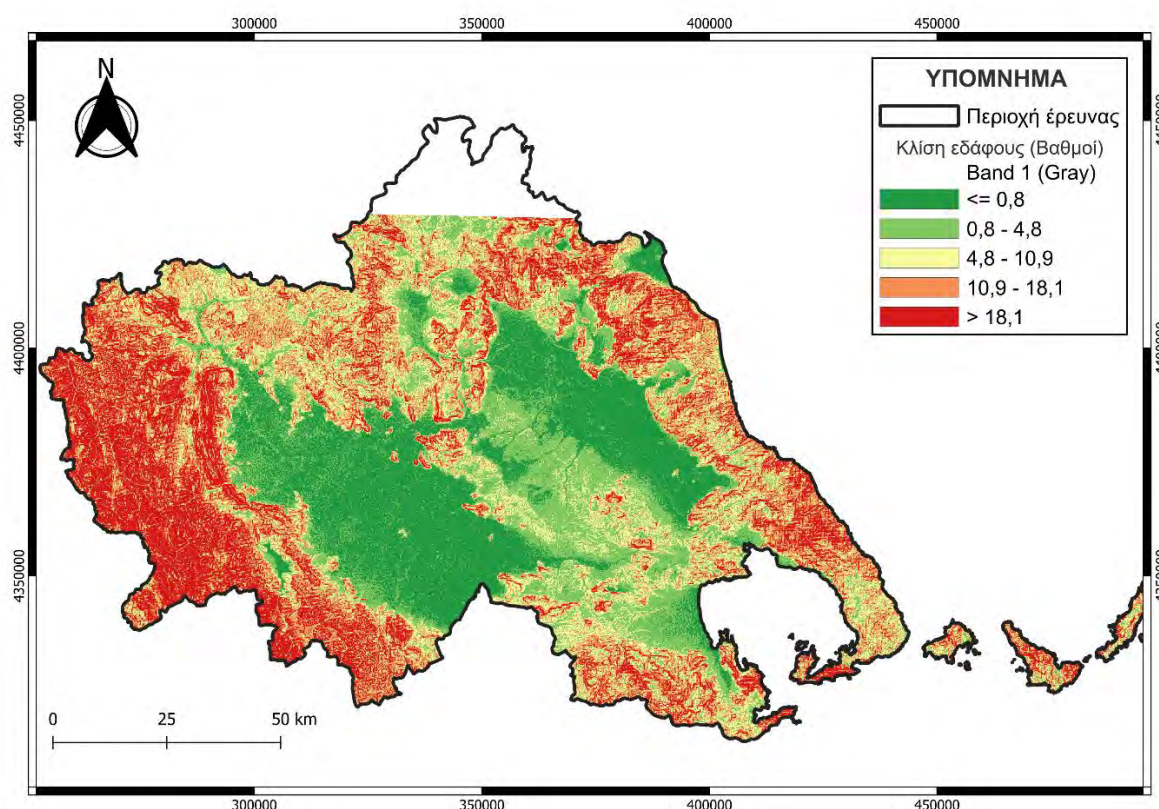
3.5.4. ΚΛΙΣΗ

Η κλίση του εδάφους, ένα δεδομένο που προέρχεται επίσης από τα δεδομένα DEM, είναι ένα κρίσιμο τοπογραφικό στοιχείο για την αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας μιας περιοχής. Επηρεάζει άμεσα τη ροή του νερού και τις διαδικασίες διάβρωσης και αποτελεί βασικό κριτήριο για την εμφάνιση πλημμυρών. Οι περιοχές με μεγάλη και απότομη κλίση έχουν μεγαλύτερη επιφανειακή απορροή λόγω της ταχύτερης ροής του νερού, μειώνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας. Αντίθετα, οι περιοχές με μικρή κλίση έχουν πιο αργή επιφανειακή απορροή και περιορισμένες δυνατότητες αποστράγγισης, καθιστώντας τις σχεδόν επίπεδες και δυνητικά ευάλωτες σε πλημμύρες. Αυτό μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο πλημμύρας κατά τη διάρκεια έντονων ή παρατεταμένων βροχοπτώσεων (Ταουκίδου, 2021). Η κλίση του εδάφους μπορεί επίσης να επηρεάσει άλλους παράγοντες που συμβάλλουν στον κίνδυνο πλημμύρας, όπως η ικανότητα διείσδυσης του εδάφους, η βλάστηση και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στο τοπίο.

Πίνακας 16: Κλίση εδάφους σε μοίρες και σε ποσοστό

ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ (μοίρες)	ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ (%)
$\leq 0,8$	$\leq 1,4$
0,8 – 4,8	1,4 – 8,3
4,8 – 10,9	8,3 -19,2
10,9 – 18,1	19,2 – 32,6
$> 18,1$	$> 32,6$

Ο πίνακας 16 παρουσιάζει τις τιμές κλίσης του εδάφους σε μοίρες και ποσοστά. Στην εικόνα 38 φαίνεται ο χάρτης κλίσεων της Θεσσαλίας που δημιουργήθηκε στο QGIS ⁷. Ο χάρτης δείχνει την κατανομή της κλίσης του εδάφους σε διαφορετικές κατηγορίες. Οι απότομες πλαγιές (πάνω από 18,1%) εντοπίζονται κυρίως στις ορεινές περιοχές, ενώ οι χαμηλές πλαγιές ($< 0,8\%$) βρίσκονται κυρίως στην κεντρική Θεσσαλία. Οι ενδιάμεσες κατηγορίες κλίσης καταλαμβάνουν περιοχές μεταξύ ορεινών και πεδιάδων. Αυτή η ποικιλία πλαγιών αντικατοπτρίζει την τοπογραφική ποικιλομορφία της Θεσσαλίας, με τις ορεινές περιοχές να έχουν υψηλότερες πλαγιές και τις πεδινές περιοχές να είναι πιο επίπεδες.



Εικόνα 38. Χαρτογράφηση κλίσης σε μοίρες της περιοχής μελέτης

⁷ Δημιουργία χάρτη κλίσεων στο QGIS:
Raster -> Analysis -> Slope

ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΛΙΣΕΩΝ

Με βάση τον χάρτη σε μοίρες, η κλίση του εδάφους βαθμονομήθηκε σε πέντε κατηγορίες επικινδυνότητας, όπως φαίνεται στην εικόνα 39. Τα δεδομένα του Πίνακα 17 χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του τελικού βαθμονομημένου χάρτη των κριτηρίων κλίσης εδάφους.

Πίνακας 17: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης της κλίσης εδάφους.

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ (ΜΟΙΡΕΣ)	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)
2	Πολύ χαμηλή	$\leq 0,8$	2677
4	Χαμηλή	0,8 – 4,8	2663
6	Μέτρια	4,8 – 10,9	2681
8	Υψηλή	10,9 – 18,1	2579
10	Πολύ Υψηλή	$> 18,1$	2736

Η κλίση του εδάφους της Θεσσαλίας χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του κινδύνου πλημμύρας και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 17, ο οποίος περιλαμβάνει πέντε κατηγορίες: πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή. Οι περιοχές με κλίση μικρότερη ή ίση με 0,8 μοίρες, θεωρούνται πολύ χαμηλού κινδύνου, ενώ οι περιοχές με κλίση μεγαλύτερη από 18,1 μοίρες, θεωρούνται πολύ υψηλού κινδύνου. Στον πίνακα καταγράφεται επίσης η έκταση κάθε κατηγορίας σε τετραγωνικά χιλιόμετρα.

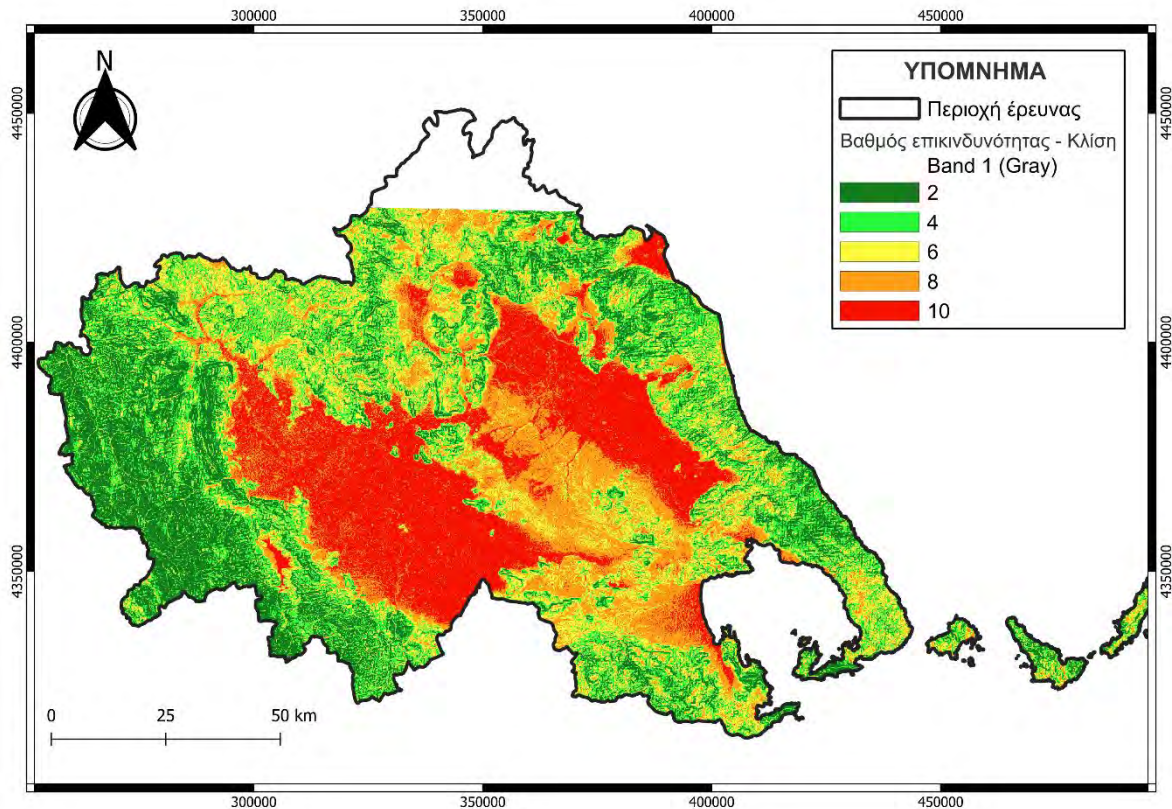
Από τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα (17), δημιουργήθηκε στο QGIS⁸ ένας χάρτης της Θεσσαλίας (εικόνα 39) που δείχνει τις περιοχές με διαφορετικά επίπεδα κινδύνου με χρωματική κωδικοποίηση. Οι περιοχές υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου εντοπίζονται κυρίως στις κεντρικές και νότιες περιοχές της Θεσσαλίας, ενώ οι περιοχές χαμηλού κινδύνου βρίσκονται στις δυτικές και βόρειες περιοχές. Αυτή η κατανομή αντανακλά τη γεωμορφολογία της Θεσσαλίας, με τις ορεινές περιοχές να είναι πιο απότομες και τις πεδιάδες πιο επίπεδες.

⁸ Αναλυτικά βήματα υπολογισμού έκτασης σε τετραγωνικά χιλιόμετρα κάθε βαθμονομημένης περιοχής επικινδυνότητας πλημμύρας από την κλίση στο QGIS και Excel.

QGIS: 1) Raster -> Raster Calculator

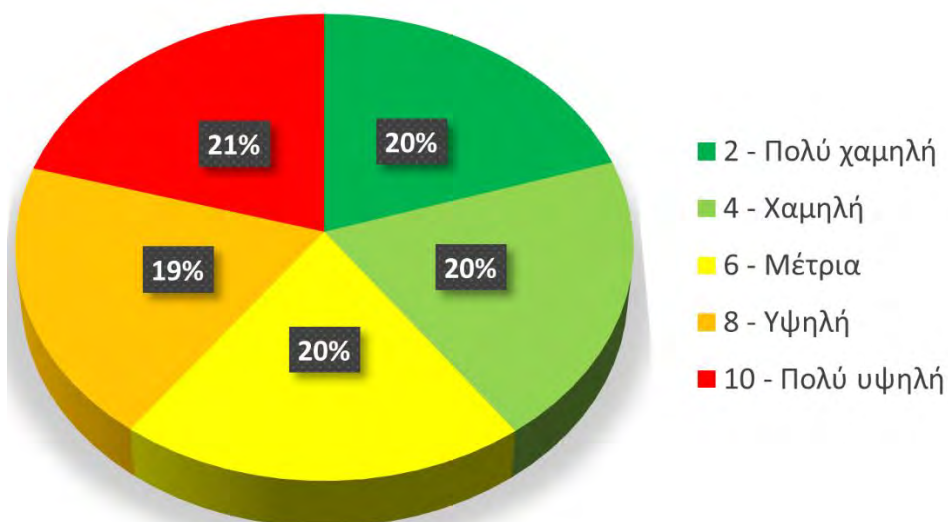
2) Search: Raster layer unique values report -> οι πληροφορίες θα βρίσκονται στο link που θα εμφανιστεί.

Excel: μεταφορά των πληροφοριών αυτών στο Excel για την δημιουργία του διαγράμματος της εικόνας 37.



Εικόνα 39. Βαθμονομημένος χάρτης επικινδυνότητας κλίσης εδάφους

Η κατανομή επικινδυνότητας της κλίσης της Θεσσαλίας (εικόνα 40), η οποία δημιουργήθηκε στο Excel, είναι ομοιόμορφη, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 20% του συνόλου για κάθε μία παράμετρο. Οι περιοχές υψηλού και πολύ υψηλού κινδύνου αποτελούν το 40% της συνολικής έκτασης, υποδεικνύοντας την ανάγκη για αυξημένη προσοχή και παρεμβάσεις για την πρόληψη καταστροφών λόγω πρανών.



Εικόνα 40. Διάγραμμα κατανομής επικινδυνότητας κλίσης

3.5.5. ΥΨΟΜΕΤΡΟ

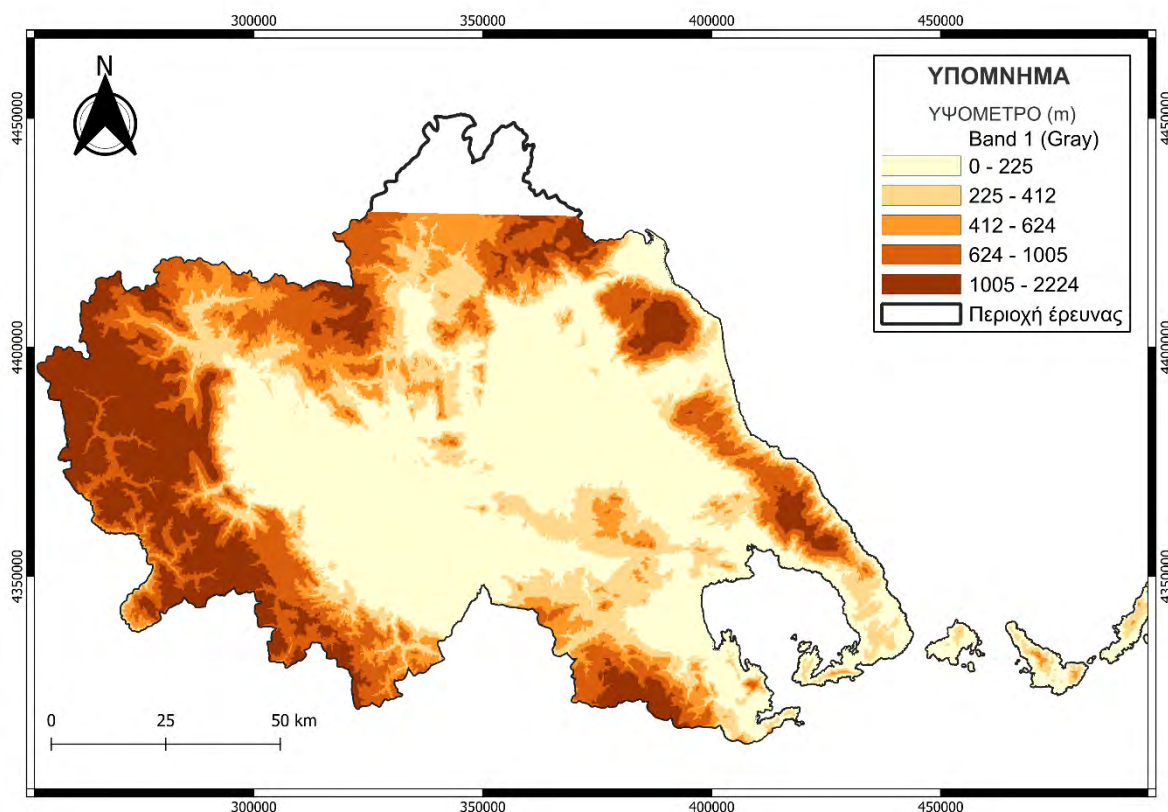
Μια ακόμη παράμετρος που προέκυψε από το DEM της ερευνητικής περιοχής είναι το υψόμετρο. Ο υπολογισμός του γίνεται σε μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας μέσω του Raster Calculator. Κατά την Ταουκίδου (2021), αναφορικά με το κριτήριο της παραμέτρου υψομέτρου, γνωρίζουμε ότι το νερό ρέει προς χαμηλότερα υψόμετρα σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, αποτρέποντας την εμφάνιση πλημμυρών. Αντίθετα, σε χαμηλά υψόμετρα, η πιθανότητα εμφάνισης φαινομένου πλημμύρας αυξάνεται επειδή το στρώμα του νερού δεν μπορεί να μετακινηθεί.

Η εικόνα 41, δείχνει έναν χάρτη της Θεσσαλίας, που εμφανίζει υψομετρικές ζώνες, οι οποίες κυμαίνονται από 0 έως 2224 μέτρα. Ο χάρτης δείχνει σημαντικές υψομετρικές διαφορές, με πεδινές περιοχές κυρίως στο κέντρο και αυξανόμενο υψόμετρο προς τα περιφερειακά όρια, με χαμηλότερες περιοχές σε ανοιχτό κίτρινο και υψηλότερες περιοχές σε σκούρο καφέ. Επίσης, οι υψομετρικές τιμές σε μέτρα όπως υπολογίζονται από το DEM παρατίθενται στον Πίνακα 18.

Πίνακας 18: Τιμές υψομέτρου Θεσσαλίας

ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
0 – 225
225 - 412
412 – 624
624 – 1005
1005 - 2224

Επειδή τα μέρη με υψηλότερο υψόμετρο μπορούν να συμβάλουν στην ταχεία ροή του νερού σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, αυξάνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας, αυτές οι υψομετρικές διακυμάνσεις είναι σημαντικές για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας. Προκειμένου να προστατευθούν οι άνθρωποι και η περιουσία τους, η χαρτογράφηση του υψομέτρου με QGIS επιτρέπει τη μελέτη και τον σχεδιασμό της αντιμετώπισης των πλημμυρών και των προληπτικών ενεργειών.



Εικόνα 41. Χαρτογράφηση υψομέτρου Θεσσαλίας

ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ

Με βάση τον χάρτη υψομέτρου της Θεσσαλίας, η βαθμονόμησή του πραγματοποιήθηκε σε πέντε τάξεις επικινδυνότητας, εμφανίζονται στην εικόνα 42. Τα δεδομένα βαθμονόμησης του Πίνακα 19 χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του τελικού βαθμονομημένου χάρτη για τα κριτήρια υψομέτρου.

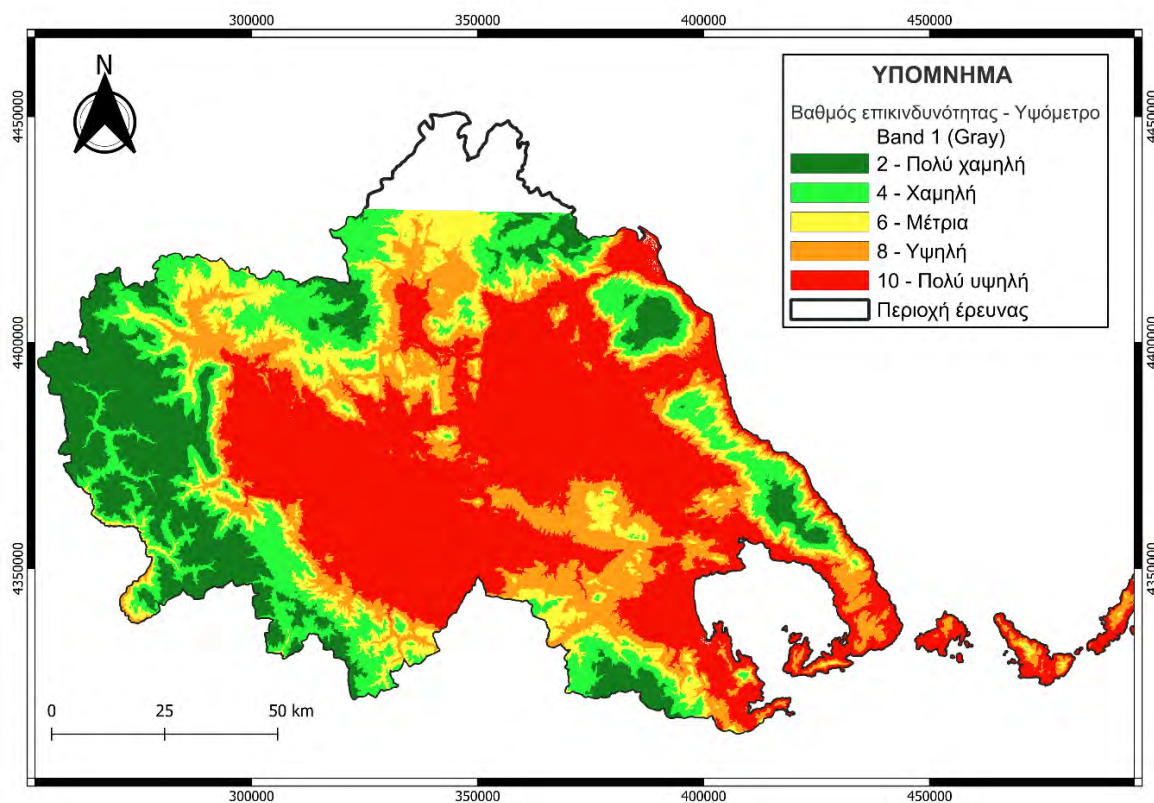
Πίνακας 19: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης του υψομέτρου

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)
2	Πολύ χαμηλή	0 – 225	1952
4	Χαμηλή	225 – 412	2056
6	Μέτρια	412 – 624	1650
8	Υψηλή	624 – 1005	2208
10	Πολύ Υψηλή	1005 - 2224	5602

Ο πίνακας 19 κατηγοριοποιεί τη Θεσσαλία σε πέντε επίπεδα κινδύνου πλημμύρας με βάση το υψόμετρο. Κάθε κατηγορία αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο υψόμετρο (σε μέτρα) και καλύπτει ορισμένη επιφάνεια (σε τετραγωνικά χιλιόμετρα). Οι περιοχές πολύ χαμηλού

κινδύνου καλύπτουν 1952 km², χαμηλού κινδύνου 2056 km², μέτριου κινδύνου 1650 km², υψηλού κινδύνου 2208 km² και πολύ υψηλού κινδύνου 5602 km². Αυτός ο πίνακας βοηθά στην κατανόηση του βαθμού επικινδυνότητας πλημμύρας με βάση το υψόμετρο και την έκταση που επηρεάζεται σε κάθε κατηγορία.

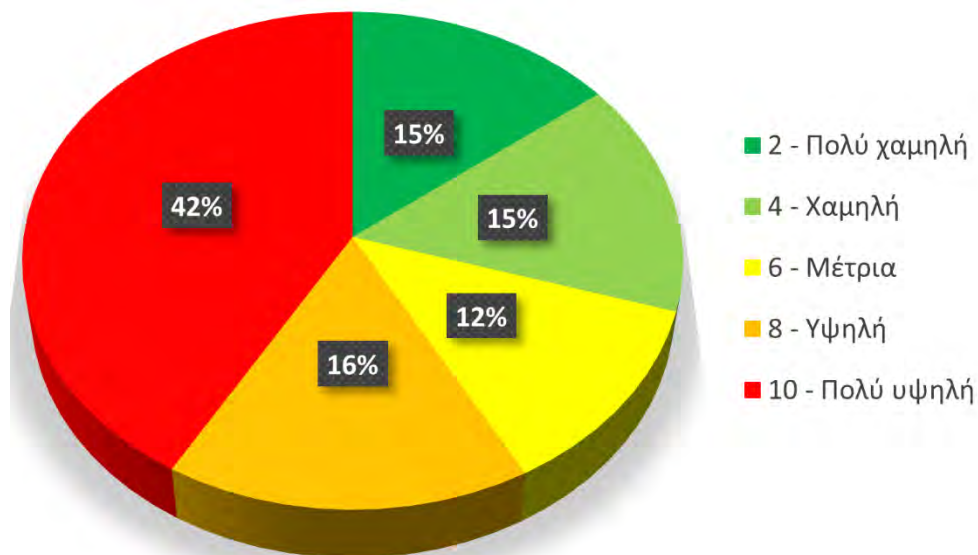
Ο χάρτης στην εικόνα 42, ο οποίος δημιουργήθηκε στο QGIS⁹, εμφανίζει βαθμονόμηση κινδύνου πλημμύρας με βάση το υψόμετρο στην περιοχή έρευνας. Οι περιοχές με χαμηλότερο υψόμετρο, διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο πλημμύρας, ενώ οι περιοχές με υψηλότερο υψόμετρο, διατρέχουν πολύ χαμηλό κίνδυνο. Αυτός ο χάρτης είναι ζωτικής σημασίας για τον εντοπισμό και τη διαχείριση περιοχών που είναι πιο ευάλωτες στις πλημμύρες, επιτρέποντας την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων προστασίας και πρόληψης.



Εικόνα 42. Βαθμονομημένος χάρτης επικινδυνότητας υψομέτρου

⁹ Τα αναλυτικά βήματα υπολογισμού έκτασης σε τετραγωνικά χιλιόμετρα κάθε βαθμονομημένης περιοχής επικινδυνότητας πλημμύρας από το υψόμετρο στο QGIS και Excel είναι ίδια με την παράμετρο της κλίσης και αναλύονται στην 8^η υποσημείωση.

Το διάγραμμα στην εικόνα 42, που απεικονίζει την κατανομή κινδύνου πλημμύρας στη Θεσσαλία βάσει του υψομέτρου, δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες του Πίνακα 19. Δείχνει ότι το 58% της περιοχής μελέτης εμφανίζει πολύ υψηλό και υψηλό κίνδυνο πλημμύρας, ενώ μόνο το 30% της περιοχής παρουσιάζει χαμηλό και πολύ χαμηλό κίνδυνο.



Εικόνα 43. Κατανομή επικινδυνότητας υψομέτρου Θεσσαλίας

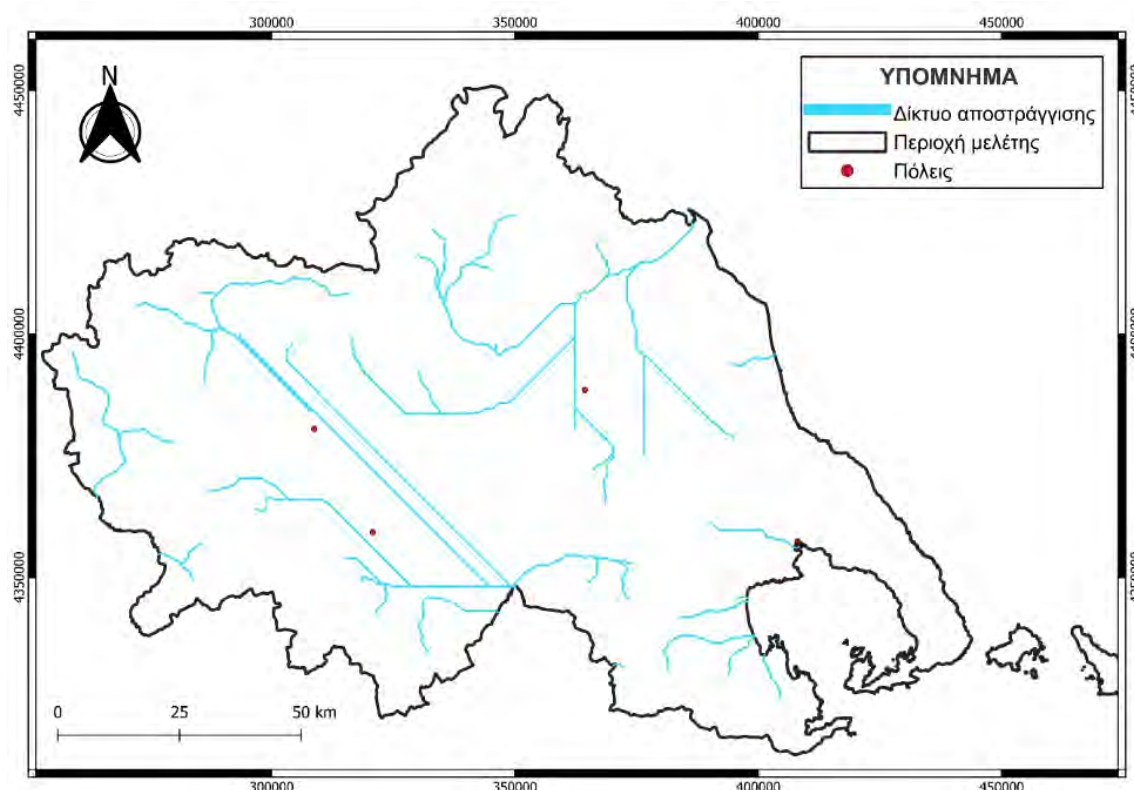
3.5.6. ΔΙΚΤΥΟ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Το τελευταίο κριτήριο της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι το δίκτυο αποστράγγισης, το οποίο προσδιορίζεται επίσης από το DEM στο QGIS¹⁰. Σύμφωνα με την Ταουκίδου (2021), ένα πλημμυρικό γεγονός μπορεί να συμβεί όταν τα ποτάμια μιας περιοχής υπερχειλίσουν, επιτρέποντας στο νερό να διαφύγει από την κοίτη και να επεκταθεί στο περιβάλλον. Οι περιοχές κατά μήκος της κοίτης ενός ρέματος είναι πιο ευάλωτες σε πλημμύρες, ενώ ο κίνδυνος πλημμύρας μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση από την κοίτη. Στην πραγματικότητα, η απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης καθορίζει την απόσταση μεταξύ της κοίτης του ποταμού και του σημείου εκροής της λεκάνης απορροής, όπου γίνεται η αποστράγγιση του νερού.

¹⁰ Αναλυτικά βήματα δημιουργίας χάρτη απόστασης από το δίκτυο αποστράγγισης από το DEM στο QGIS.

1. Processing -> Toolbox -> SAGA -> Terrain Analysis Hydrology -> Fill Sinks (Wang & Liu) -> Save as: filled DEM.
2. Processing -> Toolbox -> SAGA -> Terrain Analysis Channe -> Channe network and drainage Basins -> use: filled DEM -> Threshold: 7 -> Flow direction: no -> Flow connectivity: no -> Strahler order: no -> Drainage basins: no -> Sunctions: no -> Save as: Stream network.

Ο χάρτης στην εικόνα 44 δείχνει το δίκτυο αποστράγγισης της Θεσσαλίας, με τις κύριες διαδρομές αποστράγγισης να απεικονίζονται ως γαλάζιες γραμμές. Το δίκτυο αυτό είναι κρίσιμο για τη διαχείριση των υδάτων, τον έλεγχο των πλημμυρών και τη βελτίωση της αποστράγγισης σε γεωργικές και αστικές περιοχές.



Εικόνα 44. Χαρτογράφηση δικτύου αποστράγγισης Θεσσαλίας

ΒΑΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

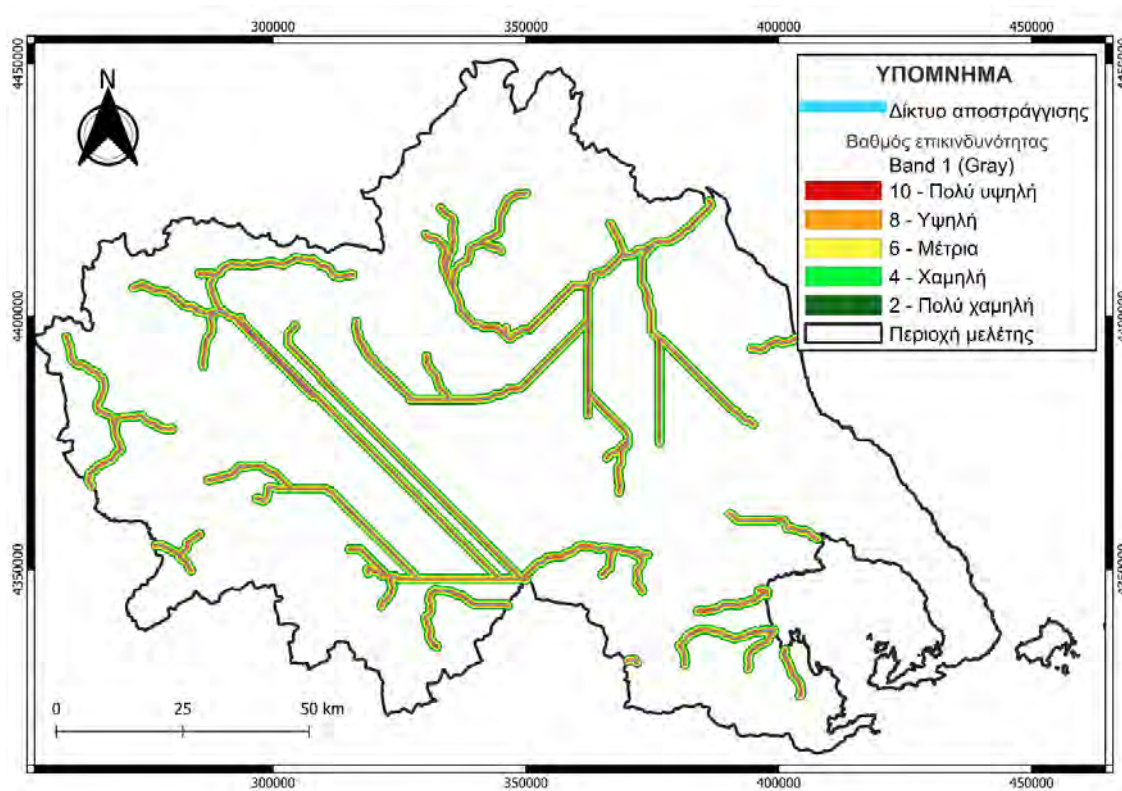
Η βαθμονόμηση του κινδύνου πλημμύρας με βάση την απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης παρουσιάζεται στον πίνακα 20. Ο κίνδυνος ταξινομείται σε πέντε κατηγορίες, από πολύ χαμηλό έως πολύ υψηλό, ανάλογα με την απόσταση σε μέτρα από το δίκτυο αποστράγγισης και την έκταση¹¹ κάθε κατηγορίας σε τετραγωνικά χιλιόμετρα. Διαπιστώνεται ότι η περιοχή με πολύ υψηλή επικινδυνότητα πλημμύρας αυξάνεται όσο μειώνεται η απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης.

¹¹ Ο χάρτης της απόστασης από το δίκτυο αποστράγγισης (εικόνα 45), καθώς και ο υπολογισμός έκτασης κάθε βαθμονομημένης περιοχής, δημιουργείται με τον ίδιο τρόπο που δημιουργείται η ο χάρτης απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο και αναλύεται στην 1^η υποσημείωση.

Πίνακας 20: Αντιστοίχιση βαθμού επικινδυνότητας και έκτασης της απόστασης από το δίκτυο αποστράγγισης.

ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ (m)	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)
2	Πολύ χαμηλή	1000	375,3
4	Χαμηλή	800	370,6
6	Μέτρια	600	352,1
8	Υψηλή	400	370,6
10	Πολύ Υψηλή	200	375,3

Ο χάρτης στην εικόνα 45, δείχνει την επικινδυνότητα πλημμύρας στη Θεσσαλία με βάση την απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης. Η χρωματική παλέτα επικινδυνότητας που έχει ακολουθηθεί είναι η ίδια όπως και στους παραπάνω βαθμονομημένους χάρτες επικινδυνότητας πλημμυράς για ευκολότερη κατανόηση. Οι περιοχές υψηλού κινδύνου βρίσκονται κατά μήκος του δικτύου αποστράγγισης, ενώ οι υπόλοιπες είναι χαμηλές ή πολύ χαμηλές. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της απόστασης από το δίκτυο στη διαμόρφωση της επικινδυνότητας πλημμύρας, τονίζοντας ότι οι κοντινές περιοχές είναι πιο εκτεθειμένες.



Εικόνα 45. Βαθμονομημένος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας της απόστασης από το δίκτυο αποστράγγισης



ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Το υδρογραφικό δίκτυο και το δίκτυο αποστράγγισης, είναι διακριτές κατασκευές που διαχειρίζονται τη ροή του νερού σε διάφορες περιοχές. Το υδρογραφικό δίκτυο περιλαμβάνει φυσικά υδάτινα σώματα όπως ποτάμια και ρέματα, ενώ το δίκτυο αποστράγγισης αποτελείται από ανθρωπογενείς υποδομές όπως κανάλια και αντλιοστάσια. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι ζωτικής σημασίας για την υδρολογική χαρτογράφηση και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, ενώ το δίκτυο αποστράγγισης χρησιμοποιείται για την πρόληψη πλημμυρών και την αποστράγγιση σε αγροτικές και αστικές περιοχές. Και τα δύο δίκτυα όμως έχουν σημαντικό ρόλο στην προστασία και τη διαχείριση των εδαφών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε για την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στην περιοχή της Θεσσαλίας, χρησιμοποιώντας γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και πολυκριτηριακή ανάλυση. Αρχικά, εξάγεται ο δείκτης πλημμυρικής επικινδυνότητας (FHI), ο οποίος υπολογίζεται με την εφαρμογή της μεθοδολογίας στο λογισμικό QGIS. Ο δείκτης αυτός αντικατοπτρίζει την επικινδυνότητα της περιοχής βάσει διαφόρων παραγόντων, όπως η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο και το δίκτυο αποστράγγισης, οι χρήσεις γης, η κλίση, το υψόμετρο και η συσσώρευση ροής. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης, ο οποίος προσφέρει μια σαφή και λεπτομερή εικόνα των ζωνών με διαφορετικά επίπεδα κινδύνου. Ο χάρτης αυτός αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση και τον εντοπισμό των περιοχών που είναι περισσότερο ευάλωτες σε πλημμύρες, συμβάλλοντας έτσι στην λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για την πρόληψη και διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων.

4.1. ΕΞΑΓΩΓΗ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της παρούσας πτυχιακής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε ο χωρικός δείκτης FHI για την εκτίμηση επικινδυνότητας πλημμύρας στην περιοχή έρευνας. Αυτός ο δείκτης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το QGIS με την υπέρθεση θεματικών χαρτών που έχουν προετοιμαστεί για κάθε συνθήκη. Οι τιμές FHI υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τη σχέση 4.1 στο εργαλείο Raster Calculator.

Με βάση την AHP που παρουσιάστηκε και τους συντελεστές βαρύτητας που προσδιορίστηκαν από αυτή, η σχέση (2.2.) για την παρούσα εργασία διαμορφώνεται ως εξής:

$$FHI = E * 0,45 + S * 0,25 + F * 0,13 + H * 0,09 + L * 0,07 + D * 0,03 \quad 4.1.$$

όπου FHI ο δείκτης επικινδυνότητας πλημμύρας, E το υψόμετρο, S η κλίση, F η συσσώρευση ροής, H η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, L οι χρήσεις γης, D η απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης,

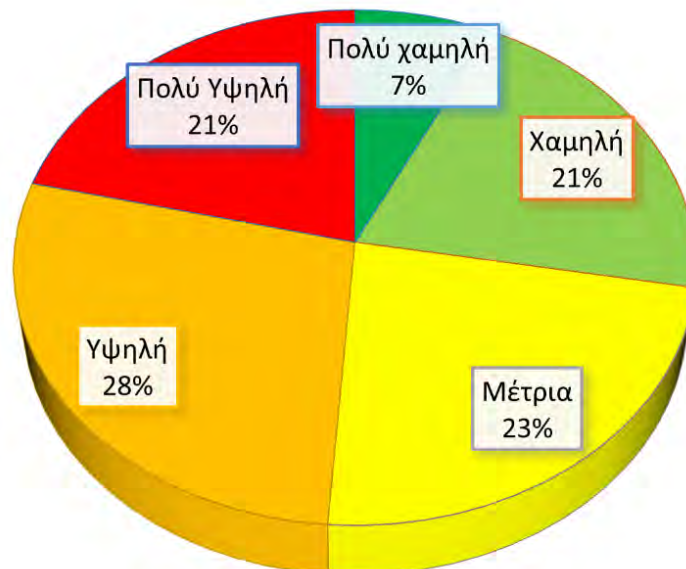
Οι τιμές του FHI κατατάχθηκαν σε πέντε κλάσεις, με βάση την μέθοδο των Φυσικών Ορίων (Natural Breaks) επικινδυνότητας όπως δίνονται στον πίνακα 21. Τα Φυσικά όρια, είναι μια μέθοδος ταξινόμησης που χρησιμοποιείται για την ανάλυση και την κατηγοριοποίηση

δεδομένων. Αυτή η μέθοδος χωρίζει τα δεδομένα σε κατηγορίες με βάση τις φυσικές ομάδες που υπάρχουν μέσα στα δεδομένα (Ταουκίδου, 2021). Έπειτα με το εργαλείο “Raster Layer Unique Value Report”, υπολογίστηκε σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (km^2) η κάθε ζώνη επικινδυνότητας.

Πίνακας 21: Κατάταξη των τιμών του FHI

ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	ΤΙΜΕΣ FHI	ΕΚΤΑΣΗ (km^2)	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Πολύ χαμηλή	0 – 1,78	915,6	7
Χαμηλή	1,79 – 3,65	2618,9	21
Μέτρια	3,66 – 5,52	2968,8	23
Υψηλή	5,53 – 7,39	3512,8	28
Πολύ Υψηλή	7,40 – 9,2	2696,7	21

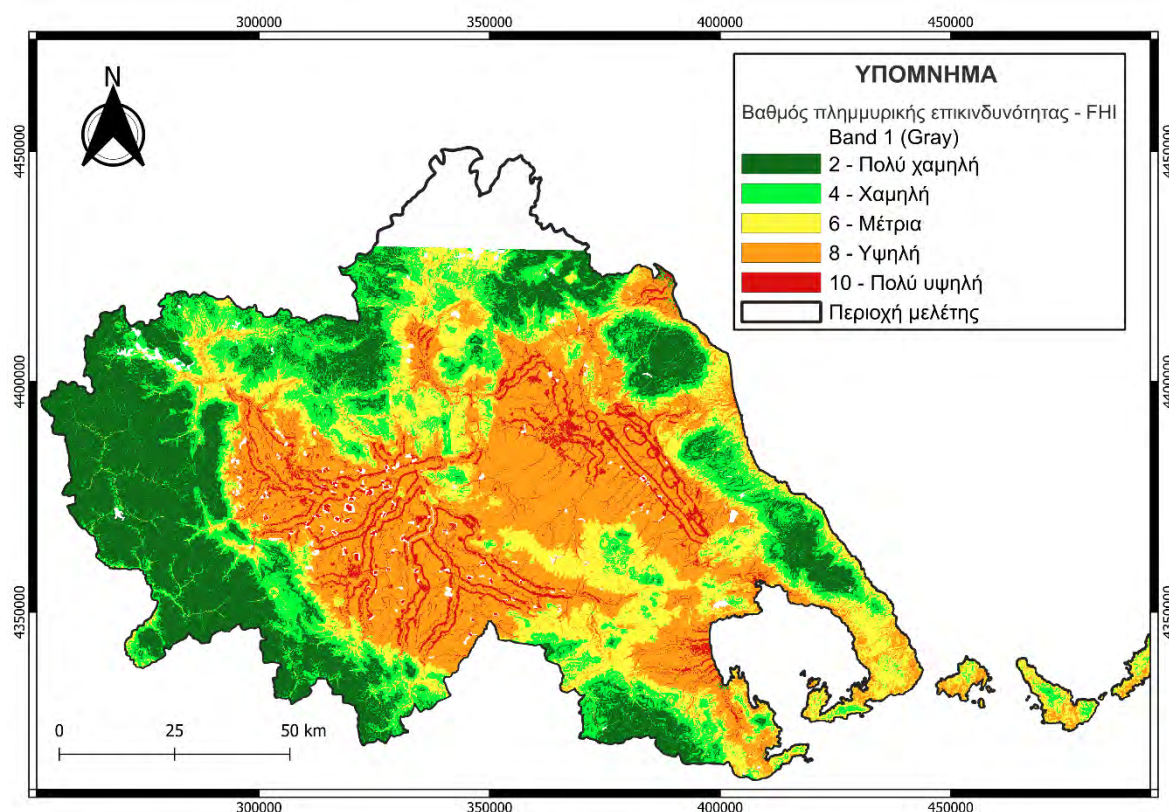
Τέλος, μεταφέροντας τα δεδομένα στο Excel, υπολογίστηκε το ποσοστό (%) που καταλαμβάνει κάθε ζώνη επικινδυνότητας πλημμύρας στην περιοχή της Θεσσαλίας, όπως φαίνεται στην εικόνα 46. Από τον πίνακα 21 και το διάγραμμα στην εικόνα 46, προκύπτει ότι η περιοχή με πολύ υψηλή και υψηλή επικινδυνότητα πλημμύρας καλύπτει 6209,5 τετραγωνικά χιλιόμετρα της συνολικής περιοχής μελέτης. Αντίθετα, η περιοχή με πολύ χαμηλή και χαμηλή επικινδυνότητα καταλαμβάνει 3534,5 τετραγωνικά χιλιόμετρα, ενώ η μέτρια επικινδυνότητα εντοπίζεται σε 2968,8 τετραγωνικά χιλιόμετρα της Θεσσαλίας.



Εικόνα 46. Κατανομή ποσοστού FHI της Θεσσαλίας, με βάση την έκταση σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (km^2)

4.2. ΕΞΑΓΩΓΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΧΑΡΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Ο ενιαίος χάρτης κινδύνου πλημμύρας της Θεσσαλίας, ο οποίος απεικονίζεται στην εικόνα 47, δημιουργήθηκε με χρήση του FHI που καθορίστηκε στην προηγούμενη ενότητα και δείχνει καθαρά τα μέρη με διαφορετικά επίπεδα επικινδυνότητας πλημμύρας. Δημιουργήθηκε στο QGIS με το εργαλείο Raster Calculator, χρησιμοποιώντας δεδομένα από έξι παράγοντες που είναι κρίσιμοι για την εμφάνιση μιας πλημμύρας. Αυτά τα κριτήρια αξιολογήθηκαν με βάση το μέγεθος της επίδρασής τους σε ένα συμβάν πλημμύρας και σε καθένα δόθηκε μια διαφορετική βαρύτητα επικινδυνότητας. Οι αξιολογήσεις των βαρών λήφθηκαν με την εφαρμογή της προσέγγισης AHP στην ερευνητική περιοχή. Ο συγκεκριμένος χάρτης, όπως καθορίζεται με τη χρήση αυτής της προσέγγισης, παρουσιάζει μια σαφή και πλήρη εικόνα των ζωνών με ποικίλα επίπεδα κινδύνου, βοηθώντας στον εντοπισμό των πιο ευάλωτων στις πλημμύρες σημείων.

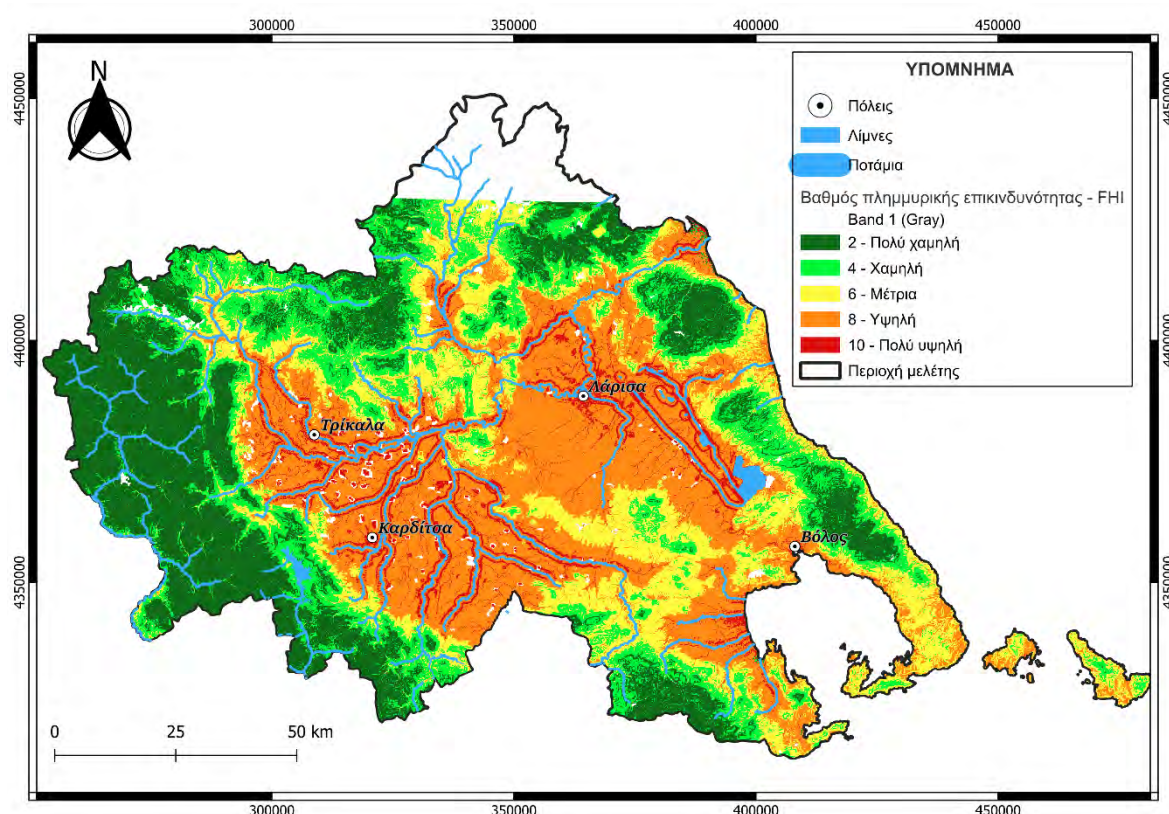


Εικόνα 47. Ενιαίος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας Θεσσαλίας

Τα σημεία με υψηλή και πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα, συγκεντρώνονται κυρίως στις κεντρικές και ανατολικές περιοχές της Θεσσαλίας, ενώ οι περιοχές με μικρότερο κίνδυνο εντοπίζονται στις δυτικές και βόρειες περιοχές. Παρατηρείται ότι οι περιοχές με υψηλό υψόμετρο και μεγάλη κλίση, όπως τα ορεινά της Πίνδου και του Ολύμπου,

εμφανίζουν χαμηλή επικινδυνότητα πλημμύρας. Αντίθετα, οι πεδινές περιοχές με χαμηλό υψόμετρο και μικρή κλίση, όπως οι περιοχές γύρω από τη Λάρισα και τον κάμπο της Θεσσαλίας, παρουσιάζουν υψηλή επικινδυνότητα. Η συσσώρευση ροής και η εγγύτητα στο υδρογραφικό δίκτυο αυξάνουν την πιθανότητα πλημμύρας, κάτι που είναι εμφανές στις περιοχές κατά μήκος του Πηνειού ποταμού. Επιπλέον, οι χρήσεις γης που δεν επιτρέπουν εύκολη απορρόφηση του νερού, όπως οι αστικές περιοχές, συμβάλλουν στην αύξηση της επικινδυνότητας.

Όπως γίνεται αντιληπτό και από τον χάρτη της εικόνας 48, ιδιαίτερα ευάλωτες στις πλημμύρες είναι οι πόλεις Λάρισα, Τρίκαλα, Καρδίτσα και Βόλος, λόγω της πεδινής θέσης τους και της γειτνιάσής τους με σημαντικά υδάτινα σώματα. Η Λάρισα βρίσκεται κατά μήκος του ποταμού Πηνειού, ενώ τα Τρίκαλα και η Καρδίτσα περικλείονται από ένα σύνθετο υδρογραφικό δίκτυο που περιλαμβάνει σημαντικούς ποταμούς. Επιπλέον, εκτός από την εγγύτητά του με υδάτινους πόρους, ο Βόλος επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το Πήλιο, το οποίο έχει έντονη μορφολογία και απότομες κλίσεις εδάφους. Σε έντονες βροχοπτώσεις, τα νερά από τις πλαγιές του Πηλίου πέφτουν προς τον Βόλο, αυξάνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας.



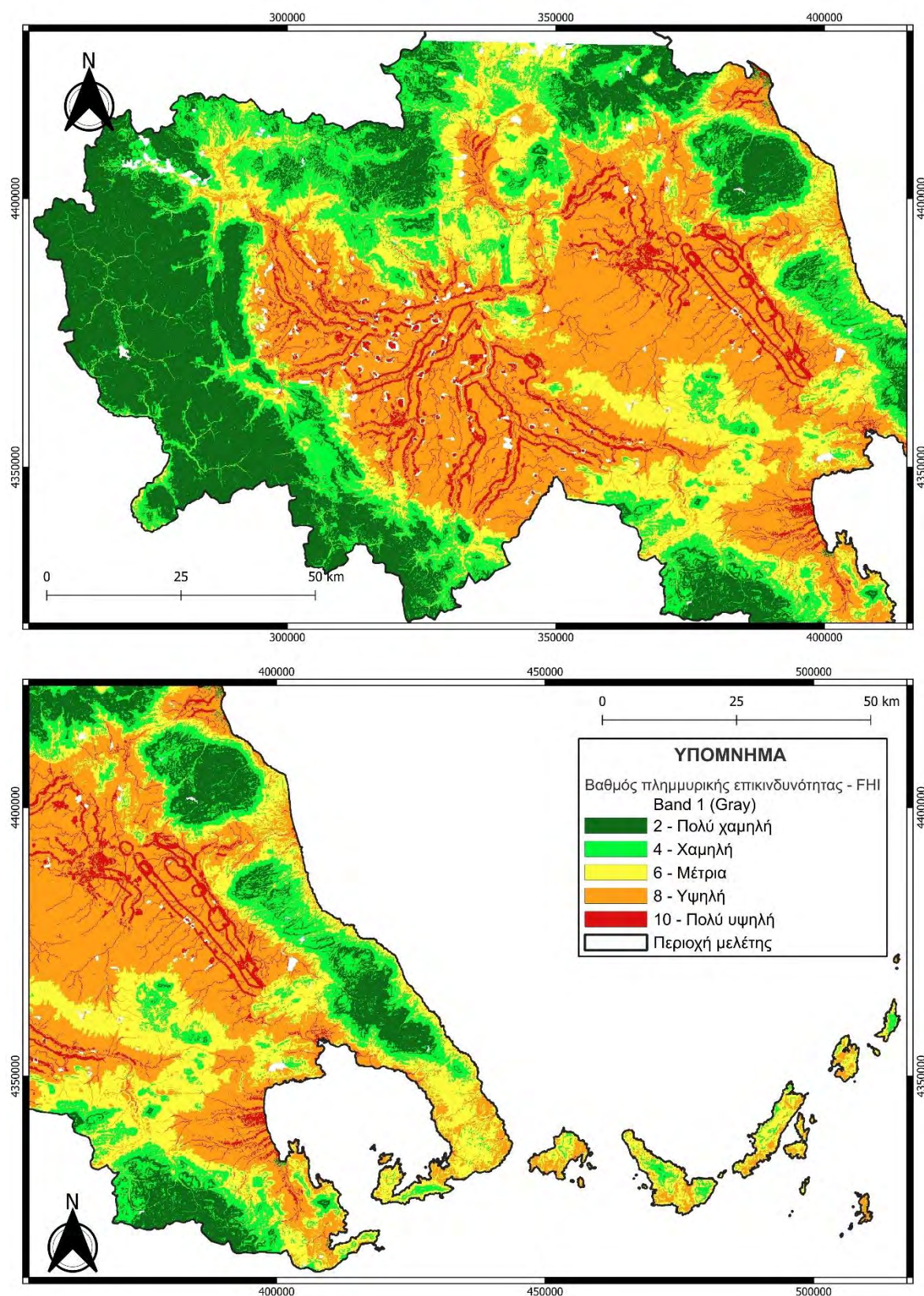
Εικόνα 48. Ενιαίος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας μαζί με το υδρογραφικό δίκτυο και τις πόλεις της Θεσσαλίας

Σύμφωνα με τα δεδομένα που υπολογίστηκαν και απεικονίζονται στον Πίνακα 21 και το διάγραμμα στην Εικόνα 46, το 21% της περιοχής μελέτης ταξινομείται ως πολύ υψηλού κινδύνου και το 28% ως υψηλού κινδύνου, καθιστώντας τα μέρη αυτά εξαιρετικά ευάλωτα στις πλημμύρες. Ένα μεγάλο μέρος της ερευνητικής περιοχής ορίζεται από μεσαίο επίπεδο κινδύνου (23%), ενώ το 21% και το 7% της Θεσσαλίας παρέχουν χαμηλό και πολύ χαμηλό κίνδυνο.

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι περιοχές πολύ υψηλής και υψηλής επικινδυνότητας καλύπτουν το 49% της Θεσσαλίας, τονίζοντας τη σημασία αποτελεσματικών μεθόδων αντιπλημμυρικής προστασίας και ελέγχου στις περιοχές αυτές. Η ύπαρξη μεγάλων εκτάσεων με μέτριο κίνδυνο (23%) υπογραμμίζει τη σημασία της συνεχούς παρακολούθησης και βελτίωσης των υφιστάμενων υποδομών προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος πλημμύρας στο μέλλον. Τέλος, το γεγονός ότι ένα μικρό ποσοστό (7%) εμπίπτει στην κατηγορία πολύ χαμηλής επικινδυνότητας, υποδηλώνει την παρουσία περιοχών που είναι λιγότερο επιρρεπείς σε πλημμύρες, λειτουργώντας ως ασφαλείς ζώνες για μελλοντική ανάπτυξη ή μετανάστευση πληθυσμού σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τον εστιασμένο χάρτη της εικόνας 49, ο κίνδυνος πλημμύρας στα νησιά της Θεσσαλίας είναι σημαντικά μικρότερος από ό,τι στην ηπειρωτική περιοχή της. Τα νησιά συσσωρεύουν λιγότερους κινδύνους, λόγω της μορφής τους και της περιορισμένης έκτασης των υδρογραφικών δικτύων. Ωστόσο, οι παράκτιες περιοχές εξακολουθούν να είναι ευάλωτες στις πλημμύρες λόγω της χαμηλής κλίσης του εδάφους και της εγγύτητας με μικρά ποτάμια και ρέματα, που μπορεί να προκαλέσουν τοπικές πλημμύρες σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων.

Ειδικότερα, το νησί της Σκιάθου έχει τον υψηλότερο κίνδυνο πλημμύρας, λόγω της παρουσίας πεδινών περιοχών κοντά σε υδάτινα ρεύματα και παράκτιων τμημάτων που είναι ιδιαίτερα ευάλωτα. Η Σκόπελος, με το χαρακτηριστικό ορεινό σχήμα της, έχει λίγες πεδινές περιοχές επιρρεπείς σε πλημμύρες. Παρόλα αυτά, τα παράκτια τμήματα της Σκοπέλου παραμένουν ευπαθή λόγω της ήπιας κλίσης του εδάφους. Η Αλόνησος, η οποία είναι ως επί το πλείστον λοφώδης, έχει την χαμηλότερη πλημμυρική επικινδυνότητα μεταξύ των θεσσαλικών νησιών, με λίγες ευπαθείς περιοχές κοντά στις παραλίες και μικρά ρέματα.



Εικόνα 49. Εστιασμένος ενιαίος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας Θεσσαλίας



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

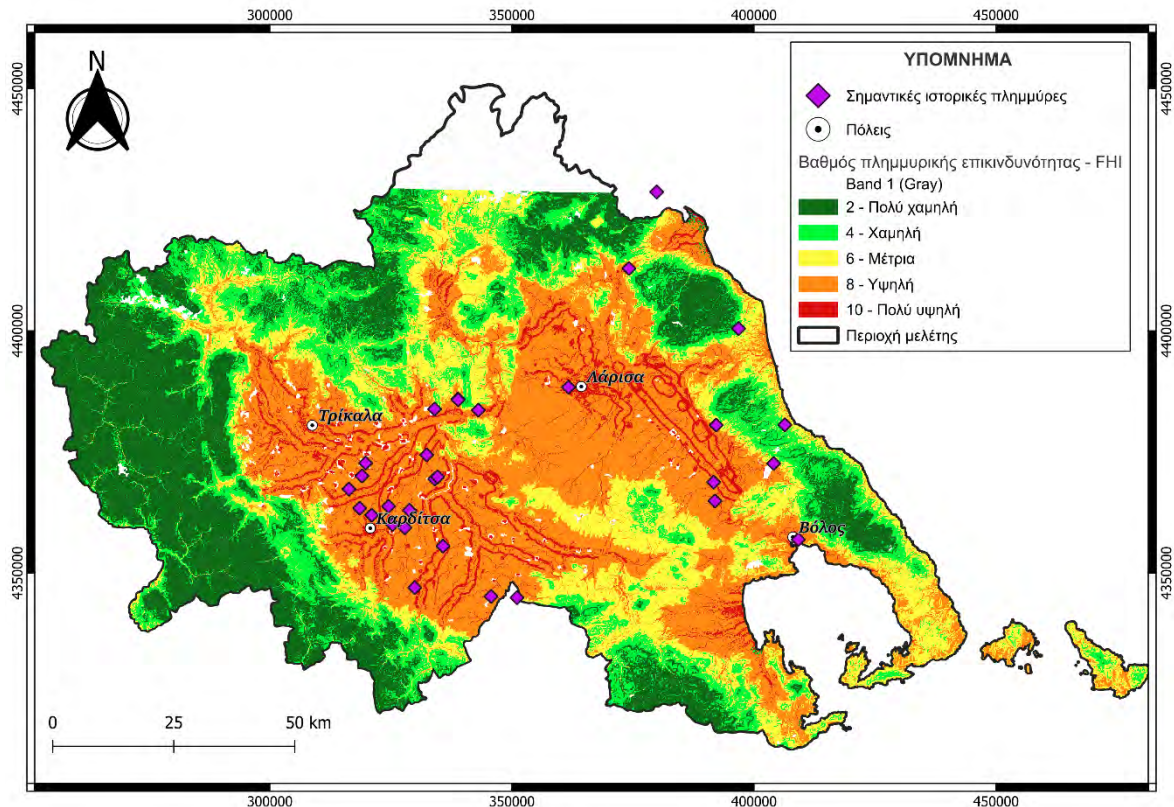
Για την εξακρίβωση των αποτελεσμάτων του Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας της Θεσσαλίας, με πραγματικά γεγονότα πλημμύρας, είναι σκόπιμο να γίνεται αξιολόγηση αξιοπιστίας της τεχνικής σε κάθε έρευνα (Ταουκίδου, 2021). Έτσι, η συζήτηση στην παρούσα πτυχιακή εργασία περιλαμβάνει μια σύγκριση των ευρημάτων του χάρτη με τα ιστορικά δεδομένα πλημμύρας καθώς και οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ) όπως δίνονται από την ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), για να προσδιοριστεί η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας.

Μέσω της σύγκρισης των περιοχών υψηλού κινδύνου, όπως αυτές αναδείχθηκαν από τη χαρτογράφηση, με τα καταγεγραμμένα περιστατικά πλημμυρών, επιχειρήθηκε να διαπιστωθεί κατά πόσο η μεθοδολογία μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια τις περιοχές που είναι πιο ευάλωτες σε πλημμυρικά φαινόμενα. Αυτή η διαδικασία παρέχει χρήσιμα δεδομένα για μελλοντική αντιπλημμυρική προστασία και διαχείριση, καθώς και για αξιολόγηση της υπάρχουσας στρατηγικής.

5.1. ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Η ιστοσελίδα του ΥΠΕΝ παρέχει ιστορικά δεδομένα πλημμύρας από το 1925 έως το 2021, τα οποία διακρίνονται στον χάρτη της εικόνας 50. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για να ελεγχθεί η ακρίβεια και η αξιοπιστία του Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία. Παρά τις διαφορές που παρατηρήθηκαν, όπου οι σημαντικές ιστορικές πλημμύρες δεν συμπίπτουν πάντα με τις ζώνες υψηλού κινδύνου του χάρτη, η μεθοδολογία παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τις περιοχές που είναι πιθανότερο να επηρεαστούν από πλημμύρες.

Αρκετές ιστορικές πλημμύρες που δεν συσχετίζονται με ζώνες υψηλού κινδύνου μπορούν να αποδοθούν σε αλλαγές στις φυσικές συνθήκες και σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις από το παρελθόν μέχρι σήμερα. Αυτές οι διαφορές δεν μειώνουν την αξιοπιστία της μεθοδολογίας, αλλά τονίζουν την ανάγκη για συνεχή ενημέρωση και προσαρμογή των κριτηρίων που χρησιμοποιούνται στη δημιουργία του χάρτη.



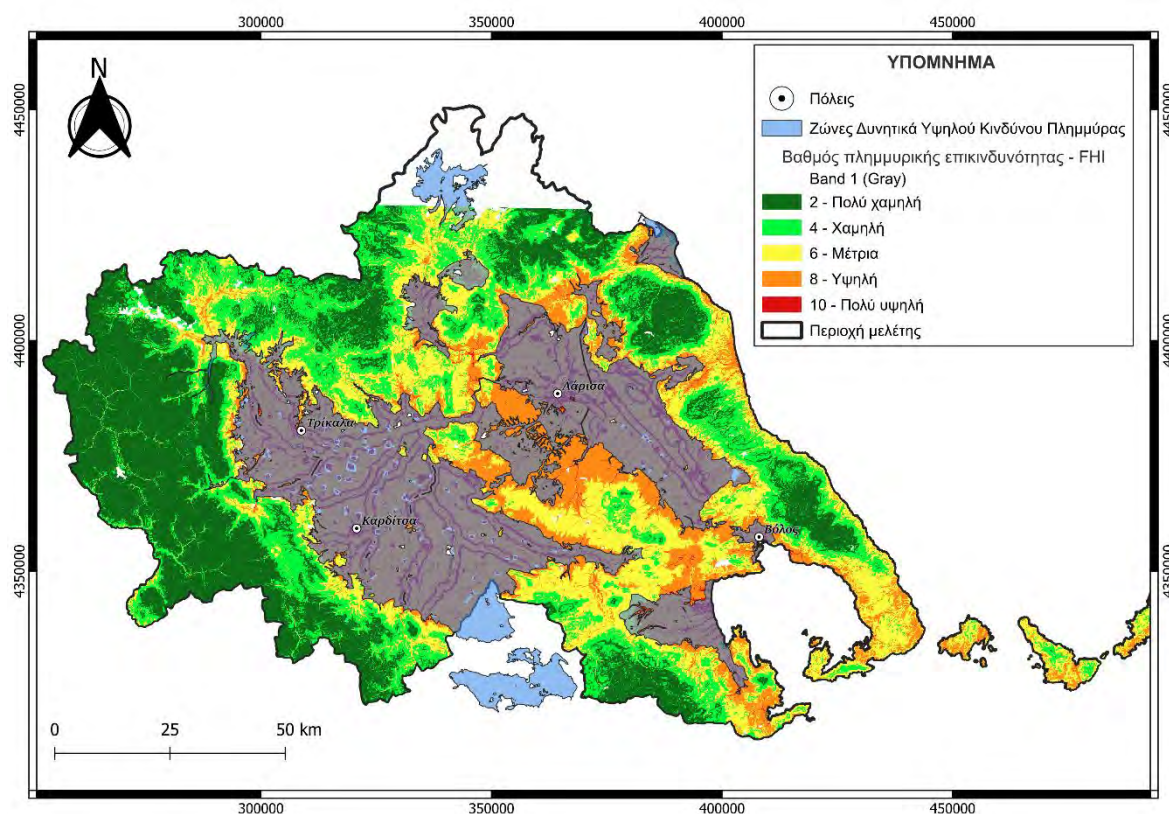
Εικόνα 50. Ενιαίος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας μαζί με τις σημαντικές ιστορικές πλημμύρες της Θεσσαλίας

Από την άλλη πλευρά, σημαντικές ιστορικές πλημμύρες που βρίσκονται στις ζώνες υψηλού κινδύνου του χάρτη, επιβεβαιώνουν την προσέγγιση και την ακρίβεια του χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας. Αυτή η σύμπτωση δείχνει ότι τα στοιχεία που καλύπτονται στη μελέτη είναι κρίσιμα για την πρόβλεψη πλημμυρών και υποστηρίζει την υιοθέτηση της τρέχουσας τεχνικής για την αποτελεσματική διαχείριση επικινδυνότητας πλημμύρας.

Συνολικά, η σύγκριση των δύο στρωμάτων, των σημαντικών ιστορικών πλημμυρών και ζωνών υψηλής επικινδυνότητας, δείχνει ότι η τεχνική της τρέχουσας εργασίας είναι αξιόπιστη και παρέχει πολύτιμα εργαλεία για τη διαχείριση και την πρόληψη πλημμυρών στην περιοχή της Θεσσαλίας. Οι αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν, υπογραμμίζουν την αναγκαιότητα συνεχούς τροποποίησης και ανάπτυξης της τεχνικής, διατηρώντας παράλληλα τη θεμελιώδη σημασία των ευρημάτων της μελέτης.

5.2. ΖΩΝΕΣ ΔΥΝΗΤΙΚΑ ΥΨΗΛΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ (ΖΔΥΚΠ)

Στον χάρτη που παρατίθεται (εικόνα 51), παρουσιάζονται οι ΖΔΥΚΠ, οι οποίες έχουν εντοπιστεί και καθοριστεί από το ΥΠΕΝ βάσει ιστορικών δεδομένων και μοντέλων πρόβλεψης, σε συνδυασμό με τον χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας της παρούσας μελέτης.



Εικόνα 51. Ενιαίος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας μαζί με τις ΖΔΥΚΠ όπως δίνονται από το ΥΠΕΝ

Η σύγκριση των παραπάνω κριτηρίων καταδεικνύει ότι οι ζώνες υψηλού κινδύνου πλημμύρας (όπως απεικονίζονται στον χάρτη της παρούσας μελέτης) αντιστοιχούν σε μεγάλο βαθμό με τις ΖΔΥΚΠ του ΥΠΕΝ. Αυτό δείχνει ότι η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη είναι αξιόπιστη και σύμφωνη με τους εθνικούς κανόνες και στατιστικές.

Ειδικότερα, και οι δύο αξιολογήσεις δείχνουν ότι οι περιοχές γύρω από τις πόλεις Λάρισα, Βόλο, Τρίκαλα και Καρδίτσα διατρέχουν υψηλό κίνδυνο πλημμύρας, αυξάνοντας την εμπιστοσύνη στην εγκυρότητα των ευρημάτων της τρέχουσας μελέτης. Επιπλέον, οι διαφοροποιήσεις που εντοπίζονται, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διεξαγωγή πρόσθετης έρευνας και τη βελτίωση των μοντέλων πρόβλεψης πλημμυρικής επικινδυνότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ένα από τα πιο κοινά και καταστροφικά φυσικά φαινόμενα στην περιοχή της Θεσσαλίας είναι οι πλημμύρες. Η γεωμορφολογία της περιοχής, οι έντονες βροχοπτώσεις και η ανθρώπινη δραστηριότητα, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση πλημμυρών, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα σοβαρές υλικές ζημιές και θανάτους. Η συστηματική χαρτογράφηση, ανάλυση και καταγραφή τοποθεσιών υψηλού κινδύνου είναι απαραίτητες για τη διαχείριση και τη μείωση των συνεπειών των πλημμυρών.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, δημιουργήθηκε ένας χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας για την περιοχή της Θεσσαλίας, χρησιμοποιώντας τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης και σύγχρονα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Συγκεκριμένα, με τη χρήση του λογισμικού QGIS, ο δείκτης FHI υπολογίστηκε με την ολοκλήρωση μεταβλητών όπως το υψόμετρο, η κλίση, η συσσώρευση ροής, η απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης και το υδρογραφικό δίκτυο, και οι χρήσεις γης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι περίπου το 49% της Θεσσαλίας ταξινομείται ως υψηλού ή πολύ υψηλού κινδύνου, υποδηλώνοντας σοβαρή ευαισθησία στις πλημμύρες. Αυτό προκύπτει από την κατηγοριοποίηση των τιμών FHI σε πέντε κατηγορίες κινδύνου. Επομένως, προκειμένου να βελτιωθεί η διαχείριση των πλημμυρών και να αυξηθεί η ετοιμότητα της κοινότητας, η μελέτη αυτή είχε ως στόχο να προσφέρει ένα αξιόπιστο εργαλείο για την αξιολόγηση και την πρόληψη των περιστατικών πλημμύρας.

Δημιουργώντας έναν χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας, εντοπίστηκαν οι περιοχές της Θεσσαλίας που είναι πιο ευάλωτες στις πλημμύρες. Τα ευρήματα έδειξαν ότι υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος πλημμύρας στις περιοχές γύρω από τις μεγάλες πόλεις, συμπεριλαμβανομένης της Λάρισας και του Βόλου. Να σημειωθεί πως τα ιστορικά στοιχεία υποστήριξαν την ορθότητα αυτών των προβλέψεων. Ταυτόχρονα, στο χάρτη επικυρώνονται οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, αποδεικνύοντας την αξιοπιστία και την ομοιομορφία της χρησιμοποιούμενης προσέγγισης.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας προέκυψαν αρκετές προκλήσεις, οι οποίες επηρέασαν τη διαδικασία ανάλυσης και χαρτογράφησης. Η εύρεση ακριβών και αξιόπιστων βροχομετρικών δεδομένων που καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή της Θεσσαλίας αποδείχθηκε δύσκολη, επηρεάζοντας δυνητικά την ακρίβεια της χαρτογράφησης. Επιπλέον, η έλλειψη λεπτομερών πληροφοριών για τις χαρτογραφήσεις των νησιών εμπόδισε την πλήρη έρευνα αυτών των περιοχών.

Η παρούσα έρευνα, επιβεβαίωσε τη σημασία της ανάπτυξης αξιόπιστων χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας ως εργαλείο για την πρόληψη και τη διαχείριση των πλημμυρών. Παρά τις προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν, τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι η προσέγγιση που χρησιμοποιείται είναι αξιόπιστη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκρίσιμη έρευνα σε άλλες χώρες.



Με βάση τα παραπάνω, προτείνονται διάφορες μελλοντικές κατευθύνσεις για την έρευνα με στόχο την ενίσχυση της πρόβλεψης πλημμυρών στη Θεσσαλία. Αυτές περιλαμβάνουν την αναβάθμιση των βροχομετρικών δεδομένων, τη χαρτογράφηση των νησιωτικών περιοχών, την αξιοποίηση δορυφορικών δεδομένων και GIS, την ανάλυση της κλιματικής αλλαγής και την ανάπτυξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων. Οι προτάσεις αυτές αποσκοπούν στη βελτίωση της ακρίβειας των μοντέλων πρόβλεψης πλημμυρών, στην αναγνώριση των ζωνών υψηλού κινδύνου και στην ενίσχυση της προστασίας των ανθρώπων και των υποδομών από πλημμύρες. Μέσω της εφαρμογής αυτών των στρατηγικών, η μελέτη στοχεύει στη δημιουργία πιο ακριβών και αξιόπιστων χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Αναγνωστοπούλου, Ε (2013). *Πλημμυρική Επικινδυνότητα στη Δυτική Θεσσαλία*. (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο), Αθήνα.
2. Ασσαέλ, Μ. & Κακοσίμος, Κ. (2017). *Ανάλυση επικινδυνότητας, Εγχειρίδιο υπολογισμών των επιπτώσεων φωτιάς, έκρηξης & διασποράς τοξικών ρύπων*. Εκδόσεις Τζιόλα.
3. Βασισιούλα, Γ., & Πολυκρέτη, Ν. (2004). *Η Θωράκιση των Ελληνικών Πόλεων σε Περιπτώσεις Φυσικών Καταστροφών*. (Χαροκοπείο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας).
4. Γιαννοπούλου, Β. (2019). *Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων*. (Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο). Πάτρα.
5. Ειδική έκθεση: Οδηγία για τις πλημμύρες (2018). *Πρόοδος ως προς την αξιολόγηση των κινδύνων, ανάγκη βελτίωσης του σχεδιασμού και της υλοποίησης*. Ανακτήθηκε από: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/floods-directive-25-2018/el/>
6. Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία – ΕΜΥ, (n.d.). Το κλίμα της Ελλάδος. Ανακτήθηκε από: <http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology>
7. Κουτσόπουλος, Κ. (2017). *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών & Ανάλυση Χώρου*. Αθήνα: Δίσιγμα.
8. Παπαθανασίου, Α. (2020). *Συμβολή στην ιστορική τοπογραφία και αρχαιολογία της βόρειας Πελαγονίδας (Θεσσαλίας): οικιστικό πλέγμα και λατρεία με βάση το επιγραφικό corpus* (Doctoral dissertation, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Σχολή Ανθρωπιστικών και Κοινωνικών Επιστημών. Τμήμα Ιστορίας Αρχαιολογίας και Κοινωνικής Ανθρωπολογίας).
9. Μάρης, Φ. (n.d.). *Ποτάμια Υδραυλική και Τεχνικά Έργα. Κεφάλαιο 4ο: Λεκάνη απορροής*. Δημοκράτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
10. Πάνου, Ε. (2008, Φεβρουάριος). *Το πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα - διαχείριση πλημμυρών στα πλαίσια της οδηγίας πλαίσιο 2000/60: η περίπτωση του Πηνειού Θεσσαλίας*. <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/1135>
11. Σκαφίδα, Α. (2014). *Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και εφαρμογές τους*. (Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας). Θεσσαλονίκη.
12. Σούρλας, Μ. (2021). *Εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας με τη χρήση τεχνικών της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η περίπτωση της ΒΑ περιοχής του νομού Κορινθίας*. (Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο). Αθήνα.
13. Ταουκίδου, Ν. (2021). *Ανάλυση επικινδυνότητας πλημμύρας στην ΠΕ Χαλκιδικής με χρήση GIS και πολυκριτηριακής ανάλυσης* (Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης).



14. Τατάκης, Α. (2018). Πολυκριτηριακή ανάλυση με Χρήση GIS στην χωροθέτηση καλλιεργήσιμης έκτασης στην ευρύτερη περιοχή της Σάμου. (Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου). Σάμος.
15. Τιτόνη, Φ. (2018). *Ανάλυση των πλημμυρικών φαινομένων και των ανθρώπινων παρεμβάσεων του ρέματος της Εσχατίας στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Αθήνας*. (Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό πανεπιστήμιο Αθηνών).
16. ΥΠΕΝ. (2023). Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. Ανάκτηση από [floods.ypeka.gr:https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=504](https://floods.ypeka.gr/https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=504)
17. Χαραμής, Γ. (2002). Ανάλυση και σχεδιασμός πληροφοριακών συστημάτων. Θεσσαλονίκη: ΑΝΙΚΟΥΛΑ.
18. Ψιλοβίκος, Α. (2020). *Υδατικοί πόροι*. Εκδόσεις Τζιόλα.
19. INSETE Intelligence. (2019, Δεκέμβριος). Περιφέρεια Θεσσαλίας – Ετήσια έκθεση ανταγωνιστικότητας και διαρθρωτικής προσαρμογής στον τομέα του τουρισμού για το έτος 2018.
20. Data.europa.eu. (n.d.). *Corine Land Cover Λογιστικά στρώματα*. Ανακτήθηκε από: <https://data.europa.eu/data/datasets/dat-214-en?locale=en>
21. Geodata.gov.gr. (2015, Νοέμβριος). *Λεκάνες απορροής (Ειδική Γραμματεία Υδάτων)*. Ανακτήθηκε από: <https://geodata.gov.gr/dataset/lekanes-aporroes-eidike-grammateia-udaton>
22. Thessaly.gov.gr. (2020, Απρίλιος). *Συνοπτικό τεύχος πρότασης καθορισμού οριογραμμών Ρ. Μαλακασιώτικου για κατασκευή μικρού υδροηλεκτρικού έργου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 3,6ΜΒ στη θέση "κόκκινη" πέτρα ΤΚ Καλομοίρας & Ματονερίου, της ΔΕ Καστανιάς, του Δήμου Καλαμπάκας, ΠΕ Τρικάλων, Περιφέρειας Θεσσαλίας*. Ανακτήθηκε από: [Υδρολογική μελέτη \(thessaly.gov.gr\)](https://www.thessaly.gov.gr/Υδρολογική_μελέτη_(thessaly.gov.gr))

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Communities and Local Government. (2009, January). *Multi-criteria analysis: a manual*. Department for Communities and Local Government: London. https://eprints.lse.ac.uk/12761/1/Multi-criteria_Analysis.pdf
2. Dean, M. (2020, January 1). *Multi-criteria analysis*. Advances in Transport Policy and Planning. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2020.07.001>
3. DIRECTIVE 2007/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32007L0060>
4. Domakinis, C. (2020). *Use of remote sensing and geographic information systems in mapping flood extent and assessing flood hazard: application example: Evros's tributary, Erythropotamos river* (Doctoral dissertation, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας).



5. Fernandez, P., Mourato, S., & Moreira, M. (2016). *Social vulnerability assessment of flood risk using GIS-based multicriteria decision analysis. A case study of Vila Nova de Gaia (Portugal)*. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(4), 1367-1389.
6. Kuang, D., & Liao, K. (2020). Learning from Floods: Linking flood experience and flood resilience. *Journal of Environmental Management*, 271, (111025), 1-11. ELSEVIER.
7. Menne, B., & Murray, V. (Ed.). (2013). *Floods in the WHO European Region: health effects and their prevention*. Public Health England: World Health Organization, Regional Office for Europe.
8. Metych M. (2023). Natural disaster. Ανακτήθηκε στις 10 Ιουλίου 2023 από <https://www.britannica.com/science/natural-disaster>
9. Ramanathan, R. (2004). *Multicriteria Analysis of Energy*. Encyclopedia of energy (p.77-88). Elsevier Science. Ανακτήθηκε στις 6 Μαρτίου 2024 από <https://www.sciencedirect.com/topics/economics-econometrics-and-finance/ahp-approach>
10. Robinson, A. (2023, October 17). *Risk, Threat and Vulnerability* | 6clicks. <https://blog.6clicks.com/threat-vs-vulnerability-vs-risk-whats-the-difference>
11. Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9-26.
12. Tsangaratos, P., Pizpikis, T., Vasileiou, E., Pliakas, F., Schuth, C., & Kallioras, A. (2013). Development of multi-criteria decision support system (DSS) coupled with GIS for identifying optimal locations for soil aquifer treatment (SAT) facilities. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 47(2), 789-800.
13. Vinet, F. (Ed.). (2017). *FLOODS: Volume 2 – Risk Management*. ISTE Press – Elsevier.
14. Zelenáková, M. (2012). Flood risk assessment in the Hornád and Bodrog river basins, Slovakia. *Flood Risk Assessment and Management* (p. 1-3). Slovakia: WITpress.