



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου
Σχεδιασμού

ΠΜΣ

Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός

Διπλωματική Εργασία

Χωρική Εκτίμηση Πλημμυρικής Τρωτότητας στο Υδατικό
Διαμέρισμα της Θεσσαλίας με τη Χρήση GIS για την
Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων

Μυρτώ Κουτσελίνη

Επιβλέπων καθηγητής: Δημήτριος Τσεσμελής

Πάτρα, Ιούλιος 2026

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας της συγγραφέως/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση της συγγραφέως/δημιουργού. Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Χωρική Εκτίμηση Πλημμυρικής Τρωτότητας στο Υδατικό
Διαμέρισμα της Θεσσαλίας με τη Χρήση GIS για την
Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων

Μυρτώ Κουτσελίνη

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δημήτριος Τσεσμελής

Επ. Καθηγητής,

Πανεπιστήμιο Πατρών

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Κάρολος Νικόλαος Κοντολέων

Αν. Καθηγητής,

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης

Πάτρα, Ιούλιος 2026

«Στον Αργύρη, στην Ελεάνα και στον Δημήτρη»

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Δημήτριο Τσεσμελή, για την επίβλεψη, την καθοδήγησή, τις εύστοχες παρατηρήσεις του και την επιστημονική του υποστήριξη που συνέβαλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον συνεπιβλέποντα καθηγητή κ. Κάρολο Νικόλαο Κοντολέων για την υποστήριξή του, τον χρόνο που διέθεσε και τα ουσιώδη και ενθαρρυντικά του σχόλια που συνεισέφεραν σημαντικά στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Περίληψη

Η Πλημμυρική Τρωτότητα (Flood Vulnerability) αποτελεί μια διαδεδομένη έννοια τα τελευταία χρόνια και συνιστά ένα βασικό κριτήριο αξιολόγησης και εκτίμησης της χωρικής κατανομής του πλημμυρικού κινδύνου και του εντοπισμού των ευάλωτων περιοχών σε πλημμυρικά φαινόμενα. Η εκτίμηση της ΠΤ μπορεί να αποτελέσει ένα εργαλείο για τη λήψη μέτρων, την εφαρμογή σχεδίων διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, καθώς και για την εφαρμογή της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων για τη βέλτιστη διαχείριση του κρίσιμου αυτού φυσικού πόρου και τον μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων των πλημμυρών στις κοινωνίες, την οικονομία, τον πολιτισμό και τα περιβαλλοντικά οικοσυστήματα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η τρωτότητα των πλημμυρικών φαινομένων της περιοχής του Υδατικού Διαμερίσματος της Θεσσαλίας, μέσω της αξιολόγησης επτά παραμέτρων που περιλαμβάνουν, το υψόμετρο, την κλίση εδάφους, την μέση ετήσια βροχόπτωση, την συσσώρευση ροής των ποταμών, την απόσταση από τα υδάτινα συστήματα, τις χρήσεις γης και την πληθυσμιακή πυκνότητα. Μέσω της δημιουργίας των αντίστοιχων θεματικών χαρτών σε περιβάλλον εργασίας ΓΣΠ και την εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας για τον υπολογισμό της βαρύτητας των επτά κριτηρίων, δημιουργήθηκε ο τελικός Χάρτης Πλημμυρικής Τρωτότητας, στον οποίο οι περιοχές ταξινομούνται σε πέντε κατηγορίες από πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή τρωτότητα.

Από τα αποτελέσματα της μεθόδου αναδείχθηκαν ως κύριοι παράγοντες ΠΤ της περιοχής το υψόμετρο, η κλίση του εδάφους και η απόσταση από τα υδάτινα συστήματα και αντίστοιχα στο Χάρτη ΠΤ οι περιοχές με την υψηλότερη τρωτότητα εμφανίζονται στα αστικά κέντρα, και τους μικρότερους οικισμούς που βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα και κλίσεις εδάφους και εντοπίζονται κυρίως πλησίον κάποιου κύριου ποταμού.

Επίσης, διενεργήθηκε σύγκριση μεταξύ του τελικού Χάρτη ΠΤ, των ιστορικών πλημμυρών της περιοχής και των Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας του Υ.Π.Ε.Ν., σύμφωνα με τις οποίες οι περιοχές που εμφανίζονται στον τελικό χάρτη με υψηλή τρωτότητα έχουν σε ποσοστό 75% στον παρελθόν πληγεί από πλημμυρικά φαινόμενα και αντίστοιχα ανήκουν στις ΖΔΥΚΠ, οπότε μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα της μεθόδου είναι αξιόπιστα και να επιβεβαιωθεί η ορθότητα των επιλεγόμενων κριτηρίων.

Λέξεις – Κλειδιά

Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Πλημμύρες, Τρωτότητα, ΥΔ Θεσσαλίας, ΓΣΠ

Spatial Assessment of Flood Vulnerability in the Water District of Thessaly using GIS for Integrated Water Resources Management

Myrto Koutselini

Abstract

Flood Vulnerability is a widespread concept in recent years and constitutes a basic criterion for evaluating and assessing the spatial distribution of flood risk and identifying vulnerable areas to flood phenomena. The assessment of Flood Vulnerability can be a tool for taking measures, implementing flood risk management plans, as well as for the implementation of Integrated Water Resources Management for the optimal management of this critical natural resource and the mitigation of adverse impacts on societies, economy, culture and environmental ecosystems.

This thesis studies the vulnerability of the flood phenomena of the Water District of Thessaly, through the evaluation of seven parameters that include, elevation, slope, mean annual rainfall, flow accumulation, distance from aquatic systems, land uses and population density. Through the creation of the corresponding thematic maps in GIS and the application of the Analytical Hierarchical Process for calculating the weight of the seven criteria, the final Flood Vulnerability Map was created, in which the areas are classified into five categories showing very low to very high vulnerability.

The results of the method revealed that the main factors of the area's vulnerability were elevation, terrain slope and distance from aquatic systems and accordingly in the Vulnerability Map, the areas with the highest vulnerability appear in urban centers and smaller settlements located at low elevation and terrain slopes and are located near a major river.

In addition, a comparison was made between the final Vulnerability Map, the historical floods of the area and the Potentially High Flood Risk Zones of the Ministry of Environment and Natural Resources, according to which the areas that appear in the final map with high vulnerability have been affected by flood phenomena in the past by 75% and respectively belong to the ZDYKP, so it can be concluded that the results of the method are reliable and can be confirmed the correctness of the selected criteria.

Keywords

Integrated Water Resources Management, Floods, Vulnerability, Thessaly, GIS

Περιεχόμενα

Περίληψη	x
Abstract	xi
Περιεχόμενα	xii
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	xv
Κατάλογος Πινάκων	xvii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	xviii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο.....	1
Εισαγωγή.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο.....	3
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	3
2.1. Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΟΔΥΠ)	3
2.1.1. Βασικά Στάδια Εξέλιξης της ΟΔΥΠ	6
2.1.2. Θεσμικό Πλαίσιο	7
2.1.3. Διαδικασία Εφαρμογής της ΟΔΥΠ	8
2.1.4. Κλιματική Αλλαγή και ΟΔΥΠ	11
2.2. Πλημμύρες	14
2.2.1. Εισαγωγικά στοιχεία πλημμυρών	15
2.2.2. Κίνδυνος Πλημμύρας (Flood Risk).....	21
2.2.3. Τρωτότητα Πλημμύρας (Flood Vulnerability, FV).....	23
2.2.4. Δείκτης Τρωτότητας Πλημμύρας (Flood Vulnerability Index, FVI)...	26
2.2.5. Διαχείριση Κινδύνου Πλημμύρας (Flood Risk Management, FRM)	29
2.2.6. Θεσμικό Πλαίσιο	34
2.2.7. Τύποι πλημμυρών	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο	40
Μεθοδολογία	40
3.1. Γενικό Πλαίσιο Μεθοδολογίας	40
3.2. Κριτήρια Τρωτότητας	40
3.2.1. Επιλογή κριτηρίων για το ΥΔ Θεσσαλίας	42
3.2.2. Κριτήριο Υψομέτρου (Elevation)	45

3.2.3.	Κριτήριο Κλίσης Εδάφους (Slope)	47
3.2.4.	Κριτήριο Μέσης Ετήσιας Βροχόπτωσης (Mean Annual Rainfall)....	48
3.2.5.	Κριτήριο Συσσώρευσης Ροής (Flow Accumulation).....	49
3.2.6.	Κριτήριο Απόστασης από τα Υδάτινα Συστήματα (Distance).....	52
3.2.7.	Κριτήριο Χρήσεων γης (Land Use)	55
3.2.8.	Κριτήριο Πυκνότητας Πληθυσμού (Population Density, PD).....	58
3.3.	Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (ΑΗΡ).....	60
3.4.	Μεθοδολογία Χάρτη Πλημμυρικής Τρωτότητας	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο.....		68
Περιοχή Μελέτης		68
4.1.	Οριοθέτηση Περιοχής Μελέτης και Δεδομένα	68
4.1.1.	Πληθυσμιακά στοιχεία	68
4.1.2.	Επιφανειακά ύδατα.....	71
4.1.3.	Κλίμα	73
4.1.4.	Γεωμορφολογία και Υδρογεωλογία.....	75
4.1.5.	Χρήσης γης και οικονομικές δραστηριότητες	75
4.1.6.	Προστατευόμενες Περιοχές	76
4.2.	Υδατικοί Πόροι ΥΔ Θεσσαλίας	78
4.3.	Ιστορικές Πλημμύρες	81
4.3.1.	Πλημμυρικό φαινόμενο ‘Daniel’	85
4.4.	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας.....	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο.....		90
Αποτελέσματα		90
5.1.	Θεματικοί Χάρτες	90
5.1.1.	Χάρτης Υψομέτρου	90
5.1.2.	Χάρτης Κλίσεων.....	91
5.1.3.	Χάρτης Μέσης Ετήσιας Βροχόπτωσης	92
5.1.4.	Χάρτης Συσσώρευσης Ροής.....	94
5.1.5.	Χάρτης Απόστασης από Υδάτινα Συστήματα	95
5.1.6.	Χάρτης Χρήσεων γης.....	97
5.1.7.	Χάρτης Πληθυσμιακής Πυκνότητας	98
5.2.	Χάρτης Πλημμυρικής Τρωτότητας	99

5.3. Σύγκριση Χάρτη ΠΤ με Περιοχές Ιστορικών Πλημμυρών.....	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο	103
Συμπεράσματα	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	107

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 2-1: Αριθμός πλημμυρών ανά περιφέρεια για το χρονικό διάστημα 1886-2022...	18
Εικόνα 3-1: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας.	44
Εικόνα 3-2: Διαμόρφωση παραμέτρων αρχείου υψομέτρου.	46
Εικόνα 3-3: Διαμόρφωση παραμέτρων αρχείου κλίσεων εδάφους.	47
Εικόνα 3-4: Διαμόρφωση παραμέτρων αρχείου ποταμών.	51
Εικόνα 3-5: Εισαγωγή πεδίου ονομάτων στο αρχείο των ποταμών.	52
Εικόνα 3-6: Δημιουργία νέου layer από τις επιλεγόμενες λίμνες.	53
Εικόνα 3-7: Διαμόρφωση παραμέτρων αρχείου αποστάσεων από υδάτινα συστήματα. .	55
Εικόνα 3-8: Παραμετροποίηση του πεδίου 'Landclass'.	56
Εικόνα 3-9: Εισαγωγή κώδικα για τη δημιουργία των κατηγοριών χρήσεων γης.	57
Εικόνα 3-10: Διαμόρφωση παραμέτρων χάρτη χρήσεων γης.	58
Εικόνα 3-11: Υπολογισμός της πληθυσμιακής πυκνότητας.....	59
Εικόνα 3-12: Τροποποίηση παραμέτρων αρχείου πληθυσμιακής πυκνότητας.....	60
Εικόνα 4-1: Οριοθέτηση Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας, με τις αντίστοιχες Λεκάνες Απορροής των ποταμών τους.	69
Εικόνα 4-2: Διοικητικά όρια ΥΔ Θεσσαλίας.	71
Εικόνα 4-3: Απεικόνιση των επιφανειακών υδάτων του ΥΔ Θεσσαλίας.....	73
Εικόνα 4-4: Χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων σε ομοιογενείς ομάδες.	74
Εικόνα 4-5: Κατηγορίες χρήσεων γης του ΥΔ Θεσσαλίας.	77
Εικόνα 4-6: Εξέλιξη της Λίμνης Κάρλας.	80
Εικόνα 4-7: Χωρική αποτύπωση των ιστορικών και σημαντικών πλημμυρικών συμβάντων του ΥΔ Θεσσαλίας.	85
Εικόνα 4-8: Στιγμιότυπο διαδραστικού χάρτη που αποτυπώνει τις χωρικές επιπτώσεις της πλημμύρας του Daniel.	87
Εικόνα 4-9: Χωρική αποτύπωση των Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας για το ΥΔ Θεσσαλίας.....	89
Εικόνα 5-1: Χάρτης Υψομέτρου ΥΔ Θεσσαλίας.	91
Εικόνα 5-2: Χάρτης Κλίσεων Εδάφους ΥΔ Θεσσαλίας.....	92
Εικόνα 5-3: Χάρτης Μέσης Ετήσιας Βροχόπτωσης ΥΔ Θεσσαλίας για τη χρονική περίοδο 1981-2019.	93
Εικόνα 5-4: Χάρτης Συσσώρευσης Ροής Υδρογραφικού Δικτύου ΥΔ Θεσσαλίας.....	95
Εικόνα 5-5: Χάρτης Απόστασης από Υδάτινα Συστήματα ΥΔ Θεσσαλίας.	96
Εικόνα 5-6: Χάρτης Χρήσεων γης ΥΔ Θεσσαλίας.	98
Εικόνα 5-7: Χάρτης Πληθυσμιακής Πυκνότητας ΥΔ Θεσσαλίας.	99

Εικόνα 5-8: Χάρτης Πλημμυρικής Τρωτότητας ΥΔ Θεσσαλίας.	100
Εικόνα 5-9: Απεικόνιση των περιοχών ιστορικών πλημμυρών στον Χάρτη ΠΤ.	102
Σχήμα 2-1: Παράγοντες εμφάνισης της λειψυδρίας.	4
Σχήμα 2-2: Διάγραμμα της 'Μπλε Επανάστασης' για τη βιωσιμότητα των υδάτων.	5
Σχήμα 2-3: Παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνιση του κλιματικού κινδύνου.	12
Σχήμα 2-4: Διάγραμμα του Καταρράκτη Πλημμυρικού Κινδύνου.	20
Σχήμα 2-5: Κυριότεροι δείκτες αξιολόγησης Πλημμυρικού Κινδύνου.	22
Σχήμα 2-6: Διάγραμμα Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας.	30
Σχήμα 4-1: Σύγκριση μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης και μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του Daniel, σε διαφορετικούς μετεωρολογικούς σταθμούς	86

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1: Σημαντικότερες πλημμύρες της Ευρώπης με τις μεγαλύτερες υλικές ζημιές για την περίοδο 1985-2009.	19
Πίνακας 2-2: Σημαντικότερες πλημμύρες της ΕΕ και οι επιπτώσεις τους στον πληθυσμό για την περίοδο 1991-2000.	19
Πίνακας 2-3: Ορισμοί του Κινδύνου σύμφωνα με αναφορές του IPCC.....	21
Πίνακας 2-4: Βασικοί παράγοντες αξιολόγησης του FVI, σύμφωνα με τους Nasiri και Shahmohammadi-Kalalagh.	27
Πίνακας 2-5: Βασικοί παράγοντες του FVI, σύμφωνα με τους Nguyen και Van Nguyen.	28
Πίνακας 2-6: Κατηγορίες μέτρων και πρακτικών για τον μετριασμό του κινδύνου πλημμύρας.	32
Πίνακας 3-1: Θεμελιώδη κλίμακα της ΑΗΡ.....	61
Πίνακας 3-2: Σύγκριση κριτηρίων ανά ζεύγη.	62
Πίνακας 4-1: Διοικητικά όρια ΥΔ Θεσσαλίας.	70
Πίνακας 4-2: Κύριοι ποταμοί της ΛΑΠ Πηνειού.	72
Πίνακας 4-3: Κύριες λίμνες της ΛΑΠ Πηνειού.....	72
Πίνακας 4-4: Κατηγορίες χρήσεων γης ΥΔ Θεσσαλίας.....	76
Πίνακας 4-5: Συνολικές ετήσιες ανάγκες νερού και πραγματική κατανάλωση νερού άρδευσης.....	79
Πίνακας 4-6: Κυριότερα πλημμυρικά φαινόμενα του ΥΔ Θεσσαλίας την χρονική περίοδο 1900-2023.	82
Πίνακας 4-7: Κατηγορίες σημαντικότητας για τις ιστορικές πλημμύρες.	84
Πίνακας 4-8: Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας για το ΥΔ Θεσσαλίας.	88
Πίνακας 5-1: Καταμέτρηση πλημμυρικών επεισοδίων ανά νομό.....	102

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΓΣΠ	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
ΔΚΠ	Διαχείριση Κινδύνου Πλημμύρας
ΔΠΤ	Δείκτης Πλημμυρικής Τρωτότητας
ΕΓΥ	Ειδική Γραμματεία Υδάτων
ΖΔΥΚΠ	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας
ΛΑΠ	Λεκάνη Απορροής Ποταμού
ΟΔΥΠ	Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων
Π.Ε.	Περιφερειακή Ενότητα
ΠΤ	Πλημμυρική Τρωτότητα
ΣΒΑ	Στόχοι Βιώσιμης Ανάπτυξης
ΥΔ	Υδατικό Διαμέρισμα
Υ.Π.ΕΝ.	Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

AHP	Analytical Hierarchy Process
FV	Flood Vulnerability
FVI	Flood Vulnerability Index
FRM	Flood Risk Management
GWP	Global Water Partnership
MAR	Managed Aquifer Recharge
RIBAMOD	River Basin Management Model
TAC	Technical Advisory Committee
UNDP	United Nations Development Programme
WSSD	World Summit on Sustainable Development
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

ΧΩΡΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Μ. Κουτσελίνη¹, Δ. Τσεσμελής^{1,2}

¹Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, ²Πανεπιστήμιο Πατρών

ΣΚΟΠΟΣ

Η εργασία αποσκοπεί στην εκτίμηση της πλημμυρικής τρωτότητας του ΥΔ Θεσσαλίας με τη χρήση GIS, για τον εντοπισμό των ευάλωτων πλημμυρικών περιοχών.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Διενεργήθηκε χωρική ανάλυση επτά κριτηρίων (υψόμετρο, κλίση εδάφους, μέση ετήσια βροχόπτωση, συσσώρευση ροής, απόσταση από υδάτινα συστήματα, χρήσεις γης και πληθυσμιακή πυκνότητα) για την περιοχή μελέτης και η δημιουργία των αντίστοιχων θεματικών χαρτών, στη συνέχεια μέσω της εφαρμογής της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας καθορίστηκε η βαρύτητα του κάθε κριτηρίου και τελικώς δημιουργήθηκε ο Χάρτης Πλημμυρικής Τρωτότητας της περιοχής μελέτης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τη δημιουργία των επιμέρους θεματικών χαρτών των αρχικών επιλεγόμενων κριτηρίων και τον εντοπισμό των κριτηρίων με τη μεγαλύτερη βαρύτητα, που περιλαμβάνουν το υψόμετρο, τις κλίσεις εδάφους και την απόσταση από τα υδάτινα συστήματα.

Χάρτης Πλημμυρικής Τρωτότητας

Απεικονίζονται οι πλημμυρικά ευάλωτες περιοχές στα πλημμυρικά φαινόμενα, που εντοπίζονται κυρίως στα αστικά κέντρα, που βρίσκονται κοντά στο κύριο υδρογραφικό δίκτυο και σε πεδινές περιοχές.



Χωρική Εκτίμηση Πλημμυρικής Τρωτότητας στο Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας με τη Χρήση GIS για την Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων

Μυρτώ Κουτσελίνη¹, Δημήτριος Τσεσμελής^{1,2}

¹Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα

²Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωπονίας, Πανεπιστημιούπολη Μεσολογγίου, 30200, Μεσολόγγι

email: std166681@ac.eap.gr, tsesmelis.dimitrios@ac.eap.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η χωρική κατανομή της Πλημμυρικής Τρωτότητας του Υδατικού Διαμερίσματος (ΥΔ) της Θεσσαλίας με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Η Πλημμυρική Τρωτότητα, (ΠΤ) αποτελεί ένα βασικό κριτήριο αξιολόγησης και εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου και εντοπισμού των ευάλωτων πλημμυρικά περιοχών και μπορεί να αποτελέσει ένα εργαλείο για το σχεδιασμό και εφαρμογή των σχεδίων διαχείρισης πλημμυρών και τον μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων. Για την εκτίμηση της ΠΤ της περιοχής μελέτης έχουν μελετηθεί επτά κριτήρια που περιλαμβάνουν το υψόμετρο, την κλίση εδάφους, την μέση ετήσια βροχόπτωση, την συσσώρευση ροής, την απόσταση από τα υδάτινα συστήματα, τις χρήσεις γης και την πληθυσμιακή πυκνότητα. Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτών των κριτηρίων έχουν δημιουργηθεί οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες και στη συνέχεια μέσω της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP) έχει καθοριστεί η βαρύτητα του κάθε κριτηρίου και έχει δημιουργηθεί ο τελικός χάρτης ΠΤ. Από τα αποτελέσματα της μεθόδου αναδείχθηκαν ως βασικοί παράγοντες τρωτότητας το υψόμετρο, οι κλίσεις εδάφους και η απόσταση από τα υδάτινα συστήματα και αντίστοιχα από το χάρτη ΠΤ εντοπίστηκαν οι περιοχές με υψηλότερη τρωτότητα που περιλαμβάνουν τα αστικά κέντρα και τους μικρότερους οικισμούς που βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα, μικρές κλίσεις και πλησίον υδατικού συστήματος.

Λέξεις κλειδιά: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Πλημμύρες, Τρωτότητα, ΥΔ Θεσσαλίας, ΓΣΠ

ABSTRACT

This paper studies the spatial distribution of Flood Vulnerability in the Water District of Thessaly (WD), using Geographic Information Systems (GIS). Flood Vulnerability (FV) is a basic criterion for evaluating and assessing flood risk and identifying vulnerable flood areas. It also can be a tool for the design and implementation of flood management plans and for the mitigation of adverse impacts. To estimate the FV of the study area, seven criteria have been studied, including elevation, terrain slope, mean annual rainfall, flow accumulation, distance from aquatic systems, land uses and population density. According to the data of these criteria, the corresponding thematic maps have been created and through the Analytical Hierarchy Process (AHP), has been determined the weight of each criterion and final has been created the FV map. From the results of the method, the main vulnerability factors were identified as elevation, terrain slopes and distance from aquatic systems. Respectively, the FV map reveals the areas with the highest vulnerability, which include urban centers and smaller settlements located at low elevation, small slopes and near aquatic systems.

Keywords: *Integrated Water Resources Management, Floods, Vulnerability, Thessaly, GIS*

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων (ΟΔΥΠ) διαφαίνεται ότι θα αποτελέσει ένα μείζων ζήτημα τα επόμενα χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο εξαιτίας της εξάντλησης και υποβάθμισης των υδατικών πόρων, που σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή θα αποτελέσουν τον βασικό παράγοντα μεταβολής του υδρολογικού κύκλου, με άμεσες επιπτώσεις στην χωροχρονική κατανομή των κατακρημνίσεων και στην αύξηση σε συχνότητα και ένταση των ακραίων πλημμυρικών φαινομένων.

Οι πλημμύρες αποτελούν ένα από τα πλέον καταστροφικά φαινόμενα παγκοσμίως όπου παρά τη σημαντική πρόοδο και τις τεχνολογικές εξελίξεις συνεχίζουν να επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στις κοινωνίες, την οικονομία και τα περιβαλλοντικά οικοσυστήματα (Mai et al., 2020). Κάνοντας επιτακτική την μετατόπιση από τον έλεγχο και την αντιμετώπιση των νερών των πλημμυρών με την κατασκευή δομικών τεχνικών έργων, σε μεθόδους που αποσκοπούν στην Διαχείριση του Κινδύνου Πλημμύρας (ΔΚΠ) (Dinh and McIntosh 2019) και την μεταστροφή σε βιώσιμες πρακτικές και ρυθμιστικές

προσεγγίσεις που περιλαμβάνουν μη δομικά έργα με μεγαλύτερη ευκολία εφαρμογής, οικονομική απόδοση και λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις (Wang et al. 2022).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπείται η αξιολόγηση και η χωρική εκτίμηση της ΠΤ του ΥΔ της Θεσσαλίας, μέσω της μελέτης των παραγόντων που έχουν καθοριστικό ρόλο στον εντοπισμό των ευάλωτων περιοχών. Για το σκοπό αυτό μέσω της βιβλιογραφικής επισκόπησης αναζητούνται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με την ΟΔΥΠ και τα πλημμυρικά φαινόμενα, που θα αποτελέσουν το θεωρητικό υπόβαθρο για την κατάλληλη και ορθή διαχείριση των υδατικών πόρων και τη βέλτιστη ΔΚΠ.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Η παγκόσμια κρίση των υδάτων αποτελεί ένα πολύπλοκο ζήτημα που εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως η αύξηση του πληθυσμού, η εντατική αστικοποίηση, η συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε νερό και η κλιματική αλλαγή, που σε συνδυασμό

με την απειλή της λειψυδρίας κάνει επιβεβλημένη την ανάγκη για την εφαρμογή ολοκληρωμένων πρακτικών και μέτρων διαχείρισης των υδάτων, την επονομαζόμενη ΟΔΥΠ (Onyena and Sam 2025).

Η ΟΔΥΠ αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη έννοια τις τελευταίες δεκαετίες και στοχεύει στην αντιμετώπιση της διακυβέρνησης των υδάτων μέσω της συμπερίληψης και της επίτευξης συναίνεσης των εμπλεκόμενων μερών, προάγοντας την αμοιβαία και συνεργατική διαχείριση της διαδικασίας σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων (Saravanan et al. 2009).

Μια καινοτόμα και βιώσιμη στρατηγική εφαρμογής της ΟΔΥΠ αποτελεί και η 'Μπλε Επανάσταση' που στοχεύει στην επίτευξη της διαχειριστικής ισορροπίας μεταξύ γης και υδάτων, αναγνωρίζοντας με τον τρόπο αυτό τη σημαντική διασύνδεση των δυο αυτών ζωτικών πόρων (Onyena & Sam 2025).

Σύμφωνα με την Τεχνική Συμβουλευτική Επιτροπή (TAC) της Παγκόσμιας Σύμπραξη για το Νερό (GWP) που αποτελεί και τον κυριότερο υποστηρικτή της ΟΔΥΠ, δίνεται ο ακόλουθος ορισμός: «Η ΟΔΥΠ αποτελεί μια διαδικασία που προωθεί τον συντονισμένο σχεδιασμό και διαχείριση του νερού, της γης και των σχετικών πόρων, με στόχο τη μεγιστοποίηση της οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας με δίκαιο τρόπο, χωρίς να θίγεται η βιωσιμότητα των ζωτικών οικοσυστημάτων» (Agarwal 2000, p.22).

Επίσης σε άρθρο των Saravanan et al., επισημαίνεται η διαφορετική προσέγγιση που προσφέρεται από την ΟΔΥΠ για την βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων μέσω του ακόλουθου ορισμού, «μια διαδικασία, όπου πολλοί φορείς/ παράγοντες ενσωματώνουν διάφορους κανόνες και πόρους σε ένα στρατηγικό πλαίσιο για τη διαχείριση των υδατικών πόρων σε πεδία λήψης αποφάσεων, όπου υπάρχει δυναμική αλληλεπίδραση εξουσίας» (Saravanan et al. 2009, p.84).

Στη συνέχεια παρατίθενται οι τέσσερις βασικές κατευθυντήριες αρχές της ΟΔΥΠ, οι οποίες είναι ευρύτερα γνωστές ως αρχές του Δουβλίνου και οι οποίες επιγραμματικά αναφέρουν (Agarwal 2000:

1. Το γλυκό νερό αποτελεί έναν ευάλωτο και περιορισμένο φυσικό πόρο, απαραίτητο για τη διαβίωση και την ανάπτυξη του περιβάλλοντος.
2. Η συμμετοχική διαδικασία όλων των εμπλεκόμενων μερών και φορέων κρίνεται απαραίτητη για την διαχείριση των υδατικών πόρων σε όλα τα στάδια σχεδιασμού και εφαρμογής.
3. Οι γυναίκες κατέχουν τον βασικό ρόλο της διαχείρισης και προστασίας των υδάτων.
4. Οι υδατικοί πόροι θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως οικονομικό αγαθό και να αναγνωρίζεται η οικονομική τους αξία.

Θεσμικό πλαίσιο

Η κύρια Οδηγία της ΕΕ για τα ύδατα είναι η Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου που θεσπίστηκε στις 23 Οκτωβρίου 2000 και προωθεί ένα σύστημα διαχείρισης των υδάτων βασιζόμενο στον συντονισμό των διοικητικών ρυθμίσεων εντός των περιοχών της ΛΑΠ, απαιτώντας από τα κράτη μέλη, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές συνθήκες, να μεταφέρουν στην εθνική νομοθεσία και να οργανώσουν τη διαχείριση των υδατικών συστημάτων με ολοκληρωμένο τρόπο, βασιζόμενοι στα φυσικά όρια των ΛΑΠ τους (Correljé et al. 2007).

Σκοπός της Οδηγίας είναι η θέσπιση ενός πλαισίου για την προστασία των υδάτων, επιφανειακών, μεταβατικών, υπόγειων και παράκτιων, σε κλίμακα ΛΑΠ. Στοχεύει στην ολοκληρωμένη και βιώσιμη διαχείριση των υδάτων, περιορίζοντας τη ρύπανση και μετριάζοντας τις αρνητικές επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών ενισχύοντας τη συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων μερών

σε όλα τα στάδια διαχείρισης (Οδηγία 2000/60/ΕΚ., Άρθρο 1., σελ. 5).

2.2. Πλημμύρες

Οι πλημμύρες αποτελούν μια από τις σημαντικότερες και πιο συχνές φυσικές καταστροφές, επιφέροντας αυξανόμενες υλικές ζημιές και υψηλό αριθμό θνησιμότητας (Kundzewicz et al. 2013), Μόνο την τελευταία δεκαετία ευθύνονται για σχεδόν 53.000 θανάτους (Alderman et al. 2012), κάνοντας αναγκαία τη μετατόπιση από τον έλεγχο των πλημμυρών στη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας, για την επίτευξη του μετριασμού της επικινδυνότητας μιας ευάλωτης περιοχής (Dinh and McIntosh, 2019).

Οι βασικοί παράγοντες που ευθύνονται για την εμφάνιση των πλημμυρών σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, μεταβάλλοντας τις μετεωρολογικές και υδρολογικές συνθήκες, με τις χρήσεις γης όπου η βλάστηση κατέχει τον καθοριστικό ρόλο, με τις ανθρώπινες παρεμβάσεις στην μορφολογία του ποταμού καθώς και με την εντατική ανάπτυξη των ανθρώπινων κοινοτήτων (Bronstert 2003).

Θεσμικό πλαίσιο

Η βασική Οδηγία Πλαίσιο 2007/60/ΕΚ για την «αξιολόγηση και τη διαχείριση κινδύνων πλημμύρας» εκδόθηκε από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο στις 23 Οκτωβρίου 2007 και στοχεύει στον μετριασμό των δυνητικά αρνητικών επιπτώσεων των πλημμυρών στην κοινωνία, , την οικονομία, τον πολιτισμό και το περιβάλλον. Ως πλημμύρα ορίζεται «η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους, το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, ερήμερα ρεύματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, δύναται δε να εξαιρεί πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης» (Οδηγία 2007/60/ΕΚ., Άρθρο 2., σελ. 3.)

Βασικές έννοιες

Ο Κίνδυνος Πλημμύρας (Flood Risk) είναι συνάρτηση της πιθανότητας εκδήλωσης μιας πλημμύρας και των δυνητικά αρνητικών της συνεπειών και η αξιολόγησή του περιλαμβάνει σύνθετες μεθόδους που ενσωματώνουν δείκτες επικινδυνότητας, έκθεσης και τρωτότητας και ασχολούνται με τη σχέση μεταξύ ανθρώπων και πλημμυρών (Wang et al. 2022).

Η Τρωτότητα αποτελεί μια διαδεδομένη έννοια που έχει προέλθει από τις κοινωνικές επιστήμες τη δεκαετία του 1970 και πλέον έχει ενταχθεί σε όλες τις επιστήμες, αποτελώντας ένα σημαντικό παράγοντα στη διαχείριση κινδύνου των φυσικών καταστροφών (Solin and Skubinčan 2013). Η Τρωτότητα Πλημμύρας (Flood Vulnerability) αποτελεί μια δυναμική έννοια και μπορεί να οριστεί ως η πιθανότητα ενός συστήματος να υποστεί κάποια μεταβολή ή απώλεια εξαιτίας κάποιας προκαθορισμένης διαταραχής (Skondras et al. 2020). Ο βαθμός ΠΤ είναι διαφορετικός για κάθε σύστημα, όπως και η ικανότητά του να την αντιμετωπίσει, να ανακάμψει και να προσαρμοστεί, με αποτέλεσμα η ΠΤ να περιγράφεται από την σχέση (Rehman et al. 2019):

$$\text{Τρωτότητα} = \text{Έκθεση} + \text{Ευπάθεια} - \text{Ανθεκτικότητα}$$

Αντίστοιχα στη βιβλιογραφία απαντάται και ο Δείκτης Πλημμυρικής Τρωτότητας (FVI) ο οποίος αποτελεί ένα αριθμητικό μέσο για την αξιολόγηση και ποσοτικοποίηση του κινδύνου πλημμύρας, την ιεράρχηση των μέτρων μετριασμού (Karmaoui and Balica 2021), καθώς και ένα εργαλείο για την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας μιας περιοχής (Nguyen and Van Nguyen 2019). Ο FVI συνδέει τις τιμές των μεταβλητών της ΠΤ (κοινωνικές, οικονομικές, κλιματικές, χρήσεων γης, φυσιογραφικές, κ.α.) με τους παράγοντες της τρωτότητας (έκθεση, ευπάθεια,

ανθεκτικότητα) σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση (Karmaoui and Balica 2021):

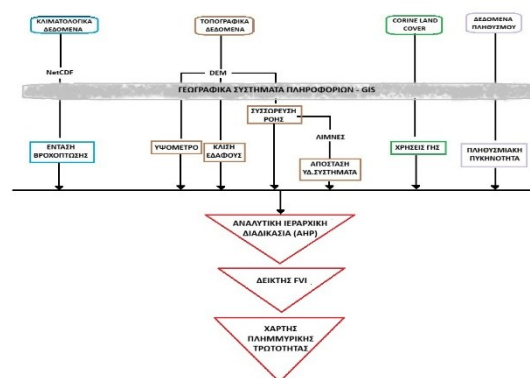
$$FVI = \frac{\text{Έκθεση} * \text{Ευπάθεια}}{\text{Ανθεκτικότητα}}$$

Τέλος, η Διαχείριση Κινδύνου Πλημμύρας (Flood Risk Management) αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση συνεχούς ανάλυσης, εφαρμογής, αξιολόγησης και προσαρμογής ενός συστήματος πλημμύρας περιλαμβάνοντας δομικά και μη δομικά έργα και μέτρα, για τον μετριασμό του κινδύνου πλημμύρας (Samuels et al. 2009). Βασικός στόχος των στρατηγικών ΔΚΠ είναι ο μετριασμός του κινδύνου για τους ανθρώπους, τις κοινότητες και για την οικονομία, καθώς και η προώθηση των υπηρεσιών και αγαθών, η ενίσχυση της τοπικής οικονομίας και η βελτίωση της γενικότερης κοινωνικής ευημερίας (Wang et al. 2022). Τα μέτρα διαχείρισης κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: μετριασμού, αντιμετώπισης και ανάκαμψης (Nasiri et al. 2016) και εφαρμόζονται στα ακόλουθα πέντε στάδια της: πρόληψης, προστασίας, ετοιμότητας και ευαισθητοποίησης, αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών και αποκατάστασης (Dinh and McIntosh 2019).

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τη χωρική εκτίμηση της ΠΤ του ΥΔ της Θεσσαλίας αναζητήθηκαν καταρχήν μέσω της βιβλιογραφικής επισκόπησης οι παράγοντες που έχουν σημαντική επίδραση στον εντοπισμό των ευάλωτων περιοχών στις πλημμύρες και για τους οποίους μπόρεσαν να βρεθούν δεδομένα (Εικ.1). Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες για κάθε κριτήριο και κατόπιν μέσω της εφαρμογής της ΑΗΡ καθορίστηκε η βαρύτητα του κάθε κριτηρίου, που εκφράζει τη σημαντικότητα του κάθε κριτηρίου στην τελική επιλογή (Ναθανάηλ 2016). Τέλος, δημιουργήθηκε ο Χάρτης ΠΤ σε περιβάλλον εργασίας GIS του οποίου έχει προηγηθεί μια ανακατανομή

(reclassify) των κλάσεων του κάθε επιμέρους χάρτη, με τις τελικές τιμές που έχουν επιλεχθεί για τον χάρτη τρωτότητας να διαμορφώνονται σε 5 κλάσεις με τιμές 1,2,3,4 και 5 με την τιμή 1 να αντιστοιχεί στην χαμηλή τρωτότητα και την 5 στην υψηλή τρωτότητα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ο τελικός χάρτης ΠΤ στον οποίο έχουν ενσωματωθεί τα βάρη των κριτηρίων και στον οποίο αναδεικνύονται οι πλημμυρικά τρωτές περιοχές του ΥΔ της Θεσσαλίας.



Εικόνα 1: Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τα κριτήρια με τη μεγαλύτερη επίδραση στην ΠΤ σχετίζονται με χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (τοπογραφία, γεωλογία, χρήσεις γης), με τη γεωμορφολογία της περιοχής (υψόμετρο, κλίσεις εδάφους), καθώς και με παράγοντες πρόκλησης των πλημμυρών όπως η βροχόπτωση (Kazakis et al. 2015; Kourgialas και Karatzas 2011; Stamellou et al. 2021; Παντούλας 2024; Ραλλάτου 2019;).

Για την περιοχή μελέτης μας τα κριτήρια τα οποία τελικώς επιλέχθηκαν αφορούν στο διαφορετικό γεωμορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής της Θεσσαλίας και στην ποικιλία των χρήσεων γης αλλά και σε παραμέτρους όπως η βροχόπτωση και το υδρογραφικό δίκτυο που αποτελούν τους βασικούς παράγοντες εκδήλωσης των πλημμυρικών φαινομένων και είναι τα ακόλουθα:

1. Υψόμετρο (Elevation, E)

2. Κλίση εδάφους (Slope)
3. Μέση Ετήσια Βροχόπτωση (Mean Annual Rainfall, R)
4. Συσσώρευση Ροής (Flow Accumulation, FA)
5. Απόσταση από Υδάτινα Συστήματα (Distance, D)
6. Χρήσεις γης (Land Uses, LU)
7. Πυκνότητα Πληθυσμού (Population Density, PD)

Στη συνέχεια παρατίθεται και ο Πίνακας της βαρύτητας του κάθε κριτηρίου (Πιν.1).

Πίνακας 1: Βαρύτητα Κριτηρίων.

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΒΑΡΟΣ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	0,26
ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	0,21
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	0,09
ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ	0,14
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	0,18
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	0,07
ΠΛΗΘΥΣΜ. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	0,05
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	1,00

4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1. Χαρακτηριστικά Περιοχής

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται τα ιδιαίτερα γνωρίσματα της περιοχής μελέτης που αφορούν κυρίως στα μορφολογικά, τοπογραφικά, κλιματικά χαρακτηριστικά, τις χρήσεις γης καθώς και δεδομένα του πληθυσμού (Υπ. Απόφαση 41377/329, ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018).

Το ΥΔ της Θεσσαλίας (EL08) έχει συνολική έκταση 13.377 km² και εκτείνεται στην μεγαλύτερη έκτασή του εντός της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Περιλαμβάνει όμως και ένα μικρό μέρος της Φθιώτιδας της Π. Στερεάς Ελλάδας και ένα μικρότερο τμήμα

της Π. Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει εξ' ολοκλήρου ή τμήματα που ανήκουν σε επτά Περιφερειακές Ενότητες (ΠΕ) και σε επίπεδο Δήμων, σε είκοσι τρεις Δήμους.

Όσον αφορά τα πληθυσμιακά στοιχεία του ΥΔ εμφανίζονται καταγεγραμμένοι στην απογραφή του 2011 703.459 κάτοικοι παρουσιάζοντας μια πτώση της τάξης του 6,2% σε σχέση με την προηγούμενη απογραφή (2001). Τα κυριότερα αστικά κέντρα είναι της Λάρισας (147.886 κάτοικοι) και του Βόλου (118.610), αλλά περιλαμβάνει και μικρότερες πόλεις όπως τα Τρίκαλα (61.017), η Καρδίτσα (36.618) και ο Τύρναβος (12.378), καθώς και 32 ημιαστικά κέντρα που είναι συνδεδεμένα με τον αγροτικό χώρο.

Οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής εμφανίζουν χωροχρονικές μεταβολές με τη μέση ετήσια θερμοκρασία να κυμαίνεται μεταξύ 16⁰ και 17⁰, και τους πιο θερμούς μήνες να είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, ενώ αντίθετα οι πιο ψυχροί μήνες είναι από το Δεκέμβριο έως το Φεβρουάριο. Το μέσο ετήσιο ύψος των βροχοπτώσεων υπολογίζεται σε 678mm με τους πιο βροχερούς μήνες να κυμαίνονται από τον Οκτώβριο έως τον Ιανουάριο. Οι βροχοπτώσεις εμφανίζουν χωρικές κατανομές που διαχωρίζονται σε τέσσερις ομοιογενείς ομάδες με διαφορετικά τοπογραφικά και βροχομετρικά χαρακτηριστικά (Stathis and Myronidis 2013). Αντίστοιχα εμφανίζονται και διαφορετικές γεωμορφολογικές συνθήκες με τις πεδινές περιοχές να βρίσκονται στα κεντρικά και τις ορεινές περιμετρικά, με κυριότερες οροσειρές του Ολύμπου – Καμβουνίων στα βόρεια, της Πίνδου στα δυτικά, της Όθρυος στα νότια και του Πηλίου – Όσσης ανατολικά.

Οι χρήσεις γης που εμφανίζονται στην περιοχή παρουσιάζουν μια ομοιόμορφη κατανομή μεταξύ των δυο ΛΑΠ, στις οποίες κυριαρχούν οι καλλιέργειες και οι δασικές εκτάσεις, ακολουθούμενες από τους βοσκοτόπους και τις αστικές χρήσεις. Έχει έναν αρκετά ανεπτυγμένο πρωτογενή τομέα, τόσο με τις αγροτικές καλλιέργειες όσο και με

την κτηνοτροφία, αλλά εξίσου σημαντικοί τομείς είναι και ο δευτερογενής και ο τριτογενής που συνεισφέρουν στην τοπική οικονομία. Επίσης στην περιοχή ανήκουν και περιοχές που προστατεύονται από την ισχύουσα νομοθεσία, και χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας (ΠΔ 51/2007 Παράρτημα V).

4.2. Υδατικοί Πόροι Θεσσαλίας

Το ΥΔ Θεσσαλίας περιλαμβάνει δυο κύριες λεκάνες απορροής ποταμών (ΛΑΠ). Την ΛΑΠ Πηνειού (EL16) με συνολική έκταση 11.062km² στην οποία ο κύριος ποταμός που εκβάλλει είναι ο Πηνειός (262km) πηγάζοντας από την Πίνδο, διασχίζοντας τη Θεσσαλική πεδιάδα και καταλήγοντας στο Αιγαίο Πέλαγος, με κύριους παραποτάμους τον Τιταρήσιο, τον Νεοχωρίτη, τον Ληθαίο, τον Καλέντζη, τον Σοφαδίτη, τον Φαρσαλιώτη και τον Ενιπέα. Επίσης περιλαμβάνει τις λίμνες Κάρλας, Σμοκόβου και Πλαστήρας (η οποία ενώ υδρολογικά ανήκει στη ΛΑΠ Αχελώου, διαχειριστικά ανήκει στη ΛΑΠ Πηνειού, εξαιτίας της εκτροπής των υδάτων προς τη Θεσσαλία). Όσον αφορά τη ΛΑΠ Αλμυρού – Πηλίου (EL17) με συνολική έκταση 2.079 km², σ' αυτήν δεν ανήκουν μεγάλοι ποταμοί και λίμνες, αλλά δημιουργείται από ένα σύνολο μικρότερων ρεμάτων, όπως του Κραυσίδωνα στο δυτικό μέρος που καταλήγει στον Παγασητικό Κόλπο και το Γαλανόρεμα στο ανατολικό μέρος που εκβάλλει στο Αιγαίο Πέλαγος.

Η περιοχή της Θεσσαλίας παρουσιάζει μέτρια υποβάθμιση των φυσικών πόρων (Tsesmelis et al. 2021) και ιδιαίτερα των υδατικών πόρων που βρίσκονται σε κρίσιμο σημείο εξαιτίας των αυξημένων αναγκών άρδευσης που εκτιμώνται να είναι ιδιαίτερα υψηλές, κατατάσσοντας την περιοχή στην πρώτη θέση συγκριτικά με τα υπόλοιπα ΥΔ της Ελλάδας (Soulis and Tsesmelis 2017). Εξαιτίας της υπερκατανάλωσης των υπόγειων υδάτων, ιδιαίτερα σε περιόδους ξηρασίας, προκαλούνται σοβαρά ζητήματα υποβάθμισης των υδάτων (Tsesmelis et al. 2022).

4.3. Ιστορικές Πλημμύρες

Η Θεσσαλική πεδιάδα θεωρείται ευάλωτη στα πλημμυρικά επεισόδια ήδη από την αρχαιότητα, εξαιτίας της ιδιαίτερης γεωμορφολογίας της, που περιβάλλεται από μεγάλους ορεινούς όγκους, ενώ την διασχίζει ένας από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Ελλάδας, ο Πηνειός σε συνδυασμό με τις μικρές κλίσεις που εμφανίζει και τις υψηλές βροχοπτώσεις των ορεινών περιοχών. Το γεγονός αυτό ενισχύθηκε κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αι. λόγω της αύξησης του πληθυσμού και της έντονης αστικοποίησης, αλλά και εξαιτίας της αύξησης των γεωργικών εκτάσεων και των ανθρώπινων παρεμβάσεων (Evelpidou et al. 2023). Με αποτέλεσμα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας να έχουν καταγραφεί 1994 πλημμυρικά επεισόδια την περίοδο από το 1886 – 2022 ([Greek Floods Web Map](#) n.d.). Ενώ σύμφωνα με το Υ.Π.ΕΝ. έχουν καταγραφεί 200 ιστορικά πλημμυρικά συμβάντα από τα οποία τα 145 έχουν εκδηλωθεί στη ΛΑΠ Πηνειού και τα 55 στη ΛΑΠ Αλμυρού – Πηλίου (Υπ. Απόφαση 41377/329, ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018). Μια από τις νεότερες σοβαρές πλημμύρες της περιοχής αποτελεί το πλημμυρικό φαινόμενο 'Daniel' σύμφωνα με το οποίο καταγράφηκαν σε χωριά του Πηλίου ιδιαίτερα υψηλές ημερήσιες τιμές ρεκόρ βροχοπτώσεων (Tsinidis and Koutas 2025). Η πλημμύρα 'Daniel' είχε ως αποτέλεσμα το θάνατο 17 ατόμων, πολλές υλικές ζημιές, την καταστροφή περιουσιών και υποδομών, πολλές κατολισθήσεις και την πλημμυρισμένη έκταση 1150km² από την οποία το 70% περίπου αντιστοιχούσε σε καλλιέργειες (Lagarias 2025).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ένας βασικός παράγοντας που θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στους υδατικούς πόρους είναι η κλιματική αλλαγή, όπου σύμφωνα με τις κλιματικά σενάρια για την περιοχή της Θεσσαλίας θα αυξηθούν οι έντονες βροχοπτώσεις και οι αιφνίδιες πλημμύρες καθώς και οι συνολικές βροχοπτώσεις ιδιαίτερα την εποχή του φθινοπώρου (Lagarias 2025).

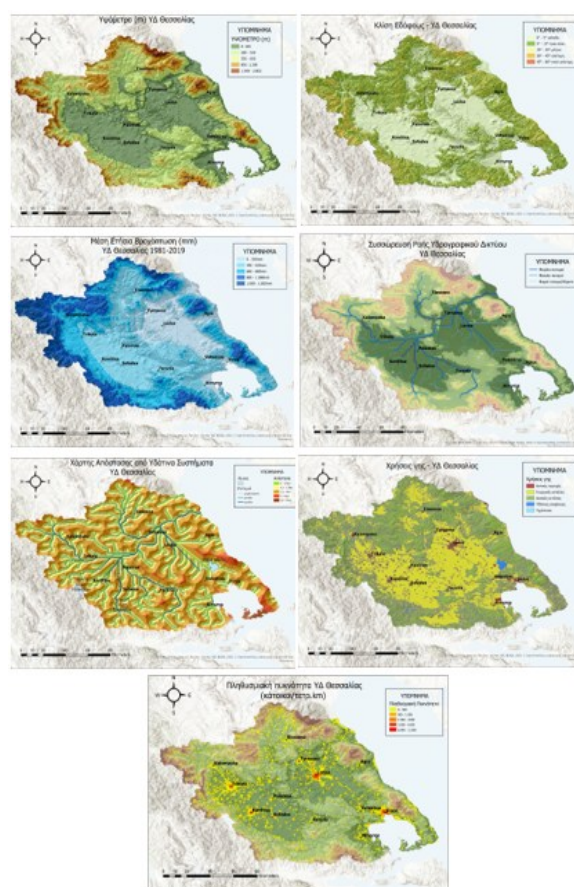
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της εργασίας περιλαμβάνουν την δημιουργία των επιμέρους θεματικών χαρτών των αρχικών επιλεγόμενων κριτηρίων (Εικ.2). Οι θεματικοί χάρτες που έχουν δημιουργηθεί είναι:

1. Υψομέτρου, αναδεικνύεται το έντονο γεωμορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής, όπου η Θεσσαλική πεδιάδα βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα και περιβάλλεται από ορεινές και ημιορεινές περιοχές.
2. Κλίσης εδάφους, σε γενικές γραμμές ακολουθεί την υψομετρική κατανομή και αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα της ΠΤ καθώς επηρεάζει την επιφανειακή απορροή και την ταχύτητα κίνηση των υδάτων.
3. Μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, έχει καθοριστικό ρόλο στην εμφάνιση των πλημμυρικών φαινομένων και ακολουθεί διαφορετικά χωρικά μοτίβα, που επηρεάζονται από την τοπογραφία και το ανάγλυφο της περιοχής, και σημαντική ανομοιογένεια στην κατανομή των βροχοπτώσεων επηρεάζοντας τον υδρολογικό κύκλο της περιοχής.
4. Συσσώρευσης ροής, όπου διαφαίνεται ότι ο κύριος υδρογραφικός άξονας είναι ο Πηνειός ποταμός και η υψηλότερη συσσώρευση ροής εμφανίζεται στο κεντρικό τμήμα της περιοχής.
5. Απόστασης από τα υδάτινα συστήματα, όπως ποτάμια ή λίμνες, όπου αναδύκνεται ότι στις πεδινές περιοχές τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα βρίσκονται πλησίον των κύριων ποταμών του υδρογραφικού δικτύου και των λιμνών που τα καθιστά πιο ευάλωτα στα πλημμυρικά φαινόμενα.
6. Χρήσεων γης, όπου αποτυπώνονται οι πέντε βασικές κατηγορίες, αστικές και γεωργικές περιοχές, δασικές εκτάσεις, υδάτινες επιφάνειες και υγρότοποι, όπου παρουσιάζεται έντονη διαφοροποίηση μεταξύ των πεδινών και ορεινών περιοχών σχετικά με τη χωρική κατανομή των χρήσεων γης.

7. Πληθυσμιακής πυκνότητας, με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στα κύρια αστικά κέντρα (Λάρισα, Βόλος), ακολουθούμενα από μικρότερες πόλεις (Τρίκαλα, Καρδίτσα), ενώ αντίθετα οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στους οικισμούς των ορεινών περιοχών και σε αγροτικές πεδινές περιοχές της ευρύτερης Θεσσαλίας.

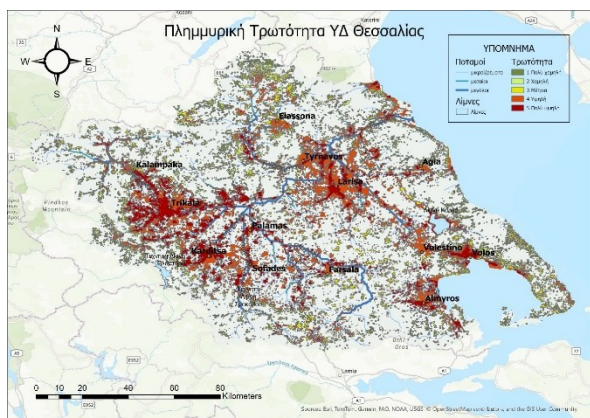
Τέλος, όπως αποτυπώνεται και στο χάρτη ΠΤ (Εικ.3) παρουσιάζεται μια έντονη διακύμανση της χωρικής κατανομής της ΠΤ με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στις



Εικόνα 2: Θεματικοί Χάρτες Κριτηρίων.

αστικές και περιαστικές περιοχές. Επίσης υψηλές τιμές εμφανίζονται και σε πολλές περιοχές που βρίσκονται κοντά στο υδρογραφικό δίκτυο ιδιαίτερα κοντά στον Πηνειό και τους κύριους παραποτάμους του. Τέλος, σε ορισμένες πεδινές περιοχές εμφανίζεται υψηλή ΠΤ εξαιτίας του χαμηλού υψομέτρου και των μικρών κλίσεων όπου ευνοείται η συγκέντρωση των απορροών και

δεν υπάρχουν πολύ καλές συνθήκες αποστράγγισης. Το εμβαδόν της υψηλής και πολύ υψηλής τρωτότητας υπολογίζεται σε 1.191km² και 1.109km² που αντιστοιχεί στο 17% περίπου της συνολικής επιφάνειας της περιοχής.



Εικόνα 3: Χάρτης Πλημμυρικής Τρωτότητας ΥΔ Θεσσαλίας.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τρωτότητα αποτελεί μια σύνθετη και βασική έννοια της ΔΚΠ που επηρεάζεται τόσο από φυσικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, αλλά και από κοινωνικούς παράγοντες. Η εκτίμησή της μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο, στην ανάδειξη των πλημμυρικά ευάλωτων περιοχών, ώστε με τον σχεδιασμό και την εφαρμογή κατάλληλων και αποτελεσματικών μέτρων και πρακτικών να μετριαστούν οι αρνητικές επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων.

Από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας εξάγεται το συμπέρασμα ότι η περιοχή του ΥΔ Θεσσαλίας έχει ιδιαίτερα και ποικίλα μορφολογικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά που δημιουργούν μεγάλες υψομετρικές διαφορές, κατέχουν ποικίλες χρήσεις γης με τη μεγαλύτερη έκταση της πεδινής περιοχής να καλύπτεται από γεωργικές καλλιέργειες. Οι βροχοπτώσεις ακολουθούν διαφορετική χωροχρονική κατανομή ανά ομάδες περιοχών, με γενικά υψηλά επίπεδα ετήσιων βροχοπτώσεων, κυρίως τους χειμερινούς μήνες. Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής

αποτελείται από τον κύριο ποταμό Πηνειό, όπου με τους κύριους παραποτάμους του διασχίζουν το μεγαλύτερο μέρος της Θεσσαλικής πεδιάδας.

Όσον αφορά την ΠΤ της περιοχής (Εικ.3) διαφαίνεται ότι ακολουθεί την χωρική κατανομή των αστικών περιοχών εμφανίζοντας τις υψηλότερες τιμές στα μεγάλα αστικά κέντρα και τους μικρότερους οικισμούς και τις περιφερειακές περιοχές καθώς επίσης και πλησίον του ποταμού Πηνειού και των κυριότερων παραποτάμων του, όπου εμφανίζονται και οι περιοχές με τα μικρότερα υψόμετρα και κλίσεις εδάφους.

Επίσης, για την αξιολόγηση της μεθόδου και των επιλεγόμενων κριτηρίων διενεργήθηκε σύγκριση μεταξύ του χάρτη ΠΤ, των ιστορικών πλημμυρών της περιοχής και των Ζωνών Δυσνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ) του Υ.Π.ΕΝ σύμφωνα με την οποία υπάρχει αρκετή ομοιομορφία και σύγκλιση στις περιοχές υψηλής τρωτότητας της περιοχής μελέτης.

Κρίνεται επιτακτική η ανάγκη εφαρμογής της ΟΔΥΠ και της ΔΚΠ στην περιοχή μελέτης, για το μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων των πλημμυρικών φαινομένων και της υποβάθμισης των υδατικών πόρων. Πρέπει να ληφθούν μέτρα και πρακτικές από τους υπευθύνους, όπως η θέσπιση αρμόδιων φορέων ανά ΥΔ, η ανάπτυξη σχεδίου ΔΚΠ ανά ΛΑΠ ή περιοχή με υψηλή ΠΤ, η επικαιροποίηση των Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας με την ενσωμάτωση των κλιματικών σεναρίων, η εφαρμογή μέτρων στα αστικά κέντρα που εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλή ΠΤ, αλλά και με την εφαρμογή ρυθμιστικών προσεγγίσεων να δοθεί έμφαση στην πρόληψη και προστασία, στην ενημέρωση και συμμετοχή του κοινού, καθώς και στην ετοιμότητα των αρμόδιων αρχών για την άμεση αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών.

Τέλος, μια πολύ υποσχόμενη πρακτική για την εφαρμογή της ΟΔΥΠ και της ΔΚΠ που απαιτεί περαιτέρω μελλοντική έρευνα

αποτελεί η Flood - MAR, όπου μπορεί να επιτευχθεί διαχειριζόμενη αποθήκευση των πλημμυρικών υδάτων σε λεκάνες διασποράς, εμπλουτίζοντας τους υδροφορείς, αντιμετωπίζοντας προβλήματα ξηρασίας και υποβάθμισης των υδατικών πόρων και βελτιώνοντας τα αποθέματα των υδάτων για την κάλυψη των αυξημένων αρδευτικών κυρίως αναγκών της περιοχής της Θεσσαλίας και το μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων των πλημμυρικών φαινομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agarwal, A., S. delos A.M., Bhatia R., Chéret I., Davila-Poblete S., Falkenmark M., Villarreal F.G., Jønch-Clausen T., Kadi M.A., Kindler J., Rees J., Roberts P., Rogers P., Solanes M., & Wright A., (2000). Integrated Water Resources Management. Global water partnership. Technical Advisory Committee (TAC) Background Papers N.4

- Bronstert, A. (2003). Floods and Climate Change: Interactions and Impacts. Risk Analysis, 23(3), 545–557. <https://doi.org/10.1111/1539-6924.00335>

- Correljé, A., François, D., & Verbeke, T. (2007). Integrating water management and principles of policy: Towards an EU framework? Journal of Cleaner Production, Water Management in Coastal Zones and Deltas, 15(16), 1499–1506. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.034>

- Dinh, G. N., & McIntosh, B. S. (2019). An application of Integrated Water Resource Management principles to flood risk mitigation in Mossman, North Queensland, Australia. World Water Policy, 5(2), 138–160. <https://doi.org/10.1002/wwp2.12011>

- Evelpidou, N., Cartalis, C., Karkani, A., Saitis, G., Philippopoulos, K., & Spyrou, E. (2023). A GIS-Based Assessment of Flood Hazard through Track Records over the 1886–2022 Period in Greece. Climate, 11, 226. <https://doi.org/10.3390/cli11110226> In

teractive map available at: <https://HistoricFloods.org>

- Karmaoui, A., & Balica, S. (2021). A new flood vulnerability index adapted for the pre-Saharan region. International Journal of River Basin Management, 19(1), 93–107. <https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1583668>

- Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. Science of The Total Environment, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055> 538, 555–563.

- Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2011). Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—A case study. Hydrological Sciences Journal, 56(2), <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>

- Kundzewicz, Z. W., Pińskwar, I., & Brakenridge, G. R. (2013). Large floods in Europe, 1985–2009. Hydrological Sciences Journal, 58(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.745082>

- Lagarias, A. (2025). Climate change as spatial change: Repercussions of the disastrous Daniel flood in Thessaly Region on its territorial future. GeoJournal, 90(4), 154. <https://doi.org/10.1007/s10708-025-11407-4>

- Mai, T., Mushtaq, S., Reardon-Smith, K., Webb, P., Stone, R., Kath, J., & An-Vo, D.-A. (2020). Defining flood risk management strategies: A systems approach. International Journal of Disaster Risk Reduction, 47, 101550. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101550>

- Nasiri, H., & Shahmohammadi-Kalalagh, S. (2013). Flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment in urban area. Journal of Novel Applied Science, 2 (8), 269–272.

- Onyena, A. P., & Sam, K. (2025). The blue revolution: Sustainable water management for a thirsty world. *Discover Sustainability*, 6(1), 63. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00631-6>
- Rehman, S., Sahana, M., Hong, H., Sajjad, H., & Ahmed, B. B. (2019). A systematic review on approaches and methods used for flood vulnerability assessment: Framework for future research. *Natural Hazards*, 96(2), 975-998.
- Samuels, P., Klijn, F., Kortenhaus, A., & Sayers, P. (2009). FLOODsite Final Report-Volume 1, Advancement in Knowledge and Understanding. HR Wallingford, UK, Project Contact No: GOCECT-2004-505420.
- Saravanan, V. S., McDonald, G. T., & Mollinga, P. P. (2009). Critical review of Integrated Water Resources Management: Moving beyond polarised discourse. *Natural Resources Forum*, <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2009.01210.x>
- Skondras, N. A., Tsesmelis, D. E., Vasilakou, C. G., & Karavitis, C. A. (2020). Resilience–Vulnerability Analysis: A Decision-Making Framework for Systems Assessment. *Sustainability*, <https://doi.org/10.3390/su12229306> 12(22), 9306.
- Solin, L., & Skubinčan, P. (2013). Flood risk assessment and management: review of concepts, definitions and methods. *Geographical Journal*, 65(1), 23-44.
- Soulis, K. X., & Tsesmelis, D. E. (2017). Calculation of the irrigation water needs spatial and temporal distribution in Greece. *Eur. Water*, 59, 247-254.
- Stathis, D., & Myronidis, D. (2009). Principal component analysis of precipitation in Thessaly region (Central Greece). *Global NEST Journal*, 11(4), 467–476. <https://doi.org/10.30955/gnj.000534>
- Tsesmelis, D. E., Karavitis, C. A., Kalogeropoulos, K., Tsatsaris, A., Zervas, E., Vasilakou, C. G., Stathopoulos, N., Skondras, N. A., Alexandris, S. G., Chalkias, C., & Kosmas, C. (2021). Development and Application of Water and Land Resources Degradation Index (WLDI). *Earth*, 2(3), 515–531. <https://doi.org/10.3390/earth2030030>
- Tsesmelis, D. E., Karavitis, C. A., Kalogeropoulos, K., Zervas, E., Vasilakou, C. G., Skondras, N. A., Oikonomou, P. D., Stathopoulos, N., Alexandris, S. G., Tsatsaris, A., & Kosmas, C. (2022). Evaluating the Degradation of Natural Resources in the Mediterranean Environment Using the Water and Land Resources Degradation Index, the Case of Crete Island. *Atmosphere*, 13(1), 135. <https://doi.org/10.3390/atmos13010135>
- Tsinidis, G., & Koutas, L. (2025). Geotechnical and Structural Damage to the Built Environment of Thessaly Region, Greece, Caused by the 2023 Storm Daniel. *Geotechnics*, 5(1), 16. <https://doi.org/10.3390/geotechnics5010016>
- Wang, L., Cui, S., Li, Y., Huang, H., Manandhar, B., Nitivattananon, V., Fang, X., & Huang, W. (2022). A review of the flood management: From flood control to flood resilience. *Heliyon*, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11763>
- Ναθαναήλ, Ε.Γ. (2016). Διαδικασία πολυκριτηρικής ανάλυσης, Αναλυτική ιεραρχική μέθοδος. Εργαστήριο Κυκλοφορίας Μεταφορών και Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας, Ηλεκτρονικές σημειώσεις μαθήματος. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος. Mike, ανακτήθηκε 2026, 1 Μαρτίου.
- Παντούλας, Χ.-Σ. (2024). Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας για το Υδατικό Διαμέρισμα Θράκης. Μεταπτυχιακή εργασία. ΕΜΠ.
- Ραλλάτου, Ν. (2019). Εκτίμηση αστικής πλημμυρικής τρωτότητας με χρήση GIS και μεθόδων γεωχωρικής ανάλυσης. Η περίπτωση του Λεκανοπεδίου Αθηνών. Μεταπτυχιακή εργασία. ΕΜΠ.

- Π.Δ. 51/2007, Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου, Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας 2000 (ΦΕΚ 54/Α 8.3.2007), Θεσμικό Πλαίσιο – Σχέδια Διαχείρισης ΛΑΠ ανακτήθηκε 2026, 18 Φεβρουαρίου

- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (2000). Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60/ΕΚ. Odigia Plaisio.pdf, ανακτήθηκε 2025, 25 Νοεμβρίου.

- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (2007). Οδηγία Πλαίσιο για τις Πλημμύρες 2007/60/ΕΚ. LexUriServ.do, ανακτήθηκε 2025, 30 Νοεμβρίου.

- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Εθνική Επιτροπή Υδάτων. Υπ. Απόφαση 41377/329. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. Έγκριση Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (ΕΛ08) και της αντίστοιχης Στρατηγικής Μελέτης 2685/06.07.2018). Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. (ΦΕΚ Β https://floods.ypeka.gr/wp-content/uploads/2023/12/FEK_B_2685_06072018.pdf, ανακτήθηκε 2026, 8 Φεβρουαρίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Εισαγωγή

Η Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων διαφαίνεται ότι θα αποτελέσει ένα μείζων ζήτημα για τον 21^ο αιώνα με άμεσες επιπτώσεις στις κοινωνίες και την γενικότερη ευημερία των ανθρώπων, αλλά και στο περιβάλλον με δυσμενείς συνέπειες στα φυσικά οικοσυστήματα και με την υποβάθμιση των υδατικών πόρων παγκοσμίως. Κυριότεροι παράγοντες που ασκούν πιέσεις στους υδατικούς πόρους είναι η εντατική αύξηση του πληθυσμού, και η αλόγιστη χρήση τους καθώς και το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής, επηρεάζοντας τον υδρολογικό κύκλο παγκοσμίως αναδιαμορφώνοντας με τον τρόπο αυτό την ποσότητα και την ένταση των κατακρημνίσεων, και μεταβάλλοντας την ένταση και την συχνότητα των ακραίων κυρίως καιρικών φαινομένων όπως οι πλημμύρες και οι ξηρασίες.

Όσον αφορά τις πλημμύρες αποτελούν φυσικά φαινόμενα που δυνητικά μπορούν να έχουν κοινωνικές, περιβαλλοντικές, οικονομικές και πολιτισμικές δυσμενείς συνέπειες και συνήθως επιδεινώνονται εξαιτίας των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων και παρεμβάσεων. Στη σύγχρονη εποχή έχει γίνει αποδεκτό πως απαιτείται μια διαφορετική προσέγγιση από τον έλεγχο στη διαχείριση των πλημμυρικών φαινομένων και η μεταστροφή από τις παλιότερες αντιλήψεις σε πιο προηγμένες που να ενσωματώνουν την τρωτότητα, την έκθεση, την ευπάθεια και την ανθεκτικότητα, έννοιες που είναι πλέον κοινά αποδεκτές και συνυφασμένες με τα πλημμυρικά φαινόμενα. Επίσης κρίνεται αναγκαία η ενσωμάτωση εκτός των δομικών και τεχνικών έργων, παρεμβάσεων και πρακτικών με ρυθμιστική προσέγγιση, που να στοχεύουν στη βιώσιμη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκεται μέσω της βιβλιογραφικής επισκόπησης η αναζήτηση των βασικών στοιχείων και εννοιών που σχετίζονται με την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων καθώς επίσης και η διερεύνηση των τρόπων εκδήλωσης των πλημμυρικών φαινομένων, αλλά και των βασικών εννοιών που σχετίζονται με τις πλημμύρες και αποτελούν το θεωρητικό υπόβαθρο για την ορθότερη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου και των υδατικών πόρων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η χωρική εκτίμηση της τρωτότητας στα πλημμυρικά φαινόμενα για το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας, με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, καθώς επίσης και η ανάδειξη των κριτηρίων με τη μεγαλύτερη βαρύτητα στην εκτίμηση της πλημμυρικής τρωτότητας. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει καταρχήν την δημιουργία των θεματικών χαρτών των επιλεγόμενων κριτηρίων, κατόπιν την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης για την στάθμιση των επιλεγόμενων παραγόντων και τέλος, μέσω της επεξεργασίας και ανάλυσης τους την δημιουργία του χάρτη τρωτότητας σε περιβάλλον εργασίας ΓΣΠ, όπου αποτυπώνονται όλες οι ευάλωτες περιοχές του ΥΔ στα πλημμυρικά φαινόμενα. Με βάση τον χάρτη τρωτότητας γίνεται μια μελέτη και εκτίμηση της κατάστασης των υδατικών πόρων της περιοχής στοχεύοντας στη ολοκληρωμένη και βιώσιμη διαχείριση τους.

Όσον αφορά τη διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας, συγκεκριμένα το κεφάλαιο 1 αναφέρεται στα γενικά εισαγωγικά στοιχεία για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων και των πλημμυρικών φαινομένων, καθώς επίσης και στον σκοπό της εκπόνησης της εργασίας.

Στο κεφάλαιο 2 μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης παρατίθενται τα κυριότερα στοιχεία της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων (ΟΔΥΠ), οι επικρατέστεροι ορισμοί, το θεσμικό πλαίσιο που έχει θεσπιστεί για την προστασία των υδάτων, καθώς και τα στάδια εξέλιξης της ΟΔΥΠ, οι κατευθυντήριες αρχές και τα βασικότερα σημεία εφαρμογής της, αλλά και η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους υδατικούς πόρους. Επίσης μελετώνται τα πλημμυρικά φαινόμενα, όπου αναφέρονται ορισμένα γενικά στοιχεία για τις πλημμύρες και περιγράφεται το θεσμικό πλαίσιο που στοχεύει στον μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων των πλημμυρών. Τέλος, μελετώνται βασικές έννοιες όπως η πλημμυρική τρωτότητα (ΠΤ) και η ανθεκτικότητα που ενσωματώνονται στη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας και επισημαίνεται η ανάγκη μετατόπισης σε μια βιώσιμη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.

Το κεφάλαιο 3 αφορά στην ανάπτυξη της μεθοδολογίας της εργασίας, όπου αναφέρονται όλα τα βασικά στάδια επεξεργασίας, από την επιλογή και τη συλλογή των κατάλληλων παραγόντων, την εφαρμογή της Αναλυτικής Ιεραρχικής Μεθόδου, ενός μαθηματικού εργαλείου για τον υπολογισμό της βαρύτητας των κριτηρίων και τελικώς την επεξεργασία των δεδομένων στα ΓΣΠ για την δημιουργία του χάρτη τρωτότητας της περιοχής μελέτης.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται η περιοχή μελέτης της εργασίας, που αφορά το ΥΔ της Θεσσαλίας, αναφέρονται τα φυσικά όρια της περιοχής καθώς και κάποια χαρακτηριστικά της, όπως οι λεκάνες απορροής, οι κυριότεροι ποταμοί, οι χρήσεις γης και κλιματολογικά, γεωμορφολογικά και υδρολογικά δεδομένα. Επίσης καταγράφονται επιγραμματικά οι κυριότερες ιστορικές πλημμύρες της περιοχής, καθώς γίνεται και μια σύντομη αναφορά στην ακραία πλημμύρα 'Daniel' που έπληξε την περιοχή το 2023.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας, με την παρουσίαση των επιμέρους θεματικών χαρτών αλλά και την δημιουργία και ανάλυση του τελικού χάρτη πλημμυρικής τρωτότητας και τέλος, στο κεφάλαιο 6 εξάγονται τα συμπεράσματα από την εκπόνηση της εργασίας και διατυπώνονται προτάσεις για τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1. Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΟΔΥΠ)

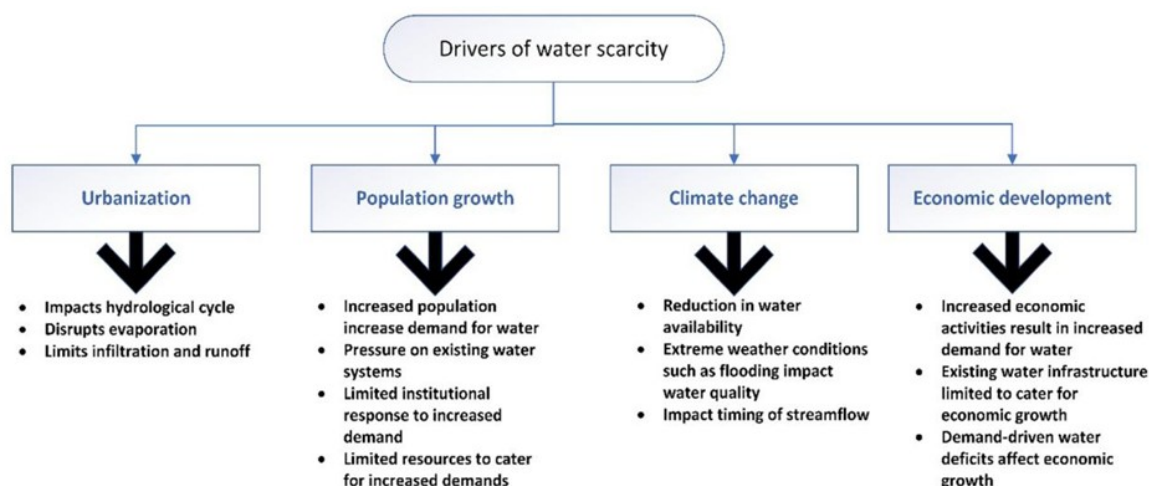
Οι υδατικοί πόροι διαφαίνεται ότι θα αποτελέσουν ένα μείζων ζήτημα του 21^{ου} αιώνα, καθώς η παγκόσμια κρίση των υδάτων αποτελεί μια πολύπλοκη πρόκληση που επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες. Το νερό αποτελεί το πιο ευρέως διαδεδομένο συστατικό της Γης, καλύπτοντας το 70% της επιφάνειας του πλανήτη και είναι ζωτικής σημασίας για κάθε μορφή ζωής, καθώς είναι μεταφορέας συστατικών για τα φυτά, τα ζώα, τους ανθρώπους και όλα τα οικοσυστήματα, βρίσκεται σε συνεχή κίνηση και συνήθως αναπαρίσταται μέσω του υδρολογικού κύκλου και των υδατικών ισοζυγίων (Tsismelis et al., 2022).

Η ολοένα και πιο εντατική ανάπτυξη έργων υδατικών πόρων σε παγκόσμια κλίμακα, ταυτόχρονα με τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση νερού, έχουν ως αποτέλεσμα την εξάντληση και υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων, οδηγώντας πάνω από 44 χώρες έως το 2050 να βρεθούν αντιμέτωπες με φαινόμενα λειψυδρίας και πάνω από 2 δις ανθρώπων να μην έχουν πρόσβαση σε ασφαλές και πόσιμο νερό (Onyena & Sam, 2025). Για την Ευρώπη οι χώρες που εμφανίζουν μεγαλύτερο κίνδυνο να αντιμετωπίσουν ζητήματα λειψυδρίας σύμφωνα με τους Onyena και Sam (2025) είναι η Ισπανία, η Πορτογαλία, η Γαλλία, η Ιταλία, η Ελλάδα, η Αλβανία και η Βουλγαρία.

Η λειψυδρία αποτελεί ένα φαινόμενο κατά το οποίο εμφανίζεται έλλειψη του γλυκού νερού ή μείωση της διαθεσιμότητάς του και είναι αποτέλεσμα τόσο φυσικών όσο και ανθρωπογενών παραγόντων με κοινωνικές, περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις (Jazi, 2021). Σύμφωνα με τους Onyena και Sam (2025) οι κυριότεροι παράγοντες επιδείνωσης της λειψυδρίας είναι η αστικοποίηση και η ταχεία αύξηση του πληθυσμού, η αυξημένη κατανάλωση νερού, η εμφάνιση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής και η οικονομική ανάπτυξη (Σχήμα 2-1), καθώς και η αλόγιστη διαχείριση των υδατικών πόρων. Επί προσθέτως σε εργασία της Παγκόσμιας Σύμπραξης για το Νερό (GWP) (Agarwal, 2000), που αποτελεί μια ομάδα ιδιωτικών και δημοσίων φορέων με στόχο τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων, αναφέρεται ότι η αυξημένη οικονομική δραστηριότητα σε συνδυασμό με το βελτιωμένο βιοτικό επίπεδο έχει ως αποτέλεσμα τον αυξημένο ανταγωνισμό και τις συγκρούσεις για τους ήδη περιορισμένου υδατικούς πόρους, με αποτέλεσμα την επιδείνωση του φαινομένου.

Η παγκόσμια κρίση των υδάτων σε συνδυασμό με την απειλή της λειψυδρίας κάνει επιτακτική την ανάγκη για εφαρμογή ολοκληρωμένων μεθόδων διαχείρισης του νερού και μετάβαση από τις παραδοσιακές πρακτικές διαχείρισης των υδάτων, που δεν μπορούν πλέον να ανταπεξέλθουν στις αυξημένες απαιτήσεις και προκλήσεις και στην πολυπλοκότητα του ζητήματος, στην υιοθέτηση μιας νέας βιώσιμης στρατηγικής για την ΟΔΥΠ, της επονομαζόμενης 'Μπλε Επανάστασης' που στοχεύει στην επίτευξη της ισορροπίας της διαχείρισης μεταξύ γης και υδάτων,

αναγνωρίζοντας με αυτή την προσέγγιση τη σημαντική διασύνδεση των δυο αυτών ζωτικών πόρων (Onyena & Sam, 2025).



Σχήμα 2-1: Παράγοντες εμφάνισης της λειψυδρίας.

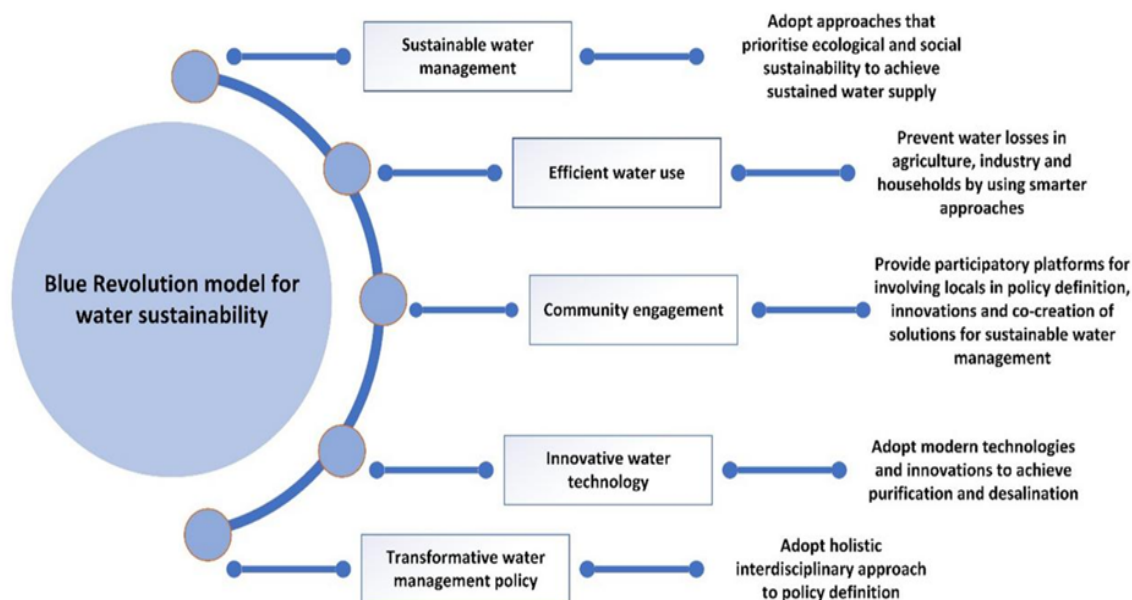
Πηγή: Onyena και Sam, (2025)

Στο άρθρο τους οι Onyena και Sam, (2025) (Σχήμα 2-2.) προσεγγίζουν τη 'Μπλε Επανάσταση' ως:

ένα ολιστικό, βιώσιμο παράδειγμα για τη διαχείριση των υδάτων, δίνοντας προτεραιότητα στη διατήρηση, τις τεχνολογικές εξελίξεις και τα βελτιωμένα πλαίσια διακυβέρνησης. Επιδιώκοντας να εναρμονίσει τις ανθρώπινες απαιτήσεις με την περιβαλλοντική διαχείριση, αντιμετωπίζοντας τη ρύπανση στην προέλευσή της και ενθαρρύνοντας τη συνεργασία μεταξύ του κυβερνητικού, του κοινοτικού και του ιδιωτικού τομέα. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση στοχεύει στη δημιουργία ενός ανθεκτικού μέλλοντος για το νερό που θα καλύπτει τις ανάγκες των αυξανόμενων πληθυσμών, προστατεύοντας παράλληλα τα οικοσυστήματα. (Onyena & Sam, 2025, The need for a "Blue Revolution")

Η ΟΔΥΠ, αναγνωρίζεται ευρέως από πολλούς διεθνείς οργανισμούς, και έχει αναδειχθεί σε μια δημοφιλή έννοια του 20ου αιώνα, αντιμετωπίζοντας τη διακυβέρνηση των υδάτων σε ένα ευρύτερο πλαίσιο μέσω της συμπερίληψης και της επίτευξης συναίνεσης των εμπλεκόμενων μερών σε όλα τα επίπεδα,

προάγοντας την αμοιβαία και συνεργατική διαχείριση της διαδικασίας σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων (Saravanan et al., 2009).



Σχήμα 2-2: Διάγραμμα της 'Μπλε Επανάστασης' για τη βιωσιμότητα των υδάτων.

Πηγή: Onyena και Sam, (2025)

Σύμφωνα με την Τεχνική Συμβουλευτική Επιτροπή (ΤΑΕ) της Παγκόσμιας Σύμπραξης για το Νερό (GWP) η ΟΔΥΠ αποτελεί «μια διαδικασία που προωθεί τον συντονισμένο σχεδιασμό και διαχείριση του νερού, της γης και των σχετικών πόρων, με στόχο τη μεγιστοποίηση της οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας με δίκαιο τρόπο, χωρίς να θίγεται η βιωσιμότητα των ζωτικών οικοσυστημάτων» (Agarwal, 2000, p.22)

Αντίστοιχα σε άρθρο των Saravanan et al., (2009, p.84) η ΟΔΥΠ αναφέρεται ως «μια διαδικασία, όπου πολλοί φορείς/παράγοντες ενσωματώνουν διάφορους κανόνες και πόρους σε ένα στρατηγικό πλαίσιο για τη διαχείριση των υδατικών πόρων σε πεδία λήψης αποφάσεων, όπου υπάρχει δυναμική αλληλεπίδραση εξουσίας», επισημαίνοντας την διαφορετική προσέγγιση που προσφέρεται από την ΟΔΥΠ για τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Επίσης, σε άρθρο της Jazi (2021, p.2) ορίζονται σύμφωνα με τον Loucks, τα βιώσιμα συστήματα υδατικών πόρων ως «συστήματα υδατικών πόρων σχεδιασμένα και διαχειριζόμενα ώστε να συνεισφέρουν πλήρως στους στόχους της κοινωνίας, τώρα και στο μέλλον, διατηρώντας παράλληλα την οικολογική, περιβαλλοντική και υδρολογική τους ακεραιότητα». Ενώ αναφέρεται και ο ορισμός του Dan Rothman όπου:

η βιωσιμότητα των υδατικών πόρων είναι η ικανότητα χρήσης του νερού σε επαρκείς ποσότητες και ποιότητα από το τοπικό έως το παγκόσμιο επίπεδο, για την κάλυψη των αναγκών των ανθρώπων και των οικοσυστημάτων στο παρόν και στο μέλλον, προκειμένου να διατηρείται η ζωή και να προστατεύονται οι άνθρωποι από τις ζημιές που προκαλούν οι φυσικές και ανθρωπογενείς καταστροφές που επηρεάζουν τη διατήρηση της ζωής. (Jazi, 2021, p.2)

Σύμφωνα με το GWP (Agarwal, 2000) που αποτελεί και τον κυριότερο υποστηρικτή της ΟΔΥΠ, δίνονται τέσσερις βασικές κατευθυντήριες αρχές, που είναι ευρύτερα γνωστές ως αρχές του Δουβλίνου, στις οποίες βασίζεται η ΟΔΥΠ και οι οποίες επιγραμματικά είναι:

1. Το γλυκό νερό αποτελεί έναν ευάλωτο και περιορισμένο πόρο, απαραίτητο για την επιβίωση και την ανάπτυξη του περιβάλλοντος.
2. Κρίνεται βασική η διαχείριση των υδατικών πόρων, μέσω της εφαρμογής μιας συμμετοχικής διαδικασίας που θα περιλαμβάνει όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, χρήστες και υπευθύνους χάραξης πολιτικής, σε όλα τα στάδια σχεδιασμού και εφαρμογής.
3. Οι γυναίκες κατέχουν έναν κεντρικό ρόλο στη διαχείριση και την προστασία των υδάτων.
4. Θα πρέπει να αναγνωρίζεται η οικονομική αξία του νερού και οι υδατικοί πόροι να αντιμετωπίζονται ως οικονομικό αγαθό.

2.1.1. Βασικά Στάδια Εξέλιξης της ΟΔΥΠ

Η ΟΔΥΠ αποτελεί βασικό τμήμα των διεθνών πολιτικών στρατηγικών και θεωρείται ένα από τα κύρια στοιχεία αναφοράς της διακυβέρνησης των υδάτων, διαμορφώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις πολιτικές για τα ύδατα σε εθνικό και διεθνές επίπεδο (Jazi, 2021).

Παρόλα αυτά υπάρχουν και επικριτές της ΟΔΥΠ που θεωρούν την έννοια ανεπαρκή και ασαφή, εστιάζοντας στο γεγονός ότι στοχεύει στην βελτίωση των υδάτων ως προς την αποτελεσματικότητα και την αποδοτικότητα και ότι δεν μπορεί να αντιμετωπίσει πολύπλοκα ζητήματα, καθώς δεν υπάρχει η ικανότητα προσαρμογής της διαχείρισης σε αβέβαιες συνθήκες και δεν υπάρχει ένας σαφής στόχος, σε αντίθεση με την έννοια της *προσαρμοστικής διαχείρισης* που αποτελεί ένα συμμετοχικό, δίκαιο και προσαρμοστικό μοντέλο της διακυβέρνησης των υδάτων (Varady et al., 2016).

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Jazi, 2021; Onyena & Sam, 2025; Petit & Baron, 2009) τα βασικότερα στάδια εξέλιξης της ΟΔΥΠ είναι τα ακόλουθα:

- Κατά τη δεκαετία του 1950 πρωτοεμφανίστηκε η έννοια της διαχείρισης των υδάτων από τα Ηνωμένα Έθνη.

- Όμως η μεταφορά των αρχών της ολοκληρωμένης διαχείρισης εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στους υδατικούς πόρους στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών, τον Μάρτιο του 1977 στο Μαρ ντε Πλάτα στην Αργεντινή, ως μέρος του Σχεδίου Δράσης για το Νερό και έκτοτε αποτελεί μια από τις διεθνείς αρχές της διαχείρισης των υδάτων.
- Στη συνέχεια, κατά τη δεκαετία του 1990 εισήχθη ως βασική έννοια στα διεθνή συνέδρια του Δουβλίνου και Ρίου, το 1992 αναγνωρίζοντας επίσης τη λειψυδρία ως σημαντική παγκόσμια πρόκληση. Στη Διεθνή Διάσκεψη για το Νερό και το Περιβάλλον, στο Δουβλίνο το 1992, διατυπώθηκαν και οι βασικές αρχές και οι κατευθυντήριες οδηγίες της ΟΔΥΠ που υιοθετήθηκαν στη συνέχεια από τη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη στο Ρίο ντε Τζανέιρο. Επίσης στο ίδιο συνέδριο συνεστήθει σε όλα τα κράτη μέλη να ξεκινήσουν σταδιακά να εφαρμόζουν τις αρχές της ΟΔΥΠ έως το 2000, όπου όμως έως το 2009 δεν είχαν εκπληρώσει τις υποχρεώσεις τους πολλές από τις υπογράφουσες χώρες.
- Κατά τη δεκαετία του 2000, δόθηκε κυρίως έμφαση στην ασφάλεια του νερού όσον αφορά το φαινόμενο της λειψυδρίας στα πλαίσια της κλιματικής αλλαγής, με την ενσωμάτωση της ΟΔΥΠ στο 2^ο Παγκόσμιο Φόρουμ για το Νερό στη Χάγη το 2000, αλλά και με την συμπερίληψη της ως προτεινόμενης προσέγγισης στη Διεθνή Διάσκεψη για το Γλυκό Νερό (2001), την Παγκόσμια Σύνοδο Κορυφής για την Βιώσιμη Ανάπτυξη (WSSD) (2002) και το 3^ο Παγκόσμιο Φόρουμ για το Νερό (2003).
- Τη δεκαετία του 2010 η ΟΔΥΠ συνετέλεσε στην υιοθέτηση της 'Μπλε Επανάστασης' με στόχο τη διαχείριση των υδάτων τόσο μέσω τεχνολογικών καινοτομιών και εξελίξεων όσο και με βιώσιμες προσεγγίσεις που βασίζονται στη φύση.
- Τέλος, κατά τη δεκαετία του 2020 γίνεται εμφανής και επιτακτική η ανάγκη για την εφαρμογή κυκλικών οικονομιών του νερού και για τη θέσπιση μεταρρυθμίσεων διακυβέρνησης των υδάτων, ώστε να αντιμετωπιστεί η πρόκληση της αυξανόμενης παγκόσμια κρίση των υδάτων, που σε συνδυασμό με τους Στόχους της Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΣΒΑ) θα απαιτήσει την εφαρμογή μιας διεθνούς σύμβασης για τους υδατικούς πόρους.

2.1.2. Θεσμικό Πλαίσιο

Η πιο πρόσφατη και κύρια Οδηγία της ΕΕ για τα ύδατα είναι η Οδηγία Πλαίσιο 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου που θεσπίστηκε στις 23 Οκτωβρίου 2000 και προωθεί ένα σύστημα διαχείρισης των υδάτων βασιζόμενο στον συντονισμό των διοικητικών ρυθμίσεων εντός των περιοχών της λεκάνης απορροής των ποταμών (ΛΑΠ), απαιτώντας από τα κράτη μέλη να μεταφέρουν στην εθνική νομοθεσία και λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές συνθήκες να οργανώσουν τη διαχείριση των υδατικών συστημάτων με ολοκληρωμένο τρόπο, βασιζόμενοι στα φυσικά όρια των λεκανών απορροής των ποταμών τους (Correljé et al., 2007).

Σε κεφάλαιο της Διακήρυξης του Ρίου, της Ατζέντας 21 αναφερόταν ότι: «*Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων, συμπεριλαμβανομένης της*

ενσωμάτωσης των πτυχών που σχετίζονται με την ξηρά και τα ύδατα, θα πρέπει να πραγματοποιείται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ή υπολεκάνης απορροής» (Petit & Baron, 2009) δίνοντας έμφαση στην αφομοίωση της ΟΔΥΠ από την διαχείριση της λεκάνης απορροής.

Σκοπός της Οδηγίας (Οδηγία 2000/60/ΕΚ., Άρθρο 1., σελ. 5.) είναι η θέσπιση ενός πλαισίου για την προστασία των υδάτων, σε κλίμακα ΛΑΠ, που περιλαμβάνει τα επιφανειακά, μεταβατικά, υπόγεια και παράκτια ύδατα, συγκεκριμένα η Οδηγία:

- αναγνωρίζει τη σπουδαιότητα των υδάτων στα οικοσυστήματα και προστατεύει την κατάσταση των υδάτινων οικοσυστημάτων και των άμεσα αλληλεξαρτώμενων χερσαίων οικοσυστημάτων.
- Στοχεύει στην ολοκληρωμένη και βιώσιμη διαχείριση των υδάτων.
- Αποσκοπεί στον έλεγχο και περιορισμό της ρύπανσης και μόλυνσης των υδάτων.
- Συμβάλλει στο μετριασμό των επιπτώσεων από φυσικές καταστροφές, όπως πλημμύρες και ξηρασίες.
- Ενισχύει τη συμμετοχή του κοινού και όλων των εμπλεκόμενων φορέων στις διαδικασίες σχεδιασμού, λήψης αποφάσεων και εφαρμογής των εκάστοτε πρακτικών.

Σύμφωνα με το ΥΠΕΝ η εναρμόνιση της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ στην ελληνική νομοθεσία και η ενσωμάτωση των βασικών εννοιών και των κατευθυντήριων γραμμών για τους υδατικούς πόρους έγινε με τον Ν.3199/2003 (ΦΕΚ 280 Α/09.12.2003) και το ΠΔ 51/2007 (ΦΕΚ 54/Α/08.03.2007), όπου συγκροτήθηκε η νέα διοικητική δομή και καθορίστηκαν οι αρμοδιότητες των επιμέρους εθνικών φορέων, με βασική προτεραιότητα την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης των ΛΑΠ των ΥΔ της χώρας, σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία.

Σύμφωνα με άρθρο της Jazi (2021) η ολιστική προσέγγιση της ΟΔΥΠ συνίσταται στον καθορισμό των εθνικών στόχων και σκοπών για την ανάπτυξη μιας εθνικής στρατηγικής, μέσω του προσδιορισμού των εργαλείων που απαιτούνται για την εφαρμογή της, αλλά και των μέσων για την παρακολούθηση της προόδου του προτεινόμενου σχεδίου δράσης, όπου αναδεικνύεται απαραίτητη η ανάγκη για εργαλεία ορθής διαχείρισης των υδάτων που θα εξασφαλίσουν την κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική ανάπτυξη.

2.1.3. Διαδικασία Εφαρμογής της ΟΔΥΠ

Σε άρθρο της Jazi (2021) αναφέρονται οι πέντε βασικές έννοιες της ΟΔΥΠ που βασίζονται στις κύριες αρχές της GWP, οι οποίες είναι:

1. Πολλαπλές χρήσεις, όπου το νερό αποτελεί έναν φυσικό πόρο που καταναλώνεται κυρίως για πόση και πλύσιμο, αλλά είναι επίσης απαραίτητος για την διαβίωση.
2. Ολιστική διαχείριση, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τη ζήτηση όσο και την προσφορά κατά το σχεδιασμό των στρατηγικών διαχείρισης.

3. Πολλαπλές προοπτικές, καθώς το νερό αποτελεί ένα κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό αγαθό.
4. Συμμετοχική προσέγγιση, λαμβάνοντας υπόψη τους τοπικούς φορείς στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων.
5. Συμμετοχή των γυναικών, αναγνωρίζοντας τη σημασία του κεντρικού ρόλου των γυναικών στη συλλογή, διαχείριση και προστασία των υδάτων.

Όσον αφορά τη διαδικασία σχεδιασμού και εφαρμογής της ΟΔΥΠ μπορεί να διαχωριστεί σε τρία κύρια στάδια, της σχεδίασης, της εφαρμογής και της παρακολούθησης και αξιολόγησης, όπου περιλαμβάνονται τα ακόλουθα βήματα (Jazi, 2021; Petit & Baron, 2009) :

- Δημιουργία ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος, με τις κατάλληλες και απαραίτητες πολιτικές και στρατηγικές που στοχεύουν στην βιώσιμη ανάπτυξη και τη διαχείριση των υδατικών πόρων.
- Θέσπιση του θεσμικού πλαισίου, μέσω του οποίου θα εφαρμοστούν οι πολιτικές και στρατηγικές.
- Δημιουργία των μέσων διαχείρισης, που απαιτούνται για να επιτευχθεί η ορθή εφαρμογή των στρατηγικών.

Όπου τα μέσα διαχείρισης, αποτελούν τα εργαλεία που χρησιμοποιούν οι εμπλεκόμενοι φορείς ώστε να προβαίνουν σε ορθολογικές επιλογές μεταξύ των προτεινόμενων και εναλλακτικών σχεδίων και δράσεων (Saravanan et al., 2009), και περιλαμβάνουν:

- Την προετοιμασία των εθνικών σχεδίων, μέσω της διαχείρισης της λεκάνης απορροής.
- Την ανάληψη ευθυνών, που αποτελεί ένα κύριο στοιχείο για το σχεδιασμό και την εφαρμογή της ΟΔΥΠ και είναι επίσης ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας της διακυβέρνησης και της εξισορρόπησης των αυθαίρετων ενεργειών.
- Τον συντονισμό, μια κοινωνική διαδικασία απαραίτητη ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί η κατάλληλη συναίνεση στην λήψη των αποφάσεων, σχετικά με τους στόχους και τα προβλήματα από τους εμπλεκόμενους φορείς.
- Την ισότητα, η ΟΔΥΠ μπορεί να αντιμετωπίσει τις ανισότητες στην διαχείριση των υδάτων, ιδιαίτερα στον αναπτυσσόμενο κόσμο εστιάζοντας τον σχεδιασμό των στρατηγικών στις πιο αδύναμες κοινωνικές ομάδες.

Σύμφωνα με άρθρο των Ibisch et al. (2016) παρουσιάζεται ένα γενικό και ολοκληρωμένο πλαίσιο για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή της ΟΔΥΠ, βασισμένο στην συλλογή δεδομένων και την παρακολούθηση πολλαπλών διαφορετικών περιπτώσεων διαχείρισης των υδατικών πόρων, σύμφωνα με το οποίο τα βασικά στοιχεία στα οποία πρέπει να εστιάζεται η ΟΔΥΠ περιλαμβάνουν:

1. Την ποσότητα των υδάτων, απαραίτητο στοιχείο για τη σαφή κατανόηση του υδρολογικού κύκλου και της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητάς του.

2. Την ποιότητα των υδάτων, που αποτελεί ένα βασικό πρόβλημα της διαχείρισης παγκοσμίως, εξαιτίας της υποβαθμισμένης ποιότητας των υδάτων με τις άμεσες κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες.
3. Την ζήτηση του νερού, που αφορά στην πιο αποτελεσματική και αποδοτική χρήση του νερού, ώστε να μετριαστεί το φαινόμενο της λειψυδρίας.
4. Την κλιματική αλλαγή, που αποτελεί ένα φαινόμενο συνδεδεμένο με την ΟΔΥΠ καθώς ενισχύει την εμφάνιση των ακραίων καιρικών φαινομένων, που επηρεάζουν άμεσα τους φυσικούς πόρους και τα ζητήματα διαχείρισης των υδάτων.
5. Τη διακυβέρνηση των υδάτων, όπου σύμφωνα με το Πρόγραμμα Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών (UNDP) δίνεται ο ακόλουθος ορισμός «*Η διακυβέρνηση των υδάτων περιλαμβάνει τις πολιτικές, οικονομικές και κοινωνικές διαδικασίες και θεσμούς μέσω των οποίων οι κυβερνήσεις, η κοινωνία των πολιτών και ο ιδιωτικός τομέας λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με τον καλύτερο τρόπο χρήσης, ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατινών πόρων*» (Ibisch et al., 2016, p.17), περιλαμβάνει δηλαδή όλες τις ρυθμιστικές διαδικασίες και τις αλληλεπιδράσεις τους από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς.
6. Τη δημόσια ενημέρωση και συμμετοχή, που περιλαμβάνει όλες τις συλλογικές διαδικασίες μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, που όταν διέπονται από σαφείς αρχές σχεδιασμού έχουν θετικό αντίκτυπο στη διαχείριση των υδάτων.
7. Την ανάπτυξη ικανοτήτων, όπου σύμφωνα με το UNDP ορίζεται ως μια «*ολοκληρωμένη διαδικασία για τη διαμεσολάβηση, την ενίσχυση, τη διατήρηση και την περαιτέρω ανάπτυξη των ατομικών, οργανωτικών και κοινωνικών ικανοτήτων*», (Ibisch et al., 2016, p.20) ώστε να υλοποιηθούν οι διαδικασίες, να επιλυθούν τα ζητήματα και να επιτευχθούν οι στόχοι της βιώσιμης ανάπτυξης.
8. Την υποστήριξη λήψης αποφάσεων, που αφορά στην ανάπτυξη κατάλληλων εργαλείων για την υποστήριξη των αποφάσεων που λαμβάνονται, καθώς τα ζητήματα της ΟΔΥΠ αφορούν ιδιαίτερα περίπλοκα ζητήματα που διενεργούνται υπό υψηλή αβεβαιότητα.
9. Την ολοκληρωμένη διαχείριση υδάτων και γης, με τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα και οι οποίες πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της ΟΔΥΠ, καθώς συμβάλλουν στην κατανόηση των ροών νερού και διαλυμένων ουσιών, όπως θρεπτικών συστατικών στις λεκάνες απορροής.
10. Τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτων, όπου κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη τεχνικών, θεσμικών και οργανωτικών ρυθμίσεων, με την εφαρμογή εργαλείων κατανόησης των διαχειριστικών ζητημάτων και υποστήριξης των αποφάσεων, και με την ενσωμάτωση της έρευνας, της τεχνογνωσίας και της κοινωνικής συμμετοχής όλων των εμπλεκόμενων φορέων, ώστε να αναπτυχθούν στρατηγικές σχεδιασμού και κατευθυντήριες οδηγίες για την ολοκληρωμένη και βιώσιμη διαχείριση των υδάτων.

2.1.4. Κλιματική Αλλαγή και ΟΔΥΠ

Το κλίμα αποτελεί μια καιρική κατάσταση μακράς διάρκειας και αφορά στον μέσο καιρό μιας περιοχής κατά τη διάρκεια πολλών ετών, που επιδέχεται να υποστεί μακροχρόνιες αλλαγές σε τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο, με αποτέλεσμα να δημιουργείται το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με έκθεση της IPCC αναφέρεται ότι οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες ευθύνονται για την πρόκληση της κλιματικής αλλαγής, η οποία θα οδηγήσει σε αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων με αποτέλεσμα να επηρεάσει τον υδρολογικό κύκλο και τους υδατικούς πόρους (Surkar & Choudhary, 2023).

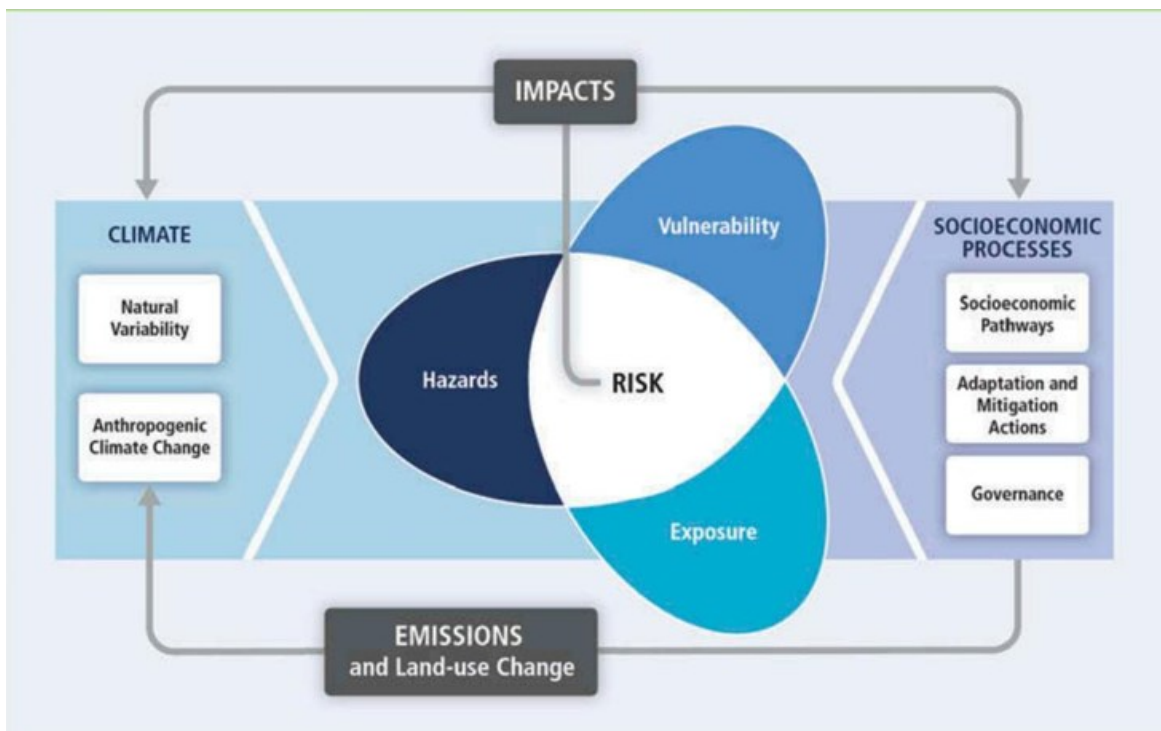
Η κλιματική αλλαγή έχει οδηγήσει στην αύξηση της θερμοκρασίας καθώς και σε σημαντικές χωρικές και χρονικές μεταβολές των προτύπων των βροχοπτώσεων παγκοσμίως, με αποτέλεσμα να έχει σημαντική επίδραση στον υδρολογικό κύκλο και να μεταβάλλει τη διαθεσιμότητα και τη ζήτηση του νερού που με τη σειρά της θα οδηγήσει στην μεταβολή του παγκόσμιου υδατικού ισοζυγίου (Sun et al., 2018). Η έλλειψη του νερού κατατάσσεται πρώτη μεταξύ των παγκόσμιων κλιματικών κινδύνων καθώς το νερό αποτελεί τον πρώτο φυσικό πόρο που θα επηρεαστεί από την κλιματική αλλαγή και θα επιβαρυνθεί από περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς παράγοντες (Abdourhimou et al., 2025).

Σύμφωνα με άρθρο των Surkar και Choudhary, (2023) οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στον υδρολογικό κύκλο αφορούν κυρίως μεταβλητές όπως, την απορροή των ποταμών, τη διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων, τη τήξη των παγετώνων, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, καθώς επίσης και τις διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων, τα φαινόμενα της ξηρασίας και των πλημμυρών και τη γενικότερη ποιότητα των υδατικών πόρων.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με την 3^η Παγκόσμια Έκθεση Αξιολόγησης των Υδάτων (Simonovic, 2017) οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους υδατικούς πόρους συνοψίζονται στις εξής:

- Μείωση της παροχής νερού εξαιτίας των χρονικών μεταβολών.
- Αύξηση του μεγέθους και της συχνότητας των φαινομένων των πλημμυρών και της ξηρασίας, εξαιτίας των μεταβολών στις κατανομές των βροχοπτώσεων.
- Απώλειες των παράκτιων περιοχών εξαιτίας της άνοδου της στάθμης της θάλασσας.
- Αύξηση των απαιτήσεων και της χρήσης του νερού, ιδιαίτερα στις αρδευόμενες καλλιέργειες, εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας.
- Υποβάθμιση της ποιότητας των πηγών γλυκού νερού.
- Αύξηση των λειτουργικών απαιτήσεων των υφιστάμενων υποδομών διαχείρισης των υδάτων.

Οι κίνδυνοι που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, δεν είναι αποτέλεσμα μόνο της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής αλλά προκαλούνται και από άλλους παράγοντες όπως η κλιματική μεταβλητότητα και οι κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες, προκύπτουν δηλαδή από την αλληλεπίδραση της κλιματικής αλλαγής με την ευπάθεια και την έκθεση των φυσικών και ανθρώπινων συστημάτων (Σχ.2-3) (Döll et al., 2015).



Σχήμα 2-3: Παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνιση του κλιματικού κινδύνου.

Πηγή: Döll et al., (2015)

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στους υδατικούς πόρους γίνονται μελέτες και δοκιμές με κλιματικά μοντέλα, όπου προσομοιώνεται η κυκλοφορία μεταξύ ατμόσφαιρας και ωκεανών, ώστε να ερευνηθεί η υδρολογική μεταβλητότητα των υπό μελέτη περιοχών. Τα αποτελέσματα της υδρολογικής μοντελοποίησης εμπεριέχουν αβεβαιότητα, με αποτέλεσμα όπως επισημαίνει ο Bronstert (2003) να μην μπορεί να επιτευχθεί μια ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής αλλά μια ποιοτική αξιολόγηση της κατάστασης που παρουσιάζεται μέσα από τις μελλοντικές τάσεις των μετεωρολογικών συνθηκών. Η έλλειψη μιας τυποποιημένης μεθόδου για την εκτίμηση της κλιματικής αλλαγής σε επίπεδο ΛΑΠ μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσα από την εφαρμογή μιας γενικής μεθόδου που θα περιλαμβάνει τα εξής στάδια (Simonovic, 2017) :

- Χρήση παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων και προβλέψεων των μελλοντικών συνθηκών.
- Διορθώσεις μεροληψίας και αβεβαιότητας, ώστε να αυξηθεί η συσχέτιση μεταξύ του μοντέλου και των δεδομένων.
- Εφαρμογή τεχνικών για την μετατροπή της παγκόσμιας κλίμακας σε κλίμακα λεκάνης απορροής.
- Εφαρμογή των υδραυλικών δεδομένων και αναλύσεων χρησιμοποιώντας κλιματικά δεδομένα μειωμένης κλίμακας.

Συνοψίζοντας στο άρθρο τους οι Sun et al. (2018) αναφέρουν πως η κατανόηση της πολυπλοκότητας και των αλληλεπιδράσεων των υδατικών συστημάτων και η εφαρμογή προσαρμοστικών μεθόδων για τη δημιουργία βιώσιμων προτύπων κατανομής του νερού αποτελούν τις κυριότερες στρατηγικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Συγκεκριμένα, αναφέρουν ότι οι μελλοντικές στρατηγικές προσαρμογής θα πρέπει να εστιάζουν στα εξής σημεία για την ορθότερη διαχείριση και λήψη αποφάσεων:

- στην κατανόηση των αβεβαιοτήτων των υδατικών συστημάτων εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.
- Στην ανάπτυξη ενός συστήματος διαχείρισης των υδατικών πόρων για την παροχή αξιόπιστων πληροφοριών.
- Στην ανάπτυξη ισχυρών εργαλείων ώστε να εντοπίζονται οι εναλλακτικές επιλογές κατανομής του νερού.
- Στην υιοθέτηση στρατηγικών παροχής και ζήτησης νερού.
- Στην ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τους κλιματικούς κινδύνους.

Όσον αφορά τα πλημμυρικά φαινόμενα, η επίδραση της κλιματικής αλλαγής μπορεί να αποτελέσει έναν σημαντικό παράγοντα που θα επηρεάσει τη συχνότητα και την ένταση των πλημμυρών, όπου ο καθοριστικός παράγοντας δεν θα είναι η άμεση αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας αλλά η μεταβολή των μετεωρολογικών συνθηκών και ιδιαίτερα των χαρακτηριστικών των βροχοπτώσεων, που θα έχουν άμεση επίδραση στην τοπική και περιφερειακή υδρολογική μορφολογία (Bronstert, 2003).

Αναμένεται μακροπρόθεσμα η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις χρήσεις γης και στην κάλυψη της γης με βλάστηση που μπορεί να αποτελέσει έναν βασικό παράγοντα που θα επηρεάσει την εμφάνιση των πλημμυρικών επεισοδίων. Παρόλα αυτά, τη δεδομένη στιγμή όπως επισημαίνει ο Bronstert (2003) υπάρχουν πιο άμεσες και σημαντικές μεταβολές στις χρήσεις γης, όπως η έντονη αστικοποίηση και η αποψίλωση των δασών που διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην δημιουργία των πλημμυρικών φαινομένων.

Σύμφωνα με άρθρο των Abdourhimou et al., (2025) επισημαίνεται πως με τον κατάλληλο σχεδιασμό και την ορθή εφαρμογή της ΟΔΥΠ μπορεί να επιτευχθεί τόσο η βελτίωση του συντονισμού μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών και η ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τη βιώσιμη χρήση του νερού, η ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, αλλά και ο μετριασμός των κλιματικών κινδύνων που σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους, αντιμετωπίζοντας τη χωρική και χρονική μεταβλητότητα του νερού, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην ευρύτερη κοινωνική συνοχή και ευημερία. Όμως απαιτείται μεγαλύτερη ενσωμάτωση των κλιματικών δεδομένων, αύξηση της τοπικής συμμετοχής, επαρκής χρηματοδότηση, σχεδιασμός προσαρμοστικών υποδομών και εφαρμογή μεταρρυθμίσεων διακυβέρνησης ώστε να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα και να μην περιορίζεται από θεσμικές αδυναμίες και οικονομικούς πόρους.

2.2. Πλημμύρες

Οι πλημμύρες αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο που προκαλείται κυρίως από εξωτερικούς παράγοντες, όπως έντονες βροχοπτώσεις και υπερχειλίσσεις ποταμών, με σημαντική αύξηση εμφάνισης τις τελευταίες δεκαετίες των ακραίων πλημμυρικών φαινομένων, επιφέροντας σημαντικές αρνητικές συνέπειες στους ανθρώπινους πληθυσμούς, οικονομικές απώλειες και καταστροφές στις πληγείσες περιοχές (Mai et al., 2020).

Παρά τη σημαντική πρόοδο στην ερευνητική γνώση και τις τεχνολογικές εξελίξεις, οι πλημμύρες συνεχίζουν να αποτελούν ένα από τα πιο καταστροφικά φυσικά φαινόμενα παγκοσμίως. Οι περισσότερες χώρες συνεχίζουν να εφαρμόζουν μια μονομερή προσέγγιση στην αντιμετώπιση των πλημμυρικών επεισοδίων και να διαχειρίζονται τον κίνδυνο πλημμύρας μέσω πρακτικών που βασίζονται σε αντιδραστικές μεθόδους (Mai et al., 2020).

Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Dinh & McIntosh, 2019) κρίνεται αναγκαία η μετατόπιση από τον έλεγχο των πλημμυρών στη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας, ώστε να επιτευχθεί αξιοποιώντας τις αρχές της ΟΔΥΠ ο μετριασμός του κινδύνου πλημμύρας μιας επιρρεπούς περιοχής. Τα παραδοσιακά μέτρα ελέγχου των πλημμυρών που αποτελούνται κυρίως από δομικά έργα, στοχεύουν στην αντιμετώπιση και στον έλεγχο των νερών των πλημμυρών, ώστε να προστατευτούν οι ανθρώπινοι πληθυσμοί και οι περιουσίες των ανθρώπων από τις πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα φράγματα, οι ταμιευτήρες, τα αναχώματα, οι κυματοθραύστες, τα δέλτα ποταμών, τα κανάλια εκτροπής, κ.α. τα οποία απαιτούν υψηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης που μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες απώλειες εάν η συντήρηση είναι ακατάλληλη ή ανεπαρκής και έχουν μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Από την άλλη πλευρά τα μη δομικά έργα είναι πιο βιώσιμα, έχουν λιγότερες αρνητικές επιπτώσεις είναι πιο εύκολα εφαρμόσιμα και είναι πιο αποδοτικά σε σχέση με το οικονομικό τους κόστος. Στα μέτρα αυτά ανήκουν πρακτικές και ρυθμίσεις ευαισθητοποίησης και εκπαίδευσης του κοινού, πρόβλεψη και προειδοποίηση πλημμυρών, προσαρμογή των χρήσεων γης, κανονισμούς, επιδοτήσεις και χρηματοδοτήσεις, χωροταξικά σχέδια και σχέδια διαχείρισης πλημμυρών (Wang et al., 2022).

Όπως επισημαίνεται σε άρθρο των Mai et al. (2020) για την αποτελεσματική διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας, θα πρέπει οι υπεύθυνοι να αναπτύσσουν μια πολύπλευρη προσέγγιση της διασύνδεσης των παραγόντων του κινδύνου πλημμύρας και του τρόπου με τον οποίο αυτές οι συνδέσεις επηρεάζουν τα πρότυπα συμπεριφοράς του κινδύνου πλημμύρας στις κοινότητες που είναι επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα. Επισημαίνεται επίσης, πως σε ορισμένες περιπτώσεις η μονόπλευρη αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων με γρήγορες ή/και αποτυχημένες εφαρμογές μέτρων και πρακτικών μπορεί να έχει βραχυχρόνια αποτελέσματα στον έλεγχο της πλημμύρας, αλλά να επιφέρει δυνητικά δυσμενείς συνέπειες που να επιδεινώσουν το αρχικό πρόβλημα, επηρεάζοντας τη μακροπρόθεσμη ευπάθεια και την προσαρμοστική ικανότητα των κοινοτήτων, με αποτέλεσμα το σύστημα να επανέλθει στην αρχική ή ορισμένες φορές σε χειρότερη κατάσταση εντείνοντας το πρόβλημα και οδηγώντας σε πιο

εκτεταμένες καταστροφές μετά από την εμφάνιση ακραίων πλημμυρικών φαινομένων.

Στις επόμενες ενότητες γίνεται μια αναφορά στις βασικότερες έννοιες που σχετίζονται με τις πλημμύρες για την καλύτερη κατανόηση των θεμάτων και της μεθοδολογίας της παρούσας εργασίας, καθώς επίσης και οι ορισμοί τους σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

2.2.1. Εισαγωγικά στοιχεία πλημμυρών

Από την αρχαιότητα οι άνθρωποι επέλεγαν να εγκατασταθούν στις πλημμυρικές πεδιάδες και σε περιοχές επιρρεπείς στις πλημμύρες, εξαιτίας των ευνοϊκών γεωγραφικών συνθηκών που διευκολύνουν την οικονομική ανάπτυξη, την εύκολη πρόσβαση για τις μεταφορές και την μεγαλύτερη παραγωγή τροφίμων λόγω της εύφορης γης, με αποτέλεσμα να απαιτείται συνεχώς η προστασία των κοινοτήτων και των περιουσιακών στοιχείων από τα πλημμυρικά φαινόμενα (Douben, 2006).

Οι πλημμύρες αποτελούν το πιο συχνό καταστροφικό φαινόμενο παγκοσμίως και όπως αναφέρεται σε άρθρο των Alderman et al. (2012) την τελευταία δεκαετία ευθύνονται για σχεδόν 53.000 θανάτους, με τις αναπτυσσόμενες χώρες να εμφανίζουν μεγαλύτερη κοινωνική τρωτότητα και να δέχονται μεγαλύτερες πιέσεις στις βασικές υποδομές και συνθήκες υγείας. Ενώ σε παγκόσμια κλίμακα για το χρονικό διάστημα από το 1985 έως το 2003 περίπου 300.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους εξαιτίας των πλημμυρών, όπου εκδηλώθηκαν μεταξύ 1700 και 2500 μεγάλα πλημμυρικά φαινόμενα (Douben, 2006).

Παρά τις μεγάλες και εντατικές προσπάθειες μείωσης του πλημμυρικού κινδύνου και του τεράστιου οικονομικού κόστους που έχει δαπανηθεί για την επένδυση των αντιπλημμυρικών έργων παγκοσμίως, οι πλημμύρες συνεχίζουν να αποτελούν μια από τις σημαντικότερες φυσικές καταστροφές, επιφέροντας αυξανόμενες υλικές ζημιές και υψηλό αριθμό θνησιμότητας (Kundzewicz et al., 2013).

Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία μπορεί να είναι βραχυπρόθεσμες, όπως οι τραυματισμοί, η έκθεση σε επικίνδυνες ουσίες, οι μεταδοτικές ασθένειες και η θνησιμότητα εξαιτίας πνιγμού ή σοβαρού τραύματος, αλλά και μακροπρόθεσμες εξαιτίας των άμεσων επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία από τραυματισμούς ή ασθένειες, ή των έμμεσων επηρεάζοντας τα συστήματα υγείας, τροφίμων και οικονομίας με αποτέλεσμα να επιδεινώσουν τη γενικότερη ποιότητα ζωής των ανθρώπων (Alderman et al., 2012).

Όπως επισημαίνουν οι Alderman et al. (2012) κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους μετά από ένα πλημμυρικό φαινόμενο, το ποσοστό θνησιμότητας των κατοίκων στις πληγέντες περιοχές μπορεί να συνεχίσει να αυξάνεται έως και 50%, γεγονός που υποδεικνύει τις εκτεταμένες και πολύπλοκες επιπτώσεις των πλημμυρών και την ανάγκη λήψης προληπτικών μέτρων και το σχεδιασμό προσαρμογής για τη μείωση της θνησιμότητας και της νοσηρότητας.

Σύμφωνα με την Οδηγία Πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου 2007/60/ΕΚ, οι πλημμύρες (floods) αποτελούν απρόβλεπτα φυσικά φαινόμενα, με δυνητικά δυσμενείς συνέπειες που μπορούν να πλήξουν τις τοπικές κοινωνίες, την οικονομία

και το περιβάλλον. Όπως αναφέρεται στο Άρθρο 2 της Οδηγίας, ως πλημμύρα ορίζεται «η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους, το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, εφήμερα ρεύματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, δύναται δε να εξαιρεί πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης» (Οδηγία 2007/60/ΕΚ., Άρθρο 2., σελ. 3.)

Ενώ σε άρθρο του Douben (2006) διατυπώνεται ένας διαχωρισμός μεταξύ των εννοιών *flood* και *flooding*, όπου ο πρώτος αναφέρεται στην προσωρινή κατάσταση των επιφανειακών υδάτων να υπερβούν μια καθορισμένη τιμή υπερβαίνοντας τα κανονικά όρια, χωρίς όμως να προκληθεί το αποτέλεσμα του πλημμυρικού φαινομένου. Ενώ ο δεύτερος όρος (*flooding*) αναφέρεται στη διαδικασία όπου εκτεταμένες περιοχές καλύπτονται από νερό και ορίζεται ως η υπερχειλίση ενός ποταμού, λίμνης, θάλασσας κλπ. ως αποτέλεσμα των έντονων βροχοπτώσεων εξαιτίας της έλλειψης ή της υπέρβασης της ικανότητας απορροής του εδάφους και των δικτύων αποστράγγισης επηρεάζοντας περιοχές που υπό κανονικές συνθήκες δεν καλύπτονται από νερό.

Σε άρθρο του Douben (2006) παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των πλημμυρών παγκοσμίως, όπου αναφέρεται ότι οι κύριες αιτίες εκδήλωσης είναι οι έντονες ή/και μακράς διάρκειας βροχοπτώσεις, που ευθύνονται για τα περισσότερα πλημμυρικά φαινόμενα σε ποσοστό 65%, οι σύντομες και καταρρακτώδεις βροχοπτώσεις (*flash floods*) (15%), οι τροπικοί κυκλώνες (10%) και τέλος οι βροχές των μουσώνων (5%). Η μέση διάρκεια των πλημμυρικών φαινομένων κυμαίνεται μεταξύ μιας έως δυο εβδομάδων παγκοσμίως ενώ η παγκόσμια εποχικότητα των πλημμυρών υποδεικνύει μια ετήσια συγκέντρωση των συμβάντων μεταξύ του Ιουλίου και του Αυγούστου όπου διακρίνονται οι ακόλουθες περίοδοι:

- Νοέμβριος – Απρίλιος, σχετικά χαμηλή συχνότητα,
- Μάιος – Ιούνιος, αυξανόμενη συχνότητα,
- Ιούλιος – Αύγουστος, σχετικά υψηλή συχνότητα,
- Σεπτέμβριος – Οκτώβριος, μειωμένη συχνότητα.

Επίσης προσδιορίζεται η έκταση της πλημμυρισμένης περιοχής παγκοσμίως, η οποία κατά μέσο όρο καλύπτει περίπου 1.2 εκ. km² ετησίως ενώ η περιοχή που πλήττεται από την πλημμύρα κυμαίνεται μεταξύ 1.5 και 8εκ. km² ετησίως, γεγονός που υποδεικνύει τις σημαντικές επιπτώσεις των πλημμυρών στο ευρύτερο κοινωνικό περιβάλλον και τα οικοσυστήματα. Τέλος, αναφέρεται ότι η αναλογία μεταξύ της πληγείσας και της πλημμυρισμένης περιοχής μπορεί να αποτελέσει ένα δείκτη του βαθμού τρωτότητας, όπου όσο υψηλότερη είναι η αναλογία τόσο πιο τρωτή είναι η περιοχή στα πλημμυρικά φαινόμενα.

Όσον αφορά την Ελλάδα, όπως παρουσιάζεται στο άρθρο των Evelpidou et al. (2023) η εποχικότητα των πλημμυρικών φαινομένων εμφανίζεται κυρίως τους φθινοπωρινούς (51,5%) και τους χειμερινούς (27,3%) μήνες, ενώ την άνοιξη και το καλοκαίρι είναι 11,1% και 10,1% αντίστοιχα. Η πλειονότητα των πλημμυρικών επεισοδίων εμφανίζεται μεταξύ Οκτωβρίου και Ιανουαρίου, με τον Νοέμβριο να κατέχει την υψηλότερη συχνότητα, ακολουθούμενος από τον Οκτώβριο. Επίσης στην Εικόνα 2-1 αποτυπώνεται η χωρική κατανομή των πλημμυρικών επεισοδίων κατά τη χρονική διάρκεια 1886-2022, όπου διαφαίνεται ότι η περιφέρεια της

Κεντρικής Μακεδονίας εμφανίζει τις περισσότερες πλημμύρες (413 επεισόδια), στη συνέχεια είναι η Αν. Μακεδονία και Θράκη (267 επεισόδια) και ακολουθεί η περιφέρεια Θεσσαλίας με 223 πλημμυρικά επεισόδια.

Για τον προσδιορισμό των πλημμυρών διατυπώνονται δυο δείκτες (Douben, 2006; Kundzewicz et al., 2013) που αφορούν πρώτον τη δριμύτητα της πλημμύρας που αποτελεί ένα μέτρο του πόσο σπάνιο είναι το πλημμυρικό επεισόδιο και ταξινομείται σε τρεις κατηγορίες:

- *Κατηγορία I*, που περιλαμβάνει μεγάλα πλημμυρικά συμβάντα με σημαντικές απώλειες και θύματα και με μέση περίοδο επαναφοράς της τάξης των 10-20 ετών.
- *Κατηγορία II*, που περιλαμβάνει πολύ μεγάλα συμβάντα, με περίοδο επαναφοράς μεταξύ των 20 και 100 ετών.
- *Κατηγορία III*, στην οποία ανήκουν ακραία πλημμυρικά επεισόδια με εκτιμώμενη περίοδο επαναφοράς της τάξης των 100 ή και περισσότερων ετών.

Όπου η πρώτη κατηγορία αντιπροσωπεύει το 85% των καταγεγραμμένων πλημμυρικών επεισοδίων παγκοσμίως και οι κατηγορίες II και III το 13% και το 3% αντίστοιχα. Για την Ευρώπη τα ποσοστά αυτά διαμορφώνονται ως εξής, κατηγορία I, 77%, κατηγορία II 16% και κατηγορία III 7% αντίστοιχα.

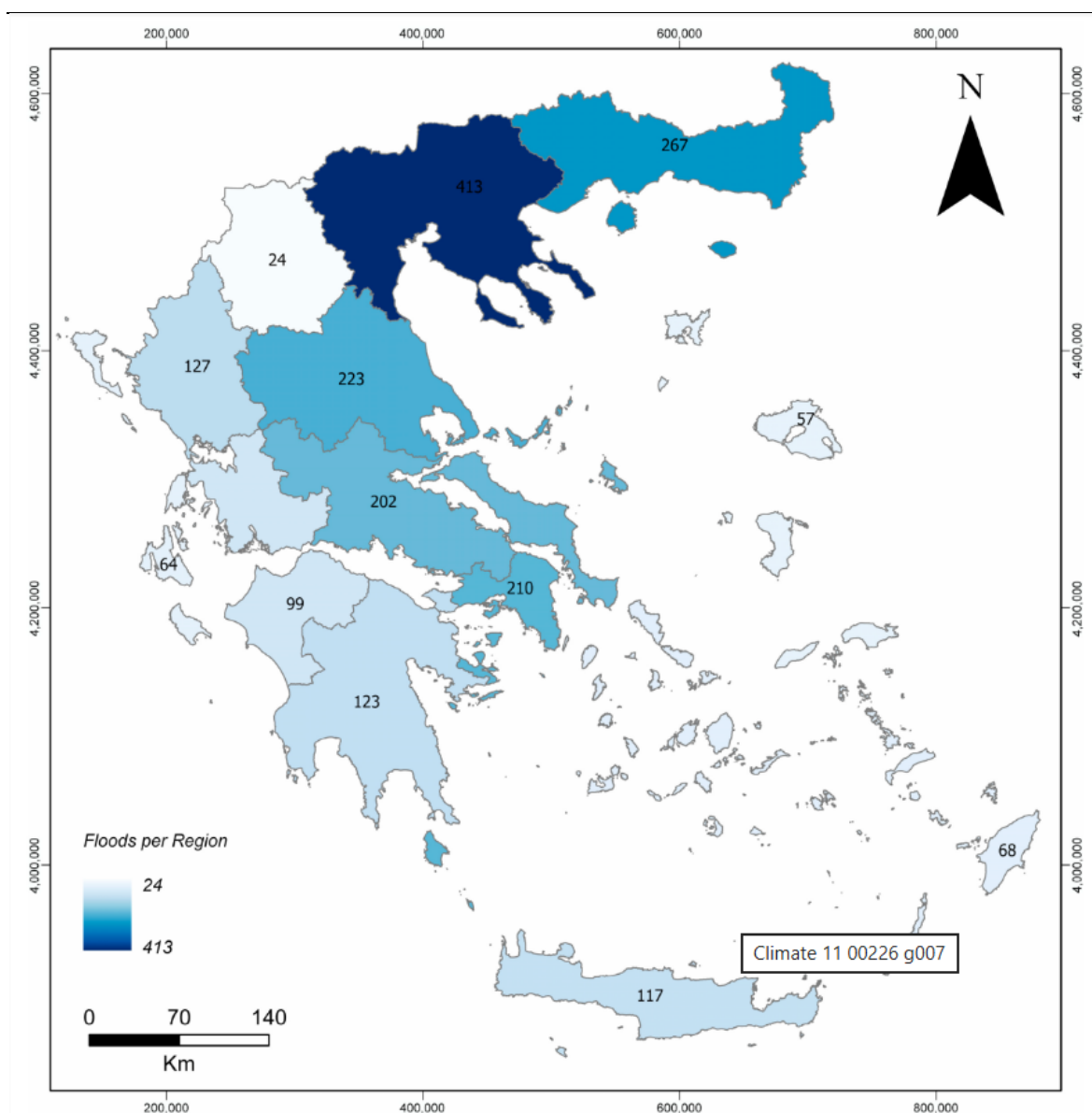
Ο δεύτερος δείκτης χαρακτηρισμού των πλημμυρών αφορά το μέγεθος της πλημμύρας, και εκφράζεται ως ένας περιγραφικός δείκτης σε κλίμακα, όπου τα μεγάλα επεισόδια μπορούν να φτάσουν σε κλίμακα 8 ή 9. Υπολογίζεται συναρτήσει της δριμύτητας, της διάρκειας και της έκτασης της πλημμυρισμένης περιοχής, σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση (1):

$$\text{Μέγεθος πλημμύρας} = \log_{10}(\text{Διάρκεια} * \text{Δριμύτητα} * \text{Έκταση}) \quad (1)$$

όπου: η διάρκεια είναι σε ημέρες,

η δριμύτητα αντιστοιχεί στην εκάστοτε κατηγορία, 1, 1.5 ή 2 και

η έκταση, αναφέρεται στη γεωγραφική περιοχή που επηρεάζεται από τις πλημμύρες και μετριέται σε km².



Εικόνα 2-1: Αριθμός πλημμυρών ανά περιφέρεια για το χρονικό διάστημα 1886-2022.

Πηγή: Evelpidou et al., (2023)

Σύμφωνα με τους Kundzewicz et al. (2013) το χρονικό διάστημα από το 1985 έως το 2009 ο αριθμός των μεγάλων πλημμυρών που έχουν συμβεί στην Ευρώπη έχει αυξηθεί σημαντικά με μεγάλες απώλειες όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2-1 όπου παρουσιάζονται τα σημαντικότερα πλημμυρικά φαινόμενα με τις μεγαλύτερες υλικές ζημιές για αυτό το χρονικό διάστημα και από τον Πίνακα 2-2 όπου παρουσιάζονται οι πλημμύρες της ΕΕ με τις σημαντικότερες επιπτώσεις στον πληθυσμό κατά τη χρονική περίοδο από το 1991 έως το 2000. Οι κυριότεροι και άμεσοι παράγοντες που ευθύνονται για την αύξηση της δριμύτητας και του μεγέθους των πλημμυρών θα μπορούσαν να συνδεόνται με την κλιματική αλλαγή, με τις αλλαγές στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής, καθώς και με τις μηχανικές παρεμβάσεις στα ποτάμια.

Πίνακας 2-1: Σημαντικότερες πλημμύρες της Ευρώπης με τις μεγαλύτερες υλικές ζημιές για την περίοδο 1985-2009.

No	Flood beginning	Country	Inflation-adjusted damage (million US\$)	Number of fatalities
1	2002-08-01	Germany, Czech Republic, Austria, Italy, Romania, Bulgaria, Slovakia, Ukraine, Hungary, Moldova	27 115	232
2	1994-11-04	Italy	5 944–14 238	64–83
3	1966-11-04	Italy	14 005	70–118
4	2000-10-13	Italy, France, Switzerland	11 199	13–38
5	1983-08-25	Spain	2 847–8 623	40–45
6	1997-07-01	Poland, Czech Repussssblic, Germany	2 744–8 340	100–118

Πηγή: Kundzewicz et al., (2013)

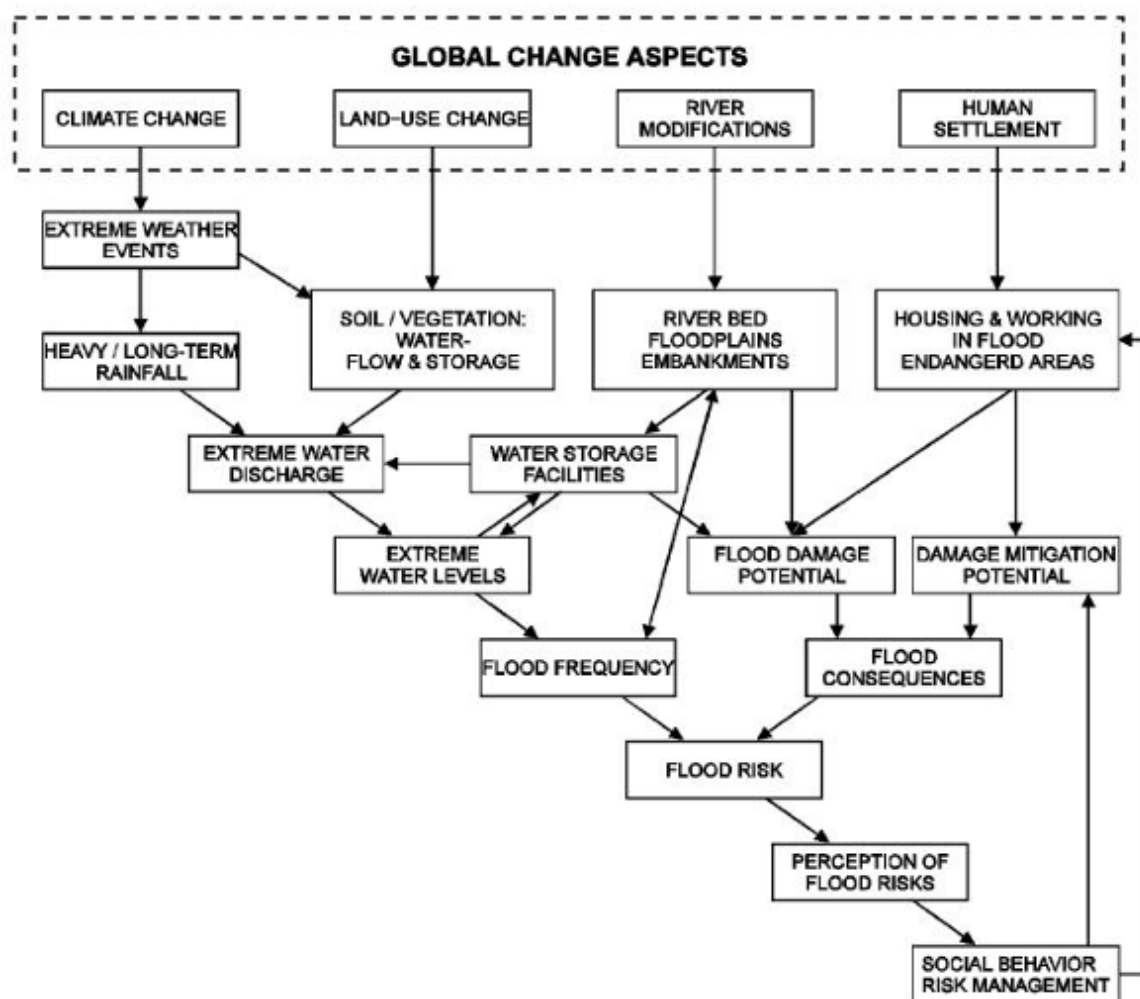
Πίνακας 2-2: Σημαντικότερες πλημμύρες της ΕΕ και οι επιπτώσεις τους στον πληθυσμό για την περίοδο 1991-2000.

Region	Year	Fatalities	Evacuations
Wallis (Switzerland); Northern Italy	2000	36	?
England and Wales	2000	?	?
Eastern Spain	2000	?	?
Hungary and Romania	2000	11	?
Bavaria (Germany); Austria; Switzerland	1999	12	?
Southwest France	1999	?	?
Portugal; Western Spain; Italy	1998	31	?
Belgium; Netherlands	1998	2	?
Slovakia, Czech Republic, Poland	1998	ca. 100	?
Eastern Germany; Czech Republic; Western Poland	1997	114	195,000
Southern Spain	1996	25	200
Southern, western, and northern Germany; Belgium; Luxembourg; Netherlands; eastern and northern France	1995	27	300,000
Piemonte and Liguria (Italy)	1994	73	3,400
Greater Athens (Greece)	1994	12	2,500
Southwest Germany; Belgium; Luxembourg; southern Netherlands; eastern and northern France	1993–1994	17	18,000
Piemonte and Liguria (Italy); southeast France	1993	13	2,000
Essex and Devon (UK); Ireland	1993	4	1,500
Vaucluse (France)	1992	42	8,000
Sicily (Italy)	1991	16	2,000

Πηγή: Bronstert, (2003)

Σε άρθρο του ο Bronstert (2003) εστιάζει στους βασικούς παράγοντες που ευθύνονται για τη δημιουργία των πλημμυρικών φαινομένων και συγκεκριμένα, στην κλιματική αλλαγή με την μεταβολή των μετεωρολογικών και υδρολογικών συνθηκών, στις χρήσεις γης με τη βλάστηση να έχει καθοριστικό ρόλο στις διεργασίες κατακράτησης και εξάτμισης του νερού, στις παρεμβάσεις της

μορφολογίας του ποταμού καθώς και στην ανάπτυξη των ανθρώπινων κοινοτήτων. Βασιζόμενος στους τέσσερις αυτούς παράγοντες κατασκεύασε τον 'καταρράκτη του πλημμυρικού κινδύνου' (Σχ.2-4) όπου απεικονίζονται οι αιτίες, τα αποτελέσματα και οι επιπτώσεις των πλημμυρών. Σύμφωνα με το σχεδιάγραμμα του καταρράκτη, οι βασικές συνιστώσες των πλημμυρών (συχνότητα, επιπτώσεις, διαχείριση κινδύνου, κλπ.) μπορούν να μεταβληθούν εξαιτίας των αλλαγών στους φυσικούς (κλιματικές συνθήκες, μορφολογία ΛΑΠ, κλπ.), τεχνικούς (παρεμβάσεις, έργα, κλπ.) και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες (αστικοποίηση, χρήσης γης), με αποτέλεσμα την μεταβολή της αντίληψης και της διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου.



Σχήμα 2-4: Διάγραμμα του Καταρράκτη Πλημμυρικού Κινδύνου.

Πηγή: Bronstert, (2003)

2.2.2. Κίνδυνος Πλημμύρας (Flood Risk)

Ο Κίνδυνος Πλημμύρας γενικά μπορεί να οριστεί βασιζόμενος σε τρεις προσεγγίσεις, στην αβεβαιότητα των μελλοντικών αποτελεσμάτων, στην αβεβαιότητα της εμφάνισης των καταστροφών και στον συνδυασμό της πιθανότητας των μελλοντικών επεισοδίων με τις πιθανές συνέπειές τους (Wang et al., 2022).

Στην Κοινοτική Οδηγία Πλαίσιο δίνεται ο ακόλουθος ορισμός του κινδύνου πλημμύρας (flood risk) σύμφωνα με τον οποίο ορίζεται «ως ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται μ' αυτή την πλημμύρα.» (Οδηγία 2007/60/ΕΚ., Άρθρο 2., σελ. 3.). Επίσης στον ακόλουθο πίνακα (Πίν.2-3) παρουσιάζονται οι διαφορετικοί ορισμοί του κινδύνου σύμφωνα με τις αντίστοιχες αναφορές του IPCC.

Σύμφωνα με τους Dinh και McIntosh (2019) σημειώνεται πως ο κίνδυνος πλημμύρας είναι συνάρτηση της πιθανότητας και της συνέπειας της πλημμύρας, όπου ως πιθανότητα ορίζεται η πιθανότητα εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου και ως συνέπειες αναφέρονται οι επιπτώσεις αυτού του συμβάντος στην κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον γενικότερα και μπορούν να εκφραστούν ποσοτικά, ανά κατηγορία ή περιγραφικά.

Όπου η ποιοτική εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας είναι η σχετική ένταση του κινδύνου του πλημμυρικού φαινομένου, όπως μηδενικός κίνδυνος, χαμηλός κίνδυνος, μέτριος κίνδυνος και υψηλός κίνδυνος. Ενώ η ποσοτική αξιολόγηση εκτιμάει το αποτέλεσμα των απωλειών σε χρηματική αξία για να εξασφαλιστεί η αναμενόμενη ζημιά (Wang et al., 2022).

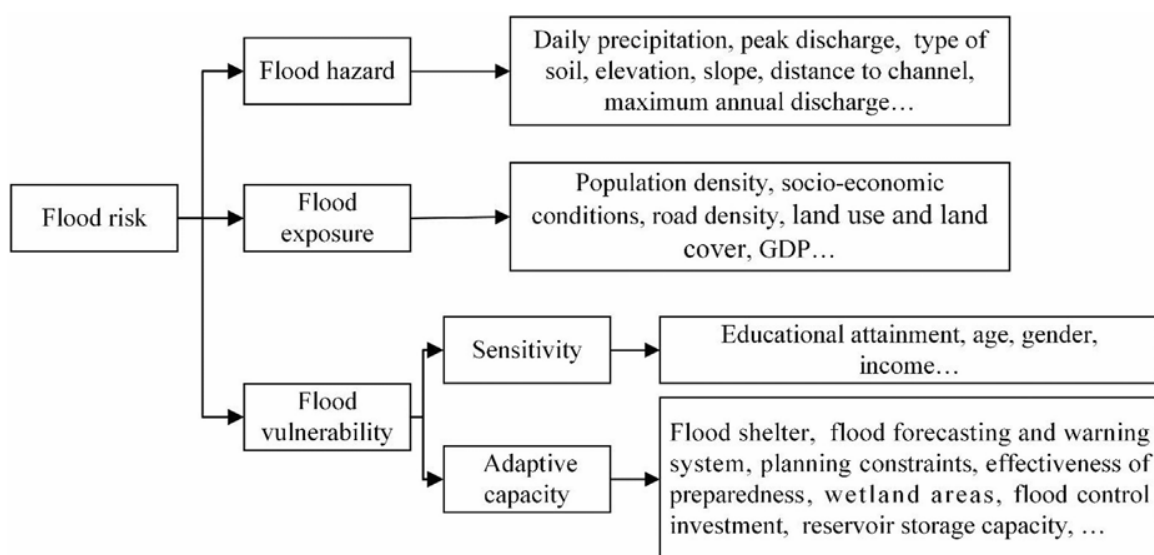
Πίνακας 2-3: Ορισμοί του Κινδύνου σύμφωνα με αναφορές του IPCC.

Ορισμοί του Κινδύνου	Πηγή
Ο κίνδυνος είναι συνάρτηση της πιθανότητας και των συνεπειών. Κίνδυνος = Πιθανότητες x Συνέπειες	IPCC, 2001
Ο κίνδυνος αναπαρίσταται ως η πιθανότητα εμφάνισης επικίνδυνων γεγονότων, πολλαπλασιασμένη με τις επιπτώσεις εάν αυτά τα γεγονότα πραγματοποιηθούν. Κίνδυνος = Πιθανότητα των γεγονότων x Συνέπειες	IPCC, 2014
Ο κίνδυνος σχετίζεται με την πιθανότητα εμφάνισης των αρνητικών συνεπειών για τις κοινωνίες ή τα περιβαλλοντικά οικοσυστήματα, αναγνωρίζοντας την ποικιλία αξιών και στόχων που σχετίζονται με αυτά τα οικοσυστήματα.	IPCC, 2019

Πηγή: Wang et al., (2022)

Για τον αποτελεσματικό μετριασμό του κινδύνου πλημμύρας όμως κρίνεται επιτακτική η εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης, που να μην βασίζεται μόνο στην προστασία από τις πλημμύρες αλλά να μπορεί να αντιμετωπίσει όλα τα εμπλεκόμενα στοιχεία του κινδύνου πλημμύρας, όπως την έκθεση και την τρωτότητα της κοινωνίας στον επερχόμενο κίνδυνο πλημμύρας (Dinh & McIntosh, 2019).

Ομοίως σύμφωνα με μελέτη των Wang et al. (2022) επισημαίνεται πως η αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας έχει μετατοπιστεί από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις που περιλάμβαναν μεθόδους αξιολόγησης πιθανοτήτων βασιζόμενες σε ιστορικά στοιχεία, σε σύνθετες μεθόδους αξιολόγησης που περιλαμβάνουν τους δείκτες της επικινδυνότητας, της έκθεσης και της τρωτότητας και ασχολούνται με τη σχέση μεταξύ ανθρώπων και πλημμυρών. Στο Σχήμα 2-5 παρουσιάζονται οι βασικότεροι δείκτες των τριών κύριων στοιχείων της αξιολόγησης του κινδύνου πλημμύρας.



Σχήμα 2-5: Κυριότεροι δείκτες αξιολόγησης Πλημμυρικού Κινδύνου.

Πηγή: Wang et al., (2022)

2.2.3. Τρωτότητα Πλημμύρας (Flood Vulnerability, FV)

Η έννοια της τρωτότητας έχει προέλθει από τις κοινωνικές επιστήμες την δεκαετία του 1970, ως αντίλογος στην αντίληψη ότι οι καταστροφές που προέρχονται από τους φυσικούς κινδύνους επηρεάζονται μόνο από τα χαρακτηριστικά των ίδιων των κινδύνων, ενσωματώνοντας με τον τρόπο αυτό την εξίσου σημαντική βαρύτητα του παράγοντα της τρωτότητας του κοινωνικού, οικονομικού και περιβαλλοντικού συστήματος. Η έννοια της τρωτότητας έχει πλέον ενταχθεί σε όλες τις επιστήμες και αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στη διαχείριση του κινδύνου των φυσικών καταστροφών (Solin & Skubinčan, 2013).

Στο ερευνητικό έργο των Samuels et al. (2009) στα πλαίσια του προγράμματος FLOODsite της Ευρωπαϊκής Κοινότητας αναφέρεται η έννοια της τρωτότητας η οποία σχετίζεται με τις συνθήκες και τις διαδικασίες που καθορίζονται από τους κοινωνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες και αυξάνουν την ευαισθησία μιας κοινότητας ή μιας ομάδας ανθρώπων, περιουσιών ή περιβάλλοντος στις επιπτώσεις ενός πλημμυρικού κινδύνου και στην ικανότητά τους να ανταποκρίνονται σε μια επικίνδυνη κατάσταση πλημμύρας. Αποτελεί ένα μέτρο του βαθμού ευαισθησίας ενός συστήματος στην αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων μιας πλημμύρας.

Σύμφωνα με τους Skondras et al. (2020) η τρωτότητα μπορεί να οριστεί ως η πιθανότητα ενός συστήματος να υποστεί κάποια μεταβολή ή απώλεια εξαιτίας κάποιας προκαθορισμένης διαταραχής. Αποτελεί μια δυναμική έννοια που εξαρτάται από παράγοντες που δεν θέτουν το σύστημα ως στόχο, αλλά μπορούν επίσης να ενισχύσουν τις επιπτώσεις και τα αποτελέσματα μιας διαταραχής. Επίσης σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς η τρωτότητα μπορεί να ταξινομηθεί σε δυο διακριτές κατηγορίες ανάλογα με το στοιχείο της έκθεσης, την *πραγματική* όπου ένα σύστημα εκτίθεται σε μια διαταραχή και την *πιθανή*, όπου υπάρχει η πιθανότητα μιας πιθανής μελλοντικής έκθεσης.

Ο βαθμός τρωτότητας είναι διαφορετικός για κάθε περιοχή και για κάθε σύστημα σε ένα πλημμυρικό επεισόδιο, όπως και η ικανότητά του να την αντιμετωπίσει, να ανακάμψει και να προσαρμοστεί, με αποτέλεσμα η τρωτότητα να είναι συνάρτηση της έκθεσης, της ευπάθειας και της ανθεκτικότητας (Rehman et al., 2019).

$$\text{Τρωτότητα} = \text{Έκθεση} + \text{Ευπάθεια} - \text{Ανθεκτικότητα}$$

Όπου ο όρος της *έκθεσης (exposure)* αναφέρεται σε ανθρώπους, περιουσίες, οικοσυστήματα και δραστηριότητες που ενδέχεται να απειληθούν από έναν επερχόμενο κίνδυνο πλημμύρας και αποτελεί ένα μέτρο ποσοτικοποίησης των αποδεκτών που ενδέχεται να επηρεαστούν (Samuels et al., 2009). Σύμφωνα με την UNESCO-IHE και το Institute for Water Education, η έκθεση ορίζεται ως «η *προδιάθεση ενός συστήματος να διαταραχθεί από ένα πλημμυρικό συμβάν λόγω της τοποθεσίας του στην ίδια περιοχή επιρροής*».

Η έννοια της *ευπάθειας (susceptibility)* σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του συστήματος και συγκεκριμένα με την ευαισθητοποίηση και την ετοιμότητα των πληγέντων κοινοτήτων σχετικά με τον κίνδυνο πλημμύρας που αντιμετωπίζουν και τις πρακτικές μετριασμού των πλημμυρικών επιπτώσεων. Η ευπάθεια ενός συστήματος ή μιας περιοχής αναφέρεται «*στα στοιχεία που εκτίθενται εντός του*

συστήματος, τα οποία επηρεάζουν τις πιθανότητες να υποστεί κάποιος βλάβη σε περιόδους επικίνδυνων πλημμυρών» (UNESCO-IHE, Institute for Water Education)

Τέλος, η ανθεκτικότητα (resilience) μιας κοινωνίας μπορεί να διαχωριστεί σε βασικές κατηγορίες όπως, οι υποδομές και τα κτίρια, οι οικονομικές δραστηριότητες, οι υπηρεσίες και οι δράσεις της κοινότητας, στις οποίες μπορούν να εφαρμοστούν δείκτες για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητάς τους. Οι δείκτες αυτοί ταξινομούνται σε πέντε κύριες κατηγορίες: την κοινωνία, την οικονομία, το περιβάλλον, τη τεχνολογία και τη διαχείριση (Wang et al., 2022). Σύμφωνα με το Ινστιτούτο UNESCO-IHE η ανθεκτικότητα ορίζεται ως «η ικανότητα ενός συστήματος να αντέχει σε οποιαδήποτε διαταραχή, όπως πλημμύρες, διατηρώντας σημαντικά επίπεδα αποδοτικότητας στα κοινωνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά και φυσικά του στοιχεία». Ενώ σύμφωνα με τον τελευταίο ορισμό της IPCC ως ανθεκτικότητα ορίζεται «η ικανότητα των κοινωνιών, των οικονομιών και των οικοσυστημάτων να αντιμετωπίζουν ένα επικίνδυνο γεγονός ή τάση ή διαταραχή, ανταποκρινόμενα ή αναδιαρθρώνοντας με τρόπους που διατηρούν τη βασική τους λειτουργία, ταυτότητα και δομή, καθώς και τη βιοποικιλότητα στην περίπτωση των οικοσυστημάτων, ενώ ταυτόχρονα διατηρούν την ικανότητα προσαρμογής, γνώσης και μετασχηματισμού» (Wang et al., 2022, p.7).

Τα μέτρα ανθεκτικότητας των πλημμυρών όπως επισημαίνεται από τους Wang et al. (2022) εμφανίζουν ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι των υπολοίπων πρακτικών ελέγχου και μετριασμού των πλημμυρών, καθώς επιτρέπουν τον μετασχηματισμό, την αυτό-οργάνωση, την ικανότητα γνώσης και την επαναφορά σε μια νέα ισορροπία του οικοσυστήματος, επιτρέποντας στον αποδέκτη του πλημμυρικού επεισοδίου να ανακάμψει σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά την τρωτότητα, σε έρευνά τους οι Solin και Skubinčan (2013) αναφέρει ότι μπορούν να εφαρμοστούν δυο διαφορετικές προσεγγίσεις για την αξιολόγησή της:

1. Η πρώτη μέθοδος εστιάζει στις ιδιότητες των κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών συστημάτων και την τάση που αυτές εμφανίζουν για απώλειες από πλημμύρες, την αντίστασή τους στα πλημμυρικά φαινόμενα και την ικανότητα ανάκαμψής τους. Αποτελεί μια πρακτική αξιολόγησης της τρωτότητας στην οποία δεν λαμβάνεται υπόψη η έκθεση στον κίνδυνο πλημμύρας και είναι ανεξάρτητη από την εμφάνιση του πλημμυρικού επεισοδίου.
2. Η δεύτερη προσέγγιση αναλύει το βαθμό τρωτότητας σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά του πλημμυρικού φαινομένου, όπως η περιοχή της πλημμύρας, η ταχύτητα ροής και το ύψος της στάθμης του νερού, εξαρτάται δηλαδή από τον κίνδυνο της πλημμύρας. Σε αυτήν την περίπτωση η αξιολόγηση της τρωτότητας εκφράζεται από το βαθμό απώλειας ενός συγκεκριμένου στοιχείου που διατρέχει κίνδυνο (κοινωνικό, οικονομικό, πολιτιστικό, περιβαλλοντικό) που προκαλείται από ένα συγκεκριμένο πλημμυρικό επεισόδιο με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά.

Η τρωτότητα αποτελεί μια βασική έννοια της διαχείρισης του κινδύνου πλημμύρας και η εκτίμησή της έχει σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό των ευάλωτων περιοχών και στην εφαρμογή κατάλληλων και αποτελεσματικών μέτρων από τους υπευθύνους, ώστε να επιτευχθεί η ασφάλεια και η γενικότερη ευημερία των

ανθρώπων, των κοινωνιών, των οικοσυστημάτων και της προστασίας του περιβάλλοντος (Nasiri et al., 2016). Σύμφωνα με έρευνα των Nasiri et al. (2016) υπάρχουν τέσσερις μέθοδοι αξιολόγησης της τρωτότητας, που επιγραμματικά συνοψίζονται στις εξής:

1. Μέθοδος δεικτών τρωτότητας, που χρησιμοποιεί διαθέσιμα δεδομένα και εξαρτάται από δείκτες για τη σαφή εικόνα της τρωτότητας μιας περιοχής. Εμφανίζει κάποιες αδυναμίες όπως η αβεβαιότητα που μπορεί να επιλυθεί με τη στάθμιση των μεταβλητών και η δυσκολία της ποσοτικοποίησης ενός αριθμού κοινωνικών δεικτών. Παρόλα αυτά θεωρείται από τους συγγραφείς η προσέγγιση με την καλύτερη εφαρμογή, καθώς παρέχει τα πιο ακριβή και σαφή αποτελέσματα της εκτίμησης της τρωτότητας σε κάθε περιοχή μελέτης.
2. Μέθοδος καμπύλης τρωτότητας, όπου μπορεί να μελετηθεί η σχέση μεταξύ του κινδύνου πλημμύρας και των στοιχείων που κινδυνεύουν μέσω εμπειρικών καμπυλών ζημιάς ή ευθραυστότητας. Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε δεδομένα από υφιστάμενες μελέτες περιπτώσεων, είναι χρονοβόρα, απαιτεί υψηλό κόστος και έχει μικρή αξιοπιστία.
3. Μέθοδος δεδομένων απωλειών από τις καταστροφές, που βασίζεται στη συλλογή δεδομένων από υφιστάμενους κινδύνους πλημμύρας και την μετέπειτα χρήση τους ως οδηγό για τα μελλοντικά επεισόδια. Αποτελεί μια απλή προσέγγιση εκτίμησης της τρωτότητας αλλά μπορεί να είναι λίγο ελλιπής εξαιτίας της ανισότητας και της αβεβαιότητας των καταγεγραμμένων δεδομένων.
4. Μέθοδοι μοντελοποίησης, όπου χρησιμοποιούνται μονοδιάστατα ή δισδιάστατα μοντέλα για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών των πλημμυρών και εξαρτώνται από τα τοπογραφικά, υδρογραφικά και οικονομικά δεδομένα της περιοχής μελέτης. Στη μέθοδο αυτή ανήκει και η μοντελοποίηση με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), που μπορεί να αξιολογήσει την τρωτότητα με μεγαλύτερη ευαισθησία, καθώς λαμβάνει υπόψη τους τοπικούς παράγοντες.

Τέλος, σύμφωνα με τους Skondras et al. (2020) προτείνεται ένα πλαίσιο μεθοδολογίας για την ανάλυση της ανθεκτικότητας και της τρωτότητας ενός συστήματος ώστε να παρέχεται στους υπευθύνους λήψης αποφάσεων μια αρχική εκτίμηση των πληροφοριών που απαιτούνται για την αντιμετώπιση πολύπλοκων ζητημάτων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία της έρευνας περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. Εκτίμηση της υπάρχουσας κατάστασης ενός συστήματος και προσδιορισμός των εναλλακτικών καταστάσεων που ενδέχεται να προκύψουν από μια διαταραχή.
2. Αναγνώριση της διαταραχής και των αιτιών της.
3. Διαχωρισμός μεταξύ πραγματικής ή πιθανής τρωτότητας του συστήματος.
4. Ανάπτυξη δεικτών ανθεκτικότητας και τρωτότητας, που μπορούν να έχουν διαφορετικές χωρικές και χρονικές κλίμακες.
5. Εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων για την ορθή διαχείριση του συστήματος.

2.2.4. Δείκτης Τρωτότητας Πλημμύρας (Flood Vulnerability Index, FVI)

Στη βιβλιογραφία συχνά αναφέρεται ο όρος του Δείκτη Τρωτότητας Πλημμύρας (Flood Vulnerability index, FVI) ο οποίος αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας μιας περιοχής και καθορίζει ποιες περιοχές είναι περισσότερο ευάλωτες στις πλημμύρες, επιτρέποντας στους υπευθύνους λήψης αποφάσεων να κάνουν συγκρίσεις όσον αφορά το επίπεδο τρωτότητας σε διάφορες χωρικές κλίμακες, ώστε να ληφθούν τα αναγκαία μέτρα και να ιεραρχηθούν οι επενδύσεις για την μείωση των πιθανών δυσμενών επιπτώσεων και για την προστασία της περιοχής από τις πλημμύρες (Nguyen & Van Nguyen, 2019).

Ο FVI αποτελεί μια αριθμητική βάση για την ποσοτικοποίηση του κινδύνου πλημμύρας μιας περιοχής και την ιεράρχηση των μέτρων μετριασμού. Σύμφωνα με μελέτη των Καρμαουί και Balica (2021) για την εφαρμογή του δείκτη προτείνονται τα ακόλουθα βήματα:

1. επιλογή της περιοχής μελέτης (λεκάνη απορροής ή αστική περιοχή) και συλλογή των απαραίτητων δεδομένων .
2. Επιλογή των κατάλληλων μεταβλητών που συνδέονται με την ΠΤ.
3. Εκτίμηση, σχεδιασμός και εφαρμογή του σχεδίου διαχείρισης κινδύνου πλημμύρας.

Όσον αφορά τις μεταβλητές που σχετίζονται με την ΠΤ αυτές χωρίζονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες (Fernandez et al., 2016):

1. Τους φυσικούς παράγοντες, που σχετίζεται με την πιθανή φυσική επίδραση στο δομημένο περιβάλλον.
2. Τους οικονομικούς παράγοντες, που λαμβάνουν υπόψη τις πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στα οικονομικά περιουσιακά στοιχεία.
3. Τους κοινωνικούς παράγοντες, που σχετίζονται με την παρουσία των ανθρώπων και των κοινωνιών και την ικανότητά τους να αντιμετωπίζουν και να ανακάμπτουν από τις επιπτώσεις των πλημμυρικών κινδύνων.
4. Τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, που αναφέρονται στις πιθανές επιπτώσεις του φυσικού περιβάλλοντος και την αντίστοιχη ικανότητα των οικοσυστημάτων να αντιμετωπίζουν και να ανακάμπτουν από τις επιπτώσεις των πλημμυρικών κινδύνων.

Όπως έχει προαναφερθεί η τρωτότητα οποιαδήποτε συστήματος είναι συνάρτηση της έκθεσης και της ευπάθειας του συστήματος σε έναν ενδεχόμενο κίνδυνο και της ανθεκτικότητας του συστήματος να μπορέσει να προσαρμοστεί ή/και να ανακάμψει από τις επιπτώσεις των δυσμενών συνθηκών. Στην περίπτωση του FVI, ο δείκτης συνδέει τις τιμές όλων των μεταβλητών των στοιχείων της ΠΤ (κλιματικά, φυσιογραφικά, χρήσεων γης, κοινωνικά, οικονομικά και πρόσβαση σε υπηρεσίες) και των παραγόντων (έκθεση, ευαισθησία, ανθεκτικότητα), χωρίς να παρεμβαίνει στα δεδομένα (εξ. 2.1).

$$FVI = \frac{\text{Έκθεση} * \text{Ευπάθειας}}{\text{Ανθεκτικότητα}} \quad (2.1.)$$

Όπως αποδεικνύεται από την παραπάνω σχέση, οι παράγοντες που αφορούν την έκθεση και την ευαισθησία αυξάνουν την τρωτότητα, ενώ η ανθεκτικότητα μειώνει το δείκτη τρωτότητας (Karmaoui & Balica, 2021).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σύμφωνα με μελέτες της βιβλιογραφίας οι κυριότερες μεταβλητές για κάθε παράγοντα ΠΤ (Πιν.2-4 & 2-5). Όπου στην πρώτη περίπτωση η έρευνα των Nasiri και Shahmohammadi-Kalalagh (2013) παρέχει μια ανασκόπηση των προσεγγίσεων αξιολόγησης της τρωτότητας ως μέρος της διαχείρισης κινδύνου πλημμύρας για τις αστικές περιοχές, υπολογίζοντας αρχικά τον δείκτη τρωτότητας για κάθε παράγοντα ξεχωριστά και στη συνέχεια υπολογίζοντας τον συνολικό δείκτη τρωτότητας ως τον μέσο όρο των προηγούμενων δεικτών.

Πίνακας 2-4: Βασικοί παράγοντες αξιολόγησης του FVI, σύμφωνα με τους Nasiri και Shahmohammadi-Kalalagh.

Παράγοντες	Έκθεση	Ευπάθεια	Ανθεκτικότητα
Κοινωνικοί	Πληθυσμιακή πυκνότητα Πληθυσμιακή αύξηση Άτομα με αναπηρίες Πολιτισμική κληρονομία	Θνησιμότητα παιδιών	Σύστημα προειδοποίησης Εκκένωση δρόμων Υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης Καταφύγια Προηγούμενη εμπειρία Ενημέρωση και ετοιμότητα
Οικονομικοί	Εγγύτητα σε ποτάμι Βιομηχανίες Εκβολή ποταμού	Ανεργία Αστική ανάπτυξη Δείκτης ανθρώπινης ανάπτυξης	Ποσό επένδυσης Ασφάλεια επένδυσης Χωρητικότητα αποθήκευσης φραγμάτων
Περιβ/ντικοί	Βροχόπτωση	Αστική ανάπτυξη	Ρυθμός εξάτμισης Χρήσεις γης
Φυσικοί	Απόσταση από ποτάμι Τοπογραφία		Αποθήκευση κατά την ετήσια απορροή Αναχώματα/Φράγματα Ρυθμός εξάτμισης/Βροχόπτωσης

Πηγή: Nasiri και Shahmohammadi-Kalalagh, (2013)

Ομοίως σε μελέτη των Nguyen και Van Nguyen (2019) μελετήθηκαν οι ακόλουθοι παράγοντες (Πίν. 2-5) για την εκτίμηση της ΠΤ δέκα χωριών κατά μήκος ενός ποταμού, όπου από τα αποτελέσματα της έρευνας διαπιστώθηκε ότι οι κύριοι παράγοντες που αυξάνουν την έκθεση είναι ο αριθμός των νοικοκυριών στην πλημμυρισμένη περιοχή και η έκταση της καλλιεργήσιμης γης. Αντίστοιχα για την ευπάθεια οι ευάλωτες ομάδες στις πλημμύρες είναι τα παιδιά, οι ηλικιωμένοι και τα φτωχά νοικοκυριά, ενώ τέλος για την ανθεκτικότητα οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στη συνολική ανθεκτικότητα της περιοχής είναι η μακροχρόνια διαμονή, οι χρήσεις γης και οι υποδομές.

Πίνακας 2-5: Βασικοί παράγοντες του FVI, σύμφωνα με τους Nguyen και Van Nguyen.

Έκθεση	Ευπάθεια	Ανθεκτικότητα
Νοικοκυριά στην πλημμυρισμένη περιοχή	Μέγεθος νοικοκυριών	Εξωτερική υποστήριξη των νοικοκυριών για την διαχείριση κινδύνου καταστροφών
Βάθος πλημμυρικού νερού	Νοικοκυριό με γυναίκα επικεφαλή	Γνώση των νοικοκυριών για τις πλημμύρες
Εγγύτητα στο ποτάμι	Παιδιά κάτω των 15 ετών	Πρακτικές στη διαχείριση κινδύνου πλημμύρας
Συχνότητα πλημμύρας	Ηλικιωμένοι	Μακροχρόνια διαμονή
Καλλιεργήσιμη γη στην πλημμυρισμένη περιοχή	Άτομα με αναπηρίες και σοβαρές ασθένειες	Σύστημα προειδοποίησης
	Επίπεδο αλφαριθμητισμού	Ικανότητα εκκένωσης
	Φτωχά/ σχεδόν φτωχά νοικοκυριά	Οικονομική ικανότητα για ανάκαμψη
	Προσωρινή διαμονή	Κοινωνική πόροι
	Κύρια πηγή εισοδήματος από τη γεωργία	Δεξιότητες κολύμβησης
		Κοινοτική διαχείριση κινδύνου πλημμύρας
		Χρήσεις γης και υποδομές

Πηγή: Nguyen και Van Nguyen, (2019)

Επίσης σε έρευνα των Karmaoui και Balica (2021) για τον προσδιορισμό του FVI λήφθηκαν υπόψη οι ακόλουθοι έξι βασικοί παράγοντες: κλίμα, φυσιογραφία, χρήσεις γης, ανθρωπογενή, οικονομικά και πρόσβαση σε υπηρεσίες, από τους οποίους υπολογίστηκαν αρχικά οι επιμέρους δείκτες τρωτότητας και στη συνέχεια ο συνολικός FVI.

2.2.5. Διαχείριση Κινδύνου Πλημμύρας (Flood Risk Management, FRM)

Η Διαχείριση Κινδύνου Πλημμύρας (ΔΚΠ) αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση συνεχούς ανάλυσης, εφαρμογής, αξιολόγησης και προσαρμογής ενός συστήματος πλημμύρας που περιλαμβάνει τόσο τα δομικά όσο και τα μη δομικά έργα και μέτρα για τον μετριασμό του κινδύνου πλημμύρας (Samuels et al., 2009) και περιλαμβάνει την ανάλυση του κινδύνου με τον προσδιορισμό των δυνητικών κινδύνων, την αξιολόγηση του κινδύνου που αναφέρεται στην κατηγοριοποίηση των ενδεχόμενων κινδύνων και τη μείωση του κινδύνου που σχετίζεται με τις στρατηγικές διαχείρισης του κινδύνου πλημμύρας (Wang et al., 2022). Βασικοί στόχοι των στρατηγικών ΔΚΠ είναι σύμφωνα με τους Wang et al., (2022) ο μετριασμός του κινδύνου για τους ανθρώπους, τις κοινότητες και για την οικονομία, η προώθηση των υπηρεσιών και αγαθών, η ενίσχυση της τοπικής οικονομίας και η βελτίωση της γενικότερης κοινωνικής ευημερίας.

Τα κύρια στάδια για την ΔΚΠ ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες μέτρων (Nasiri et al., 2016) (Σχ.2-6) :

1. Τα μέτρα μετριασμού των πλημμυρών, που αφορούν στην ετοιμότητα πριν την πλημμύρα.
2. Τα μέτρα αντιμετώπισης, που εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια των καταστροφών.
3. Τα μέτρα ανάκαμψης, που εφαρμόζονται μετά την πλημμύρα.



Σχήμα 2-6: Διάγραμμα Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας.

Πηγή: Nasiri et al., (2016)

Για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου ΔΚΠ προτείνονται τα ακόλουθα στάδια εφαρμογής σύμφωνα με τους Dinh και McIntosh, (2019):

1. Πρόληψη των καταστροφών από τις πλημμύρες.
2. Προστασία των κοινωνιών, των δραστηριοτήτων και του περιβάλλοντος από τις δυσμενείς επιπτώσεις των πλημμυρών.
3. Ετοιμότητα και ευαισθητοποίηση των κατοίκων, μέσω της πρόβλεψης των πλημμυρικών φαινομένων και της έγκαιρης ενημέρωσης τους.
4. Αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών, με την εφαρμογή μέτρων και πρακτικών για την γρήγορη και αποτελεσματική αντιμετώπιση των έκτακτων καταστάσεων.
5. Αποκατάσταση, που βασίζεται στην ανάπτυξη και εφαρμογή πρακτικών για την υποστήριξη των πληγέντων πληθυσμών.

Όπου τα τρία πρώτα στάδια αντιστοιχούν σε μέτρα που αναπτύσσονται πριν από το πλημμυρικό συμβάν, ενώ τα υπόλοιπα δύο αφορούν σε μέτρα που εφαρμόζονται μετά την πλημμύρα για να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις του συμβάντος.

Για τη ΔΚΠ σύμφωνα με τον Samuels et al. (2009) εφαρμόζονται σε κάθε περίπτωση διαφορετικές προσεγγίσεις μέτρων και πρακτικών που στοχεύουν στον μετριασμό του κινδύνου πλημμύρας ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε περιοχής (Πίν.2-4). Τα μέτρα μετριασμού αποτελούν κυρίως μια φυσική παρέμβαση στη διαδρομή της πλημμύρας, είτε με τη κατασκευή υποδομών και μόνιμων έργων είτε με τη διαχείριση της χρήσης γης, ώστε να μειωθεί το μέγεθος του αναμενόμενου κινδύνου πλημμύρας. Ενώ αντίθετα οι ρυθμιστικές παρεμβάσεις αποτελούν πρακτικές που στοχεύουν στην επίδραση και στη διαμόρφωση των στάσεων και των ενεργειών του κοινού, είτε μέσα από την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση, είτε με οικονομικά μέσα επηρεάζοντας τις επενδύσεις και την προστασία των ιδιοκτησιών, είτε με ρυθμιστικά μέσα ενισχύοντας ή αποτρέποντας τις χρήσεις γης και τις δραστηριότητες που αναπτύσσονται σε αυτές.

Πίνακας 2-6: Κατηγορίες μέτρων και πρακτικών για τον μετριασμό του κινδύνου πλημμύρας.

Class	Category	Examples
Measures	Adaptation	• Land use management for flood prevention and reduction
		• Coastal, channel and flood plain management
	Infrastructure	• Flood storage reservoirs and emergency attenuation polders
		• Channel and flood plain capacity augmentation
		• Flood diversion channels and water transfer sluices
		• Linear defences (e.g. embankments, walls, dunes, demountables)
		• Flood plain compartmentalisation and local ring bunds
		• Coastal wave reduction (e.g. offshore reef)
		• Beach nourishing and stabilisation
		• Surge exclusion barriers and barrages
		• Drainage pumping
		• Flood proofing
	Retreat	• Move habitation (population resettlement)
		• Move other assets (e.g. industry, commerce, infrastructure)
		• Change land use (e.g. farming practice)
Instruments	Communication	• Public education and awareness
		• Flood warning and action advice
	Financial	• Financial Incentives
		• Financial Disincentives
		• Risk transfer (insurance)
	Regulation	• Water management policy (including European Directives)
		• Spatial planning, flood plain zoning
		• Building construction codes
		• Environmental designation

Πηγή: Samuels et al., (2009)

Σύμφωνα με τον Samuels (2006) για την ορθότερη διαχείριση και τον μετριασμό του κινδύνου πλημμύρας είναι απαραίτητη η εφαρμογή κατάλληλων θεσμικών ρυθμίσεων που θα παρέχουν τα συμφωνημένα πρότυπα υπηρεσιών στις κοινότητες που κινδυνεύουν. Για το λόγο αυτό η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανέπτυξε ένα σύνολο αρχών στα πλαίσια της Συντονισμένης Δράσης RIAMOND μεταξύ των διαφόρων φορέων και επιστημόνων, οι οποίες συνοψίζονται στις ακόλουθες:

Δραστηριότητες πριν από την πλημμύρα:

1. Διαχείριση Κινδύνων Πλημμύρας, που αφορά όλες τις αιτίες πλημμυρών.
2. Σχεδιασμός για την αντιμετώπιση των καταστροφών, τον καθορισμό των διαδρομών εκκένωσης, τις κρίσιμες λήψεις αποφάσεων και τις απαιτήσεις των δημόσιων υπηρεσιών και των υποδομών για τις επιχειρήσεις έκτακτης ανάγκης.
3. Κατασκευή υποδομών προστασίας, τόσο φυσικών φραγμάτων όσο και εφαρμογή συστημάτων πρόβλεψης και προειδοποίησης.

4. Συντήρηση των υποδομών προστασίας.
5. Σχεδιασμός και διαχείριση χρήσεων γης της λεκάνης απορροής.
6. Περιορισμό και αποτροπή της ανάπτυξης των κατασκευαστικών υποδομών και δραστηριοτήτων εντός των πεδινών περιοχών πλημμύρας.
7. Δημόσια ενημέρωση και εκπαίδευση του κοινού σχετικά με τους ενδεχόμενους κινδύνους πλημμύρας και τις κατάλληλες ενέργειες που πρέπει να ληφθούν σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης πλημμύρας.
8. Επιχειρησιακή διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου, που περιλαμβάνει:
 - i) Την ανίχνευση της πιθανότητας εμφάνισης πλημμύρας,
 - ii) την πρόβλεψη των μελλοντικών συνθηκών ροής ποταμών,
 - iii) την προειδοποίηση των αρμόδιων αρχών και του κοινού σχετικά με τα στοιχεία του πλημμυρικού φαινομένου (έκταση, σοβαρότητα, χρόνο) και
 - iv) την απόκριση των αρχών και του κοινού στην έκτακτη ανάγκη.

Δραστηριότητες μετά την πλημμύρα που μπορεί να περιλαμβάνουν:

1. Ανακούφιση των άμεσων αναγκών των πληγέντων από την πλημμύρα.
2. Αποκατάσταση των κατεστραμμένων κτιρίων και υποδομών και των αντιπλημμυρικών έργων και κατασκευών.
3. Αποκατάσταση και ανάκαμψη του περιβάλλοντος και των οικονομικών δραστηριοτήτων της πληγείσας περιοχής, και
4. Ανασκόπηση και αξιολόγηση των δραστηριοτήτων της διαχείρισης πλημμύρας για τη βελτίωση της διαδικασίας και του σχεδιασμού για μελλοντικά πλημμυρικά επεισόδια.

Σε μελέτη τους οι Serra-Llobet et al. (2016) επισημαίνουν ότι η ΔΚΠ αποτελεί μια προσέγγιση για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας μιας περιοχής και τονίζουν την ανάγκη για μια ισορροπία μεταξύ των διαφορετικών προσεγγίσεων διαχείρισης, τόσο της κεντρικής διακυβέρνησης όπου μια κυβερνητική υπηρεσία κατέχει τον πρωταρχικό ρόλο για το σχεδιασμό και την εφαρμογή των πολιτικών, όσο και της συνεργασίας των διαφόρων εμπλεκόμενων φορέων, δημόσιων και ιδιωτικών για την επίτευξη ενός κοινού στόχου διαχείρισης, καθορίζοντας την έννοια του κινδύνου ως μια διαδικασία η οποία λαμβάνει χώρα σε όλες τις χρονικές φάσεις της εκδήλωσης του πλημμυρικού συμβάντος (πριν, κατά τη διάρκεια και μετά).

Επίσης σύμφωνα με το Περιβαλλοντικό Δίκτυο Οργανισμών της Σκωτίας επισημαίνεται μια μετατόπιση από την αποσπασματική προσέγγιση σε μια πιο ολοκληρωμένη πρακτική, που λαμβάνει υπόψιν κοινωνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες και βασίζεται κυρίως σε φυσικές διεργασίες και οικοσυστήματα για την διαχείριση και την αποθήκευση του νερού. Περιλαμβάνει μέτρα, δομικά και μη δομικά, που σχεδιάζονται ως προς την λεκάνη απορροής ενός ποταμού, όπως η φυσική διαχείριση των πλημμυρών, η χαρτογράφηση του κινδύνου πλημμύρας, η ενημέρωση, η εκπαίδευση και η προειδοποίηση για τις πλημμύρες, καθώς και η αντιμετώπιση των έκτακτων αναγκών, που στοχεύουν τόσο στον μετριασμό του πλημμυρικού κινδύνου, όσο και στην μείωση των επιπτώσεων του πλημμυρικού φαινομένου (Samuels et al., 2009).

Εισάγεται επίσης ο όρος της βιώσιμης διαχείρισης των πλημμυρών με ευρύτερο στόχο την παροχή ανθεκτικότητας έναντι των πλημμυρών, όπου επιδιώκεται η εξισορρόπηση μεταξύ:

- των κοινωνικών αναγκών, με την ενίσχυση του κοινωνικού οφέλους.
- Των οικονομικών αναγκών, με την παροχή της ανθεκτικότητας σε προσιτό κόστος.
- Των περιβαλλοντικών αναγκών, με τη προστασία του περιβάλλοντος, της βιοποικιλότητας και των οικοσυστημάτων.

Σύμφωνα με τη δεύτερη έκδοση του FLOODsite προτείνεται ο ακόλουθος ορισμός, «η βιώσιμη διαχείριση κινδύνου πλημμυρών παρέχει τη μέγιστη δυνατή κοινωνική και οικονομική ανθεκτικότητα έναντι των πλημμυρών, προστατεύοντας και συνεργαζόμενη με το περιβάλλον, με τρόπο που είναι δίκαιος και προσιτός τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον» (Samuels et al., 2009, p.21)

Συμπερασματικά μπορεί να διατυπωθεί ότι η διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου περιλαμβάνει την διασφάλιση της βελτιωμένης ποιότητας ζωής και την γενικότερη κοινωνική ευημερία, μέσω του μετριασμού των επιπτώσεων των πλημμυρών αλλά και την προετοιμασία για την αντιμετώπιση των φαινομένων. Καθώς επίσης και τον μετριασμό των επιπτώσεων στο φυσικό περιβάλλον και τα οικοσυστήματα, την ορθή διαχείριση των φυσικών πόρων για την παροχή, συντήρηση και λειτουργία των υποδομών και την διαχείριση των χρήσεων γης με την διατήρηση της κατάλληλης οικονομικής δραστηριότητας στις πλημμυρικές πεδιάδες.

2.2.6. Θεσμικό Πλαίσιο

Η βασική Οδηγία για τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας είναι η Ευρωπαϊκή Κοινοτική Οδηγία 2007/60/EK, του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου που την εξέδωσε στις 23 Οκτωβρίου του 2007 για την «αξιολόγηση και τη διαχείριση κινδύνων πλημμύρας», στοχεύοντας στον μετριασμό των δυνητικά αρνητικών επιπτώσεων των πλημμυρών στην κοινωνία, το περιβάλλον, την οικονομία και τον πολιτισμό.

Τα βασικότερα σημεία της Οδηγίας εστιάζουν στα εξής:

- Οι πλημμύρες μπορεί να έχουν ποικίλες αρνητικές συνέπειες και να προκαλέσουν τραυματισμούς και απώλεια ανθρώπινων ζώων, υλικές ζημιές και καταστροφές στο περιβάλλον, μετακινήσεις πληθυσμών και επιπτώσεις στην οικονομική ανάπτυξη.
- Οι πλημμύρες αποτελούν φυσικά φαινόμενα που είναι σχεδόν αδύνατο να προβλεφθούν, παρόλο που ορισμένες ανθρώπινες δραστηριότητες καθώς και το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής εντείνουν την αύξηση των πλημμυρικών φαινομένων.
- Για να μειωθεί ο κίνδυνος των πλημμυρών και κατ' επέκταση και οι αρνητικές τους συνέπειες, κρίνεται σκόπιμο τα μέτρα μετριασμού να λαμβάνονται σε επίπεδο ΛΑΠ για να είναι πιο αποτελεσματικά.
- Εξαιτίας των ποικίλων τύπων πλημμύρας κρίνεται απαραίτητο η διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας να καθορίζεται από τα κράτη μέλη και να προσαρμόζεται στις τοπικές και περιφερειακές ανάγκες.

- Είναι απαραίτητο τα κράτη μέλη να καθιερώσουν χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας, χάρτες κινδύνου πλημμύρας και σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας με κατάλληλες 'βέλτιστες πρακτικές και τεχνολογίες'.
- Τα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας θα πρέπει να στοχεύουν στην πρόληψη, προστασία και ετοιμότητα, μέσα από μέτρα πρόληψης και μείωσης των απωλειών, ώστε να μπορέσουν να μετριάσουν τις δυσμενείς συνέπειες των πλημμυρών.
- Τα κράτη μέλη θα πρέπει να συνεργάζονται στις περιπτώσεις διαχείρισης διεθνών ΛΑΠ, να ανταλλάσσουν πληροφορίες, να ενθαρρύνουν και να επιδιώκουν τον δίκαιο διαμερισμό των αρμοδιοτήτων και να μην εφαρμόζουν μέτρα και δράσεις οι οποίες μπορούν να αυξήσουν τον κίνδυνο πλημμύρας σε κάποιο άλλο κράτος.

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα η ενσωμάτωση της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ στην εθνική νομοθεσία έγινε από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ) του ΥΠΕΝ με τη ΚΥΑ 31822/1542/Ε130/2010 (ΦΕΚ Β' 1108/21.07.2010), και με την επακόλουθη τροποποίηση της και την έκδοση της νέας ΚΥΑ 177772/924/2017 (ΦΕΚ 2140 Β'/2017).

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 31822/1542/Ε130/2010 η διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας εφαρμόζεται στις περιοχές των ΛΑΠ ή στα ΥΔ και η ΕΓΥ αποτελεί τον αρμόδιο κρατικό φορέα που καθορίζει το εθνικό σχέδιο διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας όπου:

- Καθορίζει τους στόχους και τις στρατηγικές κατευθύνσεις για την πρόληψη, προστασία, ετοιμότητα και μετριασμό των κινδύνων πλημμύρας, καθώς και τα μέτρα αποκατάστασης εξαιτίας των περιβαλλοντικών καταστροφών.
- Επιβλέπει την εφαρμογή των διατάξεων από τις αρμόδιες δημόσιες αρχές και των δράσεων από τις Περιφέρειες και συντονίζει τους κρατικούς φορείς.
- Παρέχει τις απαραίτητες οδηγίες και πληροφορίες προς τις Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών, καθώς και ελέγχει και αξιολογεί την εφαρμογή του εθνικού σχεδίου διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας.
- Εκπροσωπεί τη χώρα στα αρμόδια κοινοτικά όργανα.
- Καταρτίζει ετήσιες εκθέσεις που τις υποβάλλει στην Εθνική Επιτροπή Υδάτων, σχετικά με το στάδιο υλοποίησης και την αξιολόγηση των σχεδίων διαχείρισης.

Ενώ αντίστοιχα οι αρμοδιότητες των Διευθύνσεων Υδάτων των Περιφερειών περιλαμβάνουν:

- Τη διενέργεια της προκαταρκτικής εκτίμησης των κινδύνων πλημμύρας.
- Την κατάρτιση των χαρτών της πλημμυρικής επικινδυνότητας και των χαρτών κινδύνου πλημμύρας.
- Την κατάρτιση και την εφαρμογή των σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας και τη λήψη των κατάλληλων μέτρων.
- Την προτροπή για την ενεργό συμμετοχή του κοινού στις διαδικασίες διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας.
- Την κατάρτιση των ετήσιων εκθέσεων σχετικά με την υλοποίηση και εφαρμογή των σχεδίων διαχείρισης.

Στη συνέχεια αναλύονται επιγραμματικά οι διαδικασίες που ακολουθούνται για τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας σύμφωνα με την ισχύουσα εθνική νομοθεσία και τα άρθρα 4-6 της ΚΥΑ 31822/1542/Ε130/2010:

1. Αρχικά για κάθε ΛΑΠ διεξάγεται *προκαταρκτική εκτίμηση κινδύνου πλημμύρας*, βασιζόμενη σε διαθέσιμες καταγεγραμμένες πλημμύρες του παρελθόντος (ιστορικές πλημμύρες) και σε μελέτες για τις μακροχρόνιες εξελίξεις. Κάθε προκαταρκτική αξιολόγηση περιλαμβάνει:
 - χάρτες της υπό αξιολόγηση ΛΑΠ με τα χαρακτηριστικά τους (φυσικά όρια, τοπογραφικά χαρακτηριστικά, χρήσεις γης).
 - Περιγραφή των ιστορικών πλημμυρών και των αρνητικών τους επιπτώσεων (έκταση – ένταση πλημμυρών, εκτίμηση αρνητικών επιπτώσεων).
 - Εκτίμηση και αξιολόγηση των δυνητικών δυσμενών επιπτώσεων των μελλοντικών πλημμυρών σε όλους τους τομείς (κοινωνία, οικονομία, περιβάλλον, πολιτισμό), λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, (υδρολογικά, τοπογραφικά και γεωμορφολογικά), την αποτελεσματικότητα των υφιστάμενων αντιπλημμυρικών έργων, τις χρήσεις γης, καθώς και τις μακροπρόθεσμες εξελίξεις, όπως την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ένταση και συχνότητα των πλημμυρικών φαινομένων.
2. Βασιζόμενοι σε αυτήν την προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας καθορίζονται για κάθε ΛΑΠ οι *‘ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας’*, στις οποίες υπάρχει σημαντικά υψηλή πιθανότητα να σημειωθεί πλημμύρα.
3. Στη συνέχεια για κάθε *‘ζώνη δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας’* καταρτίζεται σε επίπεδο περιοχής ΛΑΠ, *χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας* και *χάρτης κινδύνου πλημμύρας*. Οι *χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας* καθορίζουν τις γεωγραφικές ζώνες, στις οποίες θα μπορούσαν να εμφανιστούν πλημμυρικά φαινόμενα. Ενώ αντίστοιχα οι *χάρτες κινδύνου πλημμύρας* προσδιορίζουν τις δυνητικά δυσμενείς επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων καταγράφοντας ορισμένες παραμέτρους, όπως τον αριθμό των κατοικιών που ενδέχεται να πληγούν, τις οικονομικές δραστηριότητες της περιοχής που ενδέχεται να πληγούν, καθώς και άλλες πληροφορίες που θεωρούνται χρήσιμες στην εκτίμηση των επιπτώσεων.
4. Τέλος, με βάση τους προαναφερόμενους χάρτες καταρτίζονται *σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας* που αντιστοιχούν στις *ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας*, τα οποία:
 - Περιλαμβάνουν τους κύριους στόχους της διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας, εστιάζοντας στον μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων τους, καθώς και στη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης μιας πλημμύρας και στα απαραίτητα μέτρα και δράσεις για την υλοποίηση των ανωτέρω στόχων.
 - Λαμβάνουν υπόψη σημαντικές παραμέτρους, όπως το κόστος, τα οφέλη, την έκταση της πλημμύρας και τις οδούς αποστράγγισης, τους περιβαλλοντικούς στόχους, τη διαχείριση υδάτων και εδάφους, τις χρήσεις γης, στα πλαίσια της διατήρησης και προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος.
 - Λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά της ΛΑΠ και στοχεύει στη διαχείριση συμπεριλαμβάνοντας και την πρόγνωση των πλημμυρών, εστιάζοντας στην

πρόληψη, προστασία και ετοιμότητας μέσω της προώθησης βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης των χρήσεων γης.

- Αντίστοιχα τα σχέδια διαχείρισης δεν πρέπει να περιλαμβάνουν δράσεις και μέτρα τα οποία μπορούν να αυξήσουν τον κίνδυνο πλημμύρας σε κάποια άλλη περιοχή ή σε άλλο κράτος.

2.2.7. Τύποι πλημμυρών

Οι πλημμύρες κατηγοριοποιούνται σε διαφορετικούς τύπους ανάλογα με την προέλευση του νερού και τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα. Ποικίλοι παράγοντες έχουν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία των πλημμυρών, με τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της ΛΑΠ να έχουν σημαντική επίδραση, καθώς οι πλημμύρες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη μορφή του εδάφους και τη γεωλογία, από τη βλάστηση και τα χαρακτηριστικά των καναλιών των ποταμών, καθώς και από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής μελέτης που διαμορφώνονται από τις βροχοπτώσεις και τη θερμοκρασία (Viglione & Rogger, 2015).

Σε γενικές γραμμές οι διεργασίες των πλημμυρών καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται οι πλημμύρες, καθώς επίσης επηρεάζουν και τα βασικά χαρακτηριστικά τους όπως την ένταση, το μέγεθος, τον όγκο και την ταχύτητά τους.

Σε άρθρο του Bronstert (2003) γίνεται ένας διαχωρισμός των πλημμυρών σε δυο κατηγορίες, βασιζόμενος σε δυο κύριους παράγοντες, το μέγεθος της πληγείσας περιοχής που καθορίζει τη χωρική κλίμακα των πλημμυρικών επεισοδίων και τη διάρκεια της βροχόπτωσης που σχετίζεται αντίστοιχα με τη χρονική κλίμακα της πλημμύρας. Με τον τρόπο αυτό διακρίνονται οι *πλημμύρες πεδιάδας*, που αναφέρονται σε εκτενείς και μακράς διάρκειας πλημμύρες σε μεγαλύτερες περιοχές και προκαλούνται από βροχοπτώσεις πολλών ημερών ή και εβδομάδων οι οποίες οδηγούν στον κορεσμό του εδάφους και στο πλημμυρικό επεισόδιο. Από την άλλη πλευρά έχουμε τις ξαφνικές και *αιφνίδιες πλημμύρες (flash floods)* που είναι τοπικές και πλήττουν μικρές λεκάνες απορροής. Αυτού του τύπου οι πλημμύρες προκαλούνται από μικρής διάρκειας αλλά έντονες βροχοπτώσεις εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων απορροής, έχουν σύντομη διάρκεια του πλημμυρικού επεισοδίου αλλά συχνά συνδέονται με σοβαρές ζημιές και απώλειες.

Για να επιτευχθεί η εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας κρίνεται αναγκαίο να κατανοηθούν οι διεργασίες των πλημμυρών στους διαφορετικούς τύπους πλημμύρας. Στη συνέχεια αναφέρονται οι βασικότεροι τύποι πλημμυρών σύμφωνα με έρευνα των (Viglione & Rogger, 2015) που είναι οι εξής:

1. Πλημμύρες ποταμών, όπου ως κυρίαρχα αίτια πρόκλησης αναφέρονται οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, η δημιουργία απορροής και η διάδοση του πλημμυρικού κύματος κατά μήκος των παραποτάμων και του κυρίου ποταμού. Οι βασικότερες διαδικασίες είναι η εντατική βροχόπτωση, ο κορεσμός του εδάφους που προκαλεί απορροή και η ενίσχυση του πλημμυρικού κύματος εξαιτίας της συνεισφοράς των παραποτάμων. Ο συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων τείνει να παράγει αυξημένα επίπεδα νερού σε μια δεδομένη περιοχή και σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα.

2. Αιφνίδιες πλημμύρες, που προκαλούνται εξαιτίας της αυξημένης έντασης των βροχοπτώσεων που δημιουργούν απορροή λόγω των μηχανισμών υπέρβασης τόσο του κορεσμού του εδάφους όσο και της διήθησης στα πρηνή, όπου ο ρυθμός βροχόπτωσης υπερβαίνει τον ρυθμό διείσδυσης του νερού στο έδαφος. Για τις αιφνίδιες πλημμύρες βασικός παράγοντας είναι η ταχύτητα του νερού, που αυξάνεται ραγδαία ιδιαίτερα σε πρηνή με απότομες κλίσεις.
3. Αστικές πλημμύρες, είναι ένας τύπος πλημμύρας που προκαλείται κυρίως λόγω της έλλειψης συστήματος αποστράγγισης στις αστικές περιοχές. Εξαιτίας της ανεπάρκειας του εδάφους δεν μπορεί να αποθηκευτεί το νερό και σχεδόν όλα τα όμβρια ύδατα πρέπει να μεταφερθούν μέσω του συστήματος αποστράγγισης. Οι πλημμύρες αυτού του τύπου σχετίζονται με σύντομα και έντονα φαινόμενα βροχοπτώσεων και χαρακτηρίζονται από αργή άνοδο του υδροφόρου ορίζοντα και χαμηλές ταχύτητες ροής. Συνήθως επιφέρουν μεγάλες οικονομικές απώλειες, μπορούν όμως να συνδυαστούν με πλημμύρες ποταμών, με πλημμύρες παράκτιων περιοχών και με πλημμύρες υπόγειων υδάτων οπότε και μπορούν να προκαλέσουν μεγαλύτερες καταστροφές και κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία.
4. Παράκτιες πλημμύρες, αναφέρονται στην πλημμύρα των παράκτιων περιοχών από το νερό της θάλασσας και συμβαίνουν εξαιτίας των έντονων καταιγίδων, με τους ισχυρούς ανέμους να ωθούν τα νερά προς τις ακτές. Η παράκτια πλημμύρα συμβαίνει όταν τα κύματα κινούνται προς την ακτή υπερκαλύπτοντας ή καταστρέφοντας τα έργα παράκτιας προστασίας. Χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι το γεγονός ότι η στάθμη της θάλασσας υποχωρεί και στη συνέχεια ανεβαίνει με την παλίρροια. Επίσης μια άλλη αιτία των παράκτιων πλημμυρών είναι οι θαλάσσιοι σεισμοί που προκαλούν τσουνάμι, κύματα με εξαιρετικά μεγάλο ύψος και ισχύ, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν τεράστιες καταστροφές εξαιτίας της αυξημένης δύναμης της μεγάλης ποσότητας νερού που κατέχουν και της μεγάλης ταχύτητας κίνησής τους.
5. Πλημμύρες φραγμάτων, οι οποίες αναφέρονται στις καταρρεύσεις των φραγμάτων εξαιτίας ποικίλων τεχνικών αστοχιών όπως η υπερχειλίση του φράγματος, που μπορεί να προκαλέσει διάβρωση του πρηνούς του φράγματος, με αποτέλεσμα την αποσταθεροποίηση του φράγματος. Αντίστοιχα κοιλότητες και ρωγμές στο εσωτερικό του φράγματος μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση εκ των έσω και να θέσουν επίσης σε κίνδυνο τη σταθερότητα του φράγματος. Ακόμη οι θραύσεις των φραγμάτων μπορούν να προκληθούν και από άλλες αστοχίες που σχετίζονται με τη σταθερότητα των πρηνών και με τα θεμέλια των φραγμάτων. Συνήθως για την πρόκληση της πλημμύρας ενός φράγματος συμβαίνει ένας συνδυασμός των παραπάνω παραγόντων, με αποτέλεσμα την κατάρρευση του φράγματος.
6. Πλημμύρες από παγοφράγματα, που συμβαίνουν όταν η διέλευση ογκωδών πάγων εμποδίζεται και προκαλεί τη συσσώρευση του εισερχόμενου πάγου κατά μήκος μιας έκτασης, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ανάντη η στάθμη του νερού και να εμφανίζονται πλημμυρικά επεισόδια. Αντίστοιχα όταν σπάνε τα παγοφράγματα προκαλείται μια απότομη αύξηση της στάθμης του νερού κατάντη που σε συνδυασμό με τις αυξημένες ταχύτητες μπορούν να προκαλέσουν επίσης πλημμύρες με καταστροφικές συνέπειες. Οι πλημμύρες από παγοφράγματα

- συμβαίνουν κυρίως προς τα τέλη του χειμώνα ή και αρχές της άνοιξης όταν διασπώνται οι πάγοι.
7. Πλημμύρες παγετώδους λίμνης, έχουν παρόμοια διαδικασία πρόκλησης με τις πλημμύρες των φραγμάτων και συμβαίνουν όταν τα φράγματα πάγου που σχηματίζουν την λίμνη καταρρέουν και απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες νερού κατάντη των λιμνών, όπου τα επίπεδα του νερού είναι χαμηλότερα. Η κατάρρευση των πάγων μπορεί να επέλθει είτε από κύματα που δημιουργούνται από κατολισθήσεις βράχων, πάγων και χιονιού ή ακόμη και από ηφαιστειακές εκρήξεις και σεισμούς, καθώς επίσης και ως αποτέλεσμα της εσωτερικής διάβρωσης της μοραίνας της λίμνης. Οι πλημμύρες της παγετώδους λίμνης συμβαίνουν κυρίως σε περιοχές με υψηλό υψόμετρο (>4000m) και κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών που τα επίπεδα του νερού είναι υψηλότερα εξαιτίας της τήξης των πάγων και μπορούν να επηρεαστούν σημαντικά από τις βροχοπτώσεις.
 8. Πλημμύρες από τυφώνες, που ποικίλλουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του τυφώνα και την περιοχή όπου εκδηλώνεται. Οι τυφώνες μπορούν να επηρεάσουν μεγάλες εκτάσεις και να προκαλέσουν έντονες βροχοπτώσεις και καταιγίδες. Στις παράκτιες περιοχές τα κύματα καταιγίδας που δημιουργούνται μπορούν να προκαλέσουν παράκτιες πλημμύρες, αλλά και να πλημμυρίσουν και περιοχές τις ενδοχώρας. Βασικός παράγοντας κινδύνου πλημμύρας είναι η ταχύτητα του τυφώνα, καθώς όσο πιο αργά κινείται τόσο περισσότερο νερό θα εναποτεθεί στην ίδια τοποθεσία. Εξαιτίας των έντονων και υψηλών ποσοστών βροχοπτώσεων αυτές οι πλημμύρες μπορεί να είναι μεγαλύτερες από τις πλημμύρες των ποταμών και επίσης είναι δύσκολη η πρόβλεψη των επιπτώσεών τους εξαιτίας της ακραίας φύσης τους και της μεταβλητότητάς τους.

Όπως παρατηρείται σε όλους τους προαναφερόμενους τύπους πλημμύρας καθοριστικός παράγοντας εκδήλωσης των πλημμυρικών φαινομένων είναι οι βροχοπτώσεις και η τοποθεσία. Ενώ αντίστοιχα σημαντικές διαδικασίες εξέλιξης είναι η φυσική υπερχείλιση, η διάβρωση του εδάφους, οι αστοχίες και οι υπερβάσεις των αναχωμάτων και η παρεμπόδιση της ροής, με αποτέλεσμα να υπόκεινται σε καταστροφές τα αντιπλημμυρικά έργα και να επιφέρουν δυσμενής επιπτώσεις στο γενικότερο περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία. Τα τεχνικά έργα μεμονωμένα δεν μπορούν να προστατεύσουν και κρίνεται αναγκαία μια πιο ολοκληρωμένη αντιμετώπιση του προβλήματος που θα περιλαμβάνει τόσο αντιπλημμυρικά έργα και υποδομές αλλά και πρακτικές και μέτρα βιώσιμου σχεδιασμού, ώστε να καταστεί δυνατή η προστασία από τις πλημμύρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Μεθοδολογία

3.1. Γενικό Πλαίσιο Μεθοδολογίας

Για την εκτίμηση της ΠΤ του ΥΔ της Θεσσαλίας αρχικά μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αναζητούνται τα κριτήρια που θεωρούνται ότι έχουν βασικό ρόλο στην εκτίμηση της τρωτότητας, έπειτα γίνεται η επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων που αποτελούν τα πιο σημαντικά για την περιοχή μελέτης και για τα οποία υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα, και τέλος με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) επεξεργάζονται τα δεδομένα από τα επιλεγόμενα κριτήρια και δημιουργούνται οι θεματικοί χάρτες για το κάθε ένα κριτήριο.

Στη συνέχεια υλοποιείται η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (ΑΗΡ) που αποτελεί ένα μαθηματικό εργαλείο για τη στάθμιση των επιλεγμένων παραμέτρων και τον καθαρισμό των βαρών των κριτηρίων για τη λήψη αποφάσεων και τέλος με την χωρική ανάλυση σε περιβάλλον (ΓΣΠ) πραγματοποιείται η δημιουργία του χάρτη τρωτότητας, όπου αποτυπώνονται οι ευάλωτες περιοχές στα πλημμυρικά φαινόμενα.

3.2. Κριτήρια Τρωτότητας

Για κάθε περίπτωση μελέτης τα κριτήρια που επιλέγονται για την εκτίμηση της τρωτότητας μιας περιοχής σε πλημμυρικά φαινόμενα είναι διαφορετικά και εξαρτώνται από την προσέγγιση του κάθε ερευνητή καθώς και από τα διαθέσιμα δεδομένα. Σύμφωνα με μελέτη των Kazakis et al. (2015) που στοχεύει στην αξιολόγηση των περιοχών στην πλημμυρική επικινδυνότητα στις περιοχές των νομών Ροδόπης και Έβρου της Β. Ελλάδας, έχει αναπτυχθεί ένας Δείκτης Επικινδυνότητας Πλημμύρας (FHI) για τον προσδιορισμό των ζωνών που είναι ευάλωτες στις πλημμύρες. Ο FHI εξαρτάται από επτά παραμέτρους οι οποίες είναι:

1. Η συσσώρευση ροής (F)
2. Η ένταση της βροχόπτωσης (I)
3. Η γεωλογία (G)
4. Οι χρήσεις γης (U)
5. Η κλίση (S)
6. Το υψόμετρο (E)
7. Η απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης (D)

Τα αρχικά των οποίων ονομάζουν την μεθοδολογία 'FIGUSED' και ο FHI μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$FHI = \sum_{i=1}^n r_i * w_i \quad (3.1) \quad \Rightarrow$$

$$FHI = F * w_F + I * w_I + G * w_G + U * w_U + S * w_S + E * w_E + D * w_D \quad (3.2)$$

όπου, n_i = η αξιολόγηση της παραμέτρου σε κάθε σημείο

w_i = το βάρος της κάθε παραμέτρου

n = ο αριθμός των κριτηρίων.

Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδεικνύουν πως το κριτήριο της συσσώρευσης ροής είχε το μεγαλύτερο βάρος στο δείκτη FHI και η γεωλογία το μικρότερο, όμως μετά από στατιστική ανάλυση ευαισθησίας των τιμών των κριτηρίων, ο αρχικός δείκτης τροποποιήθηκε στον FHIS, όπου το υψόμετρο και η απόσταση από το δίκτυο αποστράγγισης έχουν τα υψηλότερα βάρη και η γεωλογία και η ένταση της βροχόπτωσης τα χαμηλότερα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Kazakis et al. (2015) η τροποποιημένη μέθοδος της FIGUSED-S και η εφαρμογή του δείκτη FHIS έχουν μεγάλη αξιοπιστία στην εκτίμηση των περιοχών υψηλού κινδύνου και μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλες περιοχές για την αξιολόγηση των ευάλωτων πλημμυρικών περιοχών.

Ομοίως σε έρευνα των Kourgialas και Karatzas (2011) για την εκτίμηση των ευάλωτων πλημμυρικών περιοχών στο νησί της Κρήτης, η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται στα εξής κριτήρια: συσσώρευση ροής (F), ένταση βροχόπτωσης (I), υψόμετρο (E), γεωλογία (G), χρήσεις γης (U) και κλίση (S), όπου τα αρχικά δίνουν το όνομα 'FIEGUS'. Η αξιοπιστία της μεθοδολογίας και του τελικού χάρτη τρωτότητας που δημιουργήθηκε επαληθεύτηκε χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από τις ιστορικές πλημμύρες της περιοχής μελέτης. Οι παράγοντες F, S, E και R έχουν αριθμητικά δεδομένα και εφαρμόστηκε η μέθοδος Φυσικών Θραυσμάτων (Natural Breaks) του Jenk για την υπόδειξη των πέντε διαφορετικών κατηγοριών κινδύνου πλημμύρας. Ενώ οι παράγοντες G και R εκφράζονται από περιγραφικά δεδομένα και η ταξινόμησή τους εξαρτάται κυρίως από την επίδραση του παράγοντα στην διαδικασία της πλημμυρικής επαναφόρτισης.

Επίσης, σε μελέτη των Stamellou et al. (2021) για την εκτίμηση της ευαισθησίας σε πλημμύρας της ΛΑΠ του ποταμού Ερασίνου που βρίσκεται στην Αττική οι βασικοί παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη ήταν: η συσσώρευση ροής, το υψόμετρο, οι χρήσεις γης, η βροχόπτωση, η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, η κλίση και η υδρολιθολογία. Όπου οι παράγοντες της συσσώρευσης ροής και του υψόμετρου θεωρήθηκαν οι πιο σημαντικοί, ακολουθούμενοι από την βροχόπτωση και τις χρήσεις γης, ενώ η υδρολιθολογία αποτέλεσε το κριτήριο με την μικρότερη βαρύτητα.

Ενώ αντίστοιχα η Παλλάτου (2019) στη διπλωματική της για την εκτίμηση της ΠΤ στο λεκανοπέδιο της Αθήνας για τον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας επέλεξε τις ακόλουθες δέκα παραμέτρους: συσσώρευση ροής, υψόμετρο, κλίση, ιστορικό πλημμύρας, χρήσεις γης, αλλά συμπεριέλαβε και κοινωνικο-οικονομικά κριτήρια όπως η πληθυσμιακή πυκνότητα, το ποσοστό ανεργίας, το ποσοστό απασχόλησης στον τριτογενή τομέα, το ποσοστό αναλφάβητων ενηλίκων και οι ευάλωτες ηλικιακές ομάδες. Τα αποτελέσματα της εργασίας υποδεικνύουν ως κυρίαρχους καθοριστικούς παράγοντες της τρωτότητας τη συσσώρευση ροής, τη κλίση και το υψόμετρο, ενώ αντίθετα τα κοινωνικά και οικονομικά κριτήρια διαφαίνεται ότι έχουν χαμηλότερο βαθμό επίδρασης.

Τέλος, ο Παντούλας (2024) στα πλαίσια της διπλωματικής του εργασίας μέσω της βιβλιογραφικής επισκόπησης συγκέντρωσε πληροφορίες από μελέτες όσον αφορά τα κριτήρια που επιλέχθηκαν για την εκτίμηση της ΠΤ και κατέληξε στα ακόλουθα δέκα κριτήρια που έχουν την υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης:

1. Κλίση
2. Υψόμετρο
3. Βροχόπτωση
4. Χρήσεις γης
5. Απόσταση από υδατόρεμα
6. Συσσώρευση ροής
7. Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας
8. Γεωλογία
9. Πυκνότητα αποστράγγισης
10. Τοπογραφία, τύπος εδάφους.

Τα παραπάνω κριτήρια υποδεικνύουν ότι οι παράγοντες που έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην τρωτότητα σχετίζονται με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης όπως η τοπογραφία της περιοχής μελέτης, το υδρογραφικό δίκτυο, οι χρήσεις γης και το γεωλογικό υπόβαθρο. Με την ευαισθησία σε πλημμύρες να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις γεωμορφολογικά συνθήκες (υψόμετρο, κλίση), καθώς και με τις συνθήκες που αποτελούν τον βασικό παράγοντα πρόκλησης των πλημμυρικών φαινομένων (βροχόπτωση), αλλά και με τα χαρακτηριστικά που επιδρούν στην κίνηση του νερού, όπως η επιφανειακή απορροή και η διήθηση.

3.2.1. Επιλογή κριτηρίων για το ΥΔ Θεσσαλίας

Για την περιοχή μελέτης μας τα κριτήρια τα οποία επιλέχθηκαν αφορούν στο διαφορετικό γεωμορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής της Θεσσαλίας και στην ποικιλία των χρήσεων γης αλλά και σε παραμέτρους όπως η βροχόπτωση και το υδρογραφικό δίκτυο που αποτελούν τους βασικούς παράγοντες εκδήλωσης των πλημμυρικών φαινομένων. Σύμφωνα με τον Μουσάδη (2018) ένα πρόβλημα πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορεί να περιγραφεί με μέγιστο αριθμό κριτηρίων τα δεκαπέντε (15), όπου όμως τα τελευταία οκτώ έχουν πολύ μικρή επίδραση σε σχέση με τα επτά πρώτα. Οπότε ο βέλτιστος αριθμός κριτηρίων είναι τα 6 ή 7 διαφορετικά κριτήρια. Ο αριθμός των κριτηρίων που θα επιλεγθούν και τα οποία θεωρούνται ότι έχουν σημαντική βαρύτητα στην εκτίμηση της ΠΤ και χρησιμοποιούνται επίσης για τη δημιουργία του αντίστοιχου χάρτη τρωτότητας είναι:

1. Το Υψόμετρο (Elevation, E)
2. η Κλίση του Εδάφους (Slope, S)
3. η Μέση Ετήσια Βροχόπτωση (Mean Annual Rainfall, R)
4. η Συσσώρευση Ροής (Flow Accumulation, FA)
5. η Απόσταση από τα Υδάτινα Συστήματα (Distance, D)
6. οι Χρήσεις γης (Land Use, LU) και
7. η Πυκνότητα Πληθυσμού (Population Density, PD)

Στην παρακάτω εικόνα (3-1) παρουσιάζεται σε διάγραμμα η μεθοδολογία της εργασίας, όπου τα δεδομένα για τα παραπάνω κριτήρια έχουν βρεθεί σε ιστοσελίδες Οργανισμών και αποτελούν αρχεία σε raster ή vector μορφή, τα οποία έχουν ληφθεί (download) και φορτωθεί στο πρόγραμμα, ArcGIS Pro.

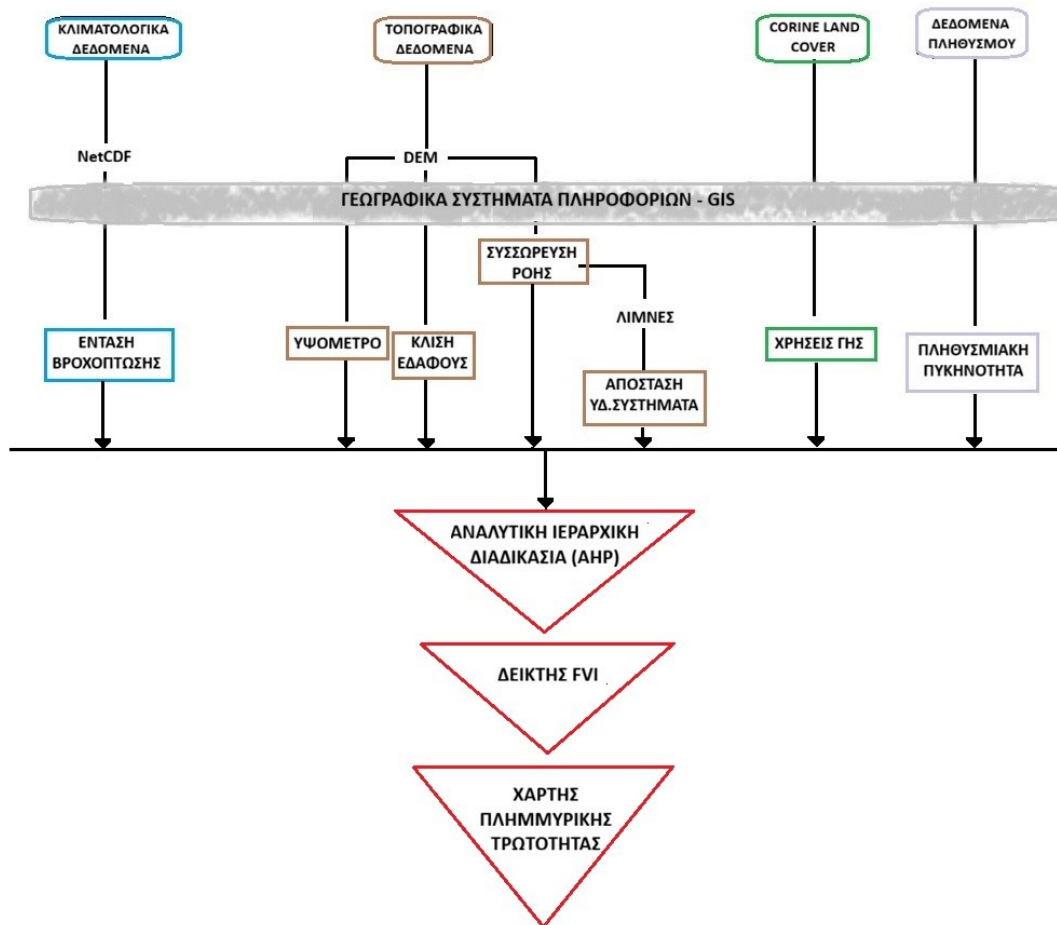
Στη συνέχεια στις επόμενες υποενότητες αναφέρεται για το κάθε κριτήριο ξεχωριστά η μεθοδολογία επεξεργασίας του στο πρόγραμμα που περιλαμβάνει την πηγή των δεδομένων, τα βήματα επεξεργασίας και τέλος την εξαγωγή του αντίστοιχου θεματικού χάρτη.

Βασική προϋπόθεση για τη σωστή επεξεργασία των δεδομένων αποτελεί το Σύστημα Συντεταγμένων (Coordinate System) που βρίσκεται το κάθε αρχείο, το οποίο θα πρέπει να ελέγχεται στην αρχή μετά την προσθήκη των αρχείων στο πρόγραμμα, από τις ιδιότητες (properties) του κάθε αρχείου (layer). Κρίνεται απαραίτητο τα layers να βρίσκονται στο ίδιο Προβαλλόμενο Σύστημα Συντεταγμένων (Projected Coordinate System), ώστε να μπορεί να γίνει η επεξεργασία των δεδομένων και να μην δημιουργούνται σφάλματα. Για την Ελλάδα το σύστημα συντεταγμένων είναι το GGRS1987 ή το Greek Grid, σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να γίνεται μετατροπή τους μέσω της εντολής:

Analysis → Tools → Project (Data Management Tools) για vector δεδομένα και Project Raster για raster δεδομένα,

όπου στο Output Coordinate System → GGRS_1987.

Επίσης στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί και η παραδοχή ότι η χωρική ανάλυση των θεματικών χαρτών θα μετατραπεί από τις διαφορετικές αρχικές αναλύσεις των δεδομένων μας σε τελική 55x55m ώστε και ο Χάρτης ΠΤ να έχει την ίδια τελική ανάλυση (55x55m), για την καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων μας.



Εικόνα 3-1: Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας.

3.2.2. Κριτήριο Υψομέτρου (Elevation)

Αρχικά το πρώτο κριτήριο που θεωρείται ότι έχει βασικό ρόλο στην ΠΤ είναι το υψόμετρο της περιοχής. Για την δημιουργία του συγκεκριμένου χάρτη χρησιμοποιήθηκαν τα όρια των ΛΑΠ από την σελίδα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (European Environment Agency, EEA) καθώς και ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) από τον Οργανισμό EuroGeographics.

Βήμα 1: Αφού έχουν εισαχθεί τα δεδομένα θα έχουμε:

1. ένα GeoPackage (gpkg) που περιέχει πολλά layers από τα οποία επιλέγεται το main.RiverBasinDistricts που περιλαμβάνει τα όρια των ΛΑΠ και
2. ένα Euro-dem.tif, που περιέχει σε raster μορφή τα υψομετρικά δεδομένα της Ευρώπης.

Βήμα 2: Αρχικά από το layer του main.RiverBasinDistricts επιλέγεται το ΥΔ της Θεσσαλίας (EL08) από την εντολή Attribute table και δημιουργείται ένα νέο layer, μέσω της εντολής:

Δεξί κλικ στο layer→Export→ Save Selected Features As

που περιλαμβάνει τα όρια του ΥΔ Θεσσαλίας σε vector μορφή και ονομάζεται ως GR08.shp το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια πολλές φορές για τον περιορισμό των δεδομένων στην περιοχή μελέτης μας.

Βήμα 3: Στη συνέχεια επιλέγεται:

Analysis → Tools→ Extract by Mask

Input→ DEM

mask data→ GR08

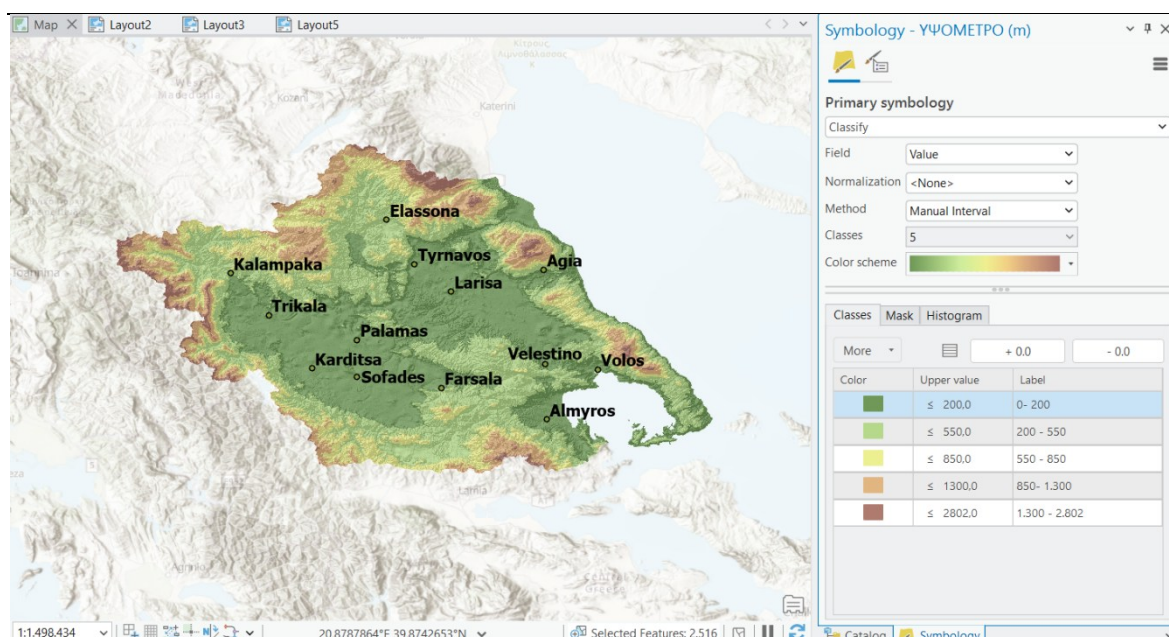
Output→ DEM_GR08

και δημιουργείται ένα νέο raster αρχείο που περιέχει μόνο τα υψόμετρα για το ΥΔ της Θεσσαλίας, το DEM_GR08

Βήμα 4: Μέσω της εντολής Symbolology:

δεξί κλικ στο DEM_GR08→ Symbolology→ primary symbology→classify

επιλέγονται τα επιθυμητά χρώματα και διαμορφώνονται οι κατηγορίες του υψομέτρου (κατώτερη – ανώτερη τιμή) καθώς και η χρωματική κλίμακα (Εικ.3-1)



Εικόνα 3-2: Διαμόρφωση παραμέτρων αρχείου υψομέτρου.

Βήμα 5: Ακόμη, μέσω της εντολής Hillshade:

Analysis → Tools → Hillshade

δημιουργείται μια καλύτερη απεικόνιση του ανάγλυφου του υψομέτρου.

Βήμα 6: Τέλος, εξάγεται ο χάρτης (Export), αφού πρώτα δημιουργηθεί ένα new Layout:

Insert → New Layout

και στο Layout επιλεχθεί:

Insert → Map Frame → επιλέγεται ο χάρτης

Προστίθεται τίτλος, υπόμνημα, κλίμακα και προσανατολισμός:

Καρτέλα Layout

Insert → Title, Legend, Scale Bar, North Arrow

και εξάγεται ο χάρτης:

Share → Export Layout

επιλέγοντας ως αρχείο εξόδου να είναι αρχείο pdf ή αρχείο εικόνας (jpeg ή tif)

και ως τελικό αποτέλεσμα έχουμε την απεικόνιση του υψομέτρου για το ΥΔ της Θεσσαλίας.

Η διαδικασία της εξαγωγής του χάρτη (Export) που αναφέρθηκε παραπάνω ακολουθείται σε κάθε μια μεταβλητή ξεχωριστά για την εξαγωγή του αντίστοιχου θεματικού χάρτη.

3.2.3. Κριτήριο Κλίσης Εδάφους (Slope)

Με βάση το παραπάνω αρχείο υψομέτρου DEM_GR08 μπορεί να δημιουργηθεί ένας χάρτης κλίσεων εδάφους.

Βήμα 1: Μέσω της εντολής slope:

Analysis → Tools → Slope

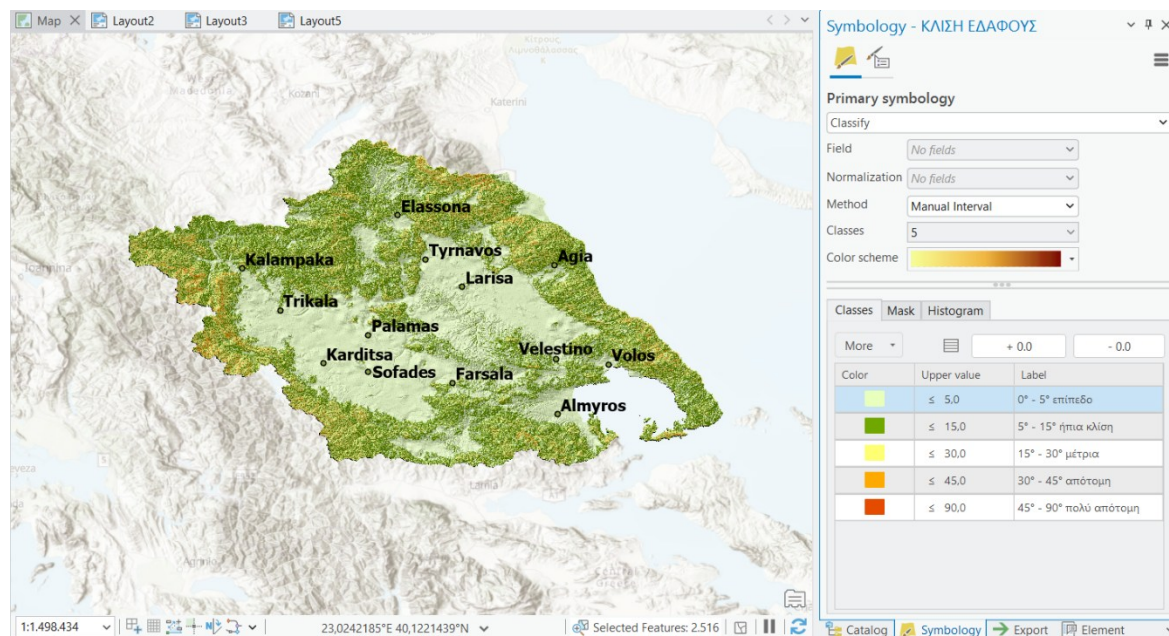
όπου ως Input raster χρησιμοποιείται το DEM_GR08 και ως αποτέλεσμα έχουμε, Output raster → Slope_map

με Output measurement → Degree

Βήμα 2: Επίσης μέσω της εντολής Symbology:

δεξί κλικ στο Slope_map → Symbology → primary symbology → classify

επιλέγονται τα επιθυμητά χρώματα και διαμορφώνονται οι κατηγορίες των κλίσεων εδάφους σε μοίρες (κατώτερη – ανώτερη τιμή) (Εικ.3-2).



Εικόνα 3-3: Διαμόρφωση παραμέτρων αρχείου κλίσεων εδάφους.

Βήμα 3: Με την ίδια διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω (βλ.3.2.1.) εξάγεται ο χάρτης κλίσεων εδάφους της περιοχής μελέτης.

3.2.4. Κριτήριο Μέσης Ετήσιας Βροχόπτωσης (Mean Annual Rainfall)

Για την δημιουργία του χάρτη βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την σελίδα του Οργανισμού Earth System Science Data (ESSD) που περιλαμβάνουν δεδομένα βροχόπτωσης της Ελλάδας για την περίοδο 1981-2019.

Βήμα 1: Αρχικά αφού εισαχθούν τα αρχεία της βροχόπτωσης στο ArcGIS πρέπει να γίνει μια μετατροπή των δεδομένων σε raster μορφή γιατί αφορούν σε ένα αρχείο NetCDF (.nc) το οποίο αποτελεί ένα αρχείο πολυδιάστατων δεδομένων, περιλαμβάνει δηλαδή χωροχρονικές μεταβλητές που δεν μπορούν να επεξεργαστούν άμεσα, οπότε:

Analysis → Tools → Make Multidimensional Raster Layer

όπου επιλέγεται ως μεταβλητή η βροχόπτωση (variable → precipitation)

Αυτή η διαδικασία γίνεται για κάθε χρονιά ξεχωριστά (pr_1981.nc) και δημιουργούνται τα καινούργια αρχεία, Output → pr_1981_multi

Βήμα 2: Έπειτα μέσω της εντολής:

Analysis → Tools → Aggregate Multidimensional Raster

και επιλέγοντας ως Input → pr_1981_multi και μέθοδο τον μέσο όρο (Method → Mean) έχουμε τη μέση ημερήσια τιμή βροχόπτωσης ανά έτος,

Output → pr_1981_mean_daily

Βήμα 3: Ακολουθως με την εντολή:

Analysis → Tools → Raster Calculator

Υπολογίζεται η μέση ετήσια τιμή βροχόπτωσης Output → pr_1981_annual, πολλαπλασιάζοντας το output της προηγούμενης διαδικασίας με τις ημέρες του έτους (pr_1981_mean_daily * 365).

Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα έτη ξεχωριστά (1981-2019) και τελικώς θα έχουμε σε raster μορφή τις μέσες ετήσιες τιμές βροχόπτωσης για κάθε έτος ξεχωριστά.

Βήμα 4: Τέλος, με την εντολή:

Analysis → Tools → Cell Statistics

μπορεί να υπολογιστεί η μέση τιμή της βροχόπτωσης όλων των ετών η οποία χρησιμοποιείται για την δημιουργία του χάρτη μέσης ετήσιας βροχόπτωσης του ΥΔ της Θεσσαλίας, αφού πρώτα περιοριστούν τα δεδομένα στην περιοχή μελέτης μας, μέσω του layer GR08 που έχει ήδη δημιουργηθεί στο χάρτη υψομέτρου και την εφαρμογή της εντολής:

Analysis → Tools → Extract by Mask

Βήμα 5: Ομοίως όπως και στους προηγούμενους χάρτες διαμορφώνονται οι κατηγορίες των τιμών:

δεξί κλικ στο layer της βροχόπτωσης → Symbology → primary
symbology → classify

και μετά από τις απαραίτητες τροποποιήσεις εξάγεται ο χάρτης της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης της περιοχής μελέτης.

3.2.5. Κριτήριο Συσσώρευσης Ροής (Flow Accumulation)

Για την δημιουργία του χάρτη συσσώρευσης ροής θα χρησιμοποιηθεί το layer από τα όρια του ΥΔ Θεσσαλίας που έχει δημιουργηθεί στον χάρτη υψομέτρου (GR08) καθώς και το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) που υπάρχει ήδη στο πρόγραμμα.

Βήμα 1: Για την ευκολότερη και ταχύτερη επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιείται το αρχείο DEM που έχει ήδη δημιουργηθεί για την περιοχή μελέτης (DEM_GR08) ή σε διαφορετική περίπτωση περιορίζονται τα δεδομένα στην περιοχή μελέτης μας, όπως και στους προηγούμενους χάρτες με την εντολή:

Analysis → Tools → Extract by Mask

Input → DEM

Feature mask data → GR08

Output → DEM_GR08

Βήμα 2: Στη συνέχεια μέσω της εντολής Fill, γίνεται 'γέμισμα των βυθισμάτων' και διορθώνονται οι ατέλειες των δεδομένων, ώστε να υπάρχει συνεχόμενη ροή.

Analysis → Tools → Fill (Spatial Analyst Tools)

Input → DEM_GR08

Output → Fill_DEM

Βήμα 3: Έπειτα μέσω της εντολής Flow Direction, υπολογίζεται η κατεύθυνση της ροής του νερού, ώστε να υπολογιστεί προς τα που θα συσσωρευτεί το νερό.

Analysis → Tools → Flow Direction (Spatial Analyst Tools)

Input → Fill_DEM

Output → Flow_Dir

Βήμα 4: Ακολούθως με την εντολή Flow Accumulation υπολογίζεται η ποσότητα του νερού που συσσωρεύεται σε κάθε κελί, βασιζόμενη στην κατεύθυνση ροής του προηγούμενου βήματος.

Analysis → Tools → Flow Accumulation (Spatial Analyst Tools)

Input → Flow_Dir

Output → Flow_Acc

Βήμα 5: Μετά μετατρέπεται η ροή σε ένα raster ποταμών, βασιζόμενοι σε μια τιμή-όριο (threshold), ανάλογα με την περιοχή μελέτης μας, όπου επιλέγεται να δημιουργηθούν τρία διαφορετικά layers ανάλογα με το μέγεθος του ποταμού, μέσω της εντολής:

Analysis → Tools → Con

Input→ Flow_Acc

Expression→ VALUE > 5000

Input true→1

Input false→0

Output→ Raster_5000

δημιουργείται το πρώτο layer των μικρών ποταμών, Output→Raster_5000. Αντίστοιχα αλλάζοντας το threshold σε 50.000 (Expression→ VALUE > 50000) δημιουργούνται οι μεσαίοι ποταμοί Output→Raster_50000 και με threshold 100.000 (Expression→ VALUE > 100000) δημιουργείτε το layer των μεγάλων ποταμών, Output→Raster_100000.

Βήμα 6: Στη συνέχεια μετατρέπεται το κάθε ένα raster ποταμών σε ένα vector layer, όπου αποτυπώνονται με γραμμές τα ποτάμια της περιοχής, μέσω της εντολής:

Analysis → Tools→ Stream to Feature

Input stream raster→ Raster_5000

Input flow direction raster→ Flow_Dir

Output→StreamVector_5000

Αντίστοιχα για τις άλλες δυο κατηγορίες ποταμών θα έχουμε ως Output→StreamVector_50000 και

Output→StreamVector_100000

Βήμα 7: Για την καλύτερη απεικόνιση των ποταμών επιλέγουμε:

Δεξί κλικ στο layer (StreamVector_....) → Symbology→ primary symbology→ Single Values

και διαμορφώνονται οι γραμμές των ποταμών ώστε να αποτυπώνονται καλύτερα στο χάρτη.

Βήμα 8: Σε κάθε layer των ποταμών (StreamVector_5000, StreamVector_50000 και StreamVector_100000) προστίθεται ένα πεδίο river_class με την κατηγορία του κάθε ποταμού, με τιμή 1 για τους μικρούς ποταμούς, 2 για τους μεσαίους και 3 για τους μεγάλους

Δεξί κλικ στο layer→ Attribute Table→Add Field

Field Name→river_class

Data Type→Short

και προστίθεται η αντίστοιχη τιμή 1,2 ή 3

Βήμα 9: Τέλος, δημιουργείται ένα ενιαίο layer των ποταμών, όπου αποτυπώνονται όλοι οι ποταμοί των προηγούμενων layers (StreamVector_5000, StreamVector_50000 και StreamVector_100000). Η ένωση γίνεται με την εντολή:

Analysis → Tools→ Merge

Χρησιμοποιώντας τα layers:

Input Datasets → StreamRaster_5000, StreamVector_50000 και StreamVector_100000

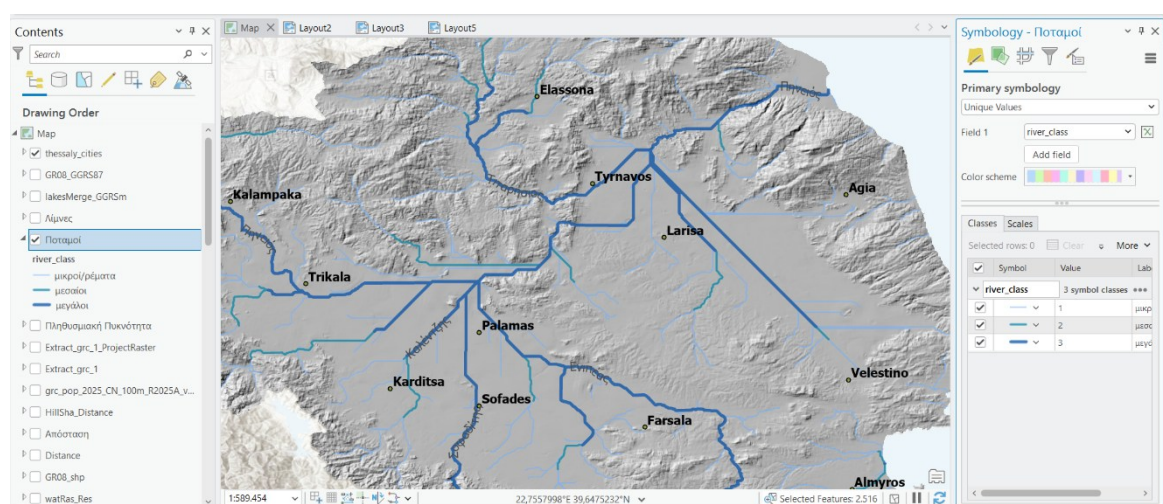
Output raster → Output Dataset → RiversMerge

Βήμα 10: Διαμορφώνονται οι ποταμοί από την εντολή Symbology:

Δεξί κλικ στο layer RiversMerge (Ποταμοί) → Symbology → primary symbology → Unique Values

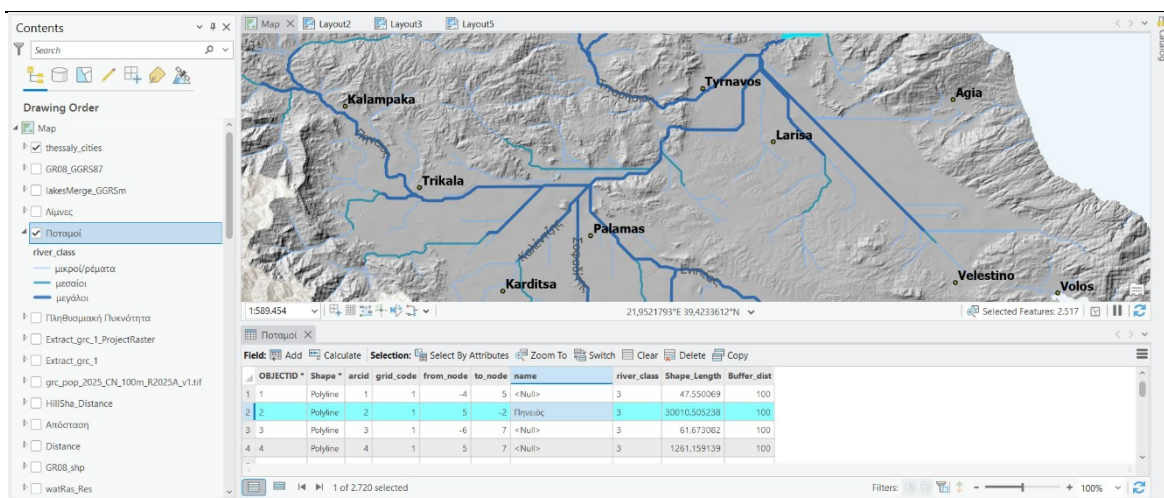
Επιλέγοντας ως field → river_class

με τους μικρότερους ποταμούς (τιμή 1) να έχουν μικρότερο πάχος γραμμής και να είναι πιο διακριτοί και τους μεγαλύτερους ποταμούς (τιμή 3) να φαίνονται εντονότερα, ώστε να αποτυπωθεί κατάλληλα το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής (Εικ.3-3).



Εικόνα 3-4: Διαμόρφωση παραμέτρων αρχείου ποταμών.

Βήμα 11: Τέλος, δημιουργείται ένα νέο πεδίο (field) στο layer των Ποταμών (RiversMerge) από την εντολή Attribute Table, που ονομάζεται name και στο οποίο συμπληρώνονται τα ονόματα των κυριότερων ποταμών της περιοχής της Θεσσαλίας, ώστε να εμφανίζονται στον χάρτη (Εικ.3-4).



Εικόνα 3-5: Εισαγωγή πεδίου ονομάτων στο αρχείο των ποταμών.

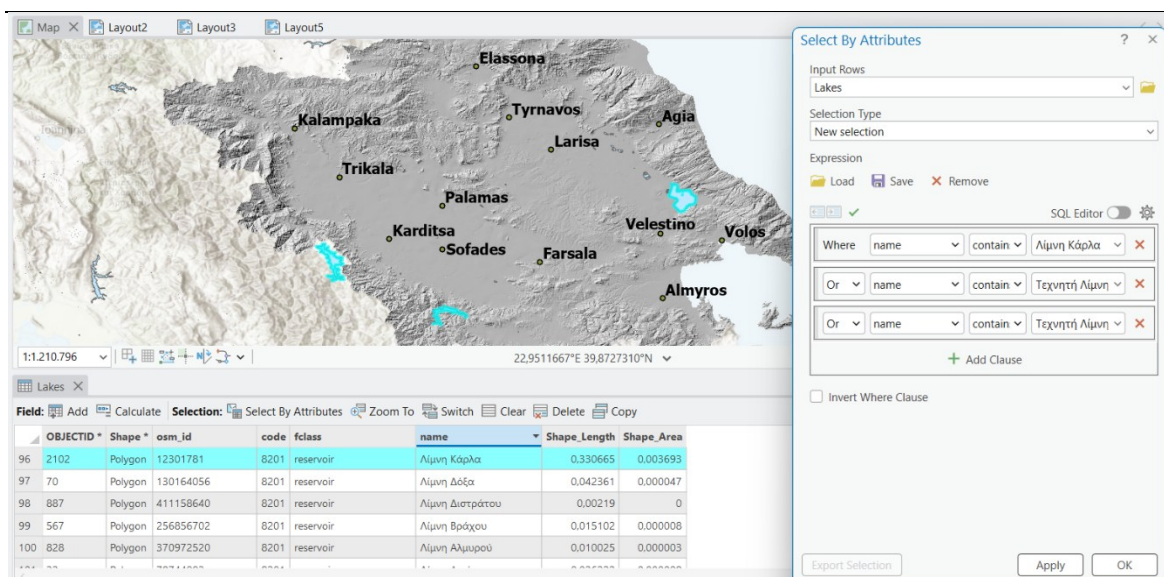
Βήμα 12: Μετά την εξαγωγή του χάρτη, έχουμε ως αποτέλεσμα τον χάρτη της συσσώρευσης ροής του υδρογραφικού δικτύου του ΥΔ της Θεσσαλίας.

3.2.6. Κριτήριο Απόστασης από τα Υδάτινα Συστήματα (Distance)

Ο χάρτης απόστασης από τα υδάτινα συστήματα αποτυπώνει για κάθε σημείο του χάρτη πόσο μακριά βρίσκεται από κάποιο υδάτινο σύστημα (ποτάμι, λίμνη). Οπότε για την δημιουργία του χάρτη χρησιμοποιείται το προηγούμενο τελικό αποτέλεσμα του αρχείου των Ποταμών (layer RiversMerge) καθώς και δεδομένα για τις λίμνες της περιοχής μελέτης που διατίθενται από τη σελίδα του OpenStreetMap.

Βήμα 1: Αρχικά από το αρχείο των λιμνών επιλέγονται οι μεγαλύτερες λίμνες που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης μας και συγκεκριμένα η λίμνη Κάρλα και η τεχνητή λίμνη Σμοκόβου, καθώς επίσης και η τεχνητή λίμνη Πλαστήρα, η οποία ενώ υδρολογικά ανήκει στη ΛΑΠ του Αχελώου η διαχείρισή της ανήκει στη ΛΑΠ του Πηνειού, εξαιτίας της διοχέτευσης των νερών στο ΥΔ της Θεσσαλίας, οπότε επιλέγουμε:

Δεξί κλικ στο layer των λιμνών → Attribute Table → Select by Attribute → και επιλέγονται οι επιθυμητές λίμνες (Εικ.3-5).



Εικόνα 3-6: Δημιουργία νέου layer από τις επιλεγόμενες λίμνες.

Όστε να έχουμε ένα layer με τις λίμνες σε μορφή πολυγώνου, το οποίο ονομάζεται Lakes.

Βήμα 2: Στο layer των ποταμών που ήδη υπάρχει (RiversMerge), δημιουργούνται αποστάσεις (buffer) ανάλογα με την ιεραρχία του υδρογραφικού δικτύου, με τη χρήση διαφορετικών αποστάσεων (20, 50 και 100m) ανάλογα με την κατηγορία του ποταμού, ώστε να γίνεται η καλύτερη απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου στον χάρτη. Με τον τρόπο αυτό μετατρέπονται τα ποτάμια από γραμμές σε πολύγωνα ώστε στη συνέχεια να δημιουργηθεί ένα ενιαίο layer που θα περιλαμβάνει και τα ποτάμια και τις λίμνες.

Για να δημιουργηθούν τα buffer εφαρμόζεται η εντολή Attribute Table:

Δεξί κλικ στο layer των Ποταμών → Attribute Table → Add Field

και προστίθεται όνομα, έστω Buffer_dist.

Στη συνέχεια:

Δεξί κλικ στο πεδίο Buffer_dist → Calculate Field

Και συμπληρώνεται η έκφραση (expression) που ταιριάζει στα δεδομένα ώστε να δημιουργηθούν οι διαφορετικές αποστάσεις (buffer) ανάλογα με την κατηγορία του ποταμού.

Στην περίπτωση μας, επιλέγεται το πεδίο river_class και καθώς έχει ήδη γίνει η ταξινόμηση των ποταμών με κωδικό 1,2,3, σε μικρούς, μεσαίους και μεγάλους ποταμούς αντίστοιχα η έκφραση που συμπληρώνεται είναι:

`get_buffer(!river_class!)`

και για την κατηγοριοποίηση:

```
def get_buffer(x):  
    if x == 1:  
        return 20  
    elif x == 2:  
        return 50  
    elif x == 3:  
        return 100
```

ώστε να δημιουργηθούν buffer 20m για τους μικρούς ποταμούς, 50m για τους μεσαίους και 100m για τους μεγάλους.

Βήμα 3: Έπειτα υπολογίζονται τα buffer

Analysis → Tools→Buffer

Input→ RiversMerge

Output→Rivers_Buff

Distance→επιλέγεται το Buffer_dist

και ως αποτέλεσμα έχουμε ένα layer όλων των ποταμών (Rivers_Buff) το οποίο αποτυπώνει σε πολύγωνα τους ποταμούς ανάλογα με την κατηγορία τους.

Βήμα 4: Στη συνέχεια δημιουργείται ένα ενιαίο layer που περιλαμβάνει σε μορφή πολυγώνων όλα τα υδάτινα συστήματα της περιοχής (ποτάμια και λίμνες) με την εντολή Merge:

Analysis → Tools→Merge (Data Management Tools)

Input Datasets →Rivers_Buff & Lakes

Output Dataset →Waters

Βήμα 5: Τέλος, για τον υπολογισμό της απόστασης των περιοχών από τα υδάτινα συστήματα υπολογίστηκε η ευκλείδεια απόσταση, μέσω του εργαλείου Euclidean Distance και συγκεκριμένα:

Analysis → Tools→ Euclidean Distance

Input raster or feature→ Waters

Output→ Distance

Cell size → 50

Βήμα 6: Στη συνέχεια για την καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων δημιουργούνται οι κατάλληλες κατηγορίες αποστάσεων, μέσω της εντολής Reclassify:

Analysis → Tools→ Reclassify

Input raster→ Distance

Reclass field→ Value

Output→ WaterDist

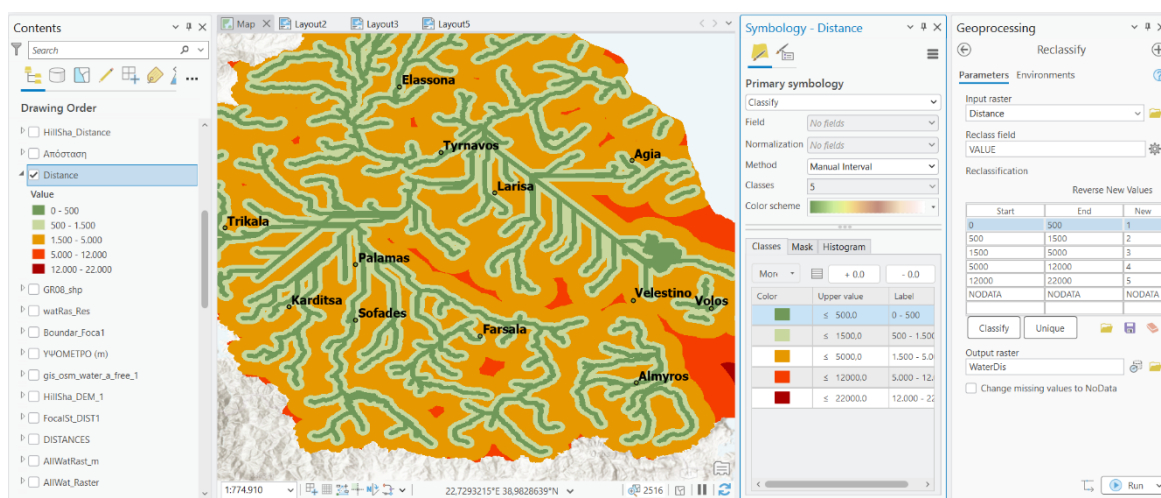
και τροποποιούνται οι ζώνες, ανάλογα με τις επιθυμητές αποστάσεις (Εικ.5-10).

Επίσης από το Symbology:

δεξί κλικ στο layer → Symbology→ primary symbology→classify

αλλάζουν τα χρώματα των ζωνών αποστάσεων.

Βήμα 7: Για την καλύτερη απεικόνιση των ζωνών αποστάσεων από τα υδάτινα συστήματα δημιουργείται ένα τρισδιάστατο ανάγλυφο της περιοχής μέσω της εντολής Hillshade και τέλος, μέσω Export layout εξάγεται ο χάρτης απόστασης από τα υδάτινα συστήματα (Εικ.3-6).



Εικόνα 3-7: Διαμόρφωση παραμέτρων αρχείου αποστάσεων από υδάτινα συστήματα.

3.2.7. Κριτήριο Χρήσεων γης (Land Use)

Για τη δημιουργία του χάρτη χρήσεων γης του ΥΔ της Θεσσαλίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τη σελίδα Copernicus, τα οποία αποτελούν ένα vector αρχείο (CLC2018) στο οποίο εμφανίζονται με μορφή πολυγώνων οι διαφορετικές χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής της Ελλάδας.

Βήμα 1: Αρχικά για την προσθήκη των δεδομένων ακολουθείται η διαδρομή:

Add Data → Browse→ επιλέγεται το αρχείο (CLC2018)

Βήμα 2: Έπειτα περιορίζονται τα δεδομένα στην περιοχή μελέτης μας.

Analysis → Tools → Clip

Input Feature → CLC2018

Clip Feature → GR08

Output Feature→ Landcover_GR08

Βήμα 3: Στη συνέχεια δημιουργούνται κατηγορίες χρήσεων γης για να ταξινομηθούν οι ήδη υπάρχουσες ομάδες.

Δεξί κλικ στο layer (Landcover_GR08)→ Attribute Table→ Add Field

και δημιουργείται ένα καινούργιο πεδίο με ονομασία Landclass και Data Type→Text, στο οποίο θα ομαδοποιηθούν τα δεδομένα σε πέντε βασικές κατηγορίες, σύμφωνα με το σύστημα του Copernicus Land Cover, όπου τιμές:

111–142 ανήκουν σε αστικές χρήσεις,

211-244 ανήκουν σε γεωργικές εκτάσεις,

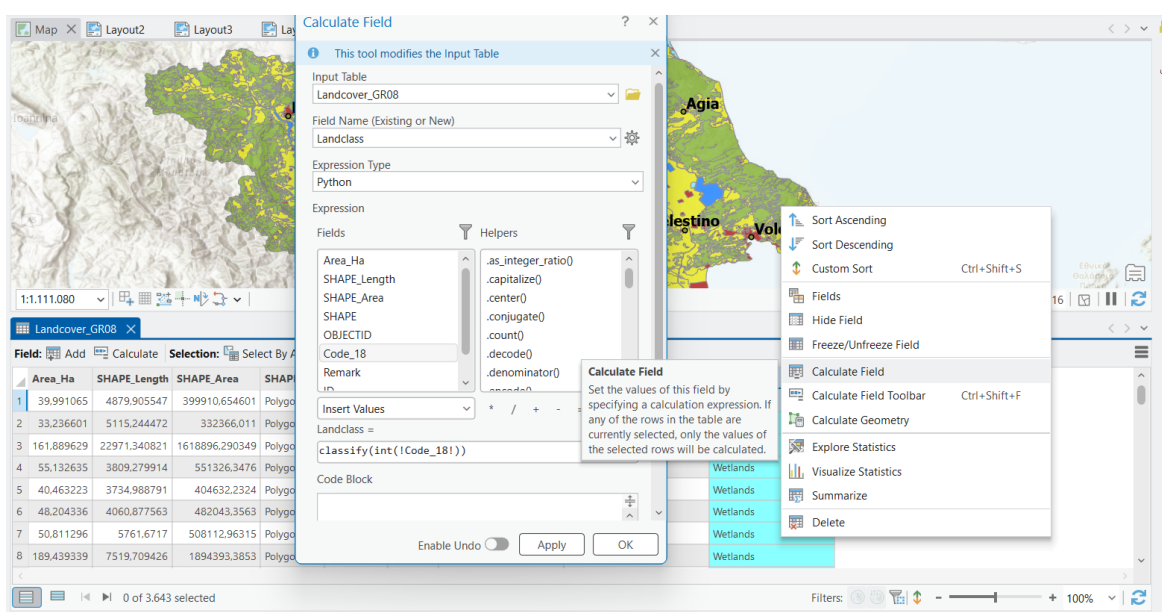
311-333 ανήκουν σε δασικές εκτάσεις,

411-423 ανήκουν σε υγρότοπους και

511-523 ανήκουν σε υδάτινες επιφάνειες.

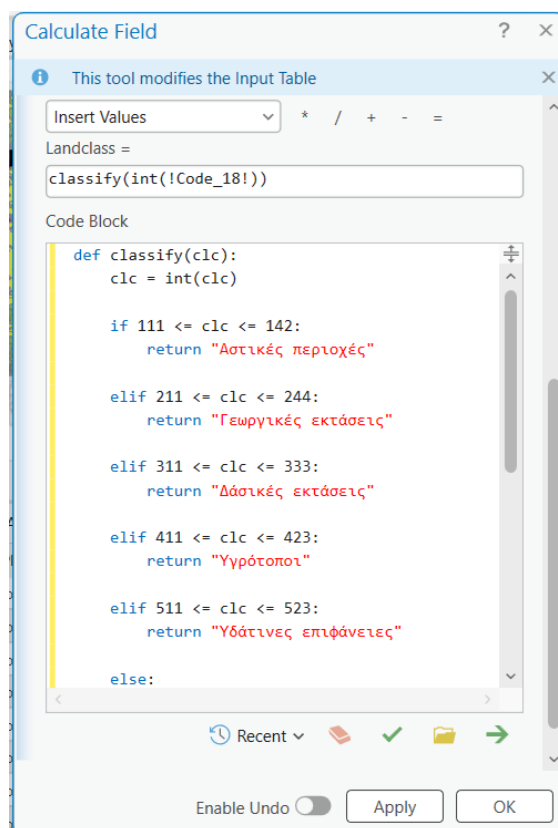
Βήμα 4: Κατόπιν τροποποιούνται οι παράμετροι του πεδίου Landclass, ώστε να ομαδοποιηθούν οι κωδικοί του Landcover_GR08, μέσω της εντολής Calculate Field (Εικ.3-7).

Δεξί κλικ στο field Landclass → Calculate Field



Εικόνα 3-8: Παραμετροποίηση του πεδίου 'Landclass'.

Και γράφεται ο ακόλουθος κώδικας (Code Block) σύμφωνα με τα δεδομένα για τη δημιουργία των πέντε βασικών κατηγοριών χρήσεων γης (Εικ.3-8).



Εικόνα 3-9: Εισαγωγή κώδικα για τη δημιουργία των κατηγοριών χρήσεων γης.

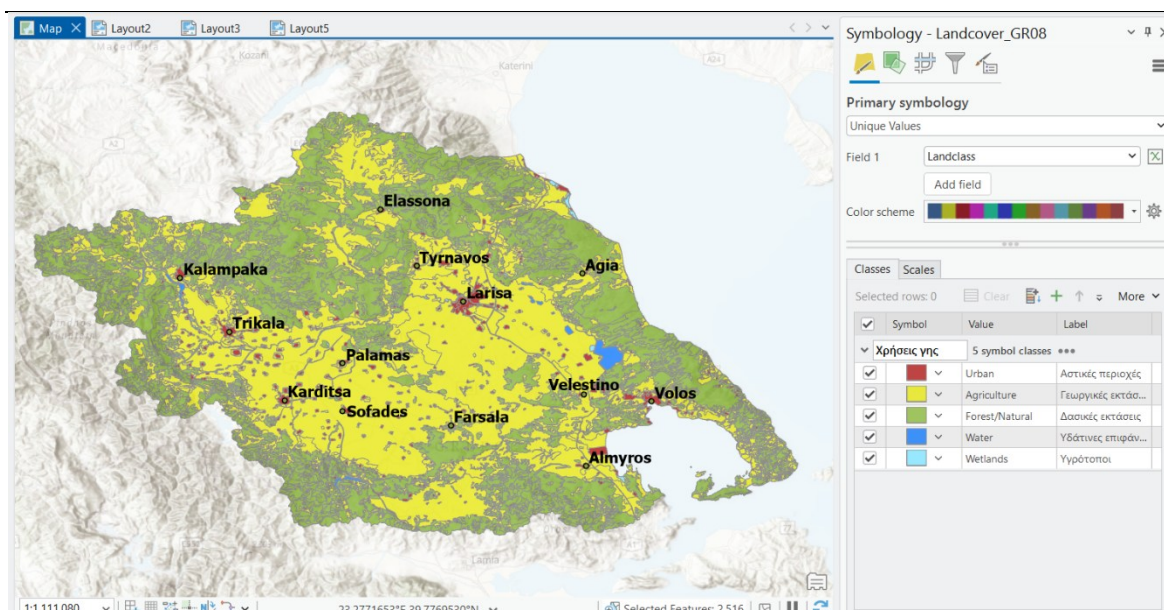
Βήμα 5: Για την καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων διαμορφώνονται τα χαρακτηριστικά του layer από το symbology:

Δεξί κλικ στο layer (Landcover_GR08) → Symbology → Primary Symbology
επιλέγεται Unique Values

Field → Landclass

και τροποποιείται επίσης και η χρωματική κλίμακα των κατηγοριών σύμφωνα με το επιθυμητό αποτέλεσμα (Εικ.3-9).

Τέλος, μέσω του Export Layer εξάγεται ο χάρτη χρήσεων γης του ΥΔ της Θεσσαλίας.



Εικόνα 3-10: Διαμόρφωση παραμέτρων χάρτη χρήσεων γης.

3.2.8. Κριτήριο Πυκνότητας Πληθυσμού (Population Density, PD)

Για τη δημιουργία του χάρτη πυκνότητας πληθυσμού αντλήθηκαν δεδομένα από τη σελίδα του Παγκόσμιου Οργανισμού WorldPop Hub, που περιλαμβάνει σε raster μορφή τις εκτιμώμενες τιμές του πληθυσμού για την ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας με ανάλυση 100m.

Βήμα1: Αφού προστέθηκε το αρχείο με τα δεδομένα του πληθυσμού (Worldpop) στο Arcgis pro, περιορίζονται τα δεδομένα στην περιοχή της Θεσσαλίας μέσω του layer GR08 που περιλαμβάνει τα όρια του ΥΔ Θεσσαλίας και το οποίο έχει δημιουργηθεί στην αρχή:

Analysis → Tools → Extract by Mask

Input raster→ Worldpop

Mask data→ GR08

Output raster→ PopGR08

Βήμα 2: Υπολογίζεται η πυκνότητα πληθυσμού ανά pixel, μέσω της εντολής Raster Calculator:

Analysis → Tools → Raster Calculator

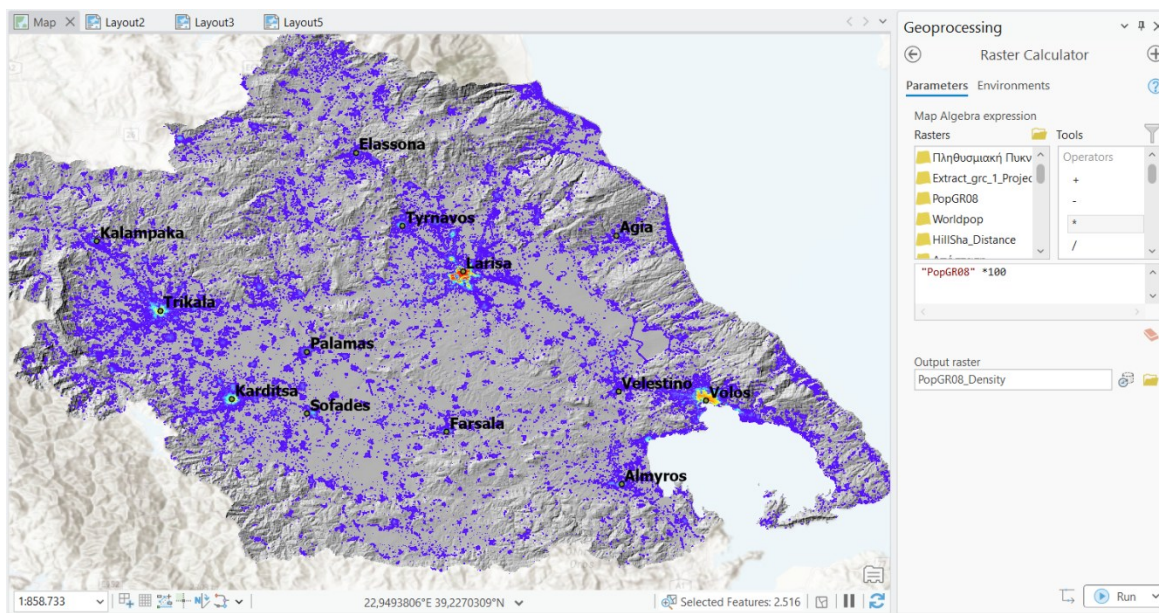
Καθώς το αρχικό αρχείο μας (Worldpop) έχει ανάλυση:

100m x 100m pixel $\Rightarrow$ 0.1km x 0.1km $\Rightarrow$ 0.01km²

για τον υπολογισμό της πληθυσμιακής πυκνότητας χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$\text{Πληθυσμιακή πυκνότητα} = \frac{\text{πληθυσμός}}{\text{έκταση (km}^2\text{)}} = \frac{\text{πληθυσμός}}{0,01\text{km}^2}$$

οπότε θα πολλαπλασιαστεί ο πληθυσμός με 100 και ως αποτέλεσμα θα έχουμε την πυκνότητα πληθυσμού ανά km^2 σε ένα νέο αρχείο raster που θα ονομαστεί PopGR08_Density (Εικ.3-10).



Εικόνα 3-11: Υπολογισμός της πληθυσμιακής πυκνότητας.

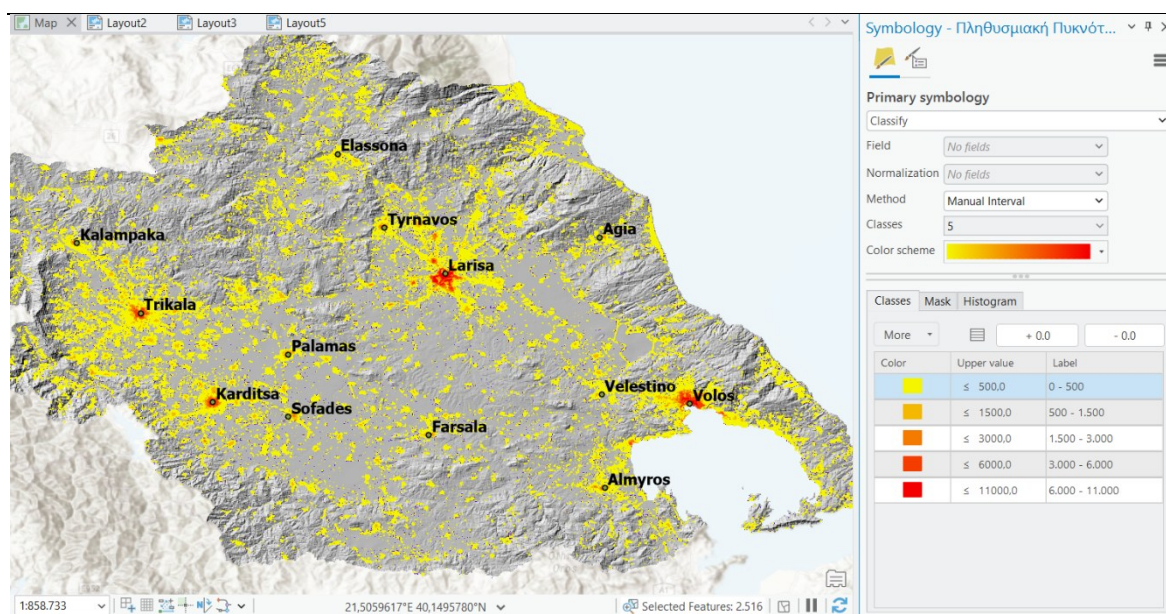
Βήμα 4: Στη συνέχεια για την καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων χρησιμοποιείται η εντολή Symbology, στο layer PopGR08_Density το οποίο έχει μετονομαστεί σε Πυκνότητα Πληθυσμού, ώστε να τροποποιηθούν οι παράμετροι του αρχείου μας:

Δεξί κλικ στο layer (Πυκνότητα Πληθυσμού) → Symbology → Primary Symbology

Επιλέγεται → classified

Method → Manual Interval

και δημιουργούνται 5 κατηγορίες πληθυσμιακής πυκνότητας ανάλογα με τα δεδομένα της περιοχής μελέτης μας και τροποποιείται επίσης η χρωματική κλίμακα (Εικ.3-11).



Εικόνα 3-12: Τροποποίηση παραμέτρων αρχείου πληθυσμιακής πυκνότητας.

Βήμα 5: Τέλος, για την καλύτερη οπτικοποίηση των δεδομένων μας χρησιμοποιείται ως υπόβαθρο το αρχείο υψομέτρου που έχει δημιουργηθεί ήδη για την περιοχή μελέτης μας και εξάγεται ο χάρτης.

3.3. Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (ΑΗΡ)

Για την ανάλυση των επιλεγόμενων κριτηρίων με σκοπό την εκτίμηση της τρωτότητας σε πλημμύρες της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιείται η μέθοδος της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) η οποία αποτελεί ένα χρήσιμο μαθηματικό εργαλείο για την επίλυση πολύπλοκων θεμάτων λήψης αποφάσεων. Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση λαμβάνει υπόψη πολλαπλά κριτήρια και μπορεί να αντιμετωπίσει καταστάσεις όπου έχουμε σύγκρουση κριτηρίων, οδηγώντας στις βέλτιστες και πιο ικανοποιητικές λύσεις (Ναθανάηλ, 2016).

Η μεθοδολογικές προσεγγίσεις της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης σύμφωνα με την Ναθανάηλ (2016) εμπίπτουν σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, μία εκ των οποίων είναι και η μέθοδος του Πολυκριτηρίου Μαθηματικού Προγραμματισμού που περιλαμβάνει και την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytic Hierarchy Process), που θα χρησιμοποιήσουμε για την ανάλυση των κριτηρίων μας στην παρούσα εργασία.

Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία προτάθηκε αρχικά από τον Saaty το 1977 και έκτοτε έχει γνωρίσει μεγάλη αποδοχή για την επίλυση των πολυκριτηριακών προβλημάτων (Κρεμμύδας, 2014). Σύμφωνα με τον ίδιο συγγραφέα, στηρίζεται σε τρία βασικά στάδια:

1. Την διάταξη των κριτηρίων και υποκριτηρίων του προβλήματος σε ιεραρχική δομή.

2. Την πραγματοποίηση διμερών συγκρίσεων ανά ζεύγη κριτηρίων με βάση τη θεμελιώδη κλίμακα των εννιά σημείων (Πιν.3-1).
3. Τον υπολογισμό των βαρών των εναλλακτικών επιλογών του προβλήματος.

Πίνακας 3-1: Θεμελιώδη κλίμακα της ΑΗΡ.

Στάθμιση	Ορισμός	Εξήγηση
1	Ίση σημασία	Τα δύο στοιχεία συμβάλλουν εξίσου στο στόχο.
3	Ασθενής προτίμηση	Η εμπειρία/ κρίση ευνοεί ελαφρά το ένα στοιχείο σε σχέση με το άλλο.
5	Ισχυρή προτίμηση	Η εμπειρία/ κρίση ευνοεί καθαρά το ένα στοιχείο σε σχέση με το άλλο.
7	Αποδεδειγμένη προτίμηση	Η κυριαρχία του ενός στοιχείου έχει αποδειχθεί στην πράξη
9	Απόλυτη προτίμηση	Έχει αποδειχθεί στον υπερθετικό βαθμό η κυριαρχία του ενός στοιχείου στην επίτευξη του στόχου.
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές	Αν υπάρχει ανάγκη για υποδιαιρέσεις.

Πηγή: Κρεμμύδας, (2014).

Με τον τρόπο αυτό το αρχικό πρόβλημα διασπάται σε επιμέρους μεταβλητές, οι οποίες ταξινομούνται ιεραρχικά δίνοντας τιμές στις εκτιμήσεις της σχετικής σημαντικότητας με αποτέλεσμα την τελική σύνθεση των εκτιμήσεων, ώστε να προσδιοριστεί ο παράγοντας με την μεγαλύτερη επίδραση στο ζητούμενο πρόβλημα.

Σύμφωνα με την Ναθανάηλ (2016), τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αφορούν στην μοντελοποίηση του προβλήματος και την αναπαράσταση των παραγόντων για την καλύτερη κατανόηση του προβλήματος και τη βέλτιστη λήψη αποφάσεων. Ενώ αντίθετα τα μειονεκτήματα της μεθόδου αφορούν στο μεγάλο πλήθος των συγκρίσεων που πρέπει να πραγματοποιηθούν και στη δυσκολία επαναχρησιμοποίησης του μοντέλου.

Ο καθορισμός της βαρύτητας του κάθε κριτηρίου αποτελεί μια σημαντική διαδικασία στάθμισης της τιμής της κάθε επιλογής, καθώς εκφράζει τη σημαντικότητα του εκάστοτε κριτηρίου στην τελική επιλογή και ρυθμίζει την επίδρασή της στην τελική επιλογή που θα οδηγήσει στην προτεινόμενη επιλογή.

Για την περίπτωση μελέτης μας και την εφαρμογή της ΑΗΡ για τον υπολογισμό της βαρύτητας των κριτηρίων της ΠΤ έχουμε βασιστεί στη βιβλιογραφία και συγκεκριμένα στη μελέτη του Kazakis et al. (2015) όπου τα αποτελέσματα της

έρευνας κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το υψόμετρο, η απόσταση και η κλίση έχουν την μεγαλύτερη επίδραση, όμως κρίσιμο παράγοντα αποτελεί και η ένταση της βροχοπτώσης η οποία σχετίζεται με τη συχνότητα και την ποσότητα των βροχοπτώσεων για τον εντοπισμό των ευάλωτων περιοχών. Επίσης σε μελέτη των Kourgialas και Karatzas (2011) το κριτήριο με τη μεγαλύτερη βαρύτητα ήταν το υψόμετρο, ακολουθούμενο από τις χρήσεις γης και την κλίση. Ενώ, στη μελέτη των Stamellou et al. (2021) η συσσώρευση ροής και το υψόμετρο αποτελούν τους βασικότερους παράγοντες. Τέλος στη διπλωματική του Παντούλα (2024) μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης έχει υπολογιστεί ο Μ.Ο. της βαρύτητας των επιλεγόμενων κριτηρίων, σύμφωνα με τον οποίο η απόσταση από το υδατόρεμα και οι χρήσεις γης εμφανίζουν την μεγαλύτερη βαρύτητα ακολουθούμενες από το υψόμετρο και τη κλίση του εδάφους.

Βασιζόμενοι στα παραπάνω αποτελέσματα της βιβλιογραφίας έχουν πραγματοποιηθεί οι ακόλουθες συγκρίσεις ανά ζεύγη (Πιν.3-2), αναπτύσσοντας μια κλίμακα προτίμησης μεταξύ των παραγόντων, σύμφωνα με την οποία καταγράφεται πόσες φορές είναι πιο σημαντικό ή κυρίαρχο το ένα κριτήριο σε σχέση με κάποιο άλλο, ώστε να αποτυπωθεί για κάθε ζεύγος κριτηρίων η συμβολή τους σε ένα πλημμυρικό φαινόμενο.

Πίνακας 3-2: Σύγκριση κριτηρίων ανά ζεύγη.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΥΨΟΜ.	ΚΛΙΣΗ	ΒΡΟΧ/ΣΗ	ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	1	2	3	2	2	3	3
ΚΛΙΣΗ	1/2	1	3	2	2	3	3
ΕΔΑΦΟΥΣ	1/3	1/3	1	1/2	1/3	2	3
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	1/2	1/2	2	1	1/2	3	3
ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ	1/2	1/2	3	2	1	3	4
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1	3
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	1/3	1/3	1/3	1/3	1/4	1/3	1
ΠΛΗΘΥΣΜ. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	3,50	5,00	12,83	8,17	6,42	15,33	20,00
ΑΘΡΟΙΣΜΑ							

Επεξεργασία: Ιδία

Στη συνέχεια γίνεται κανονικοποίηση της τιμής του κάθε κελιού με βάση τη στήλη στην οποία συμμετέχει έχοντας ως αποτέλεσμα τον ακόλουθο κανονικοποιημένο πίνακα (Πίν.3-3).

Πίνακας 3-3: Κανονικοποιημένος πίνακας.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΥΨΟΜ.	ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΒΡΟΧ/ΣΗ	ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΠΛΗΘΥΣΜΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	0,286	0,400	0,234	0,245	0,312	0,196	0,150
ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	0,143	0,200	0,234	0,245	0,312	0,196	0,150
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	0,095	0,067	0,078	0,061	0,052	0,130	0,150
ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ	0,143	0,100	0,156	0,122	0,078	0,196	0,150
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	0,143	0,100	0,234	0,245	0,156	0,196	0,200
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	0,095	0,067	0,039	0,041	0,052	0,065	0,150
ΠΛΗΘΥΣΜ. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	0,095	0,067	0,026	0,041	0,039	0,022	0,050
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Επεξεργασία: Ιδία

Για τον υπολογισμό των σχετικών βαρών του κάθε κριτηρίου υπολογίζεται ο μέσος όρος της γραμμής του κριτηρίου του κανονικοποιημένου πίνακα, οπότε έχουμε τα ακόλουθα βάρη (Πιν.3-4).

Πίνακας 3-4: Βαρύτητα κριτηρίων.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΒΑΡΟΣ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ	0,26
ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ	0,21
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	0,09
ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ	0,14
ΑΠΟΣΤΑΣΗ	0,18
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	0,07
ΠΛΗΘΥΣΜ. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	0,05
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	1,00

Επεξεργασία: Ιδία

Από τον παραπάνω πίνακα διαφαίνεται ότι το υψόμετρο και η κλίση του εδάφους κατέχουν την υψηλότερη βαρύτητα στην εκδήλωση ενός πλημμυρικού επεισοδίου και ακολουθούν τα κριτήρια απόστασης από τα υδάτινα σώματα και της συσσώρευσης ροής, ενώ λιγότερο σημαντική εμφανίζεται η βαρύτητα των χρήσεων γης και της πληθυσμιακής πυκνότητας.

Στη συνέχεια για να ελέγξουμε την ορθότητα και τη συνέπεια του πίνακα συγκρίσεων μας πρέπει να υπολογίσουμε τον λόγο συνέπειας CR (Consistency Ratio), σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$CR = CI / RI$$

όπου CI ο δείκτης συνέπειας, που υπολογίζεται από την σχέση:

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

με λ την ιδιοτιμή του πίνακα και

n τον αριθμό των κριτηρίων.

Και RI τον δείκτη τυχαίας συνέπειας, ο οποίος έχει υπολογιστεί από τον Saaty και είναι συγκεκριμένος αναλόγως των αριθμό των κριτηρίων (Πιν.3-5)

Πίνακας 3-5: Δείκτης Τυχαίας Συνέπειας, RI

Αριθμός Κριτηρίων n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Πηγή: Κρεμμύδας, (2014)

Όπου για την περίπτωση μας έχουμε n= 7 κριτήρια, οπότε RI = 1,32.

Συγκεκριμένα για να υπολογίσουμε τον δείκτη συνέπειας αρχικά υπολογίζουμε τα γινόμενα του Πίνακα 3-2 με το διάνυσμα των βαρών, δηλαδή το γινόμενο του διανύσματος της κάθε γραμμής του πίνακα πολλαπλασιασμένο με τη στήλη του βάρους των κριτηρίων. Οπότε έχουμε τον ακόλουθο Πίνακα 3-6 των γινομένων από τον οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε τον αντίστοιχο λόγο του κάθε γινομένου διά το βάρος του.

Πίνακας 3-6: Γινόμενα πινάκων.

	ΓΙΝΟΜΕΝΑ	ΒΑΡΟΣ	ΛΟΓΟΣ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (E)	1,951	0,26	7,593
ΚΛΙΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ (SI)	1,610	0,21	7,741
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (R)	0,667	0,09	7,751
ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΡΟΗΣ (F)	1,006	0,14	7,187
ΑΠΟΣΤΑΣΗ (D)	1,371	0,18	7,617
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ (L)	0,526	0,07	7,517
ΠΛΗΘΥΣΜ.			
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (Pop)	0,351	0,05	7,153

Επεξεργασία: Ιδία

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τον Μ.Ο. της στήλης των λόγων που ισούται με 7,508 και τελικώς τον δείκτη συνέπειας CI, όπου:

$$CI = \frac{M.O.-n}{n-1} \Rightarrow$$

$$CI = \frac{7,508-7}{7-1} \Rightarrow CI = 0,085$$

Άρα ο λόγος συνέπειας θα ισούται:

$$CR = CI/RI \Rightarrow CR = 0.085/1.32 \Rightarrow CR = 0,064$$

που είναι μικρότερο από το 0,1 οπότε ο αρχικός πίνακας των διμερών συγκρίσεων μας έχει συνέπεια και οι συγκρίσεις των ζευγών είναι ορθές και συνεπείς.

3.4. Μεθοδολογία Χάρτη Πλημμυρικής Τρωτότητας

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε στην δημιουργία του τελικού χάρτη της ΠΤ του ΥΔ Θεσσαλίας, που δημιουργήθηκε με τη χρήση του προγράμματος ArcGIS pro και είναι αποτέλεσμα της χωρικής ανάλυσης των επιμέρους θεματικών χαρτών των κριτηρίων, ώστε να εντοπιστούν και να απεικονιστούν οι ευάλωτες περιοχές της Θεσσαλίας στα πλημμυρικά φαινόμενα.

Για τη δημιουργία του χάρτη χρησιμοποιούμε τα τελικά βάρη των κριτηρίων όπως αυτά έχουν βρεθεί με την εφαρμογή της ΑΗΡ στην προηγούμενη ενότητα και παρουσιάζονται στον Πιν.3-4 και στη συνέχεια με τον υπολογισμό του FVI και την χωρική ανάλυση των δεδομένων έχουμε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία του χάρτη τρωτότητας :

$$FVI = \sum_{i=1}^n r_i * w_i$$

$$FHI = E * w_E + Sl * w_{Sl} + R * w_R + F * w_F + D * w_D + L * w_L + Pop * w_{Pop}$$

όπου, r_i = η αξιολόγηση της παραμέτρου σε κάθε σημείο του χάρτη

w_i = το βάρος της κάθε παραμέτρου

n = ο αριθμός των κριτηρίων.

Αρχικά θα πρέπει να ελεγχθούν και να τροποποιηθούν όπου αυτό είναι απαραίτητο τα χαρακτηριστικά των θεματικών χαρτών όπως: Coordinate System, Cell Size και Extent, ώστε να μπορέσουν να ευθυγραμμιστούν και να συνδυαστούν τα layers τους και να μπορέσουν να επεξεργαστούν περεταίρω.

Επίσης θα πρέπει να γίνει μια ανακατανομή (reclassify) των κλάσεων του κάθε επιμέρους χάρτη, όπου οι τελικές τιμές που έχουν επιλεχθεί για τον χάρτη τρωτότητας διαμορφώνονται σε 5 κλάσεις με τιμές 1,2,3,4 και 5 με την τιμή 1 να αντιστοιχεί στην χαμηλή τρωτότητα και την 5 στην υψηλή τρωτότητα (Πιν.3-7).

Πίνακας 3-7: Ανακατανομή των κατηγοριών των θεματικών χαρτών.

Θεματικός χάρτης	Κατηγορίες	Κλάσεις Τρωτότητας
Υψομέτρου (m)	0-200m 200-550m 550-850m 850-1300m 1300-2802m	Πολύ υψηλή (5) Υψηλή (4) Μέτρια (3) Χαμηλή (2) Πολύ χαμηλή (1)
Κλίσης Εδάφους (°)	0-5° επίπεδο 5°-15° ήπια κλίση 15°-30° μέτρια 30°-45° απότομη 45°-90° πολύ απότομη	Πολύ υψηλή (5) Υψηλή (4) Μέτρια (3) Χαμηλή (2) Πολύ χαμηλή (1)
Μέση Ετήσια Βροχόπτωση (mm)	0-500mm 500-650mm 650-800mm 800-1000mm 1000-1600mm	Πολύ χαμηλή (1) Χαμηλή (2) Μέτρια (3) Υψηλή (4) Πολύ υψηλή (5)
Συσσώρευσης Ροής	Μεγάλοι Ποταμοί Μεσαίοι Ποταμοί Μικροί Ποταμοί	Πολύ υψηλή (5) Υψηλή (4) Μέτρια (3) Χαμηλή (2) Πολύ χαμηλή (1)
Απόστασης από Υδάτινα Συστήματα	0-0.5km 0.5-1.5km 1.5-5km 5-10km 10-21km	Πολύ υψηλή (5) Υψηλή (4) Μέτρια (3) Χαμηλή (2) Πολύ χαμηλή (1)
Χρήσης γης	Αστικές περιοχές	Πολύ υψηλή (5)

	Γεωργικές εκτάσεις Υδάτινες επιφάνειες Υγρότοποι Δασικές περιοχές	Υψηλή (4) Μέτρια (3) Χαμηλή (2) Πολύ χαμηλή (1)
Πυκνότητας Πληθυσμού (κάτοικοι/km²)	0-500 500-1500 1500-3000 3000-6000 6000-11000	Πολύ χαμηλή (1) Χαμηλή (2) Μέτρια (3) Υψηλή (4) Πολύ υψηλή (5)

Επεξεργασία: Ιδία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Περιοχή Μελέτης

4.1. Οριοθέτηση Περιοχής Μελέτης και Δεδομένα

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια περιγραφή της περιοχής μελέτης της εργασίας, που αφορά το ΥΔ Θεσσαλίας. Παρουσιάζονται τα φυσικά όρια του ΥΔ, καθώς και αναφέρονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά της, που αφορούν στα μορφολογικά, φυσικά, κλιματικά, τις χρήσεις γης και τα πληθυσμιακά δεδομένα, σύμφωνα με τα στοιχεία της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων του ΥΠΕΝ, όπως αυτά διατυπώνονται στην Υπ. Απόφαση 41377/329 και παρουσιάζονται στο ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

Το ΥΔ της Θεσσαλίας με κωδική αρίθμηση ΥΔ08, αποτελεί ένα από τα 14 ΥΔ της Ελλάδας (Εικ.4-1) και έχει συνολική έκταση 13.377 km². Στο μεγαλύτερο μέρος του συμπίπτει με το αντίστοιχο γεωγραφικό διαμέρισμα, καθώς εκτείνεται στην μεγαλύτερη έκτασή του εντός της Περιφέρειας Θεσσαλίας, περιλαμβάνει όμως και ένα μικρό μέρος της Φθιώτιδας της Π. Στερεάς Ελλάδας και ένα μικρότερο τμήμα της Π. Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει εξ' ολοκλήρου ή τμήματα που ανήκουν σε επτά Περιφερειακές Ενότητες (ΠΕ) και σε επίπεδο Δήμων, σε είκοσι τρεις Δήμους (Εικ.4-2 & Πίν.4-1).

4.1.1. Πληθυσμιακά στοιχεία

Όσον αφορά τα πληθυσμιακά δεδομένα του ΥΔ με βάση τις απογραφές της ΕΣΥΕ, εμφανίζονται καταγεγραμμένοι 730.945 κάτοικοι το 1991 και 750.445 κάτοικοι το 2001 αντίστοιχα, παρουσιάζοντας μια αύξηση της τάξης του 2,7%, ενώ το 2011 η εκτίμηση του πληθυσμού ήταν στους 703.459 κατοίκους, παρουσιάζοντας μια πτώση της τάξης του 6,2%. Τα κυριότερα αστικά κέντρα είναι της Λάρισας (147.886 κάτοικοι) και του Βόλου (118.610), αλλά περιλαμβάνει και μικρότερα όπως των Τρικάλων (61.017), της Καρδίτσας (36.618) και του Τυρνάβου (12.378), καθώς και 32 ημιαστικά κέντρα που είναι συνδεδεμένα με τον αγροτικό χώρο.



Εικόνα 4-1: Οριοθέτηση Υδατικών Διαμερισμάτων της Ελλάδας, με τις αντίστοιχες Λεκάνες Απορροής των ποταμών τους.

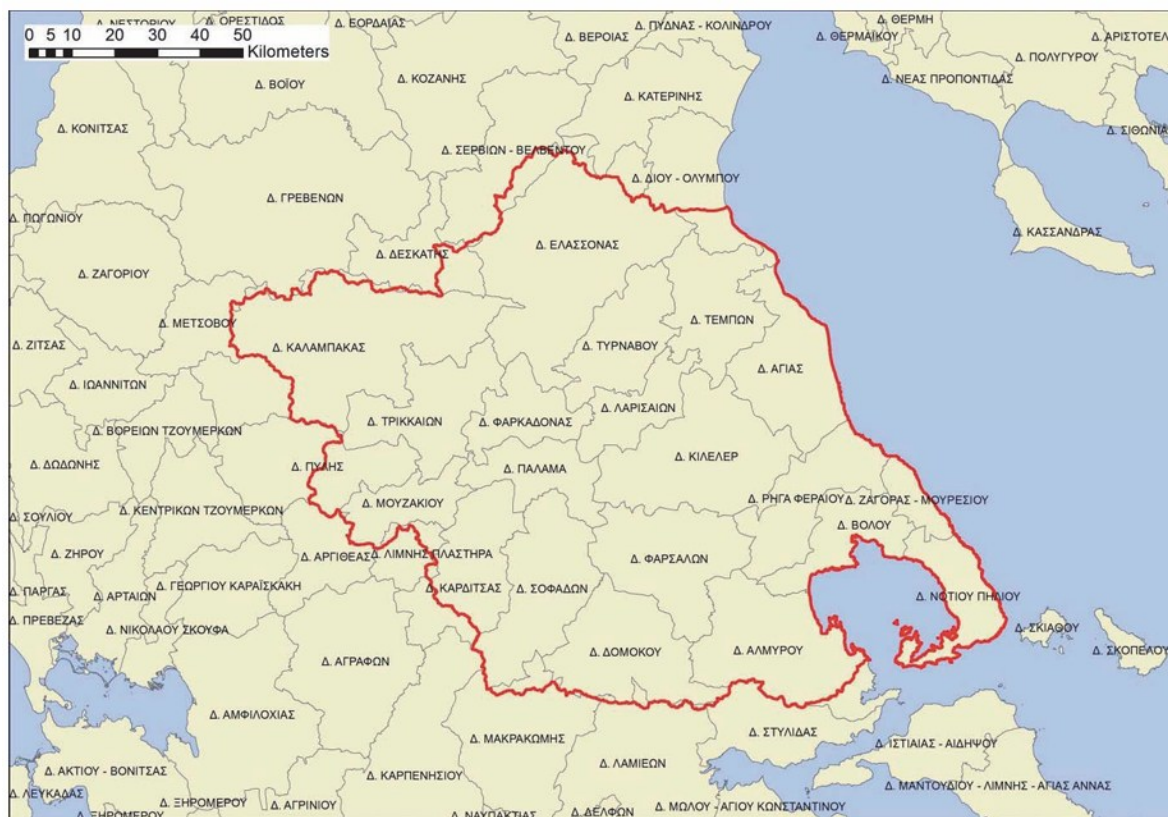
Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

Πίνακας 4-1: Διοικητικά όρια ΥΔ Θεσσαλίας.

Π.Ε	Ολόκληροι Δήμοι	Τμήματα Δήμων	Π.Ε	Ολόκληροι Δήμοι	Τμήματα Δήμων
Λάρισας	Τυρνάβου		Μαγνησίας	Βόλου	
Λάρισας	Τεμπών		Μαγνησίας	Ρήγα Φεραίου	
Λάρισας	Αγιάς		Μαγνησίας	Ζαγοράς Μουρεσίου	
Λάρισας	Λαρισαίων		Μαγνησίας	Νοτίου Πηλίου	
Λάρισας	Κιλελέρ		Μαγνησίας		Αλμυρού
Λάρισας	Φαρσάλων				
Λάρισας		Ελασσόνας			
Τρικάλων	Τρικάλων		Καρδίτσας	Σοφάδων	
Τρικάλων	Φαρκαδώνας		Καρδίτσας	Παλαμά	
Τρικάλων		Καλαμπάκας	Καρδίτσας		Καρδίτσας
Τρικάλων		Πύλης	Καρδίτσας		Λίμνης Πλαστήρα
Φθιώτιδα	Δομοκού				
Γρεβενά		Δεσκάτης			
Πιερία		Διού- Ολύμπου			

Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

Επεξεργασία: Ιδία



Εικόνα 4-2: Διοικητικά όρια ΥΔ Θεσσαλίας.

Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

4.1.2. Επιφανειακά ύδατα

Το ΥΔ Θεσσαλίας περιλαμβάνει δυο κύριες λεκάνες απορροής ποταμών, του Πηνειού με κωδικό λεκάνης EL16 και συνολική έκταση 11.062km² και των ρεμάτων Αλμυρού – Πηλίου με κωδικό EL17 και συνολική έκταση 2.079 km² αντίστοιχα. Στον παρακάτω χάρτη (Εικ.4-3) παρουσιάζονται τα επιφανειακά ύδατα του ΥΔ Θεσσαλίας που περιλαμβάνουν τις λίμνες και τους κύριους ποταμούς καθώς και τις Λεκάνες Απορροής τους.

Όσον αφορά τη ΛΑΠ του Πηνειού (EL16) ο κύριος ποταμός που συμβάλλει σ' αυτή είναι ο Πηνειός, που πηγάζει από την Πίνδο και διασχίζει τη Θεσσαλική πεδιάδα, καταλήγοντας στο Αιγαίο Πέλαγος. Έχει συνολική μήκος 262km και οι κύριοι παραπόταμοί του από τα βόρεια προς τα νότια είναι: ο Τιταρήσιος, ο Νεοχωρίτης, ο Ληθαίος, ο Πορταϊκός, ο Πάμισος, ο Καλέντζης, ο Σοφαδίτης, ο Φαρσαλιώτης και ο Ενιπέας (Πιν.4-2).

Πίνακας 4-2: Κύριοι ποταμοί της ΛΑΠ Πηνειού.

Ονομασία ποταμού	Μήκος (km)	Ονομασία ποταμού	Μήκος (km)
Πηνειός	262	Σοφαδίτης	56
Ενιπέας	132	Φαρσαλιώτης	38
Τιταρήσιος	96	Νεοχωρίτης	27
Ληθαίος	63	Πάμισος	25
Καλέντζης	58	Πορταϊκός	24

Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

Επεξεργασία: Ιδία

Επίσης σε αυτή τη ΛΑΠ περιλαμβάνονται και τρεις τεχνητές λίμνες: η Λίμνη Κάρλα, η Λίμνη Σμοκόβου και η Λίμνη Αργυροπουλίου (Πιν.4-3). Επισημαίνεται ακόμη ότι η υπολεκάνη του ποταμού Ταυρωπού (Λίμνη Πλαστήρα), έκτασης 161 km², υδρολογικά ανήκει στη ΛΑΠ του Αχελώου, αλλά εξαιτίας της εκτροπής των υδάτων της προς την Θεσσαλία, διαχειριστικά ανήκει στη ΛΑΠ του Πηνειού.

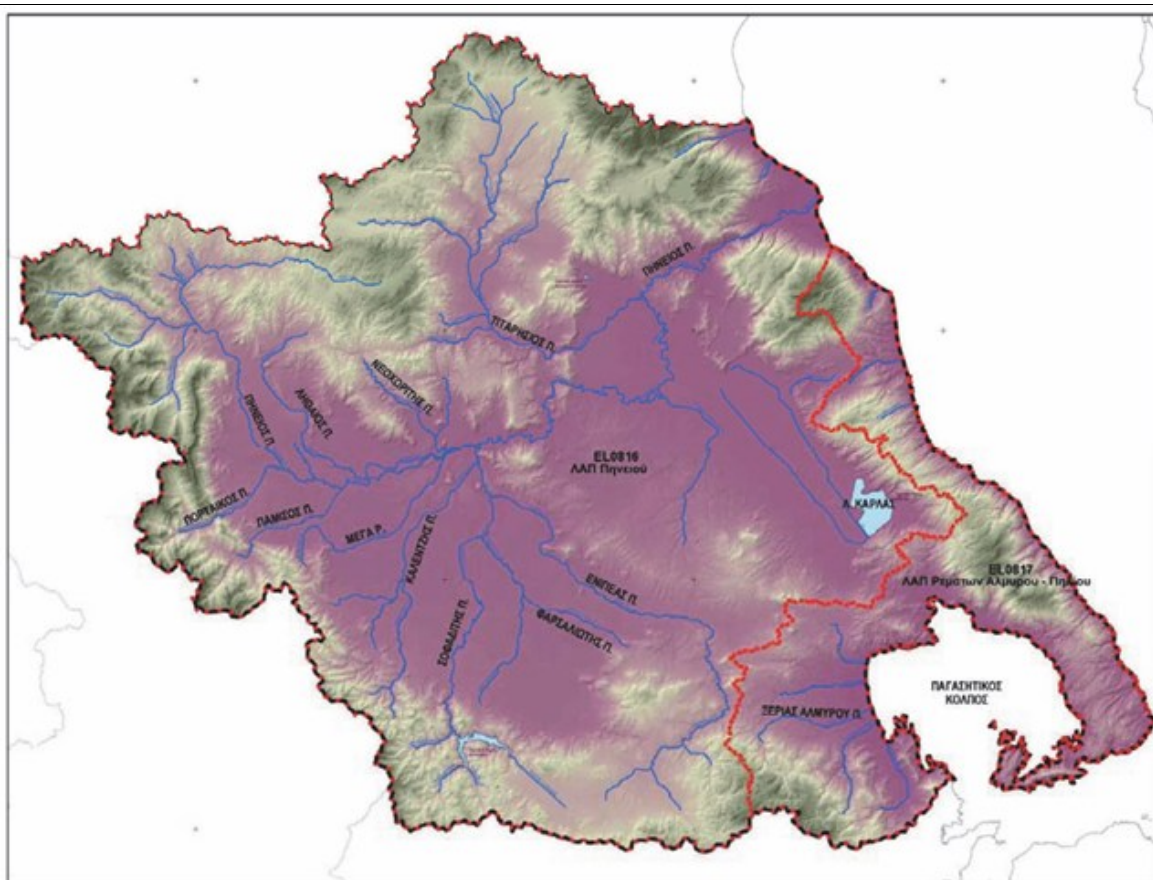
Πίνακας 4-3: Κύριες λίμνες της ΛΑΠ Πηνειού.

Ονομασία Λίμνης	Έκταση (km ²)
Κάρλα	34,9
Σμοκόβου	9,9
Αργυροπουλίου	0,5

Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

Επεξεργασία: Ιδία

Όσον αφορά τη ΛΑΠ Αλμυρού – Πηλίου (EL17), αντίθετα από αυτή του Πηνειού, δεν υπάρχουν μεγάλοι ποταμοί και λίμνες που να συγκεντρώνονται σε αυτή, αλλά δημιουργείται από ένα σύνολο μικρότερων ρεμάτων, όπως του Κραυσίδωνα στο δυτικό μέρος και το Γαλανόρεμα στο ανατολικό μέρος. Τα ρέματα του δυτικού μέρους διασχίζουν την πόλη του Βόλου και καταλήγουν στον Παγασητικό Κόλπο και αντίστοιχα αυτά του ανατολικού τμήματος διασχίζουν χωριά και εκβάλλουν στο Αιγαίο Πέλαγος.



Εικόνα 4-3: Απεικόνιση των επιφανειακών υδάτων του ΥΔ Θεσσαλίας.

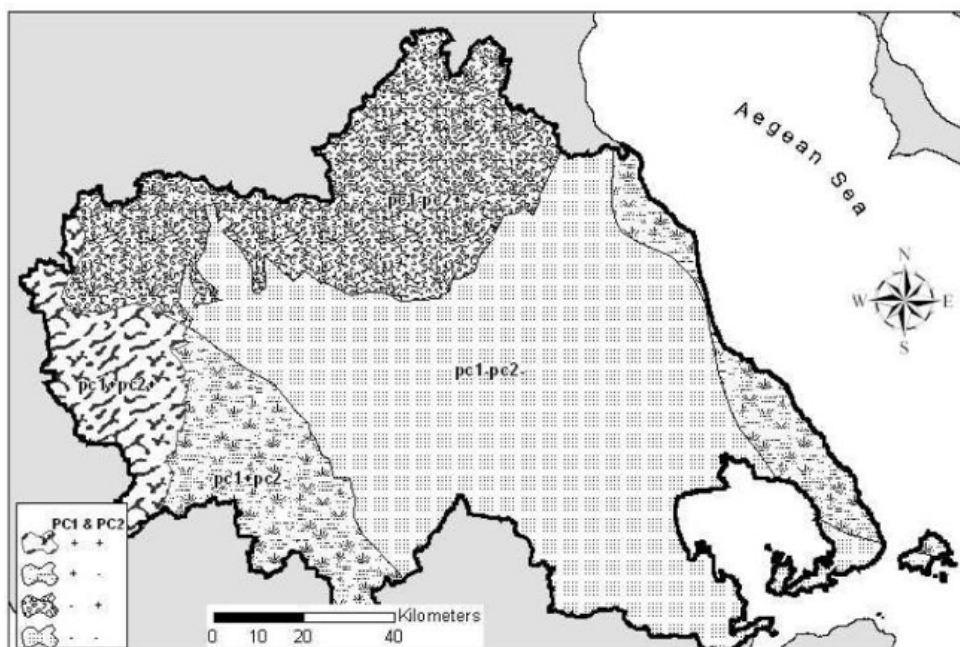
Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

4.1.3. Κλίμα

Το κλίμα του ΥΔ08 διαφοροποιείται σε τρεις διαφορετικές περιοχές, την ανατολική περιοχή, με τα ορεινά και τα παράκτια τμήματα, που επικρατεί το μεσογειακό κλίμα. Την κεντρική, πεδινή περιοχή όπου υπάρχει το ηπειρωτικό κλίμα και τέλος την ορεινή περιοχή στα δυτικά του ΥΔ όπου επικρατεί το ορεινό κλίμα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται στους 16° με 17° C και το ετήσιο θερμομετρικό εύρος ξεπερνά του 22° C. Οι πιο ψυχροί μήνες είναι από τον Δεκέμβριο έως τον Φεβρουάριο, ενώ αντίθετα οι πιο θερμοί είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων κυμαίνεται με μέση ετήσια τιμή που εκτιμάται στα 678mm με τις υψηλότερες βροχοπτώσεις να εμφανίζονται στο δυτικό και ανατολικό τμήμα του ΥΔ και χαμηλότερες τιμές στην πεδινή περιοχή και τους πιο βροχερούς μήνες να είναι από τον Οκτώβριο έως τον Ιανουάριο. Ενώ αντίθετα οι πιο ξηροί είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Επίσης οι χιονοπτώσεις είναι αρκετά συνηθισμένες, ιδιαίτερα στις ορεινές περιοχές και εμφανίζονται εντονότερες από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από τα νότια προς τα βόρεια.

Σύμφωνα με μελέτη των Stathis και Myronidis (2013) μετά την επεξεργασία των δεδομένων βροχόπτωσης που ελήφθησαν από 75 μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής για τη χρονική περίοδο 1960-1994, αποτυπώθηκε η χωρική κατανομή των

βροχοπτώσεων η οποία διαχωρίζεται σε τέσσερις τομείς που αποτελούν τέσσερις ομοιογενείς ομάδες σταθμών (Εικ.4-4) με διαφορετικά βροχομετρικά χαρακτηριστικά, που αναφέρονται επιγραμματικά στη συνέχεια.



Εικόνα 4-4: Χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων σε ομοιογενείς ομάδες.

Πηγή: Stathis και Myronidis, (2013)

Ομάδα I: Οι περιοχές που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία εμφανίζονται στη δυτική ορεινή περιοχή της Θεσσαλίας, όπου κυριαρχεί η οροσειρά της Πίνδου και δέχονται τις υψηλότερες ετήσιες ποσότητες βροχόπτωσης (1500mm-2500mm), κυρίως τον μήνα Δεκέμβριο, και επίσης εμφανίζουν σύντομη περίοδο ξηρασίας.

Ομάδα II: Σε αυτήν την ομάδα εντοπίζονται περιοχές της ανατολικής και νοτιοδυτικής Θεσσαλίας με διαφορετική και σύνθετη τοπογραφία, που εμφανίζουν υψηλά ετήσια ύψη βροχόπτωσης (1080 – 1450mm) αλλά πολύ λίγες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών.

Ομάδα III: Η ομάδα αυτή εμφανίζεται κυρίως στις βόρειες περιοχές με μικρές ποσότητες βροχοπτώσεων (800 – 1000mm) και μια πολύ περιορισμένη ξηρή περίοδος το καλοκαίρι εξαιτίας των έντονων καταιγίδων. Χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας είναι η διπλή αιχμή της ετήσιας κατανομής των βροχοπτώσεων, όπου εκτός από την κύρια μέγιστη τον Νοέμβριο εμφανίζεται και μια δευτερεύουσα κατά τη διάρκεια του Μαρτίου ή Μαΐου, κυρίως λόγω των καταιγίδων που αναπτύσσονται στην περιοχή.

Ομάδα IV: Σε αυτήν την ομάδα εντοπίζονται οι περιοχές της κεντρικής πεδιάδας και τα ημιορεινά τμήματα και χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες ετήσιες βροχοπτώσεις (400 - 800mm) με το κύριο μέγιστο να εμφανίζεται τον Οκτώβριο ή τον Δεκέμβριο και παρουσιάζουν έντονη ξηρή καλοκαιρινή περίοδο.

Επίσης οι Nastos et al. (2015) στην έρευνά τους αποκαλύπτουν σημαντικές χωροχρονικές μεταβολές στις βροχοπτώσεις της Θεσσαλικής πεδιάδας και επισημαίνουν τις σημαντικές εποχικές αλλαγές για το εγγύς (2021-2050) και το απώτερο μέλλον (2071-2100). Όπου στο εγγύς μέλλον προβλέπεται μια μείωση των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων από -7,5 έως -5% με το μεγαλύτερο ποσοστό να εμφανίζεται την περίοδο του καλοκαιριού (-25% έως -7,5%), κυρίως στις ορεινές περιοχές. Ενώ αντίστοιχα για το απώτερο μέλλον προβλέπεται μια ακόμη μεγαλύτερη μείωση των βροχοπτώσεων, σχεδόν διπλάσια όπου θα εμφανίζονται επίσης οι υψηλότερες προβλεπόμενες μεταβολές κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (-45% έως -15%), έναντι του χειμώνα με χαμηλότερες μειώσεις της τάξης του -10%.

4.1.4. Γεωμορφολογία και Υδρογεωλογία

Η γεωμορφολογική εικόνα του ΥΔ αποτελείται από ορεινές περιοχές περιμετρικά και πεδινές στα κεντρικά τμήματα, με κύριες οροσειρές αυτές του Ολύμπου – Καμβουνίων στα βόρεια, της Όθρυος στα νότια, της Πίνδου στα δυτικά και του Πηλίου – Όσσας ανατολικά.

Όσον αφορά τις υδρογεωλογικές συνθήκες, η Θεσσαλική πεδιάδα χωρίζεται σε δυο βασικά και αυτοτελή συστήματα, της δυτικής και της ανατολικής πεδιάδας, αλλά αναπτύσσονται και υδροφόροι ορίζοντες τοπικής σημασίας που εκφορτίζονται από πηγές και καλύπτουν τοπικές ανάγκες νερού. Η δυναμικότητα των υπόγειων υδάτων ποικίλλει και εμφανίζει μεγάλες αποκλίσεις που εξαρτώνται από τη σύσταση του εδάφους και των πετρωμάτων, με τις τεταρτογενείς αποθέσεις, όπως αλλουβιακές αποθέσεις, υλικά αναβαθμίδων, και παράκτιους σχηματισμούς να καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος του πεδινού τμήματος και των δυο ΛΑΠ. Επίσης σημαντικό ρόλο στην πληρότητα των υδροφοριών έχουν το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων, ο βαθμός την τεκτονικής καταπόνησης των πετρωμάτων καθώς και το πάχος του μανδύα αποσάθρωσης.

Τέλος, όσον αφορά τη ΛΑΠ Αλμυρού – Πηλίου αναπτύσσονται υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες που επηρεάζονται από την διείσδυση του θαλασσινού νερού και το δυναμικό και η πληρότητά τους εξαρτώνται από την κοκκομετρία των αποθέσεων και από τις συνθήκες τροφοδοσίας.

4.1.5. Χρήσης γης και οικονομικές δραστηριότητες

Όσον αφορά τις χρήσεις γης όπως αυτές παρουσιάζονται από στοιχεία του ΟΠΕΚΕΠΕ (Εικ.4-5) για το έτος 2015, φαίνεται ότι υπάρχει μια ομοιομορφία στην κατανομή των χρήσεων γης για τις δυο ΛΑΠ του ΥΔ, με τις καλλιέργειες και τις δασικές εκτάσεις να κυριαρχούν και στα δυο τμήματα (Πίν.4-4).

Πίνακας 4-4: Κατηγορίες χρήσεων γης ΥΔ Θεσσαλίας.

Χρήσης γης	ΛΑΠ Πηνειού (EL0816)	ΛΑΠ Ρεμάτων Αλμυρού - Πηλίου (EL0817)
Αστικές	<1%	<1%
Βοσκότοποι	23%	11%
Καλλιέργειες	45%	34%
Δασικές	27%	52%
Δρόμοι/Υδατα	5%	2%

Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

Ο πρωτογενής τομέας αποτελεί έναν αρκετά καλά ανεπτυγμένο τομέα του διαμερίσματος, καθώς παράγει το 14,2% των πρωτογενών προϊόντων της χώρας, με κυριότερα προϊόντα τα σιτηρά και το βαμβάκι, αλλά αρκετά υψηλές ποσότητες και από ελαιόλαδο, αραβόσιτο και σπωροφόρους καρπούς, με κυρίαρχο το μήλο. Εξίσου ανεπτυγμένος είναι και ο κτηνοτροφικός τομέας με βασικότερη την εκτροφή προβάτων.

Ο δευτερογενής τομέας αποτελεί και αυτός έναν κλάδο με μεγάλη ανάπτυξη, που συγκεντρώνεται κυρίως στις δύο ΒΙ.ΠΕ. Λάρισας και Βόλου, όπου εκτός από την μεταλλουργική βιομηχανία του Βόλου που είναι από τις παλιότερες και μεγαλύτερες της χώρας, κατά κύριο λόγο απασχολούνται με την μεταποίηση και την τυποποίηση των προϊόντων του πρωτογενούς τομέα.

Τέλος, ο τριτογενής τομέας εμφανίζει και αυτός ανάλογη ανάπτυξη, καθώς η περιοχή αποτελεί κομβικό σημείο που ευνοεί το εμπόριο και τις μεταφορές, αλλά εξαιτίας και του τουριστικού κλάδου που είναι αρκετά ανεπτυγμένος, με την ανάδειξη πολλών περιοχών και μνημείων που αποτελούν πόλο έλξης για τους τουρίστες.

4.1.6. Προστατευόμενες Περιοχές

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και συγκεκριμένα με το ΠΔ 51/2007 (Παράρτημα V) έχει καταρτιστεί Εθνικό Μητρώο Προστατευόμενων Περιοχών, στο οποίο κατατάσσεται και το ΥΔ Θεσσαλίας και αποτυπώνονται όλες οι ευαίσθητες περιοχές που χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας για τους ακόλουθους λόγους:

- Προορίζονται για την άντληση υδάτων για την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών, όπου έχουν εντοπιστεί 7 υδατικά οικοσυστήματα.
- Προορίζονται για την προστασία υδρόβιων ειδών τα οποία έχουν οικονομική σημασία, με 9 υδατικά οικοσυστήματα.
- Αποτελούν περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ως ύδατα αναψυχής και ύδατα κολύμβησης, με 102 συνολικά περιοχές προστασίας.

- Αποτελούν περιοχές που εμφανίζουν ευαισθησία στην παρουσία των θρεπτικών συστατικών, με 6 ευαίσθητες περιοχές.
- Αποτελούν περιοχές που προορίζονται για την προστασία των οικοτόπων ή ειδών, με συνολικά 38 περιοχές Natura και 2 Εθνικά Πάρκα.



Εικόνα 4-5: Κατηγορίες χρήσεων γης του ΥΔ Θεσσαλίας.

Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

4.2. Υδατικοί Πόροι ΥΔ Θεσσαλίας

Οι υδατικοί πόροι της Ελλάδας βρίσκονται τις τελευταίες δεκαετίες σε κρίσιμο σημείο, όπου σύμφωνα με μελέτη των Tsesmelis et al. (2021) μέσω της εφαρμογής του Δείκτη Υποβάθμισης Υδατικών και Χερσαίων Πόρων (WLDI) έχουν εντοπιστεί οι περιοχές που διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο, ώστε με την εφαρμογή της ΟΔΥΠ να μετριαστούν οι επιπτώσεις αυτών των πιέσεων, αυξάνοντας την βιωσιμότητα των φυσικών πόρων. Συγκεκριμένα για τη Θεσσαλική Πεδιάδα οι διαθέσιμοι επιφανειακοί και υπόγειοι υδατικοί πόροι κατέχουν σημαντικό ρόλο στην αγροτική παραγωγή της περιοχής. Εξαιτίας της εντατικοποίησης του αγροτικού τομέα εμφανίζονται φαινόμενα υπερκατανάλωσης των υπόγειων υδάτων, με αποτέλεσμα μέσω της υπεράρδευσης των πόρων, ιδιαίτερα σε περιόδους ξηρασίας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η περιορισμένη διαθεσιμότητά τους, να δημιουργούνται πιο σοβαρά ζητήματα υποβάθμισης των υδάτων και του περιβάλλοντος γενικότερα.

Επίσης από την ίδια μελέτη αναδείχτηκε ότι η περιοχή της Θεσσαλίας παρουσιάζει μέτρια υποβάθμιση των φυσικών πόρων, όπου όμως η μέτρια κατηγορία αντιστοιχεί στην μέγιστη χωρική κατανομή της μείωσης των πόρων, αναδεικνύοντας τα προβλήματα της υποβάθμισης των υδάτων εξαιτίας της υπερβολικής χρήσης των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, καθώς και από την εισχώρηση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς. Αυτά τα ζητήματα σε συνδυασμό με τις παραλήψεις και καθυστερήσεις σε έργα εκμετάλλευσης και διαχείρισης των υδάτων, αλλά και σε έργα προστασίας των ποταμών έχουν ως αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, την μείωση των αποθεμάτων των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και τη συνολική υποβάθμιση της ποιότητας και ποσότητας των υδατικών πόρων της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλίας.

Επί προσθέτως σε έρευνα των Tsesmelis et al. (2022) διαπιστώθηκε ότι η υποβάθμιση των υδατικών πόρων κατά τόπους είναι μεγαλύτερη από την υποβάθμιση των χερσαίων πόρων, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλή γεωργική δραστηριότητα όπως η Θεσσαλία. Οι παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτή την υποβάθμιση είναι κυρίως η αύξηση του πληθυσμού, η εντατική αστικοποίηση και οι αλλαγές στις χρήσεις γης, που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του νερού σε τέτοιο βαθμό όπου τα αποθέματα να μην είναι σε θέση να καλύψουν τις αυξανόμενες απαιτήσεις ή να καταστούν μη εκμεταλλεύσιμα εξαιτίας της μόλυνσης και ρύπανσής τους. Με αποτέλεσμα να προκληθούν πιθανές συγκρούσεις μεταξύ των διαφορετικών χρηστών (αστική χρήση, άρδευση, βιομηχανία, κ.α.) για την πρόσβαση στον απαραίτητο υδατικό πόρο.

Στην περιοχή της Θεσσαλίας καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες υδάτων για αρδευτικούς σκοπούς, που αντιπροσωπεύουν το 21,7% της εθνικής κατανάλωσης, με τις συνολικές ετήσιες ανάγκες της περιοχής να κυμαίνονται σε 1,8δισ m^3 απ' όπου το 1,6δισ m^3 απαιτείται για την άρδευση (Πίν.4-5), ενώ η πραγματική κατάσταση κατανάλωσης νερού για τις ανάγκες της άρδευσης είναι πολύ διαφορετική και αντιστοιχεί σε 750εκ. m^3 (Margaris et al., 2006).

Πίνακας 4-5: Συνολικές ετήσιες ανάγκες νερού και πραγματική κατανάλωση νερού άρδευσης.

Ετήσιες ανάγκες νερού	Συνολικά	1,8δiz m³
	Οικιακή χρήση	136εκ. m ³
	Περιβαλλοντικές ανάγκες	100εκ. m ³
	Άρδευση	1600εκ. m ³
Πραγματική κατανάλωση νερού άρδευσης	Συνολικά	750εκ. m³
	Επιφανειακά ύδατα	200εκ. m ³ (26%)
	Υπόγεια ύδατα	550εκ. m ³ (74%)

Πηγή: Margaris et al., (2006)

Επίσης σε μελέτη των Soulis και Tsesmelis (2017) παρέχονται σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη διαχείριση των γεωργικών υδάτων, όπου μέσω της εφαρμογής υδρολογικού μοντέλου για περίοδο 26 ετών (1970-1996) εκτιμήθηκε η χωρική κατανομή των αναγκών για νερό άρδευσης σε όλη την Ελλάδα. Σύμφωνα με τη μελέτη, το ΥΔ της Θεσσαλίας αποτελεί μία περιοχή με υψηλές ανάγκες σε νερό άρδευσης. Συγκεκριμένα, ο πιθανός όγκος των αναγκών για νερό άρδευσης ανέρχεται σε 1335,5hm³ κατατάσσοντας την περιοχή στην πρώτη θέση με ιδιαίτερα αυξημένες ανάγκες άρδευσης συγκριτικά με τα υπόλοιπα ΥΔ της Ελλάδας.

Μια καινοτόμα προσέγγιση της κυκλικής διαχείρισης των υδάτων για την κάλυψη των αυξημένων αρδευτικών αναγκών μπορεί να αποτελέσει η MAR (Managed Aquifer Recharge), όπου μέσω της αποθήκευσης των περισσειών επιφανειακών υδάτων που αποθηκεύονται στους υδροφορείς, κατά του μήνες με αυξημένες βροχοπτώσεις και τη χρήση τους σε περιόδους ξηρασίας, μπορούν να προσφέρουν αρκετά οφέλη για την άρδευση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων της Θεσσαλίας (Rawluk, et al., 2013).

Αντιθέτως ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ακατάλληλης διαχείρισης και υποβάθμισης του περιβάλλοντος αποτελεί σύμφωνα με τους Margaris et al. (2006) η αποξήρανση της λίμνης Κάρλας, που μέχρι το 1962 αποτελούσε ένα πολύ σημαντικό υδάτινο οικοσύστημα της Θεσσαλίας με μέγεθος περίπου 20km², που είχε μεγάλη ετήσια παραγωγή ψαριών και αποτελούσε έναν από τους σημαντικότερους ευρωπαϊκούς υδροβιότοπους, καθώς φιλοξενούσε πάνω από 1.000.000 υδρόβια πτηνά.

Ο λόγος της αποξήρανσης της Κάρλας αφορούσε στην απόδοση περισσότερης έκτασης για καλλιέργειες, καθώς και στην εξάλειψη της ελονοσίας. Αντ' αυτού όμως μεταβλήθηκε ο υδρολογικός κύκλος της ευρύτερης περιοχής, με αποτέλεσμα την μείωση των αποθεμάτων των υπόγειων υδάτων και την υποβάθμιση της ποιότητας των υδατικών οικοσυστημάτων, καθώς επίσης και στην απομάκρυνση των υδρόβιων πτηνών από την περιοχή.

Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός πως κατά τη διάρκεια των έντονων πλημμυρικών φαινομένων που συνέβησαν το Σεπτέμβριο του 2023 με την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου 'Daniel' στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας, η λίμνη της Κάρλας αναγεννήθηκε φυσικά εξαιτίας του υπερβολικού όγκου των όμβριων υδάτων, με αποτέλεσμα να ξεπεράσει το αρχικό της μέγεθος (Εικ.4-6).



Εικόνα 4-6: Εξέλιξη της Λίμνης Κάρλας.

Πηγή: MeteoGr, (2024)

Επίσης ένας βασικός παράγοντας που αξίζει να αναφερθεί καθώς θα διαδραματίσει βασικό ρόλο στους υδατικούς πόρους της Θεσσαλίας αφορά στην κλιματική αλλαγή, όπου σύμφωνα με τις μελλοντικές προβλέψεις αναμένεται να αυξηθούν τα περιστατικά των έντονων βροχοπτώσεων, με αποτέλεσμα να αυξηθούν και οι αιφνίδιες πλημμύρες, εξαιτίας της γεωγραφίας της περιοχής. Επίσης σύμφωνα με τα μελλοντικά σενάρια προβλέπεται μια αύξηση της τάξης του 5-10% στις συνολικές βροχοπτώσεις της Θεσσαλίας, με αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 20% την περίοδο του φθινοπώρου και μείωση κατά τους χειμερινούς μήνες (Lagarias, 2025).

Συνεπώς, η κλιματική αλλαγή θα αποτελέσει έναν βασικό παράγοντα που θα μεταβάλλει τον υδρολογικό κύκλο της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλίας, και θα συμβάλλει στην αλλαγή της διαθεσιμότητας των αποθεμάτων των υδατικών πόρων, με τις επακόλουθες αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον και την κοινωνία της περιοχής.

4.3. Ιστορικές Πλημμύρες

Η Θεσσαλική πεδιάδα βρίσκεται στην Κεντρική Ελλάδα, περιβάλλεται από μεγάλα βουνά (Πίνδος, Όλυμπος) και την διασχίζει ο Πηνειός ποταμός μαζί με τους παραπόταμούς του, με μοναδική έξοδο ροής των νερών στο Αιγαίο Πέλαγος διαμέσου της κοιλάδας των Τεμπών. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την μικρή κλίση της πεδιάδας, μικρότερη από 5%, έχει ως αποτέλεσμα οι υψηλές βροχοπτώσεις των ορεινών τμημάτων να οδηγούν σε πλημμυρικά επεισόδια στα πεδινά τμήματα των ποταμών (Lagarias, 2025).

Τα πλημμυρικά φαινόμενα στο ΥΔ της Θεσσαλίας εμφανίζονται από την αρχαιότητα, και κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα όπου έχουν λάβει χώρα πολλές μεταρρυθμίσεις κυρίως στον αγροτικό τομέα, είχαν ως αποτέλεσμα την μεταβολή του υδρολογικού κύκλου του διαμερίσματος και την δραστική υποβάθμιση της ανθεκτικότητας της ευρύτερης περιοχής στις πλημμύρες (Lagarias, 2025).

Επίσης τον 20^ο αιώνα έγιναν πολλές αλλαγές στις χρήσεις γης της Θεσσαλίας με την αύξηση του πληθυσμού ιδιαίτερα στην πόλη της Λάρισας, όπου εμφανίζεται αύξηση πάνω από 400% κατά το διάστημα από το 1940 έως το 2011. Αυτή η πληθυσμιακή μεγέθυνση είχε ως αποτέλεσμα την εντατικοποίηση της καλλιέργειας στην περιοχή και την αύξηση των καλλιεργητικών εκτάσεων, αλλάζοντας με τον τρόπο αυτό τις χρήσεις γης και περιορίζοντας την φυσική βλάστηση. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις ανθρώπινες παρεμβάσεις που έλαβαν χώρα, όπως οι εκτροπές των ποταμών είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάλογη αύξηση των πλημμυρικών επεισοδίων, που επιβεβαιώνει πως οι αυξημένες ανθρώπινες παρεμβάσεις ήταν υπεύθυνες για μεγάλο αριθμό πλημμυρικών φαινομένων (Evelpidou et al., 2023). Στη συνέχεια στον ακόλουθο πίνακα (Πιν.4-6) περιγράφονται επιγραμματικά οι κυριότερες σημαντικές πλημμύρες της Θεσσαλίας κατά τον 20^ο και 21^ο αιώνα σύμφωνα με τον Νημά (2023).

Πίνακας 4-6: Κυριότερα πλημμυρικά φαινόμενα του ΥΔ Θεσσαλίας την χρονική περίοδο 1900-2023.

Ημερομηνία	Περιοχή	Περιγραφή Συμβάντος
16 Νοεμβρίου 1901	Ν. Λάρισας	Έντονες βροχοπτώσεις οδήγησαν στην υπερχειλίση του Πηνειού και στην επακόλουθη κάλυψη με νερά μεγάλων εκτάσεων.
4-5 Ιουνίου 1907	Ν. Τρικάλων	Υπερχειλίση του ποταμού Ληθαίου, όπου πλημμύρισε η ευρύτερη περιοχή, καθώς και η πόλη των Τρικάλων, με πολύ μεγάλο αριθμό θυμάτων, υπολογίζονται από 200 έως 300 θανάτους και πολλές υλικές ζημιές και καταρρεύσεις κτιρίων.
20 Σεπτεμβρίου 1908	Ν. Λάρισας	Μεγάλη πλημμύρα κατέκλυσε περιοχές της Λάρισας.
13 Οκτωβρίου 1955	Ν. Μαγνησίας	Πλημμύρισε η πόλη του Βόλου εξαιτίας της υπερχειλίσης του χειμάρρου του Άναυρου, με το θάνατο 27 ανθρώπων και πολλές υλικές ζημιές και καταστροφές κτιρίων.
5 Νοεμβρίου 1986	Ν. Μαγνησίας	Πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή της Ζαγοράς Πηλίου, με πολλές υλικές ζημιές και απώλειες σε οικίες.
21 Οκτωβρίου 1994	Ν. Καρδίτσας	Έντονα πλημμυρικά φαινόμενα προκάλεσαν υλικές απώλειες στην Καρδίτσα και ιδιαίτερα στο χωριό Μεταμόρφωση το οποίο καλύφθηκε ολόκληρο στο νερό.
Οκτώβριος 2006	Ν. Μαγνησίας	Η πόλη του Βόλου επλήγη από μεγάλη πλημμύρα και κηρύχθηκε σε κατάσταση 'εκτάκτου ανάγκης'. Ομοίως μεγάλες ζημιές υπέστησαν και άλλες περιοχές όπως η Αγριά και το Χόρτο.
10 Δεκεμβρίου 2009	Ν. Μαγνησίας	Πλημμυρικά φαινόμενα εκδηλώθηκαν στον Βόλο εξαιτίας των ανεπαρκών αντιπλημμυρικών έργων.
19 Σεπτεμβρίου 2020	Θεσσαλία	Πολύ έντονα πλημμυρικά φαινόμενα έπληξαν την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας και ιδιαίτερα τον Ν. Καρδίτσας, με την πόλη της Καρδίτσας και χωριά στον Παλαμά και τα Φάρσαλα να πλημμυρίζουν και το χωριό Μεταμόρφωση να καλύπτεται ολόκληρο από τα νερά.
6 Σεπτεμβρίου 2023	Ν. Μαγνησίας	Μεγάλη πλημμύρα έπληξε την πόλη του Βόλου με την υπερχειλίση του χειμάρρου του Κραυσίδωνα

		να προκαλεί πολλές υλικές καταστροφές, αλλά επίσης επλήγησαν και πολλά χωριά του Πηλίου.
5-7 Σεπτεμβρίου 2023	Θεσσαλία	Οι έντονες βροχοπτώσεις των δύο ημερών συνέβαλαν στην υπερχείλιση του Πηνειού και των παραποτάμων του και μαζί με την κατάρρευση πολλών φραγμάτων συντέλεσαν στην πλημμύρα πολλών περιοχών των Ν. Καρδίτσας και Τρικάλων, μερικά από τα οποία βυθίστηκαν ολόκληρα στα νερά. Οι πλημμύρες αυτές ευθύνονται για το θάνατο 11 ανθρώπων, για την απώλεια πολλών εκτρεφόμενων ζώων, για πολλές υλικές ζημιές και καταστροφές, καθώς και για την υποβάθμιση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Επίσης πλημμύρισε η πόλη της Λάρισας και πολλά χωριά νοτίως αυτής, και προκλήθηκαν πολλές καταστροφές. Χαρακτηριστικό του μεγέθους των πλημμυρικών επεισοδίων είναι η πλημμύρα τμημάτων της εθνικής οδός Αθηνών – Θεσσαλονίκης και Λαρίσης – Τρικάλων
27 Σεπτεμβρίου 2023	Ν. Λάρισας	Εξαιτίας έντονης βροχόπτωσης που έπληξε την περιοχή πολλά χωριά του Ν. Λαρίσης πλημμύρισαν προκαλώντας πολλές υλικές απώλειες και καταστροφές στις καλλιέργειες.
Τέλη Σεπτεμβρίου 2023	Ν. Μαγνησίας	Νέα πλημμυρικά φαινόμενα έπληξαν τον Βόλο εξαιτίας της υπερχείλισης του χειμάρρου Κραυσίδωνα. Επίσης επλήγησαν η περιοχή της Ν. Ιωνίας, της Αγριάς και των Αλυκών με την πρόκληση πολλών υλικών ζημιών.

Πηγή: Νημάς, (2023)

Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργηθεί μια διαδικτυακή βάση δεδομένων για την αποτύπωση των πλημμυρικών φαινομένων, όπου απεικονίζονται οι περιοχές της Ελλάδας που έχουν πληγεί από πλημμύρες για περίοδο 136 χρόνων που αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα από το 1886 έως το 2022 ([Greek Floods Web Map](#), n.d.). Συγκεκριμένα έχουν καταγραφεί 1994 πλημμυρικά επεισόδια για την Ελλάδα, όπου για το κάθε ένα εμφανίζονται και ορισμένα χαρακτηριστικά του, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, όπως η διάρκεια και το ύψος της βροχόπτωσης καθώς και ο ενδεχόμενος αριθμός των θυμάτων. Η βάση αυτή αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο καθώς προσφέρει στατιστικά στοιχεία σχετικά με την εποχικότητα, την χωρική και χρονική κατανομή των πλημμυρών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους υπεύθυνους φορείς για την βέλτιστη διαχείριση των πλημμυρικών επεισοδίων καθώς και για την ανάλυση του κινδύνου πλημμύρας.

Σύμφωνα με το ΥΠΕΝ έχουν καταγραφεί 200 ιστορικά πλημμυρικά συμβάντα τις τελευταίες δεκαετίες στο ΥΔ Θεσσαλίας, από τα οποία τα 145 αντιστοιχούν στη ΛΑΠ του Πηνειού και τα 55 στη ΛΑΠ Αλμυρού – Πηλίου. Για τον ορισμό των σημαντικών πλημμυρών έχουν οριστεί κάποια κριτήρια, έτσι ώστε οι πλημμύρες να μπορούν να καταταχθούν σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με τις επιπτώσεις τους, από χαμηλή, μέση, υψηλή έως πολύ υψηλή, όπως παρουσιάζεται και στον ακόλουθο Πίνακα 4-7.

Σύμφωνα με αυτή την κατάταξη του ΥΠΕΝ χαρακτηρίζονται ως σοβαρές πλημμύρες αυτές οι οποίες εμπίπτουν σε τουλάχιστον ένα από τα κριτήρια για τις κατηγορίες 'Υψηλή' και 'Πολύ Υψηλή'. Με τον τρόπο αυτό έχουν εντοπιστεί 20 πλημμύρες με 'Πολύ υψηλή' σημαντικότητα και 15 με 'Υψηλή' σημαντικότητα που απεικονίζονται στην Εικόνα 4-7.

Πίνακας 4-7: Κατηγορίες σημαντικότητας για τις ιστορικές πλημμύρες.

Σημαντικότητα	Αριθμός συμβάντων	Ανθρώπινα θύματα	Αποζημίωση (ευρώ)	Έκταση (στρέμ.)
Χαμηλή			<50.000	<2.000
Μέση			50.000-200.000	2.000-5.000
Υψηλή	15		200.000-500.000	5.000-10.000
Πολύ υψηλή	20	>=1	>500.000	>10.000

Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018



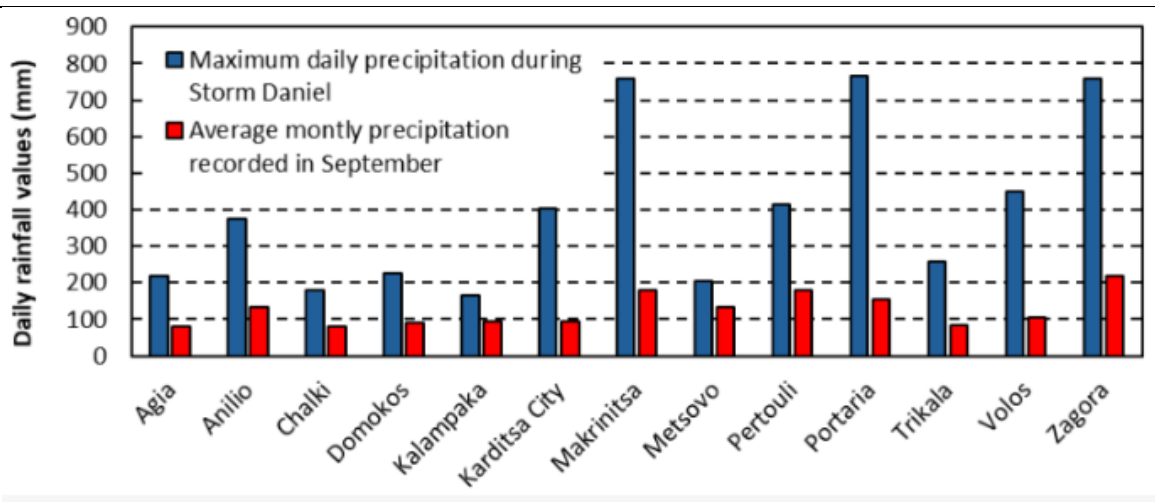
Εικόνα 4-7: Χωρική αποτύπωση των ιστορικών και σημαντικών πλημμυρικών συμβάντων του ΥΔ Θεσσαλίας.

Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

4.3.1. Πλημμυρικό φαινόμενο 'Daniel'

Στις αρχές Σεπτεμβρίου του 2023 δημιουργήθηκε ένα καιρικό μοτίβο στην Ευρώπη, γνωστό ως Ωμέγα μπλοκ (Omega block), το οποίο οδήγησε σε ακραίες καιρικές συνθήκες σε πολλές χώρες. Ο κυκλώνας 'Daniel' όπως ονομάστηκε έπληξε και την Ελλάδα και συγκεκριμένα την Θεσσαλία, με ακραία φαινόμενα βροχοπτώσεων που ξεπέρασαν τα 600mm σε εκτεταμένες περιοχές σε διάστημα 5 ημερών, οδηγώντας σε εκτενείς πλημμύρες με καταστροφικές συνέπειες (Lagarías, 2025).

Ενδεικτικές της σοβαρότητας του πλημμυρικού συμβάντος είναι οι ημερήσιες βροχοπτώσεις από διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής της Θεσσαλίας μεταξύ των ημερών 4 – 7 Σεπτεμβρίου, όπου τα χωριά του Πηλίου, Ζαγορά και Μακρυνίτσα, κατέγραψαν υψηλές τιμές ρεκόρ βροχοπτώσεων, 1096mm και 1235mm αντίστοιχα, τιμές που είναι πολύ υψηλότερες από τις μέσες μηνιαίες ή τιμές βροχοπτώσεων, όπως αποτυπώνονται και στην Σχήμα 4-1 (Tsinidis & Koutas, 2025).



Σχήμα 4-1: Σύγκριση μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης και μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του Daniel, σε διαφορετικούς μετεωρολογικούς σταθμούς .

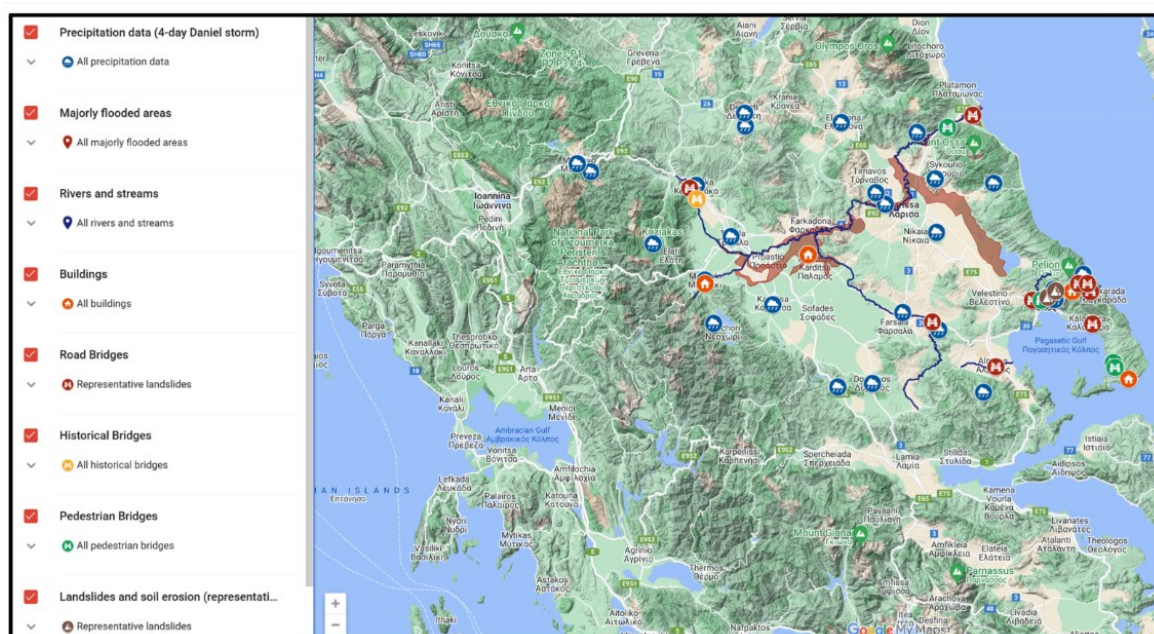
Πηγή: Tsinidis & Koutas, (2025)

Η πλημμύρα του 'Daniel' είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο 17 ανθρώπων, πολλές υλικές ζημιές σε υποδομές και περιουσίες, κατολισθήσεις καθώς και την πλημμύρα μεγάλων γεωργικών εκτάσεων. Η πλημμυρισμένη περιοχή αντιστοιχούσε σε 1150km² από τα οποία το 70% περίπου αναλογούσε σε γεωργικές καλλιέργειες (~ 730km²) (Lagarias, 2025). Σύμφωνα με μελέτη των Tsinidis και Koutas (2025) το πλημμυρικό φαινόμενο του Daniel προκάλεσε επίσης πολλές υλικές απώλειες στο δομημένο περιβάλλον, οι οποίες επιγραμματικά αναφέρονται σε:

- Ζημιές σε κτίρια, που αφορούσαν είτε σε δομικές ζημιές κτιρίων με την μερική ή ολική κατάρρευσή τους ή την καθίζησή τους, είτε απώλειες εξαιτίας της πλημμύρας των εσωτερικών των κτιρίων και της καταστροφής πολλών οικιακών συσκευών, επίπλων και εξοπλισμού.
- Ζημιές στο οδικό δίκτυο, με την καταστροφή τόσο των τοπικών οδικών δικτύων όσο και τμημάτων της Εθνικής Οδού Αθηνών – Θεσσαλονίκης που πλημμύρισε για αρκετές ημέρες με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κυκλοφοριακές διαταραχές.
- Ζημιές σε γέφυρες, όπως οδικές γέφυρες, πεζογέφυρες και ιστορικές γέφυρες, με την εμφάνιση σημαντικών ζημιών σε τμήματά τους ή την ολική κατάρρευσή τους.
- Κατολισθήσεις και διαβρώσεις του εδάφους, οι οποίες εμφανίστηκαν κυρίως σε ορεινές περιοχές, όπως το Πήλιο και προκλήθηκαν κυρίως από τον σημαντικό κορεσμό του εδάφους ή εξαιτίας της απόφραξης των ποταμών από συντρίμια και φερτά υλικά, με αποτέλεσμα να οδηγήσουν σε ζημιές στα οδικά δίκτυα.
- Ζημιές σε δημόσια κτίρια, με μεγάλο αριθμό σχολείων να έχει υποστεί πολλές καταστροφές. Σε τεχνικά έργα και υποδομές, με πληθώρα έργων να εμφανίζουν ζημιές καθώς και καταστροφές του σιδηροδρομικού δικτύου, όπου επηρεάστηκαν συνολικά 180χλμ.

Ενώ, ακραίες ήταν και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του φαινομένου ‘Daniel’, όπως η διάβρωση του εδάφους, η εναπόθεση ιζημάτων και φερτών υλών καθώς και η μόλυνση του νερού, οι διαταραχές και η ρύπανση των θαλασσίων οικοσυστημάτων αλλά και η περιβαλλοντική υποβάθμιση και ρύπανση των φυσικών οικοσυστημάτων και του γλυκού νερού (Lagarias, 2025).

Οι Tsinidis και Koutas (2025) στα πλαίσια της έρευνας τους αποτύπωσαν σε έναν διαδραστικό χάρτη (Εικ.4-8) τις προαναφερόμενες περιπτώσεις δομικών ζημιών και καταστροφών, ώστε να παρέχονται με εύκολο τρόπο οι χωρικές επιπτώσεις αυτής της ακραίας πλημμύρας στο δομημένο περιβάλλον.



Εικόνα 4-8: Στιγμιότυπο διαδραστικού χάρτη που αποτυπώνει τις χωρικές επιπτώσεις της πλημμύρας του Daniel.

Πηγή: Πηγή: Tsinidis και Koutas, (2025),

4.4. Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας

Για κάθε ΥΔ ορίζονται κάποιες περιοχές ως «Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ)» οι οποίες αναφέρονται στις γεωγραφικές περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να εκδηλωθεί πλημμύρα. Οι ΖΔΥΚΠ ορίζονται συνδυάζοντας τα αποτελέσματα των περιοχών όπου υπάρχει η πιθανότητα να συμβεί κάποιο πλημμυρικό επεισόδιο και των περιοχών όπου θα υπάρχουν δυνητικά σοβαρές επιπτώσεις από την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων .

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/ΕΚ οι ΖΔΥΚΠ ορίζονται ως: «οι περιοχές για τις οποίες τα κράτη μέλη συμπεραίνουν ότι υπάρχουν δυνητικά σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή ότι είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα.» Επιγραμματικά οι γεωγραφικές περιοχές που ενδέχεται να εμφανίσουν αρνητικές

συνέπειες από κάποια μελλοντική πλημμύρα είναι αυτές που περιέχουν επιπτώσεις σε κάποια κατηγορία από τις ακόλουθες :

- Ανθρώπινη υγεία, που περιλαμβάνει τις κατοικημένες περιοχές, τις πόλεις και τους οικισμούς.
- Οικονομική δραστηριότητα, όπου ανήκουν οι βιομηχανικές και οι εμπορικές ζώνες, καθώς και οι γεωργικές εκτάσεις που έχουν σημαντική οικονομική αξία παραγωγής.
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που εμπεριέχουν τις προστατευόμενες περιοχές, καθώς και τις παραγωγικές μονάδες οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν ρύπανση σε περίπτωση εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου.
- Πολιτιστική κληρονομιά, που περιλαμβάνουν τα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς.
- Επιπτώσεις στις οδικές υποδομές, τα τεχνικά έργα, τα νοσοκομεία, τα φράγματα.

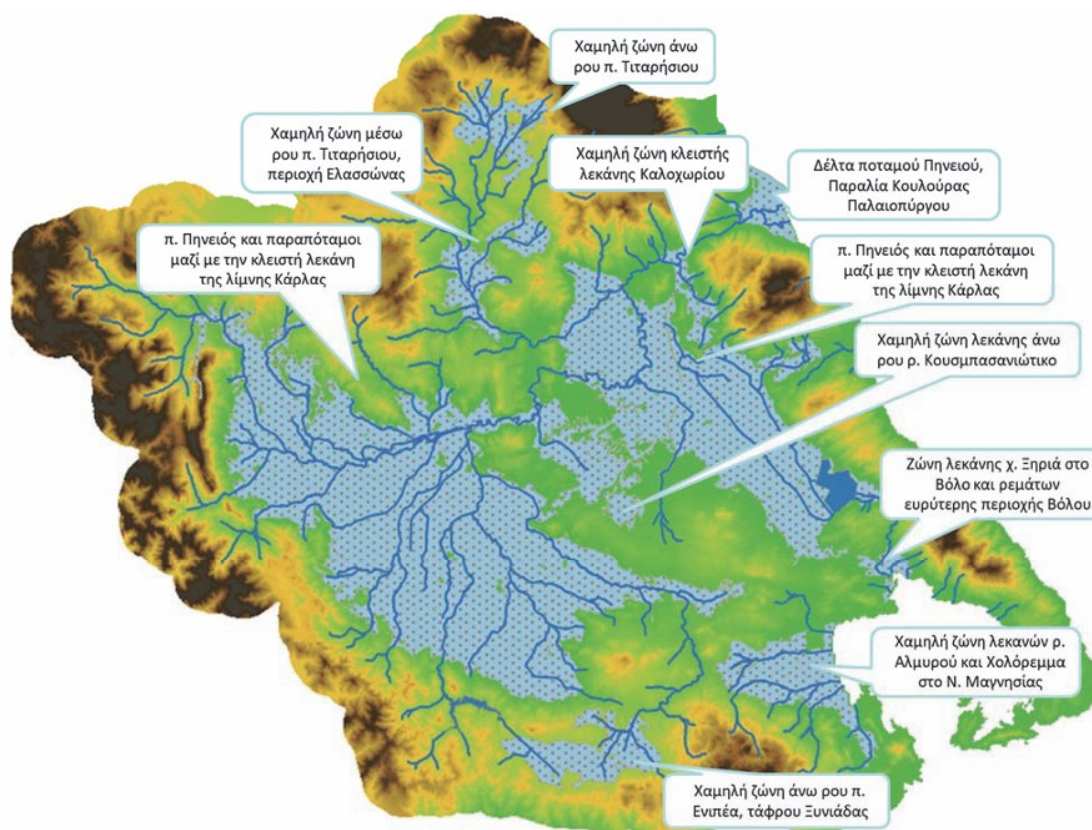
Στη συνέχεια στον Πίνακα 4-8 παρουσιάζονται οι 9 ΖΔΥΚΠ του ΥΔ Θεσσαλίας, μαζί με κάποια χαρακτηριστικά τους και στην Εικόνα 4-9 αποτυπώνονται οι ίδιες ΖΔΥΚΠ σε χάρτη για την ευκολότερη απεικόνισή τους, όπως έχουν οριστεί από ΥΠΕΝ και έχουν εφαρμοστεί στους Χάρτες Επικινδυνότητας Πλημμύρας του ΥΔ.

Πίνακας 4-8: Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας για το ΥΔ Θεσσαλίας.

Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (km ²)	Ποσοστό επί του συνόλου
Π. Πηνειός και οι παραπόταμοί του μαζί με τη κλειστή λεκάνη της λίμνης Κάρλας.	GR08RAK0003	3.353	25,1%
Χαμηλή ζώνη κλειστής λεκάνης Καλοχωρίου	GR08RAK0004	54	0,4%
Δέλτα Πηνειού, παραλία Κουλούρας – Παλαιοπύργου	GR08RAK0006	69	0,5%
Χαμηλή ζώνη μέσω ρου π. Τιταρήσιου, περιοχή Ελασσώνας	GR08RAK0005	137	1,0%
Χαμηλή ζώνη μέσω ρου π. Τιταρήσιου	GR08RAK0007	113	0,8%
Χαμηλή ζώνη λεκάνης άνω ρου ρ. Κουσμπασανιώτικο	GR08RAK0002	27	0,2%
Χαμηλή ζώνη άνω ρου π. Ενιπέα, τάφρου Ξυνιάδας	GR08RAK0001	173	1,3%
Χαμηλή ζώνη λεκανών ρ. Αλμυρού και Χολόρεμμα στο Ν. Μαγνησίας	GR08RAK0008	215	1,6%

Ζώνη λεκάνης χ. Ξηριά στο Βόλο και ρεμάτων ευρύτερης περιοχής Βόλου1	GR08RAK0009	31	0,2%
ΣΥΝΟΛΟ ΖΔΥΚΠ		4.172	31,2%
ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ		13.377	100%

Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018



Εικόνα 4-9: Χωρική αποτύπωση των Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας για το ΥΔ Θεσσαλίας.

Πηγή: Υπ. Απόφαση 41377/329. ΦΕΚ Β' 2685/06.07.2018

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

Αποτελέσματα

5.1. Θεματικοί Χάρτες

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της εργασίας που αφορούν στην δημιουργία των θεματικών χαρτών του ΥΔ Θεσσαλίας όπου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από παγκόσμιους και ευρωπαϊκούς οργανισμούς και μέσω της κατάλληλης επεξεργασίας με το πρόγραμμα ArcGIS Pro είχαν ως αποτέλεσμα την αποτύπωση σε χάρτες των επιλεγόμενων κριτηρίων που θεωρούνται βασικά για την ΠΤ της περιοχής μελέτης.

5.1.1. Χάρτης Υψομέτρου

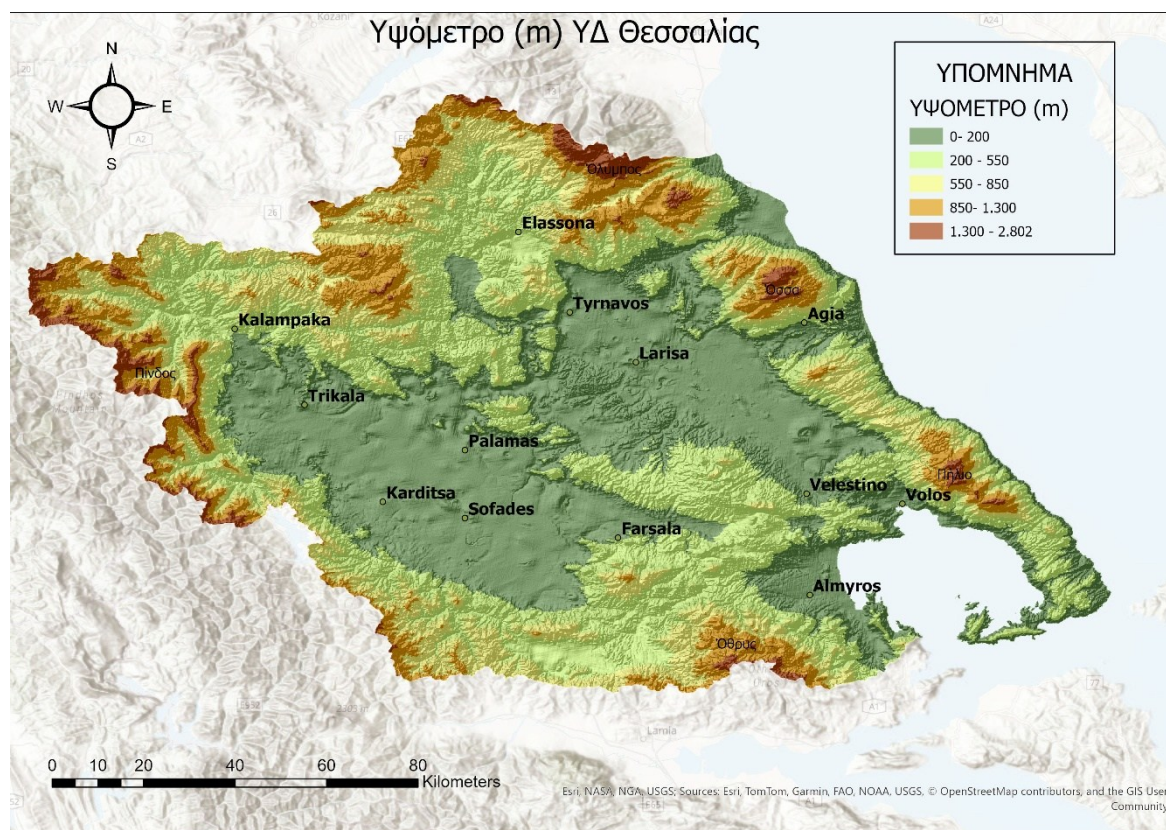
Όσον αφορά το υψόμετρο αποτελεί έναν από τους κρίσιμότερους παράγοντες για την ΠΤ, καθώς οι πεδινές περιοχές είναι πιο ευάλωτες στα πλημμυρικά φαινόμενα. Όπως φαίνεται και από τον χάρτη της υψομετρικής κατανομής του ΥΔ της Θεσσαλίας (Εικ.5-1) η περιοχή της Θεσσαλίας κεντρικά αποτελείται από μια εκτενή πεδιάδα που περιλαμβάνει και τις περισσότερες πόλεις και οικισμούς και περιμετρικά περιβάλλεται από ημιορεινές και ορεινές περιοχές.

Συγκεκριμένα η πεδινή περιοχή που απεικονίζεται με σκούρο πράσινο χρώμα αντιστοιχεί στην Θεσσαλική πεδιάδα και περιλαμβάνει περιοχές με μέγιστο υψόμετρο 200m., οι οποίες στην πλειονότητά τους σχετίζονται με γεωργικές περιοχές και καλλιέργειες, καθώς και με αστικές περιοχές.

Στη συνέχεια περιμετρικά του Θεσσαλικού κάμπου αναπτύσσονται ζώνες με μεγαλύτερο υψόμετρο (έως 550m) που αποτυπώνονται με ανοιχτό πράσινο χρώμα και αφορούν λοφώδεις περιοχές. Επίσης με κίτρινο χρώμα διαφαίνονται οι ημιορεινές περιοχές που έχουν υψόμετρο έως 850m και περιβάλλουν τη Θεσσαλική πεδιάδα αποτελώντας τις μεταβατικές ζώνες μεταξύ των πεδινών και ορεινών περιοχών. Τέλος διακρίνονται οι ορεινές περιοχές με ανοιχτό καφέ χρώμα και υψόμετρο έως 1300m, οι οποίες βρίσκονται κυρίως στα βόρεια και δυτικά του ΥΔ της Θεσσαλίας, όπως επίσης αποτυπώνονται και με σκούρο καφέ χρώμα οι κορυφές των ορεινών όγκων που έχουν υψόμετρο μεγαλύτερο από 1300m και απεικονίζουν στα βόρεια τον Όλυμπο, δυτικά την Πίνδο, νότια την Όθρυς και ανατολικά το Πήλιο και την Όσσα.

Συνολικά, ο χάρτης της υψομετρικής κατανομής του ΥΔ της Θεσσαλίας αναδεικνύει το έντονο γεωμορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής μελέτης, με μια εκτεταμένη πεδινή περιοχή κεντρικά που περιβάλλεται περιμετρικά από ορεινούς όγκους, γεγονός που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τον υδρολογικό κύκλο του νερού, τις περιβαλλοντικές διεργασίες της περιοχής, καθώς επίσης έχει καθοριστικό ρόλο στις

χρήσεις γης επηρεάζοντας σημαντικά τις κοινωνικές και οικονομικές λειτουργίες της περιοχής.



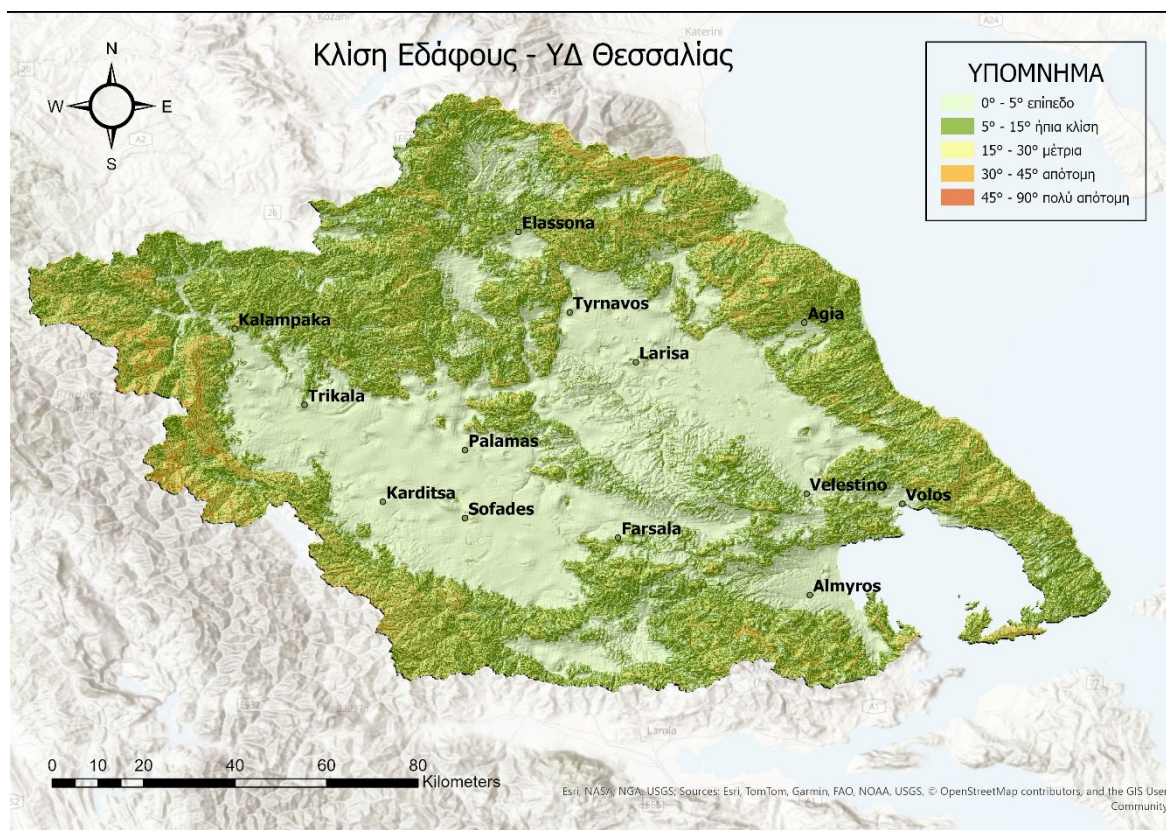
Εικόνα 5-1: Χάρτης Υψομέτρου ΥΔ Θεσσαλίας.

5.1.2. Χάρτης Κλίσεων

Η κλίση του εδάφους αποτελεί και αυτή έναν σημαντικό παράγοντα της ΠΤ της περιοχής καθώς επηρεάζει την επιφανειακή απορροή των υδάτων, την ταχύτητα κίνησης του νερού και τη διαδικασία διάβρωσης του εδάφους. Όπως αποτυπώνεται και στον χάρτη της κλίσης εδάφους του ΥΔ της Θεσσαλίας (Εικ.5-2) η κλίση του εδάφους μετρίεται σε μοίρες και σε γενικές γραμμές ακολουθεί το πρότυπο της υψομετρικής κατανομής της περιοχής μελέτης.

Διαχωρίζεται σε πέντε κατηγορίες από επίπεδες επιφάνειες με μηδενική κλίση έως πολύ απότομες περιοχές με κλίση μεγαλύτερη των 45°. Αναλυτικότερα οι μικρότερες κλίσεις, που απεικονίζονται με ανοιχτό πράσινο χρώμα (έως 5°) εμφανίζονται στην Θεσσαλική πεδιάδα, ενώ αντίθετα οι μεγάλες και απότομες κλίσεις έως 45° εμφανίζονται στις κατωφέρεις των ορεινών όγκων και διακρίνονται από το πορτοκαλί τους χρώμα, επίσης οι πολύ απότομες κλίσεις εδάφους (>45°) αντιστοιχούν στις κορυφές των ορεινών όγκων.

Στις μεταβατικές ζώνες μεταξύ των πεδινών και ορεινών περιοχών αντιστοιχούν οι ενδιάμεσες ήπιες και μέτριες κλίσεις εδάφους (5°-30°), πράσινο και κίτρινο χρώμα του χάρτη, αποτυπώνοντας την ομαλή μετάβαση του υψομετρικού αναγλύφου της περιοχής.



Εικόνα 5-2: Χάρτης Κλίσεων Εδάφους ΥΔ Θεσσαλίας.

5.1.3. Χάρτης Μέσης Ετήσιας Βροχόπτωσης

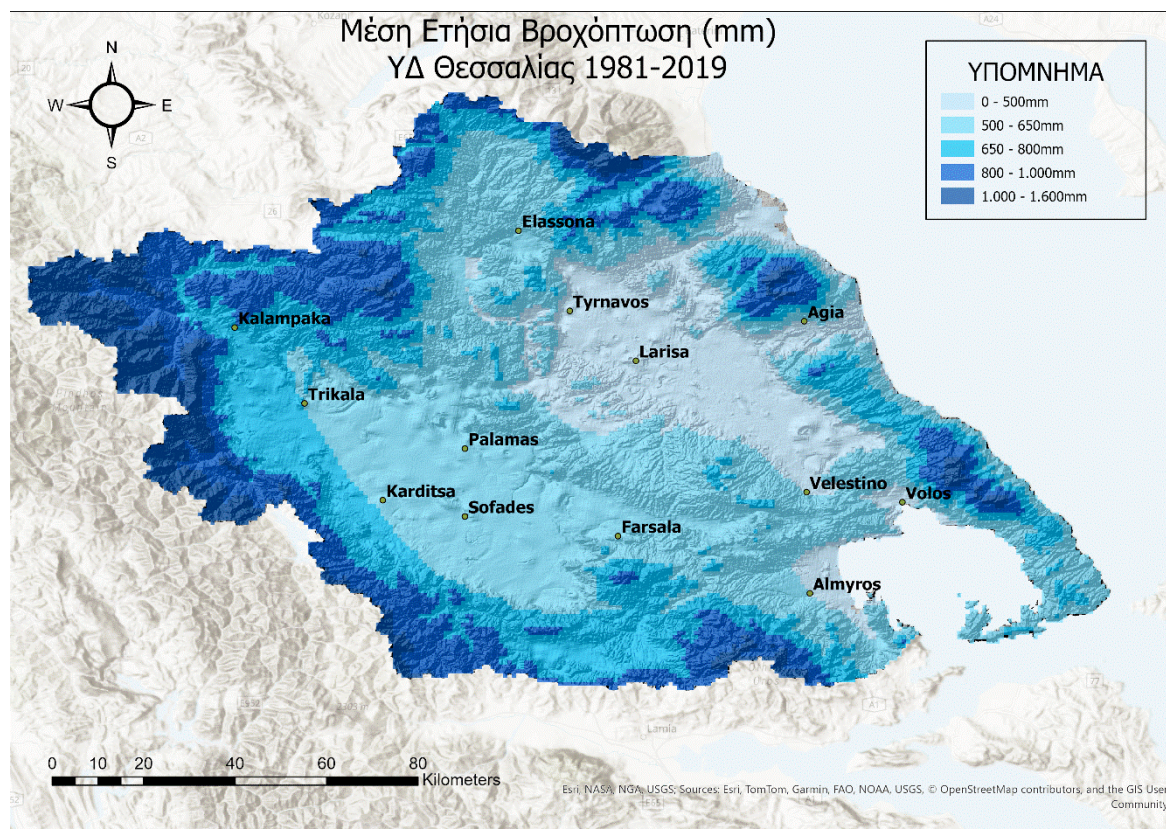
Η βροχόπτωση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους φυσικούς παράγοντες που έχουν καθοριστικό ρόλο στην εμφάνιση των πλημμυρικών φαινομένων και επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ΠΤ μιας περιοχής. Στον ακόλουθο χάρτη απεικονίζεται η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) του ΥΔ της Θεσσαλίας για το χρονικό διάστημα 1981- 2019 (Εικ.5-3). Για την καλύτερη απεικόνισή της έχουν δημιουργηθεί πέντε κατηγορίες τιμών που κυμαίνονται από πολύ χαμηλά μέσα ετήσια ύψη βροχοπτώσεων (<500mm) έως πολύ υψηλά μέσα ετήσια ύψη βροχοπτώσεων (>1000mm).

Συγκεκριμένα οι χαμηλότερες τιμές μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (<500mm) εμφανίζονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας και περιλαμβάνουν την πόλη της Λάρισας και τις περιφερειακές περιοχές της. Ομοίως στο δυτικό τμήμα της πεδιάδας εμφανίζονται επίσης χαμηλές μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις (έως 650mm), ενώ υψηλότερες μέσες ετήσιες τιμές (650-800mm) εμφανίζονται στις ημιορεινές περιοχές και τέλος οι μεγαλύτερες μέσες ετήσιες τιμές (>800mm) εντοπίζονται στις ορεινές περιοχές κυρίως στα δυτικά της περιοχής μελέτης μας.

Από την ανάλυση του χάρτη διαπιστώνεται η ύπαρξη προτύπων χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων που υποδηλώνουν την σημαντική επίδραση του

ανάγλυφου και της τοπογραφίας της περιοχής στην μέση ετήσια βροχόπτωση και στην κατανομή των κατακρημνισμάτων.

Επίσης από την χωρική αποτύπωση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω χάρτη, υποδηλώνεται μια σημαντική ανομοιογένεια στην κατανομή των βροχοπτώσεων επηρεάζοντας τους συνολικούς υδατικούς πόρους της περιοχής με άμεσες επιπτώσεις στη διαχείριση των υδάτων της περιοχής μελέτης.



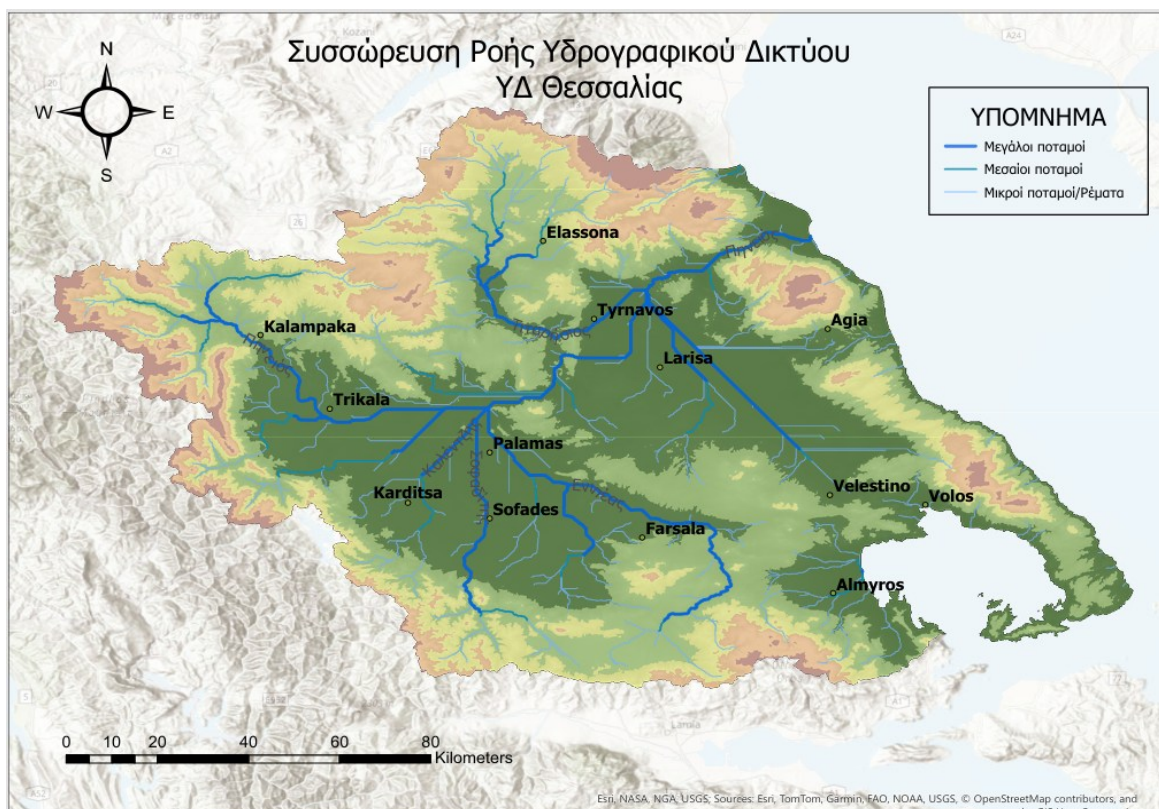
Εικόνα 5-3: Χάρτης Μέσης Ετήσιας Βροχόπτωσης ΥΔ Θεσσαλίας για τη χρονική περίοδο 1981-2019.

5.1.4. Χάρτης Συσσώρευσης Ροής

Στον ακόλουθο χάρτη απεικονίζεται η χωρική κατανομή της συσσώρευσης ροής και η διάρθρωση του υδρογραφικού δικτύου του ΥΔ της Θεσσαλίας (Εικ.5-4), όπου για την καλύτερη απεικόνιση δημιουργήθηκε ιεράρχηση του υδρογραφικού δικτύου με τρεις κατηγορίες ποταμών :

- Μεγάλους ποταμούς, που συσσωρεύουν τη μεγαλύτερη ροή και διακρίνονται με εντονότερο σκούρο μπλε χρώμα στον χάρτη, όπως ο Πηνειός, ο Τιταρήσιος, ο Ενιπέας, ο Σοφαδίτης και ο Καλέντζης.
- Μεσαίους ποταμούς, με μικρότερη συσσώρευση ροής που σχηματίζουν μικρότερους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου και αποτυπώνονται με μπλε χρώμα.
- Μικρά ρέματα, τα οποία έχουν μικρή συσσώρευση ροής, έχουν πολλά τμήματα και απεικονίζονται με αχνότερες γραμμές και ανοιχτό μπλε στον χάρτη.

Από την χωρική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου διαφαίνεται ότι ο κεντρικός υδρογραφικός άξονας είναι ο Πηνειός ποταμός, ο οποίος διασχίζει τη Θεσσαλική πεδιάδα από δυτικά προς ανατολικά και εκβάλλει στο Αιγαίο Πέλαγος. Επίσης στις πεδινές περιοχές το υδρογραφικό δίκτυο είναι πιο αραιό και συγκεντρώνεται σε λιγότερους αλλά μεγαλύτερους ποταμούς, ενώ αντίθετα στις ημιορεινές και ορεινές περιοχές παρατηρείται η ύπαρξη πιο πυκνού και διακλαδισμένου δικτύου που αποτελείται κυρίως από μικρά ρέματα. Η χωρική αυτή κατανομή του υδρογραφικού δικτύου υποδηλώνει την σαφή εξάρτηση του δικτύου από το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης που διαμορφώνεται από το υψόμετρο αλλά και από τις κλίσεις του εδάφους, και τελικώς την αποτύπωση της συσσώρευσης ροής του υδρογραφικού δικτύου που εμφανίζεται υψηλότερη στο κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα στην Θεσσαλική πεδιάδα.



Εικόνα 5-4: Χάρτης Συσσώρευσης Ροής Υδρογραφικού Δικτύου ΥΔ Θεσσαλίας.

5.1.5. Χάρτης Απόστασης από Υδάτινα Συστήματα

Ο χάρτης της απόστασης από τα υδάτινα συστήματα αποτελεί μια χωρική αποτύπωση της απόστασης του κάθε σημείου της περιοχής από κάποιο υδάτινο σύστημα, όπως ποταμό ή λίμνη και αποτελεί έναν βασικό παράγοντα της ΠΤ καθώς οι περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά στα υδάτινα συστήματα είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα.

Όπως διαφαίνεται από τον χάρτη απόστασης του ΥΔ της Θεσσαλίας (Εικ.5-5) η ανάλυση βασίζεται στο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής το οποίο περιλαμβάνει ποτάμια διαφορετικής ιεραρχίας (μεγάλους, μεσαίους και μικρούς ποταμούς), καθώς και φυσικές ή τεχνητές λίμνες.

Για την καλύτερη αποτύπωση των δεδομένων έχουν δημιουργηθεί ζώνες με μεταβλητές αποστάσεις ανάλογα με την κατηγορία του ποταμού, ώστε να αποδοθεί πιο ρεαλιστικά το πλάτος των υδατορεμάτων.

Σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία έχουν δημιουργηθεί πέντε κατηγορίες αποστάσεων οι οποίες αναλυτικότερα απεικονίζουν τις πολύ μικρές αποστάσεις (έως 500m) που εμφανίζονται με πράσινο χρώμα, καθώς και τις αποστάσεις έως 1,5km με κίτρινο χρώμα. Στη συνέχεια αποτυπώνονται οι μεσαίες αποστάσεις (1,5-5km) που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος του χάρτη και εμφανίζονται με πορτοκαλί

χρώμα, ενώ αντίθετα οι μεγάλες αποστάσεις (>5km) εμφανίζονται σε περιορισμένα σημεία του χάρτη και αποτυπώνονται με κόκκινο χρώμα.

Από την χωρική ανάλυση του χάρτη αποστάσεων προκύπτει ότι στις πεδινές περιοχές οι μεγαλύτερες πόλεις του Θεσσαλικού κάμπου βρίσκονται κοντά στα κύρια ποτάμια του υδρογραφικού δικτύου και στις λίμνες παρουσιάζοντας μικρές αποστάσεις που τις καθιστά πιο ευάλωτες στα πλημμυρικά φαινόμενα. Ενώ αντίθετα οι μεγαλύτερες αποστάσεις εμφανίζονται σε ορισμένες ορεινές και περιφερειακές περιοχές όπου το υδρογραφικό δίκτυο εμφανίζεται να είναι πιο αραιό.

Επίσης αξίζει να σημειωθεί πως ενώ στην επεξεργασία των δεδομένων έχει συμπεριληφθεί και η λίμνη Πλαστήρα, στην αποτύπωση στο χάρτη δεν φαίνεται να συσχετίζεται με το υδρογραφικό δίκτυο και τις ζώνες αποστάσεων καθώς τα δεδομένα μας περιορίζονται στο ΥΔ της Θεσσαλίας με αποτέλεσμα να μην υπάρχει καμία εμφανή επίδραση της λίμνης στις αποστάσεις των περιοχών από τα υδάτινα συστήματα.



Εικόνα 5-5: Χάρτης Απόστασης από Υδάτινα Συστήματα ΥΔ Θεσσαλίας.

5.1.6. Χάρτης Χρήσεων γης

Στον ακόλουθο χάρτη των χρήσεων γης του ΥΔ της Θεσσαλίας (Εικ.5-6) αποτυπώνονται οι πέντε βασικές κατηγορίες χρήσεων γης που έχουν δημιουργηθεί με βάση τις ομαδοποιήσεις του Corine Land Cover και οι οποίες είναι οι εξής:

- Αστικές περιοχές, που εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα και απεικονίζουν τις πόλεις και τους μικρότερους οικισμούς τις περιοχής μελέτης.
- Γεωργικές εκτάσεις, που αποτυπώνονται με κίτρινο χρώμα και καταλαμβάνουν κυρίως την πεδινή περιοχή της Θεσσαλίας, αλλά και μικρότερες περιοχές στα βόρεια και νότια της περιοχής μελέτης.
- Δασικές εκτάσεις, που απεικονίζονται με πράσινο χρώμα και περιλαμβάνουν τις ημιορεινές και ορεινές περιοχές του ΥΔ, οι οποίες βρίσκονται περιμετρικά της περιοχής μελέτης.
- Υδάτινες επιφάνειες, που εμφανίζονται με σκούρο μπλε χρώμα και στις οποίες ανήκουν οι λίμνες της περιοχής (Κάρλα, Σμοκόβου).
- Υγρότοποι, που αποτυπώνονται με ανοιχτό μπλε χρώμα και εμφανίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές.

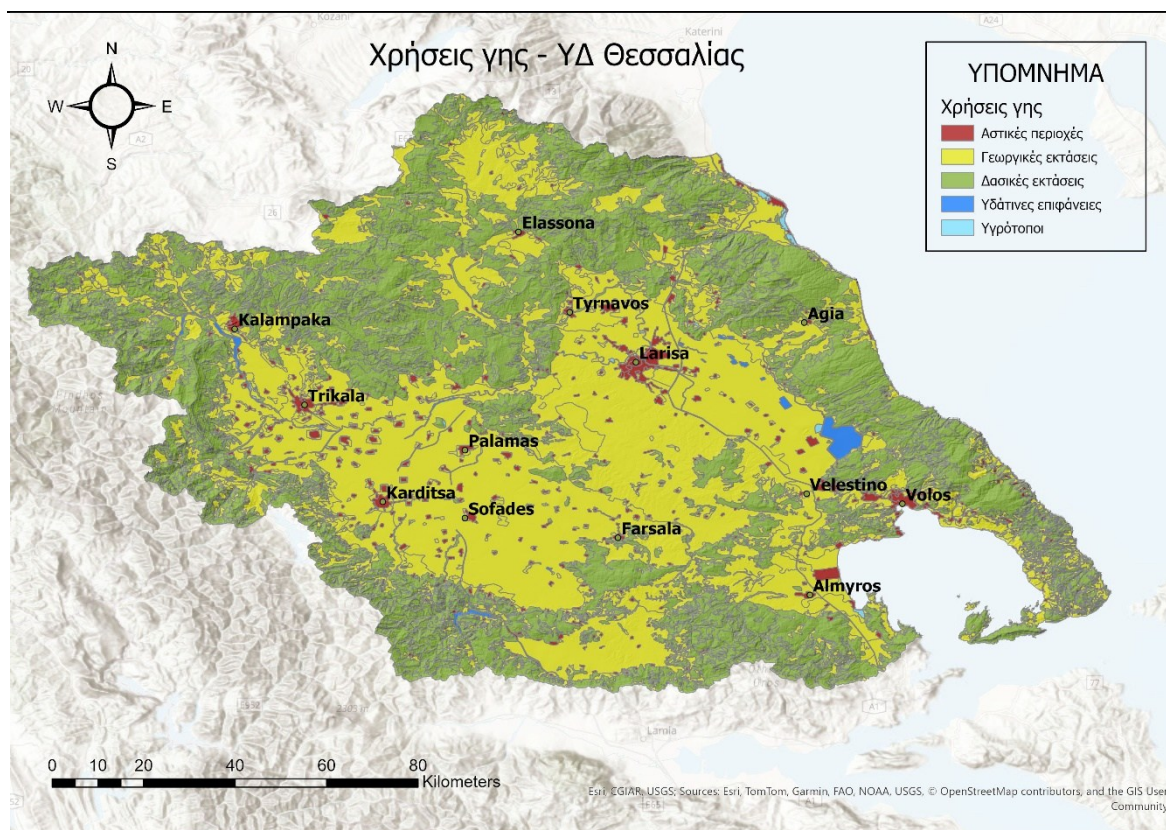
Η χωρική κατανομή των χρήσεων γης του ΥΔ της Θεσσαλίας παρουσιάζει έντονη διαφοροποίηση μεταξύ των πεδινών και των ορεινών περιοχών, αναδεικνύοντας μια σαφή συσχέτιση μεταξύ των φυσικών χαρακτηριστικών της περιοχής, όπως το ανάγλυφο, η τοπογραφία και η υδρολογία με τις χρήσεις γης.

Συγκεκριμένα, οι γεωργικές εκτάσεις και οι καλλιέργειες εμφανίζονται να κυριαρχούν στο κεντρικό πεδινό τμήμα της Θεσσαλίας, σχηματίζοντας μια εκτεταμένη αγροτική ζώνη που αντιστοιχεί κυρίως στη Θεσσαλική πεδιάδα αναδεικνύοντας την έντονη καλλιεργητική δραστηριότητα της περιοχής.

Αντίθετα, οι δασικές εκτάσεις εντοπίζονται κυρίως περιμετρικά της πεδιάδας, στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές, περιοχές που σχετίζονται με μεγαλύτερα υψόμετρα και πιο έντονο ανάγλυφο.

Οι αστικές περιοχές εμφανίζονται περιορισμένες χωρικά και συγκεντρώνονται κυρίως γύρω από τα μεγάλα αστικά κέντρα, όπως η Λάρισα, ο Βόλος, τα Τρίκαλα και η Καρδίτσα. Η χωρική κατανομή των αστικών περιοχών εμφανίζεται κυρίως στις πεδινές εκτάσεις, όπου ευνοείται η ανάπτυξη των οικισμών.

Τέλος, οι υδάτινες επιφάνειες και οι υγρότοποι καταλαμβάνουν ένα μικρό ποσοστό της συνολικής έκτασης και εντοπίζονται κυρίως σε συγκεκριμένες περιοχές, έχοντας όμως σημαντική συμβολή στην υδρολογία της περιοχής.



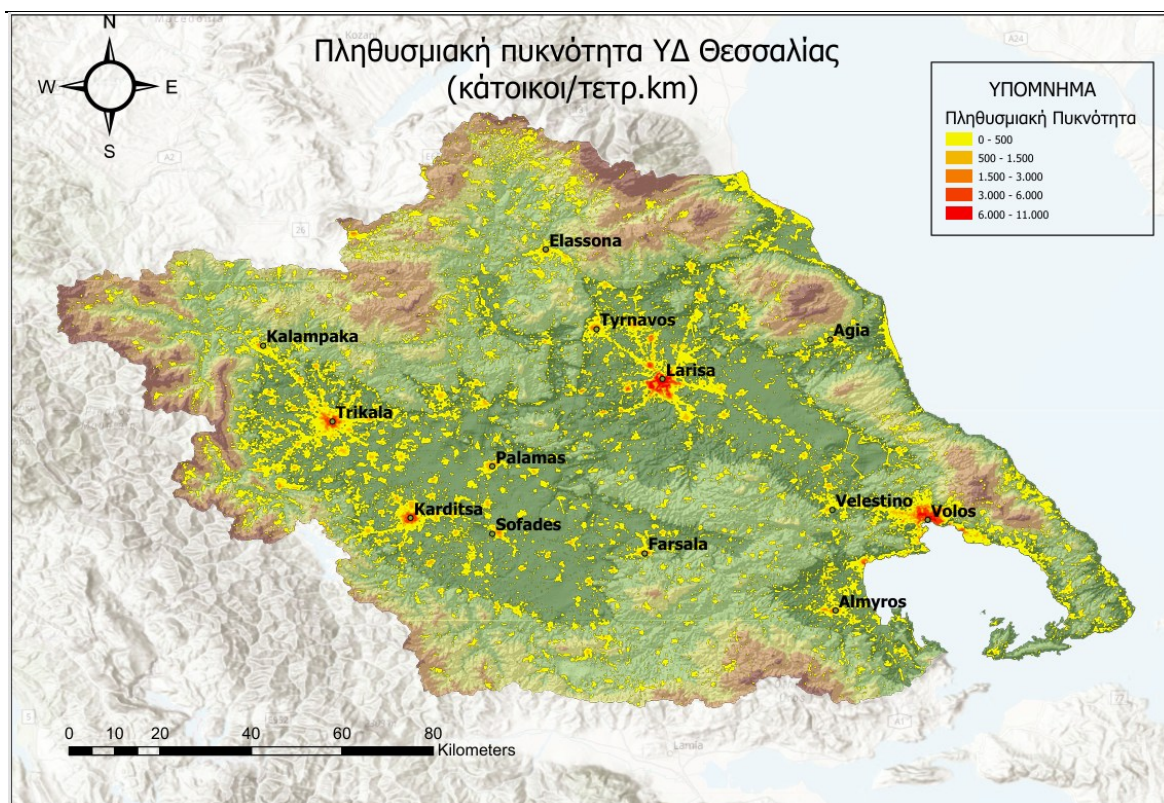
Εικόνα 5-6: Χάρτης Χρήσεων γης ΥΔ Θεσσαλίας.

5.1.7. Χάρτης Πληθυσμιακής Πυκνότητας

Ο χάρτης της πληθυσμιακής πυκνότητας του ΥΔ της Θεσσαλίας αποτυπώνει τη χωρική κατανομή του πληθυσμού της περιοχής μελέτης και συγκεκριμένα της πυκνότητας του πληθυσμού, που ορίζεται ως ο αριθμός των κατοίκων ανά km^2 . Για την καλύτερη απεικόνιση των δεδομένων έχουν δημιουργηθεί πέντε κατηγορίες τιμών, σύμφωνα με τις οποίες απεικονίζονται οι περιοχές με τη μικρότερη (<500) έως την μεγαλύτερη (>6000) πυκνότητα πληθυσμού.

Ο χάρτης μας παρέχει μια σαφή χωρική αποτύπωση της πληθυσμιακής πυκνότητας της περιοχής μελέτης, όπου οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στα κύρια αστικά κέντρα όπως η Λάρισα και ο Βόλος, ακολουθούμενα από πόλεις με μικρότερη πυκνότητα πληθυσμού όπως τα Τρίκαλα και η Καρδίτσα. Αντίθετα οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στους οικισμούς των ορεινών περιοχών καθώς και σε αγροτικές πεδινές περιοχές της ευρύτερης Θεσσαλίας.

Η χωρική κατανομή της πληθυσμιακής πυκνότητας φαίνεται ότι παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις και σχετίζεται με φυσικούς παράγοντες της περιοχής μελέτης, όπως το ανάγλυφο καθώς η υψηλότερη πληθυσμιακή πυκνότητα βρίσκεται στις πεδινές περιοχές της Θεσσαλίας όπου υπάρχουν πιο ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη των αστικών κέντρων.



Εικόνα 5-7: Χάρτης Πληθυσμιακής Πυκνότητας ΥΔ Θεσσαλίας.

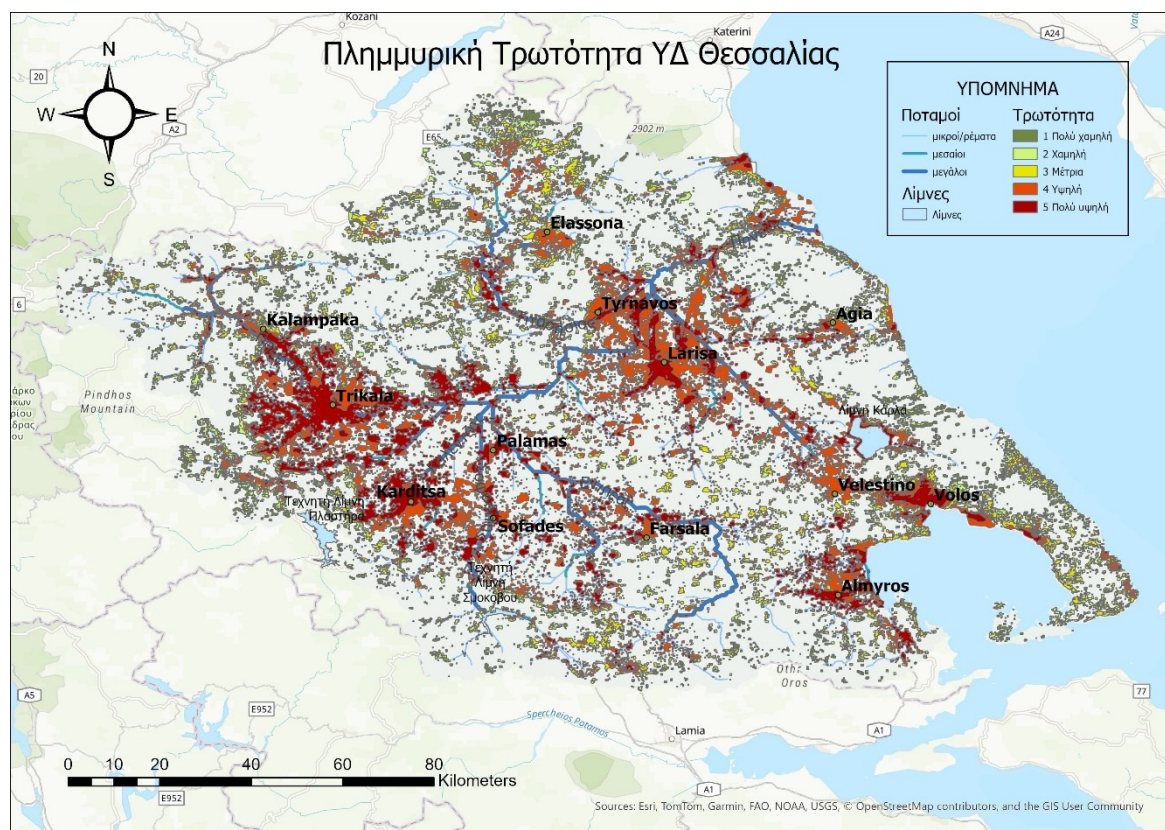
5.2. Χάρτης Πλημμυρικής Τρωτότητας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ο χάρτης της ΠΤ του ΥΔ της Θεσσαλίας (Εικ.5-8) όπως αυτός δημιουργήθηκε από την εφαρμογή της AHP και την μετέπειτα χωρική ανάλυση σε περιβάλλον εργασίας ArcGIS, των επτά κριτηρίων που κρίθηκαν ότι έχουν καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση των πλημμυρικών επεισοδίων και στον υπολογισμό της ΠΤ. Συγκεκριμένα στο μοντέλο ενσωματώθηκαν δεδομένα για το υψόμετρο, την κλίση εδάφους, την μέση ετήσια βροχόπτωση, την συσσώρευση ροής, την απόσταση από τα υδάτινα συστήματα, τις χρήσεις γης και την πληθυσμιακή πυκνότητα.

Όπως αποτυπώνεται και στον χάρτη (Εικ.5-8) η χωρική κατανομή της ΠΤ παρουσιάζει έντονη διακύμανση κυρίως μεταξύ των αστικών και περιφερειακών περιοχών που εμφανίζουν υψηλό βαθμό ΠΤ σε σχέση με τις υπόλοιπες πιο αραιοκατοικημένες περιοχές, προσδίδοντας στον χάρτη μια διαφορετική κοινωνική προσέγγιση, ενσωματώνοντας στον όρο της τρωτότητας τη διάσταση της έκθεσης του πληθυσμού σε ενδεχόμενα πλημμυρικά φαινόμενα.

Επίσης, υψηλές τιμές εμφανίζονται και σε πολλά σημεία κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου κυρίως πλησίον του Πηνειού αλλά και σε κάποιους κύριους παραποτάμους όπως ο Τηταρίσιος, ο Ενιπέας, ο Καλέντζης και ο Σοφαδίτης, επιβεβαιώνοντας τη σημαντική επίδραση της απόστασης από τα υδάτινα συστήματα στην εκδήλωση των πλημμυρικών επεισοδίων και την διαμόρφωση της

ΠΤ. Τέλος, ορισμένες πεδινές περιοχές του θεσσαλικού κάμπου εμφανίζουν επίσης υψηλές τιμές (4 & 5), όπου λόγω του χαμηλού υψομέτρου και των μικρών κλίσεων ευνοείται η συγκέντρωση των απορροών, σε αντίθεση με τις ημιορεινές και ορεινές περιοχές που βρίσκονται περιμετρικά της Θεσσαλίας και στις οποίες οι υψηλές τιμές του υψομέτρου και οι μεγάλες κλίσεις με καλύτερες συνθήκες αποστράγγισης εμφανίζουν χαμηλές τιμές τρωτότητας.



Εικόνα 5-8: Χάρτης Πλημμυρικής Τρωτότητας ΥΔ Θεσσαλίας.

Συνολικά στον χάρτη αναδεικνύονται οι περιοχές του ΥΔ της Θεσσαλίας στις οποίες οι φυσικογεωγραφικές και μορφολογικές συνθήκες σε συνδυασμό με το κοινωνικό κριτήριο της πυκνότητας του πληθυσμού αποτελούν ευάλωτες περιοχές σε πλημμυρικά φαινόμενα και εμφανίζουν υψηλές τιμές ΠΤ, παρέχοντας ένα εργαλείο για τη ΔΚΠ και για τη λήψη μέτρων πρόληψης και προσαρμογής σε πιθανά μελλοντικά πλημμυρικά φαινόμενα.

Επίσης μέσω του προγράμματος μπορεί να υπολογιστεί το εμβαδόν της κάθε κατηγορίας τρωτότητας υπολογίζοντας το εμβαδόν των αντίστοιχων πολυγώνων, οπότε για τις υψηλές και πολύ υψηλές τιμές έχουμε αντίστοιχα 1.191km² και 1.109km² που συνολικά καταλαμβάνουν περίπου το 17% του συνολικού εμβαδού (13.377 km²) της περιοχής μελέτης.

Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι ο χάρτης της ΠΤ (Εικ.5-8) ακολουθεί σε μεγάλο βαθμό την χωρική κατανομή του χάρτη της πυκνότητας του πληθυσμού (Εικ.5-7)

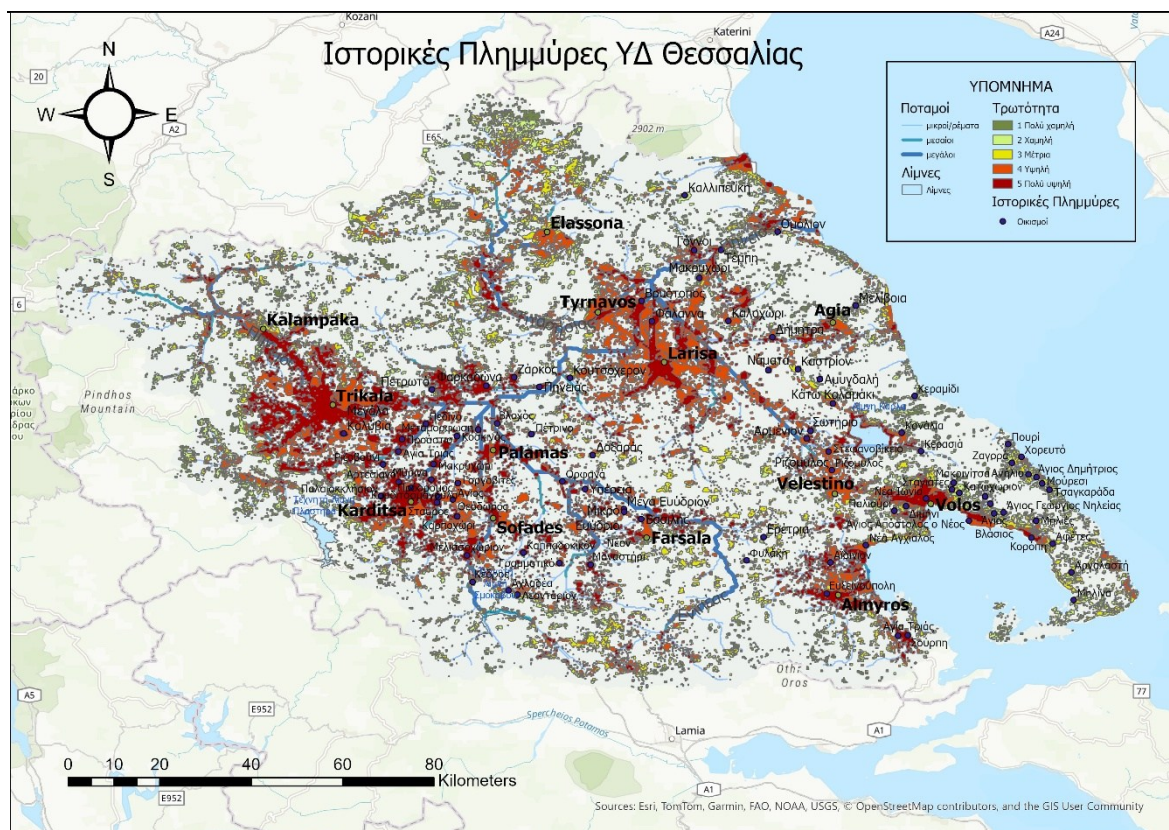
παρόλο που η βαρύτητα του κριτηρίου του πληθυσμού, σύμφωνα με την ΑΗΡ αποτελούσε την μικρότερη και ήταν της τάξης του 5%, επισημαίνοντας την σημαντική επίδραση του κριτηρίου του πληθυσμού στην εκτίμηση της ΠΤ.

5.3. Σύγκριση Χάρτη ΠΤ με Περιοχές Ιστορικών Πλημμυρών

Σε μια προσπάθεια ελέγχου της αξιοπιστίας και ορθότητας της μεθόδου που ακολουθήθηκε για την δημιουργία του χάρτη ΠΤ της περιοχής του ΥΔ της Θεσσαλίας (Εικ.5.8.), κρίνεται σκόπιμο και αναγκαίο να πραγματοποιηθεί μια σύγκριση ανάμεσα στις περιοχές όπου έχουν εμφανιστεί στο παρελθόν πλημμυρικά φαινόμενα, έτσι όπως αυτές αποτυπώνονται στη διαδικτυακή βάση δεδομένων των πλημμυρικών φαινομένων, ([Greek Floods Web Map](#), n.d.), που έχει προαναφερθεί (βλ. §4.3.) και στις περιοχές που όπως αναδείχτηκαν από τον χάρτη αποτελούν ευάλωτες περιοχές και εμφανίζουν υψηλή τρωτότητα στην εκδήλωση πλημμυρικών επεισοδίων.

Στην ακόλουθη εικόνα (Εικ.5-11) απεικονίζονται οι περιοχές των ιστορικών πλημμυρών πάνω στον χάρτη ΠΤ της περιοχής μελέτης. Όπως διακρίνεται και από τον χάρτη οι πλειονότητα των περιοχών όπου έχουν εκδηλωθεί πλημμυρικά φαινόμενα αντιστοιχεί στις ευάλωτες περιοχές του χάρτη ΠΤ και εμφανίζουν υψηλή ή πολύ υψηλή τρωτότητα.

Επίσης στον ακόλουθο πίνακα (Πιν.5-1) περιγράφονται πιο αναλυτικά τα ιστορικά πλημμυρικά επεισόδια, όπου παρουσιάζονται τα επεισόδια ανά νομό και ανά κατηγορία τρωτότητας. Συγκεκριμένα το 75% των πλημμυρικών επεισοδίων αντιστοιχεί στις κατηγορίες της υψηλής και πολύ υψηλής τρωτότητας (κατηγορίες 4 & 5), ενώ το 17% στην μέτρια τρωτότητα (κατηγ.3) και το 8% στην χαμηλή και πολύ χαμηλή ΠΤ (κατηγ.1 & 2). Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των πλημμυρικών επεισοδίων που ανήκουν στις κατηγορίες 1, 2 & 3 βρίσκονται στα όρια ή σε πολύγωνα που συνορεύουν με πολύγωνα των κατηγοριών 4 & 5.



Εικόνα 5-9: Απεικόνιση των περιοχών ιστορικών πλημμυρών στον Χάρτη ΠΤ.

Πίνακας 5-1: Καταμέτρηση πλημμυρικών επεισοδίων ανά νομό

Νομός	Αριθμός Ιστορικών Πλημμυρών	Αριθμός Επεισοδίων ανά Κατηγορία Τρωτότητας		
		Κατηγορίες 4 & 5	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1 & 2
Ν. Καρδίτσας	29	27	2	0
Ν. Λαρίσης	27	20	4	3
Ν. Μαγνησίας	37	22	10	5
Ν. Τρικάλων	7	6	1	0
ΣΥΝΟΛΟ	100	75	17	8

Επεξεργασία: Ιδία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Συμπεράσματα

Η ΟΔΥΠ αποτελεί μια σύνθετη και καινοτόμα προσέγγιση για τη βέλτιστη διαχείριση των υδατικών πόρων, τόσο σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο όπως το ΥΔ της Θεσσαλίας όσο και σε εθνικό, καθώς οι υδατικοί πόροι βρίσκονται σε κρίσιμο σημείο, ώστε να επιτευχθεί η βιώσιμη χρήση του νερού και η ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης. Η διαθεσιμότητα και η ποιότητα των υδατικών πόρων εξαρτάται από πολλούς καθοριστικούς παράγοντες όπως η αύξηση του πληθυσμού, η αστικοποίηση, οι χρήσεις γης καθώς και η κλιματική αλλαγή, η οποία θα επηρεάσει τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων, με άμεση επίδραση στην ένταση και την συχνότητα των πλημμυρικών φαινομένων.

Κρίνεται αναγκαία η μεταστροφή από τα δομικά τεχνικά έργα που ελέγχουν και αντιμετωπίζουν τα αποτελέσματα των πλημμυρικών επεισοδίων για το περιορισμό των αρνητικών συνεπειών στις ανθρώπινες κοινωνίες και το περιβάλλον, σε προηγμένες πρακτικές μέσω της εφαρμογής των αρχών της ΟΔΥΠ και του κατάλληλου σχεδιασμού για τη ΔΚΠ που θα ενσωματώνουν βασικές έννοιες όπως η τρωτότητα, η ευπάθεια, η έκθεση και η ανθεκτικότητα. Οι καινοτόμες αυτές ρυθμιστικές προσεγγίσεις και μέθοδοι θα στοχεύουν στην ενημέρωση, στην ευαισθητοποίηση και τη συμμετοχή του κοινού καθώς και στην πρόβλεψη και έγκυρη προειδοποίηση, στην προσαρμογή των χρήσεων γης και στην ανάπτυξη σχεδίου διαχείρισης των πλημμυρικών φαινομένων.

Η τρωτότητα αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα της ΔΚΠ, επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά των πλημμυρικών φαινομένων καθώς επίσης και από τα κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και αποτελεί ένα μέτρο του βαθμού ευαισθησίας ενός συστήματος. Η εκτίμησή της κατέχει σημαντικό ρόλο στον εντοπισμό των ευάλωτων πλημμυρικών περιοχών και με την εφαρμογή των κατάλληλων και αποτελεσματικών μέτρων που στοχεύουν στον μετριασμό και στην αντιμετώπιση των δυσμενών επιπτώσεων των πλημμυρικών φαινομένων αποσκοπεί στην γενικότερη ευημερία των κοινωνιών και του περιβάλλοντος.

Από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας εξάγεται το γενικό συμπέρασμα πως η περιοχή του ΥΔ της Θεσσαλίας αποτελεί μια περιοχή με ιδιαίτερα και ποικίλα τοπογραφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά, αλλά και χρήσεις γης που την καθιστούν ως αρκετά ευάλωτη περιοχή όσον αφορά την κρισιμότητα των υδατικών πόρων, αλλά και την εμφάνιση των πλημμυρικών φαινομένων.

Συγκεκριμένα για την περιοχή μελέτης μας:

- Υπάρχουν μεγάλες μορφολογικές και υψομετρικές μεταβολές, καθιστώντας την Θεσσαλική πεδιάδα ευνοϊκή περιοχή για την ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων, γεωργικών καλλιεργειών αλλά και μεγάλων αστικών κέντρων, όπως η πόλη της Λάρισας, αλλά και μικρότερων πόλεων όπως ο Βόλος, τα Τρίκαλα, η Καρδίτσα κ.α., ενώ αντιθέτως αποτελεί και την περιοχή με την υψηλότερη ΠΤ εξαιτίας του χαμηλού υψομέτρου και των μικρών κλίσεων που παρουσιάζει.

- Υπάρχουν ποικίλες χρήσεις γης που αναπτύσσονται κυρίως στις πεδινές περιοχές, με την μεγαλύτερη έκταση να καταλαμβάνεται από τις γεωργικές καλλιέργειες, οι οποίες όμως έχουν πολύ αυξημένες απαιτήσεις σε νερό. Οι αυξημένες ανάγκες άρδευσης οδηγούν μέσω της υπερκατανάλωσης και εξάντλησης των υπόγειων υδάτων στην πτώση των αποθεμάτων τους και στη συνολική υποβάθμιση της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων καθώς και στη σύγκρουση ανάμεσα σε διαφορετικές χρήσεις και δραστηριότητες για την εκμετάλλευση των υδατικών πόρων.
- Οι βροχοπτώσεις ακολουθούν διαφορετικά μοτίβα ανά περιοχές με γενικά υψηλά επίπεδα ετήσιων βροχοπτώσεων που εμφανίζονται κυρίως κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών με μεγάλη σχετικά διάρκεια, ενώ τους εαρινούς και καλοκαιρινούς μήνες εμφανίζονται ξαφνικές πλημμύρες και καταιγίδες που αποτελούν επίσης βασική αιτία εκδήλωσης των πλημμυρικών φαινομένων.
- Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής εμφανίζεται αρκετά πυκνό με κύριο ποταμό τον Πηνειό, που αποτελεί το τρίτο μεγαλύτερο ποτάμι της Ελλάδας και διασχίζει την Θεσσαλική πεδιάδα από δυτικά προς ανατολικά εκβάλλοντας στο Αιγαίο Πέλαγος, ακόμη διακλαδίζεται σε αρκετούς μικρότερους παραποτάμους που διαρρέουν την μεγαλύτερη έκταση του ΥΔ.

Για την δημιουργία του χάρτη ΠΤ σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αναλύθηκαν δεδομένα για επτά κύριους παράγοντες / κριτήρια τα οποία σύμφωνα με τη βιβλιογραφική επισκόπηση θεωρήθηκαν ότι κατέχουν σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση των πλημμυρικών φαινομένων της περιοχής μελέτης και αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά για την εκτίμηση της ΠΤ της περιοχής. Τα κριτήρια αυτά είναι: το υψόμετρο, οι κλίσεις εδάφους, η μέση ετήσια βροχόπτωση, η συσσώρευση ροής του υδρογραφικού δικτύου, η απόσταση από τα υδάτινα συστήματα, οι χρήσεις γης που αναπτύσσονται στην περιοχή καθώς και η πληθυσμιακή πυκνότητα των μεγάλων αστικών κέντρων αλλά και των μικρότερων οικισμών.

Όσον αφορά την ΠΤ της περιοχής όπως απεικονίζεται από τον αντίστοιχο χάρτη ΠΤ (Εικ.5-8) διαφαίνεται ότι ακολουθεί την χωρική κατανομή των αστικών κέντρων εμφανίζοντας τις υψηλότερες τιμές στα μεγάλα αστικά κέντρα και τους μικρότερους οικισμούς και τις περιφερειακές περιοχές καθώς επίσης και πλησίον του ποταμού Πηνειού και των κυριότερων παραποτάμων του, όπου εμφανίζονται και οι περιοχές με τα μικρότερα υψόμετρα και κλίσεις εδάφους.

Το αποτέλεσμα αυτό αναδεικνύει την πολύπλευρη προσέγγιση της έννοιας της τρωτότητας όπου εκτός από τα χαρακτηριστικά των πλημμυρικών φαινομένων όπως η βροχόπτωση και τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, (υψόμετρο, κλίσεις, υδρογραφικό δίκτυο), ενσωματώνει και τον κοινωνικό χαρακτήρα, μέσω του παράγοντα της πληθυσμιακής πυκνότητας στην εκτίμηση της τρωτότητας της περιοχής μελέτης, επιβεβαιώνοντας την πολυδιάστατη έννοια της τρωτότητας για την ανάδειξη των ευάλωτων πλημμυρικών περιοχών του ΥΔ της Θεσσαλίας.

Επίσης από τη σύγκριση του χάρτη ΠΤ και των ιστορικών πλημμυρών της περιοχής (Εικ.5-9) διαφαίνεται ότι οι περιοχές οι οποίες κατά το παρελθόν έχουν πληγεί από πλημμυρικά φαινόμενα εμφανίζονται στον χάρτη επί το πλείστον ως περιοχές που

ανήκουν στις κατηγορίες της υψηλής και πολύ υψηλής ΠΤ σε ποσοστό 75%, ενώ οι υπόλοιπες βρίσκονται σε πολύγωνα μέτριας έως χαμηλής τρωτότητας τα περισσότερα εκ των οποίων συνορεύουν με τα πολύγωνα της υψηλής και πολύ υψηλής τρωτότητας. Ομοίως συγκριτικά με το χάρτη των ΖΔΥΚΠ (Εικ.4-8) υπάρχει μια σύγκλιση όσον αφορά τις ζώνες με υψηλή τρωτότητα όπου οι ευάλωτες περιοχές που έχουν αναδειχθεί στον χάρτη ΠΤ (Εικ.5-8) περιλαμβάνονται στις ΖΔΥΚΠ.

Σύμφωνα με τα παραπάνω μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η επιλογή των κριτηρίων και η προτεινόμενη μεθοδολογία χωρικής εκτίμησης της ΠΤ, αποτελεί μια ορθή μέθοδο με αξιόπιστα αποτελέσματα, όπου τα κριτήρια με τη μεγαλύτερη βαρύτητα αφορούν στο υψόμετρο, τις κλίσεις εδάφους και της απόστασης από τα υδάτινα συστήματα.

Θεωρείται επιτακτική η ανάγκη για την εφαρμογή της ΟΔΥΠ και τη βέλτιστη διαχείριση των πλημμυρικών φαινομένων της περιοχής για τον μετριασμό του πλημμυρικού κινδύνου και της υψηλής ΠΤ, που όπως αναδείχθηκε αφορά κυρίως κατοικημένες περιοχές, αστικά κέντρα και οικισμούς, ώστε να μετριαστούν οι δυσμενείς επιπτώσεις στις κοινωνίες, η μείωση της θνησιμότητας, οι οικονομικές απώλειες, αλλά και η γενικότερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος και των υδάτων.

Για την επίτευξη του στόχου αυτού θα πρέπει να ληφθούν μέτρα και πρακτικές από τους υπευθύνους που θα μπορούσαν εν δυνάμει να περιλαμβάνουν:

- Θέσπιση αρμόδιων φορέων ανά ΥΔ για την εφαρμογή, τον έλεγχο και τον συντονισμό των δράσεων διαχείρισης των υδάτων της περιφέρειάς τους.
- Ανάπτυξη στρατηγικού σχεδίου ΔΚΠ για κάθε ΛΑΠ ή περιοχή με υψηλή ΠΤ.
- Συλλογή στοιχείων και δεδομένων ανά περιφέρειες από αρμόδιους οργανισμούς για την καλύτερη και ορθότερη ανάλυση από τους ειδικούς και την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων ΠΤ.
- Επικαιροποίηση των Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας με τη συμπερίληψη των νεότερων δεδομένων και των σεναρίων της κλιματικής αλλαγής.
- Ανάπτυξη και αναθεώρηση του χωροταξικού σχεδίου, με τον προσδιορισμό των πλημμυρικών ζωνών και την προσαρμογή των χρήσεων γης για την ορθότερη ΔΚΠ.
- Εφαρμογή μέτρων στα αστικά κέντρα που εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλή ΠΤ για την καλύτερη συλλογή των όμβριων υδάτων, την αύξηση του αστικού πρασίνου και της βλάστησης που αυξάνει τη διαπερατότητα και μειώνει την επιφανειακή απορροή των υδάτων.
- Συντήρηση και καθαρισμός του υδρογραφικού δικτύου με την απομάκρυνση των φερτών υλικών.
- Έμφαση στην πρόληψη και προστασία, μέσω δομικών τεχνικών έργων όπου απαιτείται, αλλά και με ρυθμιστικές προσεγγίσεις για την καλύτερη διαχείριση των πλημμυρικών φαινομένων.
- Ενημέρωση, ευαισθητοποίηση, συμμετοχή και συστήματα προειδοποίησης του κοινού.
- Ετοιμότητα των αρμόδιων αρχών για την άμεση αντιμετώπιση των πιθανών έκτακτων αναγκών και την αποκατάσταση των απωλειών (δομικές, οδικές μεταφορές, γέφυρες, κατολισθήσεις κλπ.)

Τέλος, μια πολύ υποσχόμενη μέθοδος για την εφαρμογή της ΟΔΥΠ και τον μετριασμό των πλημμυρικών φαινομένων που απαιτεί περαιτέρω μελλοντική έρευνα αποτελεί η Flood - MAR, σύμφωνα με την μπορεί να επιτευχθεί η διαχειριζόμενη αποθήκευση του νερού των πλημμυρών σε λεκάνες διασποράς, ώστε να εμπλουτιστεί ο υδροφόρος ορίζοντας, να αποφευχθούν προβλήματα ξηρασίας και κρίσιμης κατάστασης των υδατικών πόρων και να βελτιωθούν τα αποθέματα υδάτων για την αντιμετώπιση των αυξημένων αρδευτικών κυρίως αναγκών της περιοχής της Θεσσαλίας.

Με τον τρόπο αυτό μπορεί να μετατραπεί ο κίνδυνος πλημμύρας σε πηγή υδάτων, αντιμετωπίζοντας τόσο τον κίνδυνο πλημμύρας και την προστασία των περιοχών με υψηλή ΠΤ αλλά αντιμετωπίζοντας και βελτιώνοντας εξίσου τα φαινόμενα ξηρασίας και ενισχύοντας τα φυσικά αποθέματα των υδατικών πόρων, ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες της περιοχής. Βασική προϋπόθεση για την βέλτιστη εφαρμογή της Flood – MAR αποτελεί η αναζήτηση των κατάλληλων τεχνικών και πρακτικών διαχείρισης των πλημμυρικών υδάτων που θα συνάδουν με τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, ώστε να επιτευχθεί ο κατάλληλος σχεδιασμός και εφαρμογή των τεχνικών για την επιφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα και τη βελτίωση της ποιότητας και ποσότητας των υδατικών πόρων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

- Abdourhimou, A. I., Salamatou, A. I., Boubacar, M. M., Bachirou, H. Y., Idrissa, S., & Ali, M. (2025). Integrated water resource management in changing climate and local development and social cohesion mechanisms. *Discover Environment*, 3(1), 168. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00375-8>
- Agarwal, A., S. delos A.M., Bhatia R., Chéret I., Davila-Poblete S., Falkenmark M., Villarreal F.G., Jønch-Clausen T., Kadi M.A., Kindler J., Rees J., Roberts P., Rogers P., Solanes M., & Wright A., (2000). Integrated Water Resources Management. *Global water partnership*. Technical Advisory Committee (TAC) Background Papers N.4
- Alderman, K., Turner, L. R., & Tong, S. (2012). Floods and human health: A systematic review. *Environment International*, 47, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.06.003>
- Bronstert, A. (2003). Floods and Climate Change: Interactions and Impacts. *Risk Analysis*, 23(3), 545–557. <https://doi.org/10.1111/1539-6924.00335>
- Correljé, A., François, D., & Verbeke, T. (2007). Integrating water management and principles of policy: Towards an EU framework? *Journal of Cleaner Production, Water Management in Coastal Zones and Deltas*, 15(16), 1499–1506. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.034>
- Dinh, G. N., & McIntosh, B. S. (2019). An application of Integrated Water Resource Management principles to flood risk mitigation in Mossman, North

-
- Queensland, Australia. *World Water Policy*, 5(2), 138–160.
<https://doi.org/10.1002/wwp2.12011>
- Douben, K.-J. (2006). Characteristics of river floods and flooding: A global overview, 1985–2003. *Irrigation and Drainage*, 55(S1), S9–S21.
<https://doi.org/10.1002/ird.239>
- Evelpidou, N., Cartalis, C., Karkani, A., Saitis, G., Philippopoulos, K., & Spyrou, E. (2023). A GIS-Based Assessment of Flood Hazard through Track Records over the 1886–2022 Period in Greece. *Climate*, 11, 226. <https://doi.org/10.3390/cli11110226> Interactive map available at: <https://HistoricFloods.org>
- Fernandez, P., Mourato, S., Moreira, M., & Pereira, L. (2016). A new approach for computing a flood vulnerability index using cluster analysis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 94, 47–55.
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.04.003>
- Ibisch, R. B., Bogardi, J. J., & Borchardt, D. (2016). Integrated Water Resources Management: Concept, Research and Implementation. In D. Borchardt, J. J. Bogardi, & R. B. Ibisch (Eds), *Integrated Water Resources Management: Concept, Research and Implementation* (pp. 3–32). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25071-7_1
- Jazi, H. (2021). Integrated Water Resources Management: A Tool for Sustainable Development. *Future Engineering Journal*, 2(1).
<https://digitalcommons.aaru.edu.jo/fej/vol2/iss1/1>

- Karmaoui, A., & Balica, S. (2021). A new flood vulnerability index adapted for the pre-Saharan region. *International Journal of River Basin Management*, 19(1), 93–107. <https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1583668>
- Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of The Total Environment*, 538, 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>
- Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2011). Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—A case study. *Hydrological Sciences Journal*, 56(2), 212–225. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>
- Kundzewicz, Z. W., Pińskwar, I., & Brakenridge, G. R. (2013). Large floods in Europe, 1985–2009. *Hydrological Sciences Journal*, 58(1), 1–7. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.745082>
- Lagarias, A. (2025). Climate change as spatial change: Repercussions of the disastrous Daniel flood in Thessaly Region on its territorial future. *GeoJournal*, 90(4), 154. <https://doi.org/10.1007/s10708-025-11407-4>
- Mai, T., Mushtaq, S., Reardon-Smith, K., Webb, P., Stone, R., Kath, J., & An-Vo, D.-A. (2020). Defining flood risk management strategies: A systems approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47, 101550. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101550>

- Margaris, N., Galogiannis, C., & Grammatikaki, M. (2006). Water management in thessaly, central greece. In A. Baba, K. W. F. Howard, & O. Gunduz (Eds), *Groundwater and Ecosystems* (pp. 237–242). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-4738-X_19
- Nasiri, H., Mohd Yusof, M. J., & Mohammad Ali, T. A. (2016). An overview to flood vulnerability assessment methods. *Sustainable Water Resources Management*, 2(3), 331–336. <https://doi.org/10.1007/s40899-016-0051-x>
- Nasiri, H., & Shahmohammadi-Kalalagh, S. (2013). Flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment in urban area. *Journal of Novel Applied Science*, 2 (8), 269-272.
- Nastos, P., Kapsomenakis, J., Matsangouras, I., & Poulos, S. (2015). Precipitation over Thessaly plain, Greece. Present and future changes. *Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes*, 3-5 September 2015. Greece.
- Nguyen, C. T., & Van Nguyen, B. (2019). Application of flood vulnerability index in flood vulnerability assessment: A case study in Mai Hoa Commune, Tuyen Hoa District, Quang Binh Province. *Sustainable Water Resources Management*, 5(4), 1917–1927. <https://doi.org/10.1007/s40899-019-00337-y>
- Onyena, A. P., & Sam, K. (2025). The blue revolution: Sustainable water management for a thirsty world. *Discover Sustainability*, 6(1), 63. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00631-6>

- Petit, O., & Baron, C. (2009). Integrated Water Resources Management: From general principles to its implementation by the state. The case of Burkina Faso. *Natural Resources Forum*, 33(1), 49–59.
<https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2009.01208.x>
- Rawluk, A., Curtis, A., Sharp, E., Kelly, B. F. J., Jakeman, A. J., Ross, A., Arshad, M., Brodie, R., Pollino, C. A., Sinclair, D., Croke, B., & Qureshi, M. E. (2013). Managed aquifer recharge in farming landscapes using large floods: An opportunity to improve outcomes for the Murray-Darling Basin? *Australasian Journal of Environmental Management*, 20(1), 34–48.
<https://doi.org/10.1080/14486563.2012.724785>
- Rehman, S., Sahana, M., Hong, H., Sajjad, H., & Ahmed, B. B. (2019). A systematic review on approaches and methods used for flood vulnerability assessment: Framework for future research. *Natural Hazards*, 96(2), 975-998.
- Samuels, P., Klijn, F., Kortenhaus, A., & Sayers, P. (2009). FLOODsite Final Report-Volume 1, Advancement in Knowledge and Understanding. *HR Wallingford, UK, Project Contact No: GOCECT-2004-505420*.
- Samuels, P. G. (2006). A European Perspective on Current Challenges in the Analysis of Inland Flood Risk. In J. Schanze, E. Zeman, & J. Marsalek (Eds), *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures* (pp. 21–34). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1_2

- Saravanan, V. S., McDonald, G. T., & Mollinga, P. P. (2009). Critical review of Integrated Water Resources Management: Moving beyond polarised discourse. *Natural Resources Forum*, 33(1), 76–86. <https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2009.01210.x>
- Simonovic, S. P. (2017). Bringing Future Climatic Change into Water Resources Management Practice Today. *Water Resources Management*, 31(10), 2933–2950. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1704-8>
- Skondras, N. A., Tsesmelis, D. E., Vasilakou, C. G., & Karavitis, C. A. (2020). Resilience–Vulnerability Analysis: A Decision-Making Framework for Systems Assessment. *Sustainability*, 12(22), 9306. <https://doi.org/10.3390/su12229306>
- Solin, L., & Skubinčan, P. (2013). Flood risk assessment and management: review of concepts, definitions and methods. *Geographical Journal*, 65(1), 23–44.
- Soulis, K. X., & Tsesmelis, D. E. (2017). Calculation of the irrigation water needs spatial and temporal distribution in Greece. *Eur. Water*, 59, 247–254.
- Stamellou, E., Kalogeropoulos, K., Stathopoulos, N., Tsesmelis, D. E., Louka, P., Apostolidis, V., & Tsatsaris, A. (2021). A GIS-Cellular Automata-Based Model for Coupling Urban Sprawl and Flood Susceptibility Assessment. *Hydrology*, 8(4), 159. <https://doi.org/10.3390/hydrology8040159>
- Stathis, D., & Myronidis, D. (2009). Principal component analysis of precipitation in Thessaly region (Central Greece). *Global NEST Journal*, 11(4), 467–476. <https://doi.org/10.30955/gnj.000534>

- Surkar, P. P., & Choudhary, M. K. (2023). Climate Change Impact Assessment on Water Resources—A Review. In P. V. Timbadiya, V. P. Singh, & P. J. Sharma (Eds), *Climate Change Impact on Water Resources* (Vol. 313, pp. 113–125). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8524-9_10
- Tsesmelis, D. E., Karavitis, C. A., Kalogeropoulos, K., Tsatsaris, A., Zervas, E., Vasilakou, C. G., Stathopoulos, N., Skondras, N. A., Alexandris, S. G., Chalkias, C., & Kosmas, C. (2021). Development and Application of Water and Land Resources Degradation Index (WLDI). *Earth*, 2(3), 515–531. <https://doi.org/10.3390/earth2030030>
- Tsesmelis, D. E., Karavitis, C. A., Kalogeropoulos, K., Zervas, E., Vasilakou, C. G., Skondras, N. A., Oikonomou, P. D., Stathopoulos, N., Alexandris, S. G., Tsatsaris, A., & Kosmas, C. (2022). Evaluating the Degradation of Natural Resources in the Mediterranean Environment Using the Water and Land Resources Degradation Index, the Case of Crete Island. *Atmosphere*, 13(1), 135. <https://doi.org/10.3390/atmos13010135>
- Tsinidis, G., & Koutas, L. (2025). Geotechnical and Structural Damage to the Built Environment of Thessaly Region, Greece, Caused by the 2023 Storm Daniel. *Geotechnics*, 5(1), 16. <https://doi.org/10.3390/geotechnics5010016>
- Varady, R. G., Zuniga-Teran, A. A., Garfin, G. M., Martín, F., & Vicuña, S. (2016). Adaptive management and water security in a global context: Definitions, concepts, and examples. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.11.001>

- Viglione, A., & Rogger, M. (2015). Flood Processes and Hazards. In *Hydro-Meteorological Hazards, Risks and Disasters* (pp. 3–33). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394846-5.00001-1>
- Wang, L., Cui, S., Li, Y., Huang, H., Manandhar, B., Nitivattananon, V., Fang, X., & Huang, W. (2022). A review of the flood management: From flood control to flood resilience. *Heliyon*, 8(11), e11763.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11763>

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Μουσαδης, Ι. (2018). Ανάπτυξη και εφαρμογή ολοκληρωμένης μεθοδολογίας σε περιβάλλον GIS για τον καθορισμό ευάλωτων σε πλημμύρες περιοχών" η περίπτωση της Αττικής". Μεταπτυχιακή εργασία. ΕΜΠ
- Κρεμμύδας Δ., (2014), *Επιχειρησιακή Έρευνα στη Γεωργία*, ψηφιακές σημειώσεις μαθήματος. Τμήμα Αγροτικής Οικονομίας και Ανάπτυξης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
- Ναθαναήλ, Ε.Γ. (2016). *Διαδικασία πολυκριτηριακής ανάλυσης, Αναλυτική ιεραρχική μέθοδος*. Εργαστήριο Κυκλοφορίας Μεταφορών και Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας, Ηλεκτρονικές σημειώσεις μαθήματος. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος. [Mike](#), ανακτήθηκε 2026, 1 Μαρτίου.
- Νημάς, Θ. Α. (2023). *Τα ποτάμια, οι λίμνες και οι πλημμύρες της Θεσσαλίας*.
<https://dspace.larlib.gr/handle/123456789/2011>
- Παντούλας, Χ.-Σ. (2024). *Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας για το Υδατικό Διαμέρισμα Θράκης*. Μεταπτυχιακή εργασία. ΕΜΠ.

Ραλλάτου, Ν. (2019). *Εκτίμηση αστικής πλημμυρικής τρωτότητας με χρήση GIS και μεθόδων γεωχωρικής ανάλυσης. Η περίπτωση του Λεκανοπεδίου Αθηνών*. Μεταπτυχιακή εργασία. ΕΜΠ.

Διαδικτυακές Πηγές

Earth System Science Data, <https://essd.copernicus.org/articles/17/4455/2025/>

Eurogeographics, Open Maps for Europe, [Open Maps for Europe | Eurogeographics](#)

European Environment Agency, [Files - EEA](#)

Copernicus, [CORINE Land Cover 2000 \(vector/raster 100 m\), Europe, 6-yearly — Copernicus Land Monitoring Service](#)

Kremmydas, D., (2014), [\(1\) Μέθοδος AHP στο εξέλ \(2014 12 23 ahp excel\) - YouTube](#), ανακτήθηκε 2026, 10 Μαΐου.

Koutas, L. (2025), [Thessaly floods 2023 - Main structural and geotechnical damages - Google My Maps](#), ανακτήθηκε 2026, 21 Φεβρουαρίου.

MeteoGr, (2024). Η εξέλιξη των πλημμυρών στην λίμνη Κάρλα από την κακοκαιρία «Daniel». [εξέλιξη λίμνης Κάρλας – \[Video\]](#), ανακτήθηκε 2026, 18 Φεβρουαρίου.

Open Street Map <https://download.geofabrik.de/europe/greece.html>

UNESCO-IHE, Institute for Water Education. Flood Vulnerability Indicates (FVI). [Flood Vulnerability Index, FVI](#)

WorldPop Hub <https://hub.worldpop.org/geodata/summary?id=73599>

Π.Δ. 51/2007, Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/EK «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον

τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου, Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας 2000 (ΦΕΚ 54/Α 8.3.2007), [Θεσμικό Πλαίσιο – Σχέδια Διαχείρισης ΛΑΠ](#) ανακτήθηκε 2026, 18 Φεβρουαρίου

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (2000). *Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60/ΕΚ*. [Odigia Plaisio.pdf](#), ανακτήθηκε 2025, 25 Νοεμβρίου.

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (2007). *Οδηγία Πλαίσιο για τις Πλημμύρες 2007/60/ΕΚ*. [LexUriServ.do](#), ανακτήθηκε 2025, 30 Νοεμβρίου.

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας. Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (2007). [ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας](#), ανακτήθηκε 2025, 30 Νοεμβρίου.

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Εθνική Επιτροπή Υδάτων. Υπ. Απόφαση 41377/329. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. *Έγκριση Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (ΕΛ08) και της αντίστοιχης Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων*. (ΦΕΚ Β 2685/06.07.2018). https://floods.ypeka.gr/wp-content/uploads/2023/12/FEK_B_2685_06072018.pdf, ανακτήθηκε 2026, 8 Φεβρουαρίου.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικό προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.