

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**Διπλωματική Εργασία**

**Ανάλυση Χωρικής Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στη  
περιοχή Τυμπακίου Κρήτης**

**Μαρία Γρίβα**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

Καθηγητής Δρ. Γεώργιος Καρατζάς (Επιβλέπων)

Καθηγητής Δρ. Νικόλαος Νικολαΐδης

Αν. Καθηγητής Δρ. Νικόλαος Παρανυχιανάκης

*Χανιά, Νοέμβριος, 2021*

*“Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης”*

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στην περιοχή του Τυμπακίου, με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Για την χωρική εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση και απεικόνιση έξι ποσοτικών θεματικών χαρτών raster (καννάβου), οι οποίοι συνδυάστηκαν χωρικά με σκοπό τη δημιουργία του χάρτη συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης. Οι έξι παράγοντες που βασίστηκε η μελέτη μας και επηρεάζουν την επιρρέπεια μιας περιοχής στη πρόκληση πλημμυρικού φαινομένου είναι: α) το Υψόμετρο, β) η Κλίση, γ) η Συγκέντρωση Ροής, δ) η Υδρογεωλογία, ε) οι Χρήσεις Γης και στ) η Ένταση της Βροχόπτωσης. Η πλημμυρική επικινδυνότητα κατηγοριοποιήθηκε, για κάθε ένα από τους παράγοντες, σε πέντε κλάσεις: Πολύ Χαμηλή (1), Χαμηλή (2), Μέτρια (5), Υψηλή (8) και Πολύ Υψηλή (10), με βάση την μέθοδο Natural Breaks (Jenks). Κατόπιν, ακολουθώντας την κατάλληλη μεθοδολογία και με τη χρήση των συντελεστών βαρύτητας, που προέκυψαν από την ποσοτικοποίηση της επίδρασης του εκάστοτε παράγοντα στην συνολική πλημμυρική επικινδυνότητα, κατασκευάστηκε ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης. Τα αποτελέσματα από την μελέτη που υλοποιήθηκε αποδεικνύουν ότι η περιοχή του Τυμπακίου χαρακτηρίζεται από υψηλό πλημμυρικό κίνδυνο στο μεγαλύτερο μέρος της. Η αξιοπιστία του τελικού χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας επαληθεύεται μέσω μελέτης που έχει πραγματοποιηθεί και προσδιορίζει την περιοχή μελέτης ως ζώνη δυνητικά υψηλού πλημμυρικού κινδύνου. Επίσης, η μελέτη δεν περιορίστηκε μόνο στο προσδιορισμό του πλημμυρικού κινδύνου σύμφωνα τα τωρινά δεδομένα που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή αλλά διαμορφώθηκαν δύο επιπλέον σενάρια βασισμένα στην αλλαγή των χρήσεων γης, με σκοπό την πρόβλεψη της μελλοντικής πλημμυρικής επικινδυνότητας. Στο πρώτο σενάριο τα σύνθετα συστήματα καλλιεργειών μετατράπηκαν σε άνυδρες καλλιέργειες, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο πλημμυρικό κίνδυνο, ενώ στο δεύτερο σενάριο κατασκευάστηκε μια αστική ζώνη στο παραλιακό μέτωπο της περιοχής με στόχο να επιφέρει τα αντίθετα αποτελέσματα. Για τα δύο σενάρια δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες χρήσεων γης και χάρτες συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας, ώστε να ερευνηθεί η επίδραση τους στην δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων.

## *Abstract*

This thesis focuses on the assessment of flood risk in the Tympakiou area, using multi-criteria analysis in a Geographic Information Systems (GIS) environment. For the spatial assessment of flood risk, six quantitative raster thematic maps were mapped and visualized, which were spatially combined to create the overall flood risk map of the area in study. The six (6) factors that our study was based on and influence the susceptibility of an area to flooding are: a) Elevation, b) Slope, c) Flow Concentration, d) Hydrogeology, e) Land Use, and f) Rainfall Intensity. Flood risk was categorized, for each of the factors, into five different classes: very low (1), low (2), moderate (5), high (8), and very high (10), based on the Natural Breaks (Jenks) method. Then, following the appropriate methodology and using the weighting coefficients resulting from the quantification of the impact of each factor on the overall flood risk, the final flood risk map of the study area was constructed. The results of the study carried out prove that the Tympakiou area is characterized by a high flood risk in most of its part. The reliability of the final flood risk map is verified through a study that has been carried out and identifies the study area as a potentially high floor risk zone. Moreover, the study was not limited to the determination of the flood risk according to the current data prevailing in the wider area, but two additional scenarios based on land use change were formulated, with the aim of predicting the future flood risk. In the first scenario, the complex crop systems were converted to arid crops, thus reducing flood risk, while in the second scenario, an urban zone was constructed on the coastal front of the area to achieve the opposite effect. For both scenarios, thematic land use maps and overall flood risk maps were created to investigate their influence on the generation of flood events.

## *Ευχαριστίες*

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω όλους όσους στάθηκαν πλάι μου και με βοήθησαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Γεώργιο Καρατζά για την καθοδήγηση και τη βοήθεια του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής τον Καθηγητή Νικόλαο Νικολαΐδη και τον Καθηγητή Νικόλαο Παρανυχιανάκη για την προθυμία τους να συμμετέχουν στην εξέταση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Γκούμα, που με τη πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ήταν πάντα διαθέσιμος να μου προσφέρει τις γνώσεις και την εμπειρία του γύρω από το αντικείμενο μελέτης αλλά και πάντα πρόθυμος να με ενθαρρύνει σε ψυχολογικό επίπεδο.

Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου και τους φίλους μου, που στάθηκαν δίπλα μου και με στήριζαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου πορείας.

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Ευχαριστίες .....	5
Περιεχόμενα Πινάκων .....	7
Περιεχόμενα Εικόνων .....	8
1ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή.....	11
2ο Κεφάλαιο: Υδατικοί Πόροι και Διαχείριση Πλημμυρικών Φαινομένων.....	12
2.1 Υδρολογικός Κύκλος .....	12
2.2 Υδατικοί Πόροι .....	15
2.3 Κλιματική Αλλαγή .....	18
2.3.1 Ακραία Καιρικά Φαινόμενα.....	21
2.3.2 Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις της στον Ελλαδικό χώρο .....	24
2.4 Πλημμύρες .....	27
2.4.1.Ορισμός .....	27
2.4.2 Αίτια Δημιουργίας Πλημμυρικών Φαινομένων .....	28
2.4.3 Τύποι Πλημμυρών .....	30
2.4.4 Επιπτώσεις .....	32
2.4.5 Ορθή Διαχείριση Πλημμυρικών Φαινομένων.....	36
2.4.6 Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/EK.....	37
3ο Κεφάλαιο: Περιοχή Μελέτης .....	39
3.1 Περιγραφή Περιοχής Μελέτης .....	39
3.1.1. Κλιματολογικά Στοιχεία .....	43
3.1.2. Γεωλογία .....	45
3.1.3. Χρήσεις Γης.....	46
4ο Κεφάλαιο: Παρουσίαση λογισμικού ArcGIS .....	47
4.1. Γενική Περιγραφή GIS .....	47
4.2. ArcGIS Desktop.....	49
5ο Κεφάλαιο: Μεθοδολογία .....	50
5.1. Χρήση των ΓΣΠ στην Εκτίμηση της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας .....	50
5.2 Μεθοδολογία Δημιουργίας Χαρτών .....	51
5.3. Δεδομένα.....	53
5.3.1. Υψόμετρο (Elevation) .....	53
5.3.2 Κλίση (Slope).....	55
5.3.3 Χρήσεις Γής ( Land Use) .....	56
5.3.4 Συγκέντρωση Ροής (Flow Accumulation).....	57
5.3.5 Γεωλογία (Geology).....	58
5.3.6 Βροχόπτωση (Rainfall Intensity) .....	60
6ο Κεφάλαιο: Αποτελέσματα .....	66
6.1 Χάρτες Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Επιμέρους Παραγόντων.....	66
6.1.1 Χάρτης Υψομέτρου (Elevation Map).....	67
6.1.2 Χάρτης Κλίσεων Εδαφικού Ανάγλυφου (Slope Map) .....	68
6.1.3 Χάρτης Χρήσεις Γης (Land Use).....	69
6.1.4 Χάρτης Συγκέντρωσης ροής (Flow Accumulation).....	70
6.1.5 Χάρτης Γεωλογίας (Geology).....	71
6.1.6 Χάρτης Βροχόπτωσης (Rainfall Intensity) .....	72
6.2 Συνδυαστική Χωρική Πλημμυρική Επικινδυνότητα .....	73
6.3 Εξέταση Μελλοντικής Πλημμυρικής Επικινδυνότητας .....	77
6.3.1 Μετατροπή Σύνθετων Συστημάτων Καλλιιεργειών σε Άνυδρες Καλλιιεργειες .....	77
6.3.2. Δημιουργία Παραλιακής Αστικής Ζώνης .....	80
7ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα.....	83
Βιβλιογραφία .....	85

## ***Περιεχόμενα Πινάκων***

### ***Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>***

<b>Πίνακας 2.1 :</b> (Gleick, PH, 1996): Υδατικοί πόροι Στην Εγκυκλοπαίδεια Κλίματος και Καιρού .....	17
<b>Πίνακας 2.2 :</b> (EM-DAT) Οι 10 μεγαλύτερες καταστροφές στην Ευρώπη με βάση των αριθμό θανάτων (1970-2019).....	23
<b>Πίνακας 2.3 :</b> (EM-DAT) Οι 10 μεγαλύτερες καταστροφές στην Ευρώπη με βάση τις οικονομικές απώλειες (1970-2019) .....	23
<b>Πίνακας 2.4 :</b> (Martini and Loat 2007, Smith and Ward 1998, Diakakis 2013) Ταξινόμηση τύπων πλημμυρών σε σχέση με τα πιο συνήθη αίτια και επιπτώσεις .....	30

### ***Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>***

<b>Πίνακας 5.1:</b> Υπολογισμός MFI για τον μετεωρολογικό σταθμό Πετροκεφάλι Μοιρών.....	62
<b>Πίνακας 5.2:</b> Υπολογισμός MFI για τον μετεωρολογικό σταθμό Φουρφουράς Ρεθύμνου.....	62
<b>Πίνακας 5.3 :</b> Υπολογισμός MFI για τον μετεωρολογικό σταθμό Πλώρα Ηρακλείου.....	62
<b>Πίνακας 5.4 :</b> Υπολογισμός MFI για τον μετεωρολογικό σταθμό Γόρτυνα Μεσσαράς.....	62

### ***Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>***

<b>Πίνακας 6.1:</b> Υπολογισμοί παραγόντων πλημμυρικής επικινδυνότητας.....	73
---	----

## **Περιεχόμενα Εικόνων**

### **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>**

<b>Εικόνα 2.1:</b> Υδρολογικός κύκλος ( <a href="https://www.usgs.gov/media/images/water-cycle-greek">https://www.usgs.gov/media/images/water-cycle-greek</a> ).....	14
<b>Εικόνα 2.2:</b> Ποιοτική παρουσίαση του υδρολογικού κύκλου σύμφωνα με τον Horton ( <a href="https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4020-4497-7_116">https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4020-4497-7_116</a> ).....	14
<b>Εικόνα 2.3:</b> Κατανομή γλυκού νερού στη γη ( <a href="https://olc.worldbank.org/sites/default/files/sco/E7B1C4DE-C187-5EDB-3EF2-897802DEA3BF/Nasa/chapter1.html">https://olc.worldbank.org/sites/default/files/sco/E7B1C4DE-C187-5EDB-3EF2-897802DEA3BF/Nasa/chapter1.html</a> ).....	16
<b>Εικόνα 2.4 :</b> Σχηματική απεικόνιση των αιτιών, των επιπτώσεων και της ανταπόκρισης στην κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007).....	19
<b>Εικόνα 2.5 :</b> Ο ρυθμός αύξησης της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας ( <a href="https://www.globalchange.gov/browse/indicators/global-sea-level-rise">https://www.globalchange.gov/browse/indicators/global-sea-level-rise</a> ),.....	20
<b>Εικόνα 2.6 :</b> Παγκόσμια κατανομή τύπου φυσικών καταστροφών κατά την περίοδο 1963-2003. (EM-DAT)(Κουργιαλάς 2010).....	22
<b>Εικόνα 2.7 :</b> Συχνότητα επεισοδίων ανά νομό, για την περίοδο 2000 - 2019. Κατανομή καιρικών φαινομένων για τις περιοχές με τη μεγαλύτερη συχνότητα επεισοδίων (ΙΕΠΒΑ – ΕΑΑ,2020).....	25
<b>Εικόνα 2.8 :</b> Συχνότητα επεισοδίων ανά νομό, με πολύ σοβαρές κοινωνικές/οικονομικές επιπτώσεις, για την περίοδο 2000 – 2019 (ΙΕΠΒΑ – ΕΑΑ,2020).....	26
<b>Εικόνα 2.9:</b> Παροχή υδατορεύματος πριν και μετά την αστικοποίηση της περιοχής (Λυκοκανέλλος, 2003).....	29
<b>Εικόνα 2.10:</b> Παγκόσμια κατανομή καταστροφικών πλημμυρών κατά την περίοδο 1974-2003. (EM-DAT) (Κουργιαλάς, 2010).....	33
<b>Εικόνα 2.11:</b> Οι δέκα σημαντικότερες πλημμυρικές καταστροφές για την περίοδο (1900 – 2010), όσον αφορά τον αριθμό νεκρών. (EM-DAT)(Κουργιαλάς 2010).....	33
<b>Εικόνα 2.12:</b> Χωρική κατανομή του αριθμού των μεγάλων πλημμυρών στην Ευρώπη (1985–2009), (πρβλ. Pińskwar et al. 2012).....	34
<b>Εικόνα 2.13 :</b> Συχνότητα επεισοδίων πλημμύρας με κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις ανά νομό, για την περίοδο 2000 – 2019 (ΙΕΠΒΑ – ΕΑΑ,2020).....	35



## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>**

<b>Εικόνα 3.1:</b> Χάρτης με την περιοχή μελέτης.....	39
<b>Εικόνα 3.2:</b> Τοποθεσία της περιοχής μελέτης σε σχέση με τη Κρήτη.....	40
<b>Εικόνα 3.3:</b> Χάρτης με την περιοχή Natura 2000 της περιοχής μελέτης ( <a href="http://www.oikoskopio.gr/map/">http://www.oikoskopio.gr/map/</a> ).....	41
<b>Εικόνα 3.4:</b> Χάρτης με τις υψομετρικές ζώνες της περιοχής μελέτης ( <a href="http://www.oikoskopio.gr/map/">http://www.oikoskopio.gr/map/</a> ).....	42
<b>Εικόνα 3.5:</b> Χάρτης με τις υδρογραφικά στοιχεία της περιοχή μελέτης ( <a href="http://www.oikoskopio.gr/map/">http://www.oikoskopio.gr/map/</a> ).....	42
<b>Εικόνα 3.6:</b> Διάγραμμα με το μέσο όρο θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των τελευταίων 30 χρόνων, στη περιοχή Τυμπάκι ( <a href="https://www.meteoblue.com/el">https://www.meteoblue.com/el</a> ).....	43
<b>Εικόνα 3.7:</b> Διάγραμμα με τις μέγιστες θερμοκρασίες των τελευταίων 30 χρόνων, στη περιοχή Τυμπάκι ( <a href="https://www.meteoblue.com/el">https://www.meteoblue.com/el</a> ).....	44
<b>Εικόνα 3.8:</b> Χάρτης χρήσεις γης της περιοχής μελέτης βάση corine 2018 ( <a href="http://www.oikoskopio.gr/map/">http://www.oikoskopio.gr/map/</a> ).....	46

## **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>**

<b>Εικόνα 5.1:</b> Σχηματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης των επιμέρους παραγόντων που συμβάλλουν στην πλημμυρική επικινδυνότητα.....	52
<b>Εικόνα 5.2:</b> Χάρτης υψομέτρου της περιοχής μελέτης.....	54
<b>Εικόνα 5.3:</b> Χάρτης κλίσης της περιοχής μελέτης.....	55
<b>Εικόνα 5.4:</b> Χάρτης χρήσεων γης της περιοχής μελέτης.....	56
<b>Εικόνα 5.5:</b> Χάρτης συγκέντρωσης ροής της περιοχής μελέτης.....	57
<b>Εικόνα 5.6:</b> Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης.....	58
<b>Εικόνα 5.7:</b> Εγκατεστημένοι μετεωρολογικοί σταθμοί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.....	60

## **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>**

<b>Εικόνα 6.1:</b> Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με το Υψόμετρο στην περιοχή του Τυμπακίου.....	67
<b>Εικόνα 6.2:</b> Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Εδαφική Κλίση στην περιοχή του Τυμπακίου.....	68
<b>Εικόνα 6.3:</b> Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με τις Χρήσεις Γης στην περιοχή του Τυμπακίου.....	69
<b>Εικόνα 6.4:</b> Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Συγκέντρωση Ροής στην περιοχή του Τυμπακίου.....	70
<b>Εικόνα 6.5:</b> Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Γεωλογία στην περιοχή του Τυμπακίου.....	71
<b>Εικόνα 6.6:</b> Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Ένταση της Βροχόπτωσης στην περιοχή του Τυμπακίου.....	72
<b>Εικόνα 6.7:</b> Χάρτης συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης.....	75
<b>Εικόνα 6.8:</b> Εφαρμογή της Οδηγίας 2007/06/EK για την Αξιολόγηση και τη Διαχείριση των Κινδύνων Πλημμύρας ( Η περιοχής μελέτης προσδιορίζεται με το βέλος) .....	76
<b>Εικόνα 6.9:</b> Σενάριο 1ο: Σύγκριση πλημμυρικής επικινδυνότητας λόγω χρήσεων γης: Μελλοντική (Αριστερά) και Τρέχουσα (Δεξιά).....	78
<b>Εικόνα 6.10:</b> Σενάριο 1ο: Σύγκριση συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας: Μελλοντική (Αριστερά) και Τρέχουσα (Δεξιά).....	79
<b>Εικόνα 6.11:</b> Σενάριο 2ο: Σύγκριση πλημμυρικής επικινδυνότητας λόγω χρήσεων γης: Μελλοντική (Αριστερά) και Τρέχουσα (Δεξιά).....	81
<b>Εικόνα 6.12:</b> Σενάριο 2ο: Σύγκριση συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας: Μελλοντική (Αριστερά) και Τρέχουσα (Δεξιά).....	82

## *1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο: Εισαγωγή*

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης, δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση (Βαχαβιώλος, 2011). Οι πλημμύρες αποτελούν αντικείμενο ενασχόλησης τόσο για πολλούς ερευνητές όσο και για τις τοπικές αρχές μιας περιοχής, καθώς σε παγκόσμιο επίπεδο θεωρούνται από τις πιο σημαντικές και συχνές φυσικές καταστροφές. Οι βασικές ανησυχίες που συσχετίζονται με το συγκεκριμένο φυσικό φαινόμενο αποτυπώνονται στα αίτια πρόκλησης ενός πλημμυρικού φαινομένου, τον πλημμυρικό κίνδυνο, τις άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις του φαινομένου, τη τρωτότητα των υποδομών αλλά και τον κίνδυνο που διατρέχει ο άνθρωπος.

Τα τελευταία χρόνια, έχουμε γίνει μάρτυρες στην ολοένα αυξανόμενη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων, με συχνότερες και εντονότερες βροχόπτωσης λόγω της επιδεινούμενης κλιματικής αλλαγής, που έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία επικινδυνών πλημμυρικών γεγονότων. Με βάση αυτό η ανάγκη αξιολόγησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας, καθώς και η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου με σκοπό τον προσδιορισμό των περιοχών υψηλού πλημμυρικού κινδύνου χρήζει άμεσης ανάγκης. Οι επιπτώσεις που φέρει μια πλημμύρα ανάγονται στο περιβάλλον, στην οικονομία μιας περιοχής αλλά και στην ίδια την κοινωνία. Αξίζει να τονιστεί ότι σε περιοχές με μεγάλο πληθυσμό, έντονη αστικοποίηση και ενεργή οικονομική δραστηριότητα, οι ζημιές που προκαλούνται μπορεί να είναι καταστροφικές.

Σκοπός της παρούσας προπτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της πλημμυρικής επικινδυνότητας της ευρύτερης περιοχής του Τυμπακίου, του Δήμου Ηρακλείου, με την εφαρμογή της ήδη ανεπτυγμένης μεθόδου των Κουργιαλά και Καρατζά (*Kourgialas & Karatzas, 2011*). Για τον προσδιορισμό της πλημμυρικής επικινδυνότητας έγινε αρχικά εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής μελέτης με τη χρήση γεωχωρικών δεδομένων, που εισήχθησαν στο λογισμικό ArcMap του GIS και μέσω αυτού κατασκευάστηκαν 6 θεματικοί χάρτες με τους αντίστοιχους επιμέρους παράγοντες που ευθύνονται για τη πλυμμηρική επικινδυνότητα της περιοχής. Στη συνέχεια ακολούθησε ο συνδυασμός των θεματικών χαρτών, με τη μέθοδο σταθμισμένης κάλυψης, ώστε να δημιουργηθεί ο τελικός χάρτης συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής ενδιαφέροντος.

## 2° Κεφάλαιο: Υδατικοί Πόροι και Διαχείριση Πλημμυρικών Φαινομένων

### 2.1 Υδρολογικός Κύκλος

Το νερό αποτελεί τη πιο διαδομένη ανόργανη χημική ένωση. Η ύπαρξη του είναι ζωτικής σημασίας για τους οργανισμούς, όπως και για τον άνθρωπο. Το ποσοστό του νερού κυμαίνεται από περίπου 10% στους σπόρους των φυτών έως και 98% σε ορισμένα υδρόβια ζώα, ενώ στο ανθρώπινο σώμα αποτελεί περίπου το 63%. Η σημασία του νερού για την ζωή φαίνεται από το γεγονός ότι η βιομάζα σε κάθε περιοχή της στεριάς είναι περίπου ανάλογη με τον όγκο των βροχοπτώσεων σε αυτή την περιοχή.

Το νερό είναι μόνη γνωστή ουσία που μπορεί φυσικά να υπάρχει ως αέριο, υγρό και στερεό, μέσα στο σχετικά μικρό εύρος θερμοκρασιών αέρα και πιέσεων που βρίσκονται στην επιφάνεια της Γης. Η κατανομή του ωστόσο είναι άνιση, καθώς το 96,5% του νερού της Γης βρίσκεται στους ωκεανούς και τις θάλασσες, το 1,7% στα υπόλοιπα επιφανειακά νερά όπως λίμνες, ποτάμια, έλη, κ.τ.λ., το 1,7% στους παγετώνες, ενώ μόλις το 0,001% εμφανίζεται σε μορφή υγρασίας της ατμόσφαιρας και σε σύννεφα.

Ο όρος υδρολογικός κύκλος περιγράφει την αέναη κίνηση του νερού ανάμεσα στους ωκεανούς, την ατμόσφαιρα και την ξηρά. Η δύναμη που τροφοδοτεί τη σειρά διαδικασιών κυκλοφορίας του νερού στη φύση είναι η ηλιακή ενέργεια (περίπου  $174 \times 10^{15}$  θερμικά watts/έτος εισέρχονται στην επιφάνεια της γης από τον ήλιο μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας). Ο κύκλος του νερού είναι ένα πολυφασικό ταξίδι, που δεν έχει πρακτικά αρχή και τέλος. Ορίζοντας ως αρχή την συγκέντρωση του νερού στην ατμόσφαιρα με μορφή υδρατμών, ακολουθεί η υγραποίηση των υδρατμών στα σύννεφα και στη συνέχεια με μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι, ομίχλης) η κάθοδος στην επιφάνεια της γης. Οι διαδρομές που ακολουθεί το νερό στην επιφάνεια της στεριάς είναι τρεις. Ο πρώτος δρόμος είναι η διείσδυση στο έδαφος, όπου εξασφαλίζεται μέσω της συγκράτησης και αποθήκευσης του νερού από το έδαφος, ο δεύτερος βασίζεται στην εξατμισοδιαπνοή, όπου το νερό είτε διαπνέεται από τα φυτά είτε εξατμίζεται και ο τρίτος είναι η επιφανειακή ροή, όπου μεγάλο μέρος του νερού απορρέει επιφανειακά ή υπόγεια προς τα ρέματα που καταλήγουν σε θάλασσες και λίμνες. Η σπουδαιότερη οδός επιστροφής του νερού στην ατμόσφαιρα είναι η εξάτμιση του νερού της θάλασσας, κλείνοντας με τον τρόπο αυτό τον υδρολογικό κύκλο. Τέλος κρίνεται δέον να σημειωθεί ότι μέσα στον υδρολογικό κύκλο μπορεί να πραγματοποιηθεί μεταφορά, προσωρινή αποθήκευση και μεταβολή της κατάστασης του νερού.

Οι παράγοντες του υδρολογικού κύκλου είναι:

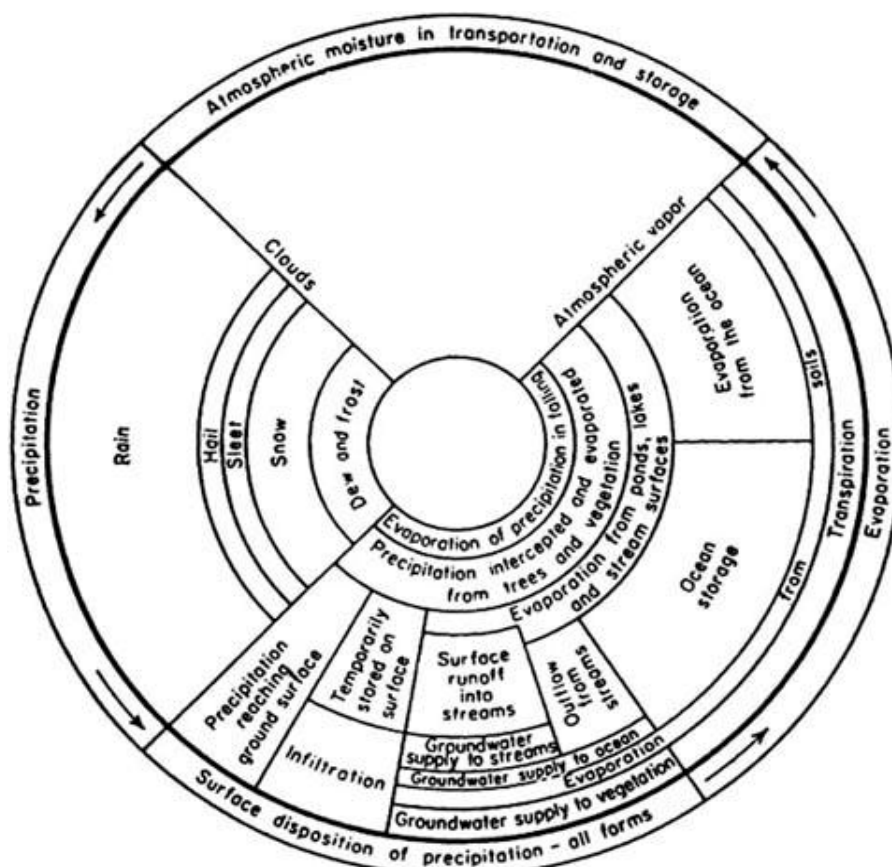
- Τα κατακρημνίσματα (N)
- Η εξατμισοδιαπνοή (ET)
- Η απορροή (A)
- Η προσαγωγή νερού (Z)
- Τα υπόγεια ύδατα (G)
- Η μεταβολή του νερού

$$(\Delta S) N - ET + G - A = +/- \Delta S$$

Ο παράγοντας N περιλαμβάνει όλα τα κατακρημνίσματα, που πέφτουν στην περιοχή. Ο παράγοντας εξατμισοδιαπνοή ET ασκεί την επίδρασή του στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και στο υποκειμενικό της εδαφικό στρώμα. Προσαγωγή και απαγωγή του νερού G μπορεί να συμβεί και στα τρία εδαφικά στρώματα, ενώ η απορροή A τροφοδοτείται άμεσα τόσο από την επιφάνεια του εδάφους όσο και από τα εδαφικά στρώματα με κενά αέρα και με υδροφόρους ορίζοντες. Η αποθήκευση ή η απομείωση νερού  $\pm \Delta S$  σε ότι αφορά την επιφάνεια του εδάφους οφείλεται στη συγκράτηση υδάτινων μαζών στα επιφανειακά κοιλάματα των λεκανών, στις λίμνες, στις κοίτες των υδάτινων ρευμάτων, στα χιονοστρώματα που καλύπτουν τις λεκάνες απορροής και στους παγετώνες. Αποθήκευση ή απομείωση νερού δημιουργείται όμως και στα άλλα τρία υπόγεια εδαφικά στρώματα. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες εξαρτώνται από τις κλιματικές, μετεωρολογικές, γεωλογικές και μορφολογικές συνθήκες των λεκανών απορροής (Κωτούλας, 2001).



Εικόνα 2.1: Υδρολογικός κύκλος (<https://www.usgs.gov/media/images/water-cycle-greek>)



Εικόνα 2.2: Ποιοτική παρουσίαση του υδρολογικού κύκλου σύμφωνα με τον Horton ([https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4020-4497-7\\_116](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4020-4497-7_116))

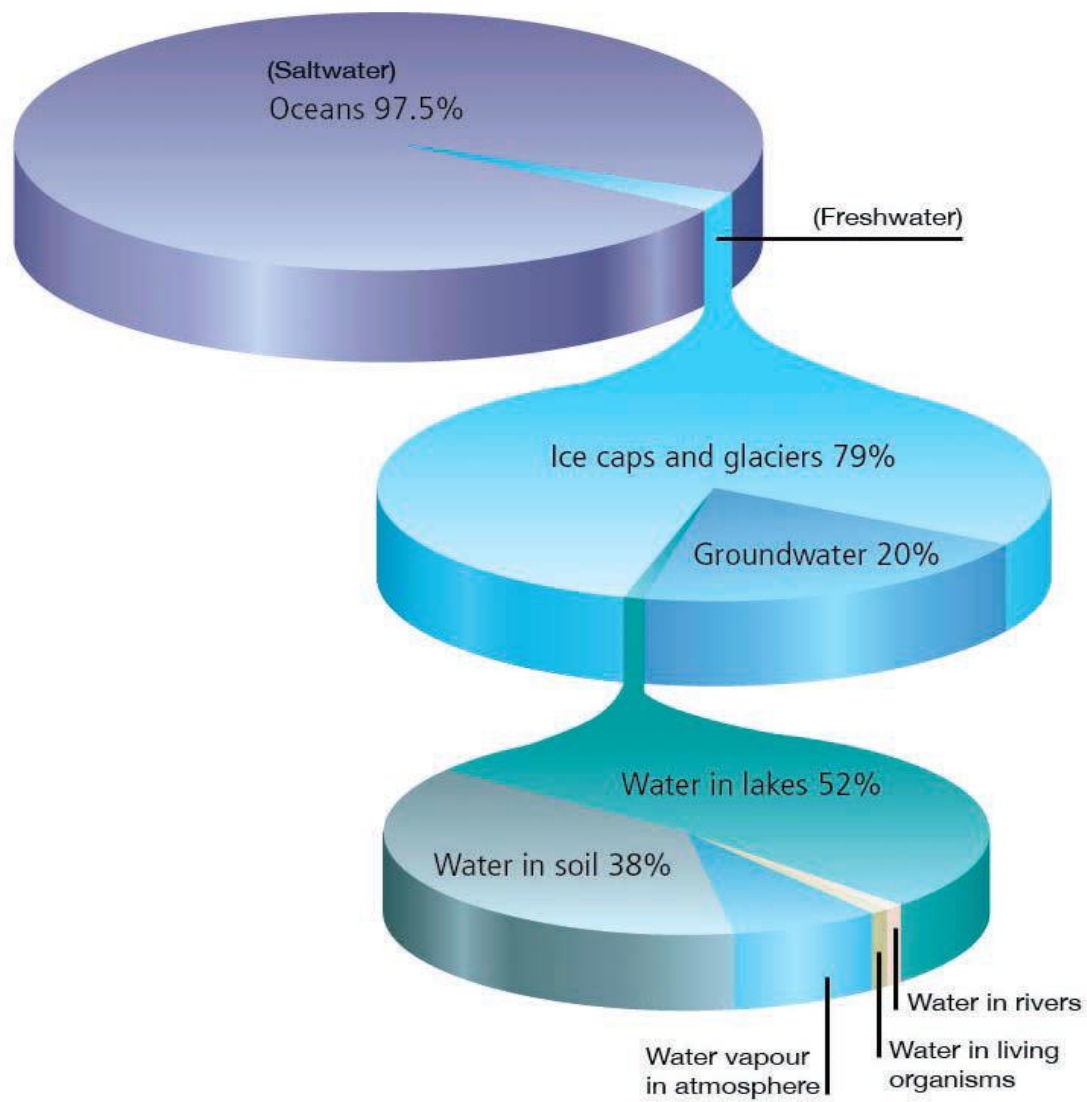
## 2.2 Υδατικοί Πόροι

Με τον όρο υδάτινοι πόροι αναφέρεται κανείς σε όλα τα επιφανειακά αλλά και υπόγεια ύδατα μιας περιοχής, ενώ ο όρος υπόγεια ύδατα αναφέρεται στις υδάτινες ποσότητες οι οποίες υπάρχουν στο υπέδαφος και στους διάφορους υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς (Καρατζάς, 2000).

Σύμφωνα με το αρ. 1 του Ν.1739/87 περί διαχείρισης των υδατικών πόρων, υδατικοί πόροι, στους οποίους δεν περιλαμβάνεται το θαλάσσιο νερό, είναι τα επιφανειακά και υπόγεια νερά χωρίς διάκριση στην ποιότητα, την προέλευση ή τη δυνατή χρήση, νερά φυσικών πηγών, χερσαίων και υποθαλάσσιων και θερμομεταλλικά νερά, όπως ιαματικά, μεταλλικά ή αεριούχα, ολιγομεταλλικά (ΦΕΚ 201 Α/1987).

Σημαντικό νομοθετικό θέσπισμα αποτελεί η οδηγία-πλαίσιο για τα ύδατα 2000/60/ΕΚ για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. Στο αρ.2 μεταξύ άλλων ορίζει τα επιφανειακά ύδατα ως τα «Εσωτερικά ύδατα», εκτός των υπογείων, τα μεταβατικά και τα παράκτια ύδατα, εκτός εάν πρόκειται για τη χημική τους κατάσταση, οπότε περιλαμβάνουν και τα χωρικά. Ειδικότερα, προσδιορίζει ως εσωτερικά ύδατα το σύνολο των στάσιμων ή των ρεόντων επιφανειακών υδάτων, καθώς και των υπόγειων υδάτων τα οποία βρίσκονται προς την πλευρά της ξηράς σε σχέση με τη γραμμή βάσης από την οποία μετράτε το εύρος των χωρικών υδάτων. Τα μεταβατικά ύδατα είναι τα συστήματα επιφανειακών υδάτινων πλησίων του στομίων ποταμών, τα οποία είναι εν μέρει αλμυρά λόγω γειτνίασης με παράκτια ύδατα, αλλά επηρεάζονται ουσιαστικά από ρεύματα γλυκού νερού. Τα παράκτια ύδατα είναι τα επιφανειακά ύδατα τα οποία βρίσκονται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου προς την θάλασσα από το πλησιέστερο σημείο της γραμμής βάσης από το οποίο μετράτε το εύρος των χωρικών υδάτων και τα οποία, κατά περίπτωση, εκτείνονται μέχρι το ανώτερο όριο των μεταβατικών υδάτων.





**Εικόνα 2.3:** Κατανομή γλυκού νερού στη γη

(<https://olc.worldbank.org/sites/default/files/sco/E7B1C4DE-C187-5EDB-3EF2-897802DEA3BF/Nasa/chapter1.html>)

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η κατανομή της ποσότητας του νερού που υπάρχει στον πλανήτη και κυρίως τα αποθέματα σε γλυκό νερό, δηλαδή πόσιμο.



Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού	Όγκος (1000 km <sup>3</sup> )	Ποσοστό συνολικού νερού	Ποσοστό γλυκού νερού
<b>Ωκεανοί, Θάλασσες και Όρμοι</b>	1.338.000	96.5	-
<b>Παγοκρύσταλλα, παγετώνες και μόνιμο χιόνι</b>	24,064	1.74	68.7
<b>Υπόγεια νερά</b>	23.400	1.7	-
<b>Φρέσκο</b>	(10.530)	(0,76)	30.1
<b>Αλατούχος</b>	(12.870)	(0,94)	-
<b>Υγρασία εδάφους</b>	16.5	0,001	0,05
<b>Ισόγειος πάγος και Permafrost</b>	300	0,022	0,86
<b>Λίμνες</b>	176.4	0,013	-
<b>Φρέσκο</b>	(91.0)	(0,007)	0,26
<b>Αλατούχος</b>	(85.4)	(0,006)	-
<b>Ατμόσφαιρα</b>	12.9	0,001	0,04
<b>Νερό βάλτο</b>	11.47	0,0008	0,03
<b>Ποτάμια</b>	2.12	0,0002	0,006
<b>Βιολογικό νερό</b>	1.12	0,0001	0,003
<b>Σύνολο</b>	<b>1.385.984</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>

*Πίνακας 2.1: Πηγή: Gleick, PH, 1996: Υδατικοί πόροι. Στην Εγκυκλοπαίδεια Κλίματος και Καιρού, ed. από τον SH Schneider, Oxford University Press, Νέα Υόρκη, τομ. 2, σελ.817-823.*

Μόνο 0,6% του νερού παγκοσμίως θεωρείται διαθέσιμο και κατάλληλο για χρήση. Αυτή η περιορισμένη ποσότητα υδάτινων πόρων είναι κατανεμημένα άνισα στο χώρο και στο χρόνο. Υπάρχουν χώρες με αφθονία νερού και άλλοι με ζωτικές ελλείψεις ή ερήμους. Ακόμη και στο εσωτερικό των χωρών, οι υδάτινοι πόροι δεν διανέμονται ομοιόμορφα, προκαλώντας στη συνέχεια τις σοβαρές τοπικές συγκρούσεις μεταξύ των χρηστών. Η διαθεσιμότητα χρόνου είναι επίσης άνιση, δεδομένου ότι το τους φθινοπωρινούς μήνες εμφανίζονται πλημύρες, ενώ στο καλοκαίρι είναι ανεπαρκής για ορισμένη χρήση (άρδευση, τουρισμός κ.λπ.). Η εξαιρετικά περιορισμένη διαθεσιμότητα του νερού, μαζί με την διαφορετική χωροχρονική κατανομή του και τη βαθμιαία υποβιβασμένη ποιότητα, καθιστά τους υδάτινους πόρους ανεπαρκείς (Mimikou, 2005).

Για τις ανθρώπινες ανάγκες, η ποσότητα γλυκού νερού στη Γη, για πόσιμο νερό και γεωργία, είναι ιδιαίτερα σημαντική. Το γλυκό νερό υπάρχει σε λίμνες, ποτάμια, υπόγεια ύδατα και κατεψυγμένο ως χιόνι και πάγος. Έχοντας αναγνωρίσει την ζωτική σημασία του νερού στην καθημερινότητα του ανθρώπου, η ορθολογική χρήση του και η προστασία του από τυχόν ρυπάνσεις ή μολύνσεις, καθιστάτε ολοένα και πιο επιτακτική για την ομαλή λειτουργία τόσο του οικοσυστήματος όσο και την ύπαρξη μας.

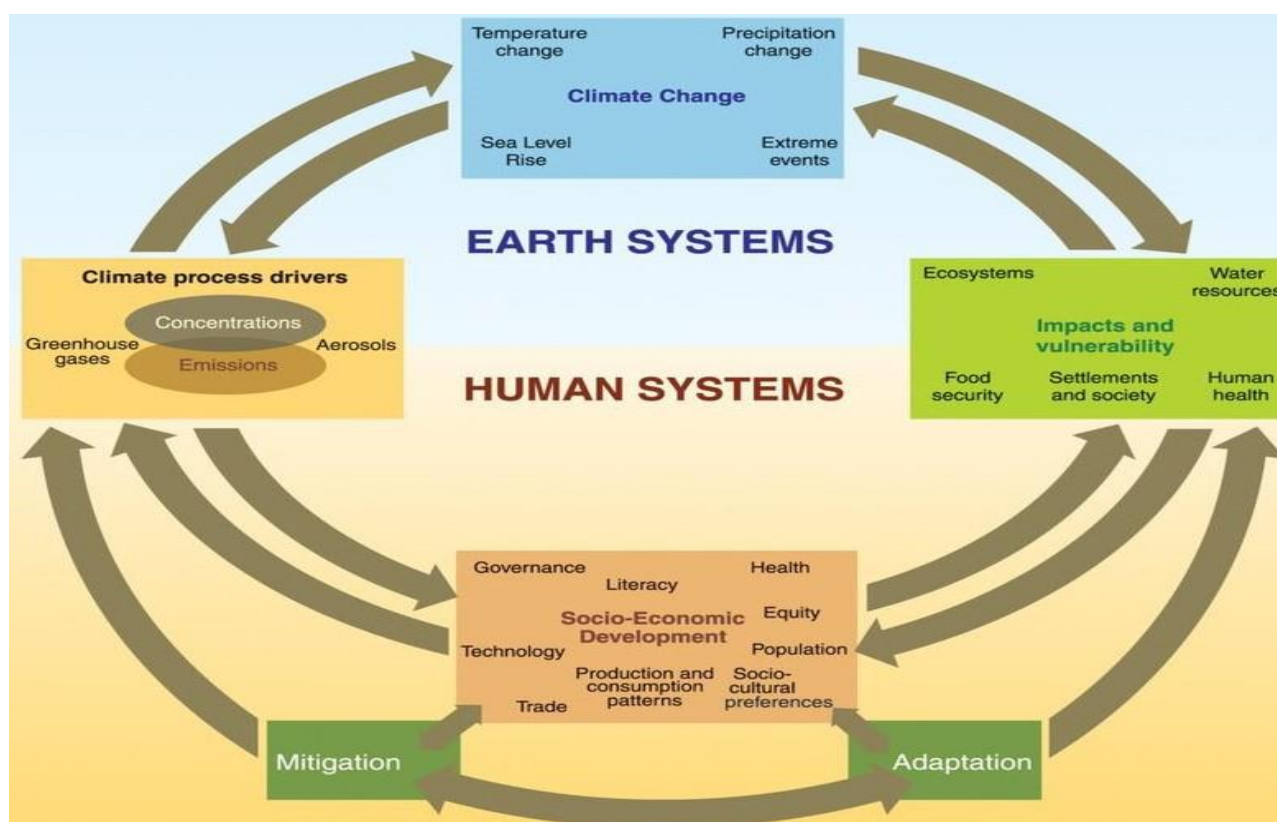
## 2.3 Κλιματική Αλλαγή

Το κλιματικό σύστημα είναι ένα σύνθετο σύστημα αλληλεπιδράσεων, που αποτελείται από την ατμόσφαιρα, την επιφάνεια της γης, τα χιόνια και τους πάγους, τους ωκεανούς, τα λοιπά επιφανειακά και υπόγεια νερά των ηπείρων και τους ζωντανούς οργανισμούς. Το κλίμα περιγράφεται συνήθως με τη χρήση του μέσου όρου και της μεταβλητότητας της θερμοκρασίας, των βροχοπτώσεων και των ανέμων για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, που κυμαίνεται από λίγους μήνες έως εκατομμύρια χρόνια (μια συνηθισμένη περίοδος είναι τα 30 χρόνια). Το κλιματικό σύστημα εξελίσσεται κάτω από την επίδραση της εσωτερικής του δυναμικής και εξαιτίας αλλαγών σε διάφορους εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα (IPCC, 2007a).

Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2007) ως «Κλιματική αλλαγή» ορίζεται μια αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που μπορεί να προσδιοριστεί (π.χ. χρησιμοποιώντας στατιστικές δοκιμές) από τις αλλαγές στο μέσο όρο ή/και τη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του, και που υπάρχει για μια εκτεταμένη περίοδο, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο. Αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα με την πάροδο του χρόνου, που οφείλεται είτε στη φυσική μεταβλητότητα είτε στις δραστηριότητες του ανθρώπου.

Το κλίμα κατά το πέρασμα των αιώνων έχει διαφοροποιηθεί στα ποικίλα σημεία της Γης. Στη διάρκεια των εκατομμυρίων ετών που έχουν προηγηθεί, είναι φανερό ότι παρουσίασε σημαντικές αλλαγές. Ξεκινώντας από το παρελθόν, βλέπουμε ότι οι χαμηλές θερμοκρασίες κυριαρχούσαν, χαρακτηρίζοντας τις περιόδους αυτές παγετωνικές που εναλλάσσονται με τις μεσοπαγετωνικές περιόδους, στις οποίες οι πάγοι υποχωρούν. Κατά τα τελευταία 150 έτη (τη λεγόμενη «βιομηχανική εποχή») οι θερμοκρασίες αυξήθηκαν ταχύτερα από ό,τι σε οποιαδήποτε άλλη εποχή. Οι διακυμάνσεις αυτές οφείλονται πρωτίστως σε φυσικούς παράγοντες όπως αστρονομικούς παράγοντες (αλλαγές στη διεύθυνση του άξονα περιστροφής της Γης και σε γεωμετρικές εναλλαγές της τροχιάς της), μετακινήσεις ηπείρων, μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας, εκρήξεις ηφαιστειών, μεταβολές της βιόσφαιρας και της υδρόσφαιρας κ.α.. Ωστόσο, στη σύγχρονη εποχή καίριας σημασίας είναι και οι ανθρωπογενείς παράγοντες, με δραστηριότητες όπως την καύση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακα και φυσικό αέριο), κατά την οποία εκπέμπονται αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, την αλλαγή χρήσεων γης, την αποψίλωση των δασών κ.α.

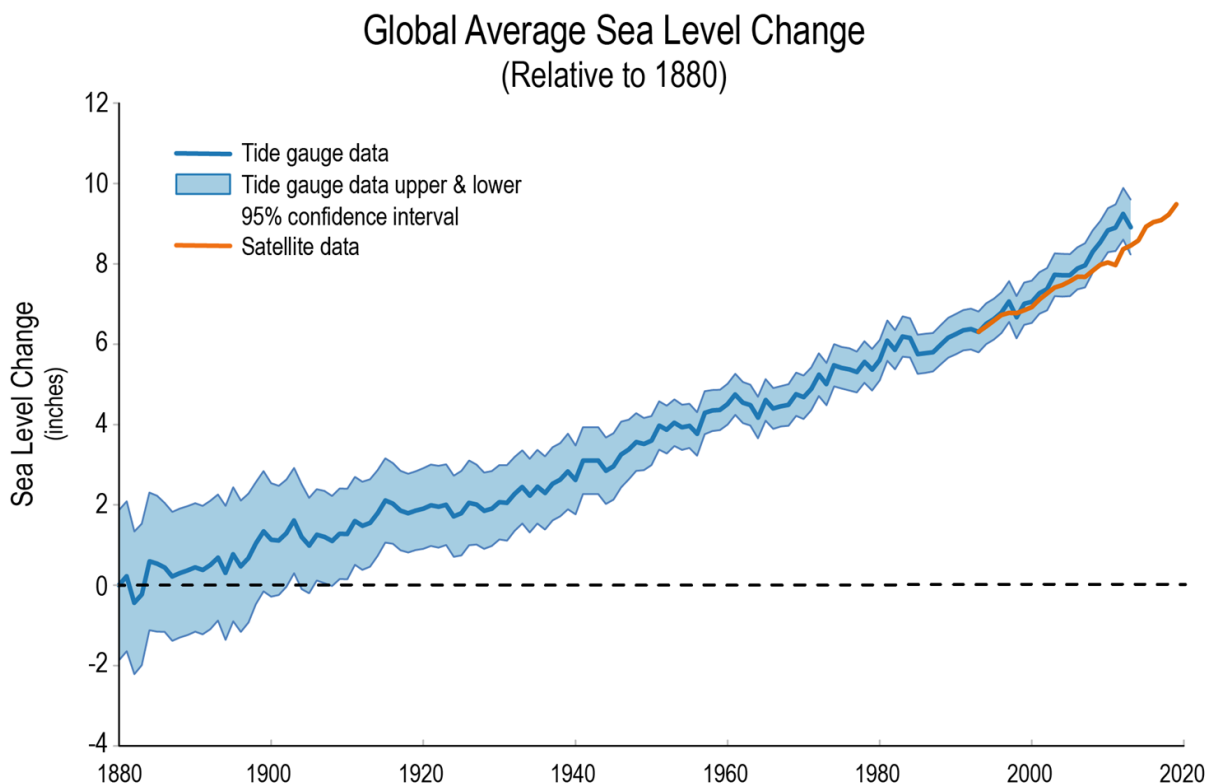
Στην εικόνα 2.4 δίνονται διαγραμματικά οι παράγοντες που επηρεάζουν την κλιματική αλλαγή, οι συνέπειες και η ανταπόκριση (προσαρμογή, μετριασμός) στην κλιματική αλλαγή καθώς και οι μεταξύ τους σχέσεις.



**Εικόνα 2.4 :** Σχηματική απεικόνιση των αιτιών, των επιπτώσεων και της ανταπόκρισης στην κλιματική αλλαγή (IPCC, 2007).

Από τις πιο ευρεία γνωστές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, με σημαντικές επιπτώσεις στις παράκτιες και νησιωτικές, καθώς και δελταϊκές περιοχές. Εμπεριστατωμένες μελέτες δείχνουν σημαντική αύξηση στην παγκόσμια θαλάσσια στάθμη τον τελευταίο αιώνα, η οποία οφείλεται κυρίως στην αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας. Έτσι προκαλείται θερμική διαστολή των ωκεανών, τήξη των ηπειρωτικών πάγων και αλλαγές στην παγκόσμια θαλάσσια κυκλοφορία. Οι τελευταίες προγνώσεις του Διακυβερνητικού Οργανισμού για την κλιματική αλλαγή δείχνουν ότι η θαλάσσια στάθμη το 2100 θα είναι μεταξύ 22 και 50 εκατοστά υψηλότερη από την παγκόσμια μέση θαλάσσια στάθμη το 1980-1999. Αυτή η κατάσταση, προκαλεί καταστροφές ιδιοκτησιών και οικονομικών πόρων, ενώ μπορεί να προκαλέσει μέχρι και μετακινήσεις πληθυσμών. Εκτός από την κάλυψη ξηράς με θάλασσα η άνοδος της στάθμης της θάλασσας ως συνέπεια της κλιματικής αλλαγής προκαλεί εντονότερα τα ήδη υπάρχοντα παράκτια φαινόμενα που προκαλούν διάβρωση στις παραλίες. Για παράδειγμα, εντονότερες και συχνότερες φουσκοθαλασιές (storm surges), αύξηση του ύψους κύματος (storminess) κ.λπ. (storm surges, IPCC, 2001, 2007).

Με βάση τις μελέτες του US Global Change Research Program (USGCRP), παρατηρούμε ότι από τότε που ξεκίνησε η τήρηση επιστημονικών αρχείων το 1880, η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά περίπου 8 ίντσες. Ο ρυθμός αύξησης της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας έχει αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Το τρέχον ποσοστό είναι λίγο περισσότερο από μια ίντσα ανά δεκαετία.



**Εικόνα 2.5 :** Ο ρυθμός αύξησης της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας  
(<https://www.globalchange.gov/browse/indicators/global-sea-level-rise>)

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται ότι ο δείκτης δείχνει μια αύξηση στο παγκόσμιο μέσο επίπεδο της θάλασσας από το 1880 σε ίντσες. Τις τελευταίες δεκαετίες η μπλε γραμμή γίνεται πιο απότομη, υποδηλώνοντας με αυτό το τρόπο τον αυξημένο ρυθμό αλλαγής. Η μπλε γραμμή δείχνει τη στάθμη της θάλασσας όπως μετράτε από μετρητές παλίρροιας (1880-2013). Η γύρω περιοχή με ανοιχτό μπλε-σκίαση δείχνει άνω και κάτω διαστήματα εμπιστοσύνης 95%, ενώ η πορτοκαλί γραμμή δείχνει τη στάθμη της θάλασσας όπως μετράτε από τους δορυφόρους για σύγκριση (1993-2019).

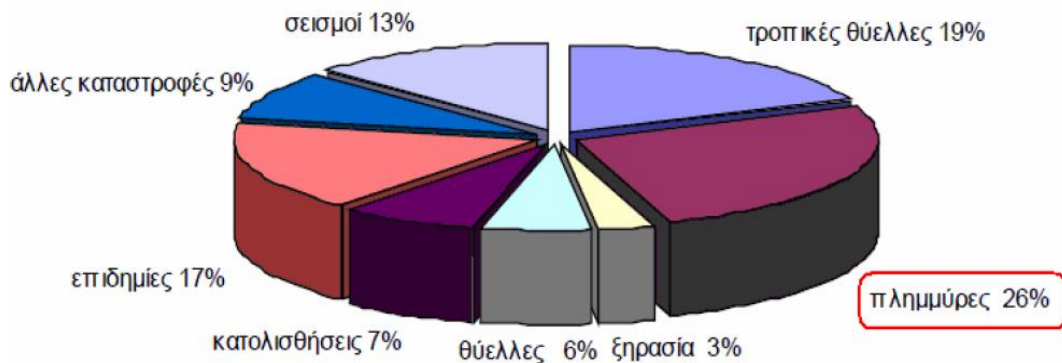
### *2.3.1 Ακραία Καιρικά Φαινόμενα*

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα πάρα το γεγονός ότι είναι εύκολο να αναγνωριστούν, υπάρχει μεγάλη δυσκολία στο να τα ορίσουμε. Αυτό συμβαίνει, διότι δεν υπάρχει ένας ενιαίος ορισμός για το τι σημαίνει η λέξη «ακραίο», καθώς η έννοια αυτή είναι σχετική και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες .

Ένα καιρικό φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως ακραίο είτε από την ένταση του, είτε από την διάρκεια του ή και από την συχνότητα επανεμφάνισής του. Η σχέση ένταση - διάρκεια - συχνότητα χαρακτηρίζουν ένα εκ δηλωθέν ακραίο καιρικό φαινόμενο το οποίο είναι δυνατό με την σειρά του να προκαλέσει μια εκτεταμένη φυσική καταστροφή. Γενικά μεγάλης κλίμακας ακραία καιρικά φαινόμενα δεν λαμβάνουν χώρα τόσο συχνά ώστε να θεωρούνται ως τα σημαντικότερα, ενώ τα ακραία καιρικά φαινόμενα μικρής κλίμακας είναι συχνότερα, προκαλώντας καταστροφές σε μικρές περιοχές του πλανήτη. Αντικειμενικά είναι πολύ δύσκολο να ορισθεί μία τιμή μεγέθους πάνω από την οποία ένα καιρικό φαινόμενο θα μπορεί να χαρακτηρίζεται ως ακραίο και αυτό γιατί στο χαρακτηρισμό ενός φαινομένου ως ακραίο συνηγορούν πολύ παράγοντες. Σε πολλές περιπτώσεις ο χαρακτηρισμός ενός καιρικού φαινομένου ως ακραίου είναι αποτέλεσμα των καταστροφών ή ακόμη και των θανάτων που προκάλεσε σε μία περιοχή (Svensmark & Nigel, 2008).

Οι ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως καταιγίδες, ισχυροί άνεμοι, χιονοθύελλες, καύσωνες, αποτελούν φυσικούς κινδύνους τόσο για τα οικοσυστήματα όσο και για τις ανθρώπινες κοινωνίες. Ωστόσο, φυσικοί κίνδυνοι αποτελούν και τα αποτελέσματα τέτοιων γεγονότων, όπως κατολισθήσεις και πλημμύρες. Τα φαινόμενα αυτά, μπορεί να είναι αιφνίδια, βραχυχρόνια και βίαια (ανεμοστρόβιλοι και πλημμύρες), επηρεάζοντας σχετικά μικρές περιοχές, όμως μπορεί να αναπτύσσονται και αργά (ξηρασία) και να επηρεάσουν μεγάλα μέρη ηπείρων ή και ολόκληρους πληθυσμούς για μήνες ή ακόμη και χρόνια.

### ΜΕΓΑΛΕΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ 1963 - 2003



**Εικόνα 2.6 :** Παγκόσμια κατανομή τύπου φυσικών καταστροφών κατά την περίοδο 1963-2003. (EM-DAT)(Κουργιαλάς 2010).

Σύμφωνα με μία ολοκληρωμένη μελέτη του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO) από τις 10 κορυφαίες καταστροφές, οι κίνδυνοι που οδήγησαν στις μεγαλύτερες ανθρώπινες απώλειες κατά την περίοδο 1970-2019, ήταν ξηρασίες (650.000 θάνατοι), καταιγίδες (577 232 θάνατοι), πλημμύρες (58 700 θάνατοι) και ακραία θερμοκρασία (55.736 θάνατοι). Όσον αφορά τις οικονομικές απώλειες, τα 10 κορυφαία γεγονότα περιλαμβάνουν καταιγίδες (521 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ) και πλημμύρες (115 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ).

Στοιχεία από την έρευνα δείχνουν ότι ο καιρός, το κλίμα και κίνδυνοι που προκαλούνται από το νερό, την περίοδο των τελευταίων 50 ετών, αντιπροσώπευαν το 50% όλων των καταστροφών (συμπεριλαμβανομένων των τεχνολογικών κινδύνων), το 45% όλων των αναφερόμενων θανάτων και το 74% όλων των αναφερόμενων οικονομικών ζημιών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, τα τελευταία χρόνια λόγω βελτιωμένων και έγκαιρων συστημάτων προειδοποίησης αλλά και καλύτερης διαχείρισης των καταστροφών, ο αριθμός των θανάτων από ακραίες καιρικές συνθήκες, έχει μειωθεί. Αξίζει να αναφερθούμε στα δύο ακραία κύματα θερμότητας στην Ευρώπη το 2003 και 2010, που κόστισαν την ζωή σε 127.946, τα οποία έπαιξαν καταλυτικό ρόλο στη δημιουργία σχεδίων δράσης για την πρόγνωση και αντιμετώπιση αντίστοιχων φαινομένων. Τέλος, οι πιο διαδεδομένοι κίνδυνοι αναγνωρίζονται σε πλημμύρες ποταμών (22%), γενικές καταιγίδες (14%) και γενικές πλημμύρες (10%).



Στον Πίνακα 2.2 και 2.3 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι 10 μεγαλύτερες καταστροφές στην Ευρώπη την χρονική περίοδο 1970-2019, ταξινομημένες με βάση των αριθμό θανάτων και τις οικονομικές απώλειες αντίστοιχα.

	Τύπος Καταστροφής	Χρονολογία	Χώρα	Θάνατοι
1	Ακραίες Θερμοκρασίες	2010	Ρωσία	55.736
2	Ακραίες Θερμοκρασίες	2003	Ιταλία	20.089
3	Ακραίες Θερμοκρασίες	2003	Γαλλία	19.490
4	Ακραίες Θερμοκρασίες	2003	Ισπανία	15.090
5	Ακραίες Θερμοκρασίες	2003	Γερμανία	9.355
6	Ακραίες Θερμοκρασίες	2015	Γαλλία	3.275
7	Ακραίες Θερμοκρασίες	2003	Πορτογαλία	2.696
8	Ακραίες Θερμοκρασίες	2006	Γαλλία	1.388
9	Ακραίες Θερμοκρασίες	2003	Βέλγιο	1.175
10	Ακραίες Θερμοκρασίες	2003	Ελβετία	1.039

**Πίνακας 2.2 :** Οι 10 μεγαλύτερες καταστροφές στην Ευρώπη με βάση των αριθμό θανάτων (1970-2019). (Κέντρο Έρευνας για την Επιδημιολογία των Καταστροφών Βάση Δεδομένων Έκτακτης Ανάγκης (EM-DAT). <https://public.wmo.int/en/media/press-release/water-related-hazards-dominate-disasters-past-50-years>)

	Τύπος Καταστροφής	Χρονολογία	Χώρα	Οικονομική Απώλεια (US\$ billion)
1	Πλημμύρα	2002	Γερμανία	16.48
2	Πλημμύρα	1994	Ιταλία	16.03
3	Πλημμύρα	2013	Γερμανία	13.86
4	Καταιγίδα	1999	Γαλλία	12.27
5	Πλημμύρα	2000	Ιταλία	11.87
6	Πλημμύρα	1983	Ισπανία	10.0
7	Ξηρασία	1990	Ισπανία	8.81
8	Πλημμύρα	2000	Ηνωμένο Βασίλειο	8.75
9	Καταιγίδα	2007	Γερμανία	6.78
10	Καταιγίδα	2990	Ηνωμένο Βασίλειο	6.65

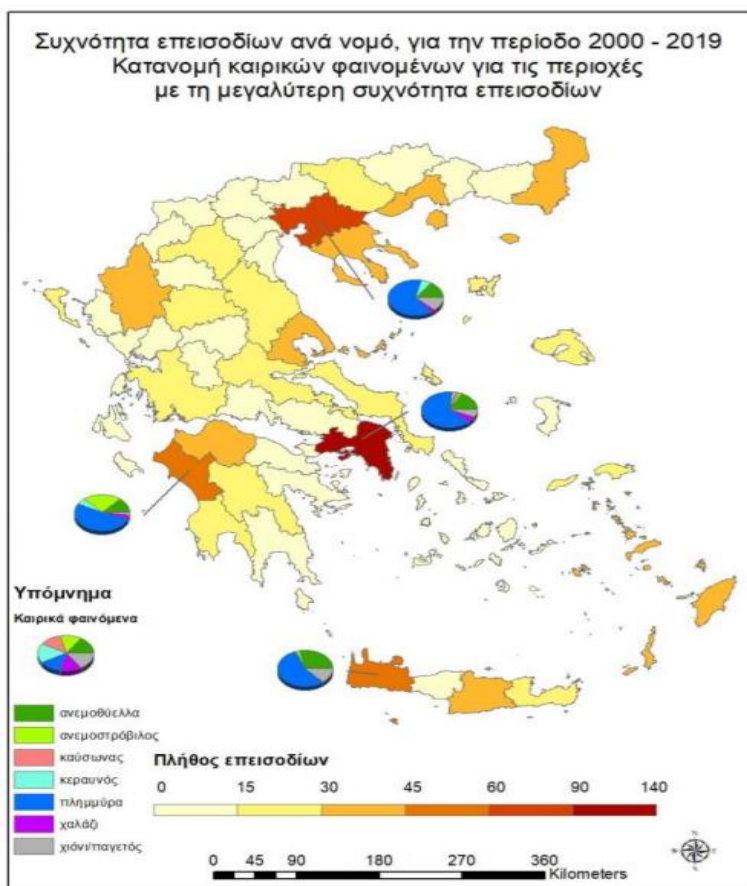
**Πίνακας 2.3 :** Οι 10 μεγαλύτερες καταστροφές στην Ευρώπη με βάση τις οικονομικές απώλειες (1970-2019). (Κέντρο Έρευνας για την Επιδημιολογία των Καταστροφών Βάση Δεδομένων Έκτακτης Ανάγκης (EM-DAT). <https://public.wmo.int/en/media/press-release/water-related-hazards-dominate-disasters-past-50-years>)

### *2.3.2 Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις της στον Ελλαδικό χώρο*

Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικά μεσογειακό: ήπιοι και υγροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και, γενικά, μακρές περίοδοι ηλιοφάνειας κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων 34ο και 42ο του Βορείου ημισφαιρίου και βρέχεται από την Ανατολική Μεσόγειο. Το κλίμα της έχει σε γενικές γραμμές τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος, δηλαδή ήπιους και βροχερούς χειμώνες, σχετικώς θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο. Λεπτομερέστερα στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα βέβαια μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου ( υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και εναλλαγή ξηράς και θάλασσας. Έτσι από το ξηρό κλίμα της Αττικής και γενικά της Ανατολικής Ελλάδας μεταπίπτουμε στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας. Τέτοιες κλιματικές διαφορές συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους , πράγμα που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο (EMY 2010).

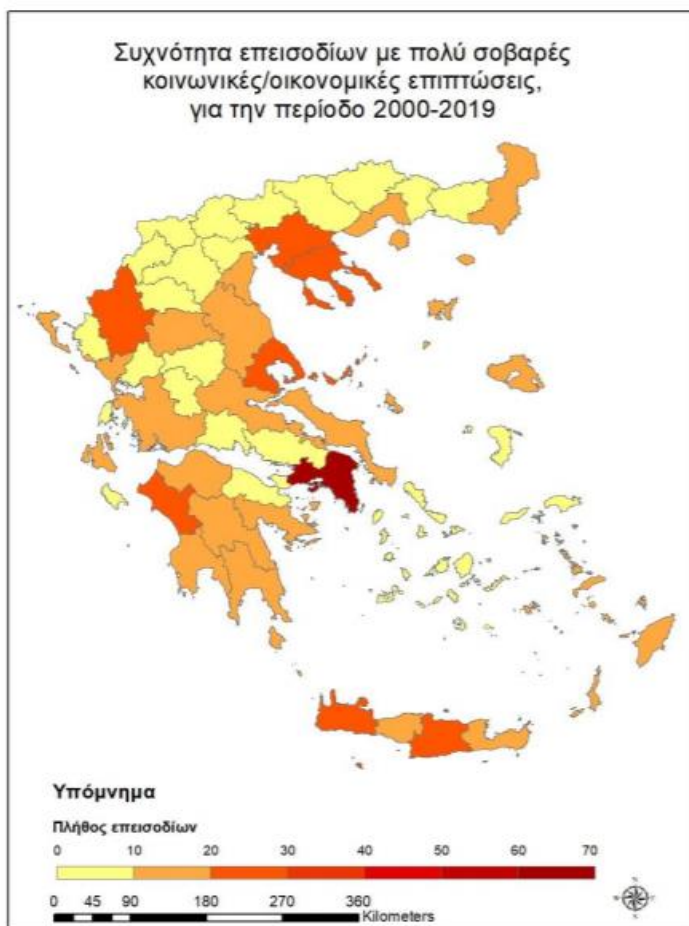
Την περίοδο 2000 - 2019 καταγράφηκαν στον Ελλαδικό χώρο 471 επεισόδια με συνολικά 675 καιρικά φαινόμενα σε επίπεδο νομού. Το 32% προκάλεσε πολύ σοβαρές επιπτώσεις (μεγέθους I3), το 37% μέτριας σοβαρότητας επιπτώσεις (μεγέθους I2) και το 31% μικρής σοβαρότητας επιπτώσεις (μεγέθους I1). Το ένα τέταρτο του συνόλου των καταγεγραμμένων επεισοδίων σχετίζεται με απώλειες ανθρώπινης ζωής. Συνολικά 214 άνθρωποι εκτιμάται ότι έχασαν τη ζωή τους την περίοδο 2000 - 2019 εξαιτίας καιρικών φαινομένων. Οι περισσότεροι υπήρξαν θύματα πλημμύρας και κεραυνού και πολύ λιγότεροι θύματα ανεμοθύελλας, ανεμοστρόβιλου και καύσωνα Η πλημμύρα, σε ποσοστό 61,5%, υπήρξε το πιο σύννηθες φαινόμενο με σοβαρές επιπτώσεις την περίοδο 2000 – 2019. Το 2014 ήταν το έτος με τα περισσότερα φαινόμενα κατά την περίοδο 2000-2019, 41 από τα οποία ήταν πλημμύρες (ΙΕΠΒΑ – ΕΑΑ,2020).





**Εικόνα 2.7:** Συχνότητα επεισοδίων ανά νομό, για την περίοδο 2000 - 2019. Κατανομή καιρικών φαινομένων για τις περιοχές με τη μεγαλύτερη συχνότητα επεισοδίων (ΙΕΠΒΑ – ΕΑΑ, 2020, <https://www.meteo.gr/graphics/extreme/High-impact-weather-events-Societal-Impacts.pdf>)

Με βάση την εικόνα 2.7, παρατηρούμε από την γεωγραφική κατανομή των επεισοδίων ότι το μεγαλύτερο μέρος της χώρας διακρίνεται από μικρή συχνότητα εμφάνισης έντονων καιρικών φαινομένων. Ειδικότερα, 22 από τους 51 νομούς εμφάνισαν λιγότερο από 15 επεισόδια, ενώ 15 νομοί παρουσίασαν 16 έως 30 επεισόδια κατά την περίοδο 2000-2019. Η πλειοψηφία αυτών των νομών βρίσκεται στο εσωτερικό της χώρας, σε αντίθεση με τις περιοχές που επηρεάστηκαν περισσότερο που αποτελούν μέρος της παράκτιας ζώνης και οι οποίες αποτελούν τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές, επομένως και πιο ευάλωτες σε ακραία καιρικά φαινόμενα.



*Εικόνα 2.8: Συχνότητα επεισοδίων ανά νομό, με πολύ σοβαρές κοινωνικές/οικονομικές επιπτώσεις, για την περίοδο 2000 – 2019 (ΙΕΠΒΑ – ΕΑΑ, 2020, <https://www.meteo.gr/graphics/extreme/High-impact-weather-events-Societal-Impacts.pdf>)*

Στον παραπάνω χάρτη (εικόνα 2.8), παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των επεισοδίων, με πολύ σοβαρές κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις, δηλαδή επεισόδια με ένταση επιπτώσεων επιπέδου 3. Την πρώτη θέση καταλαμβάνει η Αττική, όπου καταγράφηκαν 70 επεισόδια κατά την εικοσαετία και ακολουθούν οι νομοί Θεσσαλονίκης, Χαλκιδικής, Χανίων, Ιωαννίνων, Ηρακλείου, Μαγνησίας, Ηλείας και Λάρισας με 20 – 30 ο καθένας.

## 2.4 Πλημμύρες

Οι πλημμύρες αποτελούσαν από πάντα ένα υπαρκτό κίνδυνο, μία συνεχόμενη απειλή για πολλές περιοχές της Γης, και για αυτό χαρακτηρίζονται ως ένα από τα πιο καταστροφικά καιρικά φαινόμενα, με τεράστιες κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις. Τις τελευταίες δεκαετίες, η άνοδος της θερμοκρασίας έχει παίξει καταλυτικό ρόλο στην αύξηση και την ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως είναι η έντονη διαταραχή της ατμόσφαιρας που προκαλεί ραγδαίες κατακρημνίσεις, σημαντικό παράγοντα για την δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων. Ωστόσο, πολλές φορές και ανθρωπογενείς λόγοι αποτελούν δυνητικούς κινδύνους πλημμύρας.

### 2.4.1.Ορισμός

Ο όρος «πλημμύρα» χρησιμοποιείται γενικότερα για να περιγράψει την ανεξέλεγκτη κατάκλιση μίας περιοχής από νερό. Μπορεί να είναι αποτέλεσμα της εξόδου του νερού ενός υδατορέματος από τη φυσική ή τεχνητή κοίτη του με αποτέλεσμα την κατάκλιση των παρακείμενων περιοχών. Οι βασικοί μηχανισμοί που οδηγούν σε πλημμύρα σε περιοχές παρακείμενες σε ποταμό ή ρέμα είναι είτε α) με την αύξηση της υδατοπαροχής, είτε β) με τη μείωση της διατομής της κοίτης (Σακκάς, 2004).

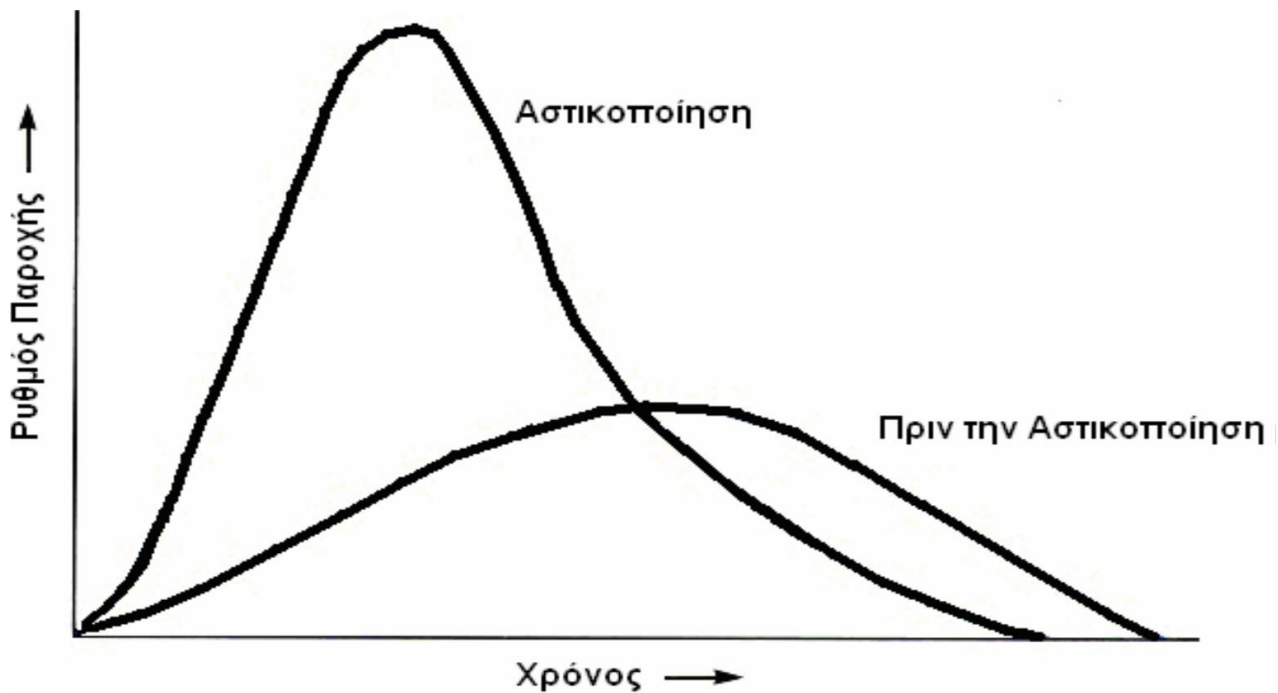
Πλημμύρες επίσης συμβαίνουν όταν η στάθμη του νερού στις λίμνες, στις δεξαμενές και τα υδροφόρα στρώματα υπερβαίνει κάποιες κρίσιμες τιμές και πλημμυρίζει ο παρακείμενος χώρος ή όταν η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει, ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές, πολύ πιο πάνω από τη μέση στάθμη της. Ο συνηθέστερος και κυριότερος όμως λόγος για τον οποίο συμβαίνει μια πλημμύρα είναι οι ξαφνικές ραγδαίες βροχοπτώσεις με πολύ μεγάλη ένταση, κατά τις οποίες οι κοίτες των ποταμών - χειμάρρων ξεχειλίζουν, καθώς το έδαφος δεν είναι σε θέση να απορροφήσει τέτοιες ποσότητες νερού τόσο γρήγορα. Για την επιστήμη της Υδρολογίας, η έννοια της πλημμύρας είναι λίγο διαφορετική και έχει να κάνει απλά με τη σχετικά μεγαλύτερη παροχή σε ένα υδατόρευμα. Σαν φυσικό φαινόμενο η πλημμύρα είναι ένα δυναμικό, βίαιο φαινόμενο, εξαιρετικά επικίνδυνο και καταστρεπτικό, που εμφανίζεται γενικά απρόβλεπτα και που αφήνει ελάχιστα χρονικά περιθώρια για να μπορέσει να εκδηλώσει κανείς κάποια αντίδραση για την αντιμετώπισή του. Στον ελληνικό χώρο εμφανίζεται μόνο τοπικά και έχει μικρή διάρκεια. Το κρίσιμο ερώτημα είναι το πώς θα αποφευχθούν οι ακραίες πλημμυρικές παροχές να μετατραπούν σε πλημμύρα, σε συνδυασμό πάντα με τις αλλαγές που επιφέρει η ανάπτυξη μίας περιοχής (Στάθης, 2004).

### *2.4.2 Αίτια Δημιουργίας Πλημμυρικών Φαινομένων*

Τα σημαντικότερα αίτια των πλημμυρών είναι (Μιμίκου, 1994):

1. Η αστική ανάπτυξη που έχει ως αποτέλεσμα τη στεγανοποίηση της επιφάνειας της γης.
2. Η πλήρης κάλυψη των κοιτών των χειμάρρων.
3. Η αντιπλημμυρική προστασία γίνεται από τις πεδινές περιοχές προς τα ανάντη.
4. Ο εγκιβωτισμός της κοίτης.
5. Οι διαστάσεις και το μικρό ύψος των γεφυρών.
6. Η περιοδικότητα του πλημμυρικού φαινομένου, που μπορεί να διακριθεί σε μικρής και μεγαλύτερης διάρκειας.
7. Η αποψίλωση των δασών από πυρκαγιές ή άλλα αίτια και η επακόλουθη διάβρωση.
8. Η κατασκευή μεγάλων έργων, κυρίως οδικών, εγκάρσια προς την κοίτη, ιδιαίτερα σε περιοχές που δεν υπάρχει εμφανής διατομή της.
9. Οι καθιζήσεις που παρατηρούνται σε πεδινές περιοχές λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων π.χ. λόγω υπεραντλήσεων.
10. Αλλαγή ή εκτροπή κοίτης.

Παρακάτω εικονίζεται η επιρροή της αστικοποίησης σε ένα ποταμό έπειτα από ραγδαία βροχόπτωση. Το διάγραμμα της αστικοποίησης εμφανίζει συντομότερα και μεγαλύτερη μέγιστη παροχή συγκριτικά με το αντίστοιχο διάγραμμα πριν την αστικοποίηση. Επιπλέον, ο ριζικά μεγαλύτερος ρυθμός παροχής συμβάλλει στην εκτεταμένη διάβρωση του πυθμένα λόγω μεγαλύτερης ταχύτητας ροής (Κουργιαλάς, 2010):



*Εικόνα 2.9: Παροχή υδατορεύματος πριν και μετά την αστικοποίηση της περιοχής (Λυκοκανέλλος, 2003)*

### 2.4.3 Τύποι Πλημμυρών

Στον Πίνακα 2.4, παρουσιάζονται οι κύριοι τύποι πλημμυρών σύμφωνα με τις πιο συνηθισμένες ταξινομήσεις (Martini and Loat 2007, Smith and Ward 1998, Diakakis 2013). Πρέπει να επισημανθεί ότι αυτές οι ταξινομήσεις δεν είναι απόλυτες (Diakakis 2013).

Τύποι Πλημμύρας	Ενδεικτικά αίτια	Ενδεικτικές επιπτώσεις
<b>Ποτάμιες πλημμύρες (Riverine Floods)</b>	Βροχόπτωση μακράς διάρκειας, λιώσιμο χιονιού, αστοχία αντιπλημμυρικών έργων	Πλημμυρικά ύδατα σε πλημμυρικά πεδία (στάσιμα ή ρέοντα)
<b>Αιφνίδιες Πλημμύρες (Flash Floods)</b>	Έντονη βροχόπτωση, μικρής διάρκειας	Έντονη διάβρωση, ορμητικά ύδατα, εμπλουτισμός με εδαφικό υικό, λασπορροές
<b>Αστικές Πλημμύρες (Urban Floods)</b>	Αστοχία τεχνικών έργων, έντονη βροχόπτωση	Πλημμυρισμένες κατασκευές
<b>Παράκτιες Πλημμύρες (Coastal Floods)</b>	Υψηλές παλίρροιες, έντονη βροχόπτωση	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στην ακτή, υποχώρηση της ακτής, υφαλμήριση της γης και των υδάτων
<b>Πλημμύρες που συνδέονται με το υπεδαφικό νερό (Groundwater Floods)</b>	Υψηλή στάθμη υπεδαφικού νερού, κορεσμός υδροφόρου ορίζοντα	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο
<b>Πλημμύρες από αστοχία τεχνικού έργου (Dam Failure Floods)</b>	Αστοχία φράγματος καναλιού κ.α. τεχνικών έργων	Έντονη διάβρωση, λασπορροές, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα
<b>Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων (Mountain torrent Floods)</b>	Κатаιγίδες, αστάθεια πρανών	Λασπορροές, έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα και μεταφερόμενο υλικό, δημιουργία αλλουβιακού ριπιδίου
<b>Πλημμύρες λιμνών (Lake Floods/ Ponding Floods)</b>	Ταχεία αύξηση των υδατικών αποθεμάτων	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα πέρα της ακτής

**Πίνακας 2.4:** Ταξινόμηση τύπων πλημμυρών (Martini and Loat 2007, Smith and Ward 1998, Diakakis 2013)

σε σχέση με τα πιο συνηθισμένα αίτια και επιπτώσεις.

Διάφοροι τύποι και αιτίες πλημμυρών μπορούν να έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Μπορεί να είναι χρήσιμο να γίνει διάκριση μεταξύ δύο γενικών κατηγοριών πλημμύρας ανάλογα με το μέγεθος της πληγείσας περιοχής και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων (χωρική και χρονική κλίμακα των συμβάντων πλημμύρας) (Menne et al., 2013). Οι τύποι των πλημμυρών διακρίνονται ως εξής:

**Τοπικές, ξαφνικές πλημμύρες (flash floods)** προκαλούν πλημμύρες σε μικρές λεκάνες απορροής και οφείλονται κυρίως σε σύντομες, έντονες βροχοπτώσεις (π.χ. καταιγίδες). Οι ξαφνικές πλημμύρες εμφανίζονται κυρίως σε λοφώδεις ή ορεινές περιοχές και οφείλονται σε μηχανισμούς μεταφοράς βροχόπτωσης, λεπτά εδάφη και υψηλή ταχύτητα απορροής. Η διάρκεια μιας τέτοιας πλημμύρας είναι σύντομη, αλλά αυτό το είδος πλημμύρας συσχετίζεται συχνά με σοβαρές ζημιές. Έντονη κατακρήμνιση μπορεί επίσης να οδηγήσει σε πλημμύρισμα των αστικών περιοχών όπου οι υπόνομοι και τα συστήματα αποστράγγισης δεν έχουν την ικανότητα να ανταπεξέλθουν στον όγκο του νερού (Menne et al., 2013).

**Εκτεταμένες, μακροχρόνιες πλημμύρες (plain floods)** οι οποίες συχνά καταλήγουν σε πλημμύρες μεγαλύτερων περιοχών. Αυτές οι πλημμύρες σχεδόν πάντα προκαλούνται από βροχοπτώσεις που διαρκούν αρκετές ημέρες ή εβδομάδες, και σχετίζονται με προηγούμενο κορεσμό του εδάφους. Πλημμύρες που οφείλονται σε εκτεταμένες και μακροχρόνιες βροχοπτώσεις, που μπορεί επίσης να οφείλονται σε τήξη του χιονιού και του πάγου, συμβαίνουν κυρίως στις πεδιάδες, όταν τα χαντάκια ή η οχύρωση κατά μήκος μεγάλων ποταμών δεν μπορούν πλέον να αντέξουν το νερό από την υπερχειλίση των ποταμών. Ένα πλεονέκτημα αυτού του είδους πλημμύρας είναι ότι έχει μια πιο αργή εκδήλωση, έτσι ώστε να μπορούν να εκδίδονται έγκαιρες προειδοποιήσεις και να γίνονται οι απαραίτητες προετοιμασίες (Menne et al., 2013).

**Παράκτιες πλημμύρες** οι οποίες συνήθως προκαλούνται από ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως ο συνδυασμός υψηλής παλίρροιας και των έντονων καταιγίδων. Οι παράκτιες πλημμύρες ενδέχεται να επηρεάσουν σημαντικό αριθμό ανθρώπων. Εκτιμήθηκε, το 1990, ότι περίπου 1.2 δισεκατομμύρια άνθρωποι ζούσαν σε παράκτιες περιοχές, και αυτός ο αριθμός αναμένεται να αυξηθεί σε τουλάχιστον 1,8 δισ. τις επόμενες δεκαετίες. Ο κίνδυνος παράκτιων πλημμυρών έχει αυξηθεί από το 1990 και γενικά θεωρείται ότι θα αυξηθεί ακόμη περισσότερο κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών, λόγω της προβλεπόμενης αύξησης της στάθμης της θάλασσας, των πιο ακραίων καιρικών συνθηκών και την αύξηση της διάβρωσης των ακτών εξαιτίας των αυξανόμενων επιπέδων ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα και της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι πιο εκτεθειμένοι πληθυσμοί είναι αυτοί που ζουν σε χώρες με περιορισμένη προσαρμοστική ικανότητα, όπου οι παράκτιες πλημμύρες ενδέχεται να επηρεάσουν έναν μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων, καθώς η αντίσταση σε πλημμύρες και ο σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης είναι λιγότερο ανεπτυγμένοι. Η πυκνότητα του παράκτιου πληθυσμού καθιστούν πιθανό οι επιπτώσεις των πλημμυρών στην υγεία να επηρεάσουν μεγάλο αριθμό ανθρώπων (Menne et al., 2013).

#### 2.4.4 Επιπτώσεις

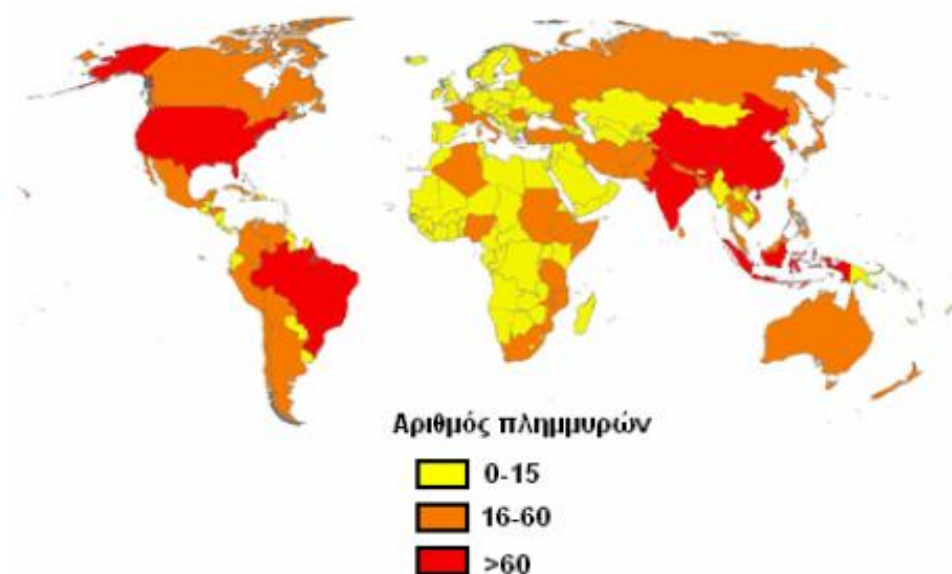
Οι επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν λόγω πλημμυρών, εξαρτώνται από ποικίλους παράγοντες όπως, την ένταση των φυσικών φαινομένων, την αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος, την παρουσία αντιπλημμυρικών έργων, αλλά και την ετοιμότητα των μηχανισμών αντιμετώπισης.

Ένας πολύ σημαντικός λόγος αύξησης της συχνότητας εμφάνισης των πλημμυρικών φαινομένων αλλά και ενίσχυσης των καταστροφικών επιπτώσεων τους είναι οι ανθρώπινες παρεμβάσεις. Η ραγδαία πληθυσμιακή αύξηση οδήγησε την ανθρωπότητα στη δημιουργία οικισμών σε πλημμυρικές λεκάνες, ενισχύοντας τον κίνδυνο πρόκλησης σοβαρών επιπτώσεων τόσο στους ίδιους τους ανθρώπους, όσο και στις περιουσίες τους. Ακόμη, λόγω της μεγάλης αστικοποίησης, η απορρόφηση των υδάτων εμποδίζεται, όπως και περιορίζονται τα κανάλια απορροής, έχοντας ως αποτέλεσμα την δημιουργία υπερχειλίσσης. Η απορροή των υδάτων παρουσιάζει τάσεις αύξησης λόγω της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, της υποβάθμισης του εδάφους και της αποδάσωσης από τον άνθρωπο.

Στην Ευρώπη αλλά και Παγκοσμίως παρουσιάζεται αύξηση των πλημμυρικών φαινομένων λόγω της αύξησης της πληθυσμιακής πυκνότητας αλλά και των συνεχόμενων ανθρώπινων παρεμβάσεων σε περιοχές υψηλού κινδύνου (Diakakis 2013). Στην Εικόνα 2.10, παρουσιάζεται, σε παγκόσμια κλίμακα, ο αριθμός των καταστροφικών πλημμυρικών φαινομένων που εμφανίστηκαν κατά την περίοδο μεταξύ των ετών 1974 έως 2003, για κάθε μια χώρα ξεχωριστά. Παρατηρούμε λοιπόν ότι το μεγαλύτερο αριθμό καταστροφικών πλημμυρών εμφανίζουν η Κίνα, η Ινδία καθώς επίσης και οι Η.Π.Α (Κουργιαλάς, 2010).



### Αριθμός καταστροφικών πλημμυρών ανα χώρα 1974-2003



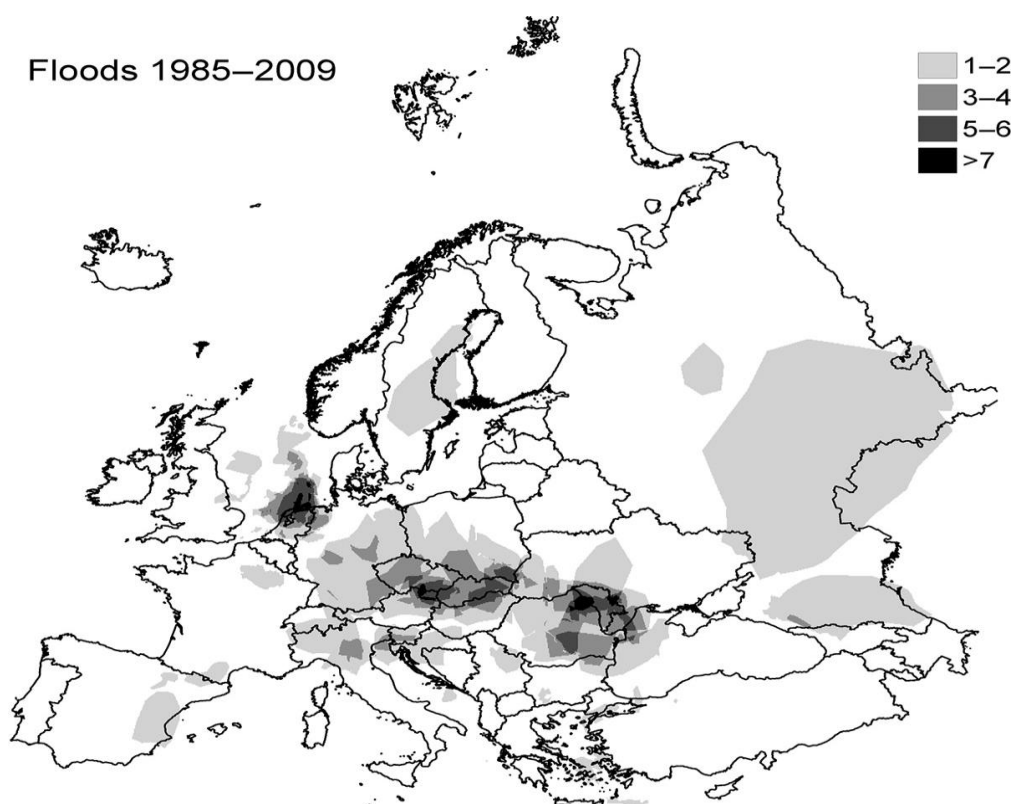
**Εικόνα 2.10:** Παγκόσμια κατανομή καταστροφικών πλημμυρών κατά την περίοδο 1974-2003. (EM-DAT) (Κουργιαλάς, 2010)

Χώρα	Ημερομηνία	Αριθμός Νεκρών
Κίνα - Πλημμυρικό φαινόμενο	Ιούλιος - 1931	3700000
Κίνα - Πλημμυρικό φαινόμενο	Ιούλιος -1959	2000000
Κίνα - Πλημμυρικό φαινόμενο	Ιούλιος - 1939	500000
Κίνα - Πλημμυρικό φαινόμενο	1935	142000
Κίνα - Πλημμυρικό φαινόμενο	1911	100000
Κίνα - Πλημμυρικό φαινόμενο	Ιούλιος - 1949	57000
Γουατεμάλα - Πλημμυρικό φαινόμενο	Οκτώβριος - 1949	40000
Κίνα - Πλημμυρικό φαινόμενο	Αύγουστος -1954	30000
Βενεζουέλα - Στιγμαίο Πλημμυρικό φαινόμενο	15/12/1999	30000
Μπαγκλατές - Πλημμυρικό φαινόμενο	Ιούλιος -1974	28700

**Εικόνα 2.11:** Οι δέκα σημαντικότερες πλημμυρικές καταστροφές για την περίοδο (1900 – 2010), όσον αφορά τον αριθμό νεκρών. (EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database)(Κουργιαλάς 2010)

Παρατηρώντας και από την εικόνα 2.11, οι πιο σημαντικές πλημμυρικές καταστροφές, με χιλιάδες θανάτους, λαμβάνουν χώρα εκτός Ευρώπης. Ωστόσο, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Ευρωπαϊκού Τμήματος του ΟΗΕ, οι πλημμύρες στη Γηραιά ήπειρο, κατά την τριακονταετία 1973-2002, παρουσίασαν δραματική αύξηση.

Πιο συγκεκριμένα, η Ευρώπη μεταξύ 1998 και 2002 υπέστη πάνω από 100 σημαντικές καταστροφικές πλημμύρες. Από το 1998, οι πλημμύρες έχουν προκαλέσει περίπου 700 θανάτους, τη μετατόπιση περίπου μισού εκατομμυρίου ανθρώπων και τουλάχιστον 25 δισεκατομμύρια ευρώ σε οικονομικές απώλειες (European Environment Agency., 2007). Μεταξύ των καταστροφικών πλημμυρών στην Ευρώπη τη δεκαετία του 1990 ήταν αυτές στις λεκάνες του ποταμού Ρήνου και των παραποτάμων του (1993, 1995), στην περιοχή της Μεσογείου (1994) και στην Κεντρική Ευρώπη (1997). Η πλημμύρα στον Ρήνο τον Δεκέμβριο του 1993 προκάλεσε πλημμύρα σε τμήματα των πόλεων Koblenz, Bonn και Cologne, και στη συνέχεια τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο του 1995 μια άλλη μεγάλη πλημμύρα έπληξε τη Γερμανία, τη βόρεια Γαλλία και τις Κάτω Χώρες. Οι δραματικές πλημμύρες κατέστρεψαν μεγάλες περιοχές στην Τσεχική Δημοκρατία, την Πολωνία και τη λεκάνη του Όντερ στη Γερμανία τον Ιούλιο του 1997. Μεγάλες πλημμύρες σημειώθηκαν ακόμη, στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Ιταλία, τη Γαλλία και την Ελβετία το 2000. Το απόλυτο ρεκόρ των ετήσιων απωλειών πλημμύρας στην Ευρώπη παρατηρήθηκε τον Αύγουστο του 2002, όταν η υλική ζημία ξεπέρασε τα 20 δισεκατομμύρια ευρώ, σε ονομαστική αξία. Αυτή η πλημμύρα έπληξε τις ιστορικές πόλεις της Πράγας και της Δρέσδης. Σημαντικές μεγάλες πλημμύρες σημειώθηκαν επίσης στην Ευρώπη το 2005, το 2007 και το 2010 ( Zbigniew W. Kundzewicz, 2013).



**Εικόνα 2.12:** Χωρική κατανομή του αριθμού των μεγάλων πλημμυρών στην Ευρώπη, με βάση τα αρχεία του Παρατηρητηρίου των Πλημμυρών σε ολόκληρο το 25ετές χρονικό διάστημα, 1985–2009, για το οποίο υπάρχουν διαθέσιμα αρχεία (πρβλ. Pińskwar et al. 2012). Το κατώτατο όριο για την ταξινόμηση των μεγάλων πλημμυρών είναι σοβαρότητα ίση ή μεγαλύτερη από 1,5.

Οι πλημμύρες αποτελούν τη φυσική καταστροφή που και στην Ελλάδα προκαλεί τις περισσότερες απώλειες ανθρώπινων ζωών από κάθε άλλη. Η Ελλάδα πλήττεται κατά κύριο λόγο από πλημμυρικά γεγονότα που προκύπτουν ως απόρροια της έντονης γεωγραφικής μεταβλητότητας των κλιματικών στοιχείων λόγω της συνύπαρξης ανεπτυγμένης ακτογραμμής και ορογραφίας (Γκιόκας 2008)

Το πλημμυρικό πρόβλημα στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα οξύ στις πεδινές περιοχές ρεμάτων, τα οποία διασχίζουν αστικές περιοχές με έντονη οικιστική ανάπτυξη. Ολοένα και περισσότερες περιοχές οι οποίες τις προηγούμενες δεκαετίες ήταν δάση ή αγροί, μετατρέπονται σε αστικές, με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερων απορροών σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση. Ως συνέπεια αυτού είναι οι κοίτες των ρεμάτων να μην επαρκούν για τη διόδευση των αυξημένων παροχών και να πλημμυρίζουν οι γειτνιάζουσες περιοχές. Τα έντονα πλημμυρικά προβλήματα δημιουργούνται από ραγδαίες και ακραίες βροχοπτώσεις. Οι ακραίες αυτές τιμές βροχής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη διαστασιολόγηση των αντιπλημμυρικών έργων (Κουργιαλάς 2010).



**Εικόνα 2.13:** Συχνότητα επεισοδίων πλημμύρας με κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις ανά νομό, για την περίοδο 2000 – 2019 (ΙΕΠΒΑ – ΕΑΑ, 2020, <https://www.meteo.gr/graphics/extreme/High-impact-weather-events-Societal-Impacts.pdf>)

Στην εικόνα 2.9, παρουσιάζεται ο χάρτης συχνότητας επεισοδίων πλημμύρας με αρνητικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις ανά νομό. Και σε αυτή την κατανομή παρατηρούμε ότι ο νόμος της Αττικής είναι αυτός που έχει πληχθεί περισσότερο από τους άλλους νομούς και ακολουθούν Θεσσαλονίκη, Χαλκιδική, Χανίων, Μαγνησία, Ηλεία, Αχαΐα και Δωδεκανήσων.

#### **2.4.5 Ορθή Διαχείριση Πλημμυρικών Φαινομένων**

Με βάση την Ευρωπαϊκή οδηγία 2007/60/EK, παρουσιάζεται μια εφαρμόσιμη προσέγγιση για την στρατηγική διαχείρισης των πλημμυρών στον Ελλαδικό χώρο. Το σχέδιο για μια βιώσιμη ετοιμότητα πλημμύρας, αποτελείται από δύο κύρια αλληλένδετα στοιχεία: (α) μια σωστή στρατηγική διαχείρισης πλημμυρών και (β) τον προσδιορισμό των επικίνδυνων περιοχών στην περιοχή ενδιαφέροντος (Kourgialas & Karatzas, 2011).

Οι κύριες αιτίες που ευθύνονται για πλημμυρικά φαινόμενα είναι οι κλιματολογικές αλλαγές, οι αλλαγές στη χρήση γης και άλλες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Με βάση τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό, σύμφωνα και με την Οδηγία 2007/60/EC ότι η 100% αντιπλημμυρική προστασία δεν είναι εφικτή. Εφικτή είναι μόνο η αξιολόγηση και η διαχείριση της επικινδυνότητας των πλημμυρικών φαινομένων (Kourgialas & Karatzas, 2011)

Η στρατηγική διαχείρισης πλημμυρών περιλαμβάνει: (i) μέτρα πριν από τις πλημμύρες, (ii) πρόβλεψη πλημμυρών και (iii) μέτρα μετά τις πλημμύρες.

- i. **Μέτρα πριν τις πλημμύρες** παρέχουν τη φυσική, θεσμική και κοινωνική υποδομή για τη βιώσιμη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας. Οι στρατηγικές για την προληπτική διαχείριση των πλημμυρών περιλαμβάνουν: τεχνικά μέτρα για τον έλεγχο και τη διαχείριση της πλημμύρας (μικρά φράγματα και έργα για τη διατήρηση και τη σταθεροποίηση των όχθων των ποταμών), ρυθμιστικά μέτρα για τη χρήση της γης και τον σχεδιασμό των οικισμών και οικονομικά μέτρα για τη ρύθμιση, την προώθηση και την επικοινωνία.
- ii. **Πρόβλεψη Πλημμύρας - Σύστημα Προειδοποίησης Πλημμύρας (FFWS)** περιλαμβάνει τον σχεδιασμό ενός δικτύου τηλεμετρικών σταθμών για καταγραφή βροχοπτώσεων, μετεωρολογικών παραμέτρων και ροής ποταμού. Αυτό το σύστημα μπορεί επίσης να παρέχει ένα σύστημα άμεσης προειδοποίησης για την ανάπτυξη ενός σχεδίου εκκένωσης.

Ένα σύστημα πρόβλεψης – προειδοποίησης πλημμυρικού κινδύνου χρησιμοποιείται προκειμένου να αυξηθεί ο χρόνος κινητοποίησης, ώστε να υπάρχει δυνατότητα ελαχιστοποίησης των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές και περιορισμός των καταστροφών σε περιουσίες

- iii. **Μέτρα μετά την πλημμύρα** ή μεταπλημμυρικά μέτρα, προωθούν τη γρήγορη αποκατάσταση των πληγέντων περιοχών και περιλαμβάνουν μέτρα ανακούφισης, αποκατάστασης της κατεστραμμένης υποδομής και αναθεώρηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος πρόληψης πλημμυρών.

#### ***2.4.6 Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/EK***

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, αναγνωρίζοντας μεταξύ άλλων, ότι οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα τα οποία είναι αδύνατο να προληφθούν, μπορεί να προκαλέσουν θανάτους, μετακινήσεις πληθυσμών και ζημιές στο περιβάλλον, να θέσουν σοβαρά σε κίνδυνο την οικονομική ανάπτυξη και να υπονομεύσουν τις οικονομικές δραστηριότητες της Κοινότητας έθεσε σε ισχύ την Οδηγία 2007/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.

Η Οδηγία αποσκοπεί στη θέσπιση πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες. Σύμφωνα με την Οδηγία τα Κράτη Μέλη πρέπει να προβούν στις ακόλουθες δράσεις:

- Διεξαγωγή Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνου Πλημμύρας (εφεξής ΠΑΚΠ) για κάθε Περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού (ΠΛΑΠ) ή τμήμα διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού που βρίσκεται στην επικράτειά τους. Βάσει της ΠΑΚΠ προσδιορίζονται οι περιοχές για τις οποίες συμπεραίνεται ότι υπάρχουν δυνητικοί σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα.
- Κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας και χαρτών κινδύνων πλημμύρας σε επίπεδο ΠΛΑΠ για τις ανωτέρω περιοχές.

- Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ) σε επίπεδο ΠΛΑΠ για τις περιοχές που υπάρχουν δυνητικοί σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα σύμφωνα με τα οριζόμενα στο άρθρο 7 της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ. Τα ΣΔΚΠ θα πρέπει να εστιάζονται στην πρόληψη, στην προστασία και στην ετοιμότητα. Προκειμένου να δοθεί στους ποταμούς περισσότερος χώρος, τα εν λόγω σχέδια θα πρέπει να εξετάζουν, όπου είναι δυνατόν, τη διατήρηση ή/και αποκατάσταση πλημμυρικών περιοχών, καθώς και μέτρα πρόληψης και μείωσης των ζημιών που προκαλούνται από τις πλημμύρες στην υγεία και τη ζωή των ανθρώπων, στο περιβάλλον, στην πολιτιστική κληρονομιά, οικονομική δραστηριότητα και στις υποδομές. Τα ΣΔΚΠ λαμβάνουν υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των περιοχών που καλύπτουν και παρέχουν ενδεδειγμένες λύσεις, ανάλογα με τις ανάγκες και τις προτεραιότητες των περιοχών αυτών (Οδηγία 2007/60/ΕΚ).

Η οδηγία 2007/60/ΕΚ ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο με την ΚΥΑ 31822/1542/Ε103 (ΦΕΚ1108/Β/21-07-2010), και ακολούθως πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω διεργασίες:

- Ολοκληρώθηκε και υποβλήθηκε στην ΕΕ η Έκθεση Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας (Μάρτιος 2012).
- Ολοκληρώθηκε ο Προσδιορισμός των Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας στα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας και υποβλήθηκε στην ΕΕ επικαιροποίηση της Έκθεσης Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας (Νοέμβριος 2012).
- Επικαιροποιήθηκε η Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας για τη λεκάνη απορροής του π. Έβρου (Νοέμβριος 2014).
- Ολοκληρώθηκαν και υποβλήθηκαν στην ΕΕ οι Χάρτες Επικινδυνότητας και Κινδύνων Πλημμύρας για τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της Χώρας (Μάρτιος 2017).
- Ολοκληρώθηκαν, εγκρίθηκαν από την Εθνική Επιτροπή Υδάτων και υποβλήθηκαν στην ΕΕ τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας όλων των Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας μεταξύ των οποίων και ένα ειδικό Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας για τη λεκάνη απορροής του π. Έβρου (Ιούλιος 2018): Ο σκοπός της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ είναι η θέσπιση πλαισίου για την αξιολόγηση και την διαχείριση των πλημμυρικών κινδύνων, με απώτερο στόχο την απομείωση ή και εξάλειψη των κινδύνων αυτών στον άνθρωπο, το περιβάλλον, τα αντικείμενα πολιτιστικής κληρονομιάς και την οικονομία.



### 3ο Κεφάλαιο: Περιοχή Μελέτης

#### 3.1 Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

Το Τυμπάκι είναι κωμόπολη που αποτελεί έδρα του ομώνυμου Δήμου και Δημοτικής Κοινότητας στο νομό Ηρακλείου, με 5.285 κατοίκους (απογραφή 2011). Διοικητικά υπάγεται στον καλλικρατικό Δήμο Φαιστού, από το 2010, ο οποίος αποτελεί συνένωση των δήμων Μοιρών, Τυμπακίου και Ζάρου. Η απόστασή του από το Ηράκλειο είναι 65,5 χλμ. νοτιοδυτικά, βρίσκεται δυτικά της μεγαλύτερης και πλουσιότερης πεδιάδας της Κρήτης, την πεδιάδα της Μεσσαράς, σε υψόμετρο 38 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Η λεκάνη απορροής του Τυμπακίου συνδέεται με τη δυτική πεδιάδα της Μεσσαράς από τον ποταμό Γεροπόταμο μέσω του φαραγγιού της Φαιστού.



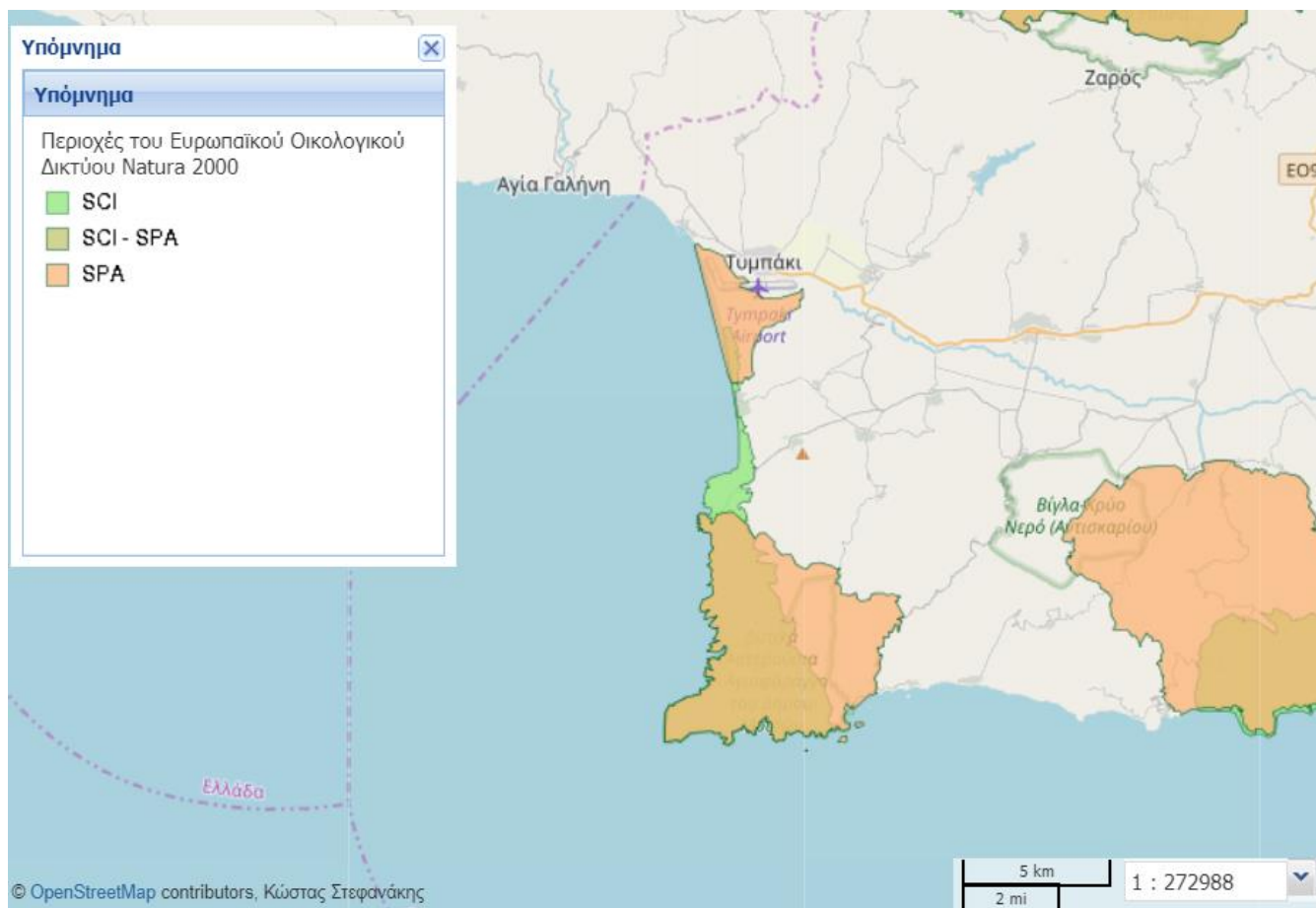
Εικόνα 3.1: Χάρτης με την περιοχή μελέτης



Εικόνα 3.2: Τοποθεσία της περιοχής μελέτης σε σχέση με την Κρήτη

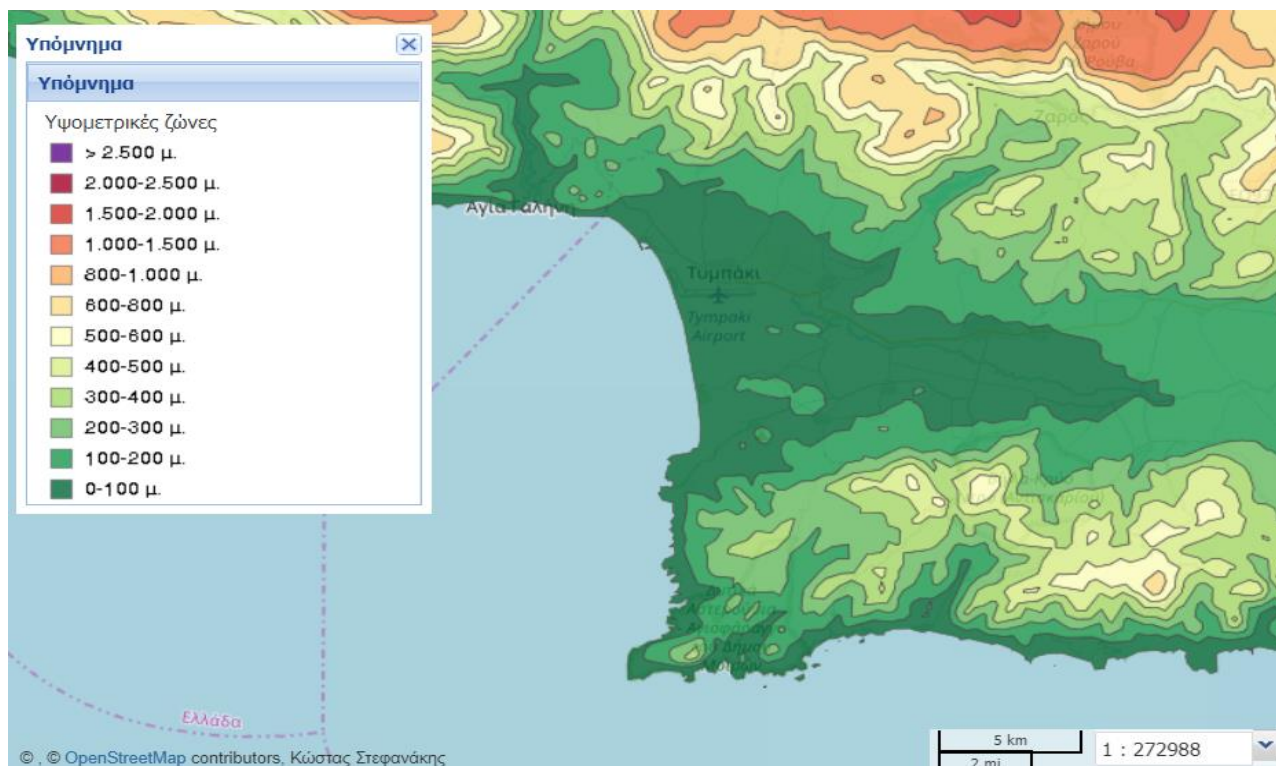


Στην περιοχής μελέτης, παρατηρούμε με βάση και την παρακάτω εικόνα (3.3), ότι υπάρχουν περιοχές Natura 2000 στη ΝΔ πλευρά. Συγκεκριμένα με βάση το Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Natura 2000, η περιοχή χαρακτηρίζεται ως SPA (Special Protection Areas), δηλαδή Ειδική Ζώνη Προστασίας της ορνιθοπανίδας.

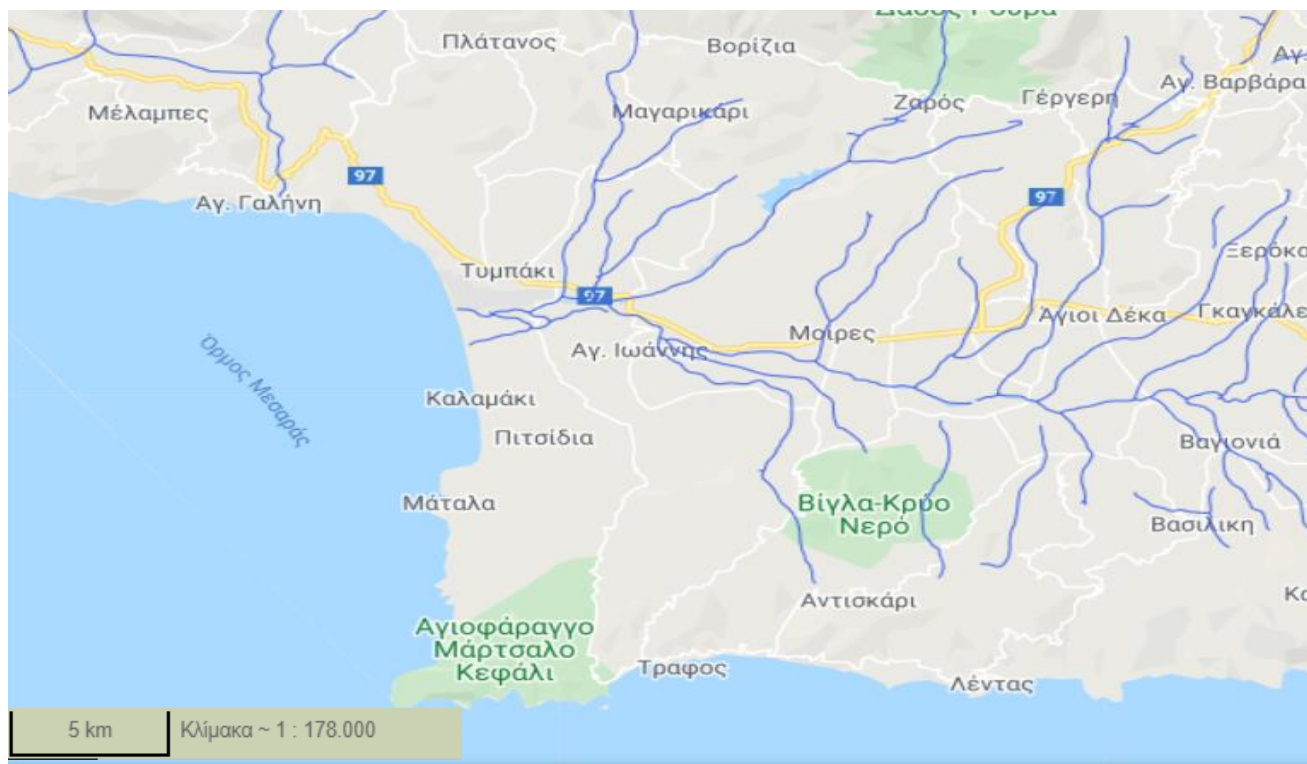


**Εικόνα 3.3:** Χάρτης με την περιοχή Natura 2000 της περιοχής μελέτης (<http://www.oikoskopio.gr/map/>)

Το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής παρατηρούμε ότι δεν έχει πολλές διακυμάνσεις. Το υψόμετρο που επικρατεί στη πλειοψηφία της περιοχής είναι 0-100m, ενώ όσο κατευθυνόμαστε προς τα Βορειοανατολικά και Νοτιοανατολικά της περιοχής ανέρχεται σε 100-200m και φτάνεις μέγιστο υψόμετρο τα 200-300m. Οι υψομετρικές ζώνες παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:



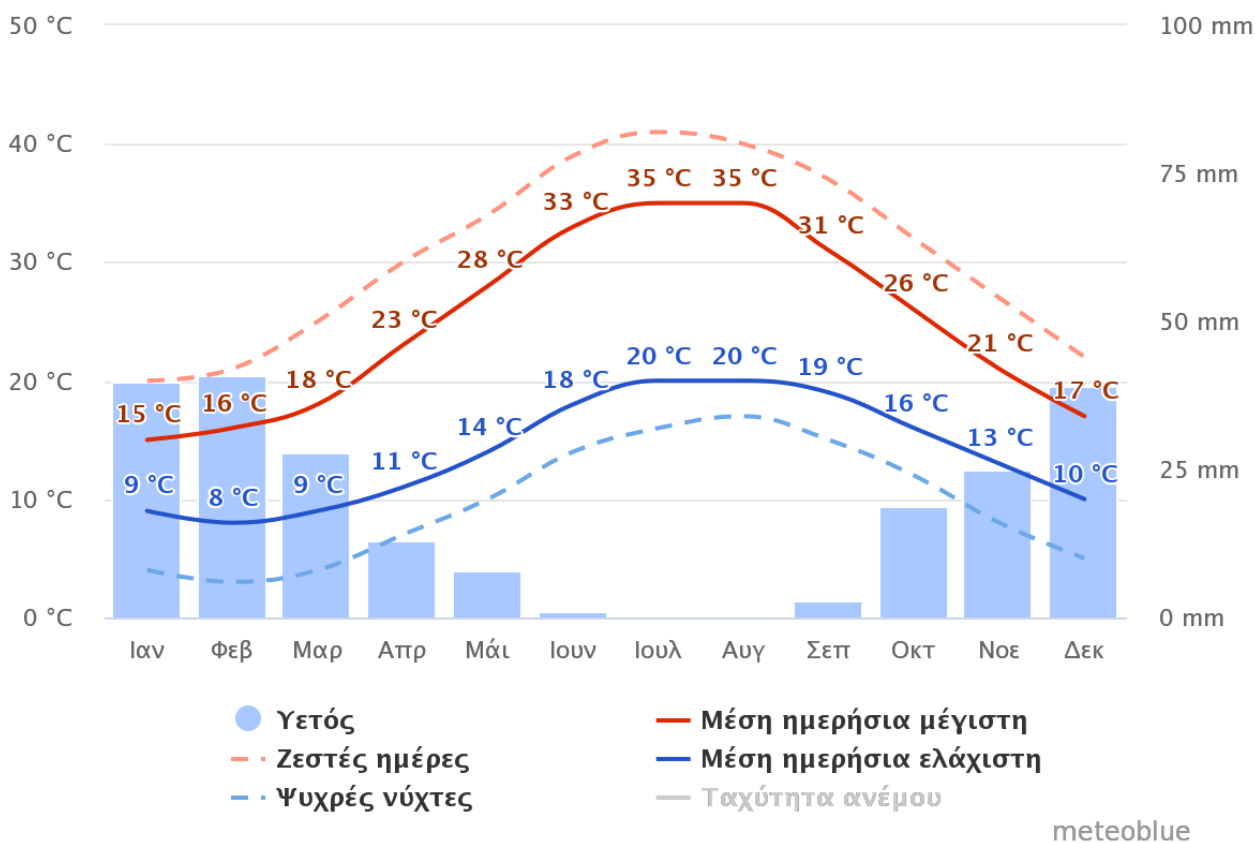
**Εικόνα 3.4:** Χάρτης με τις υψομετρικές ζώνες της περιοχή μελέτης (<http://www.oikoskopio.gr/map/>)



**Εικόνα 3.5:** Χάρτης με τις υδρογραφικά στοιχεία της περιοχή μελέτης (<http://www.oikoskopio.gr/map/>)

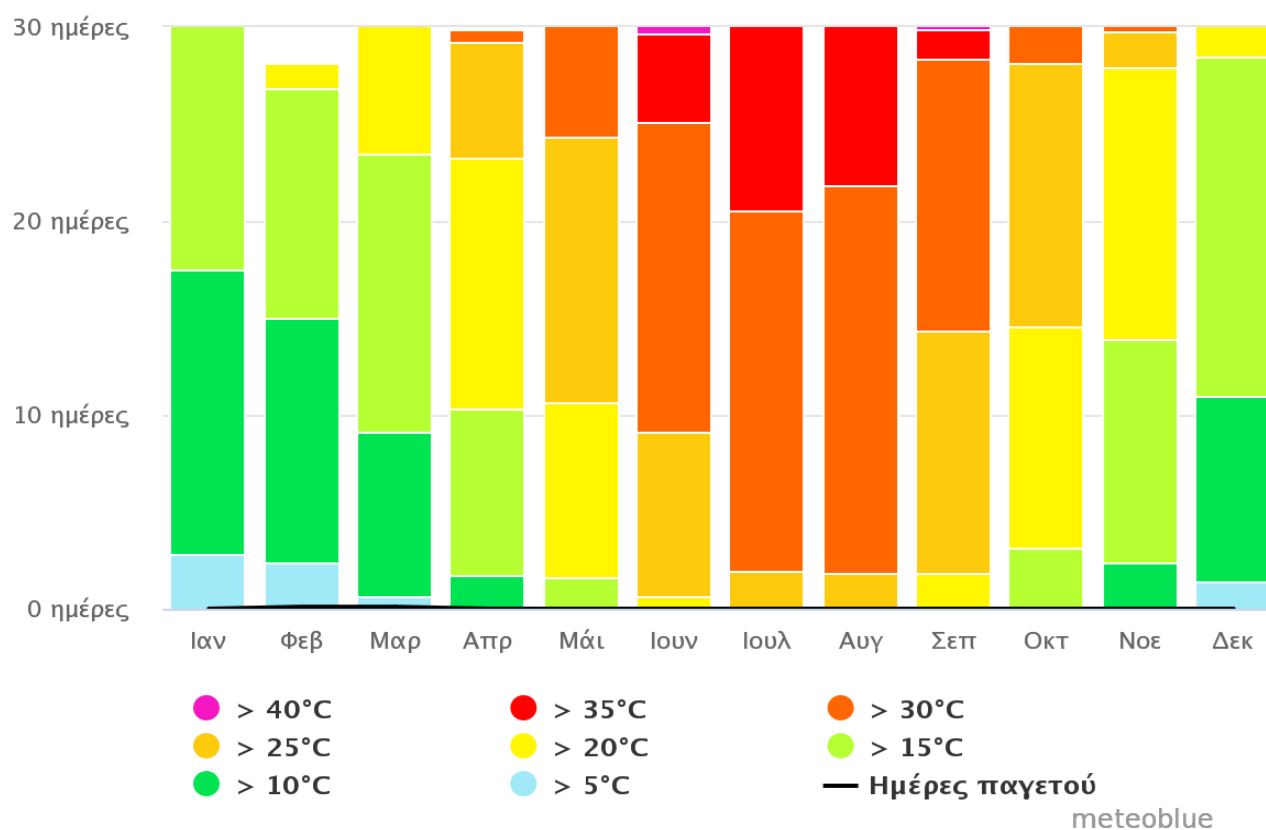
### 3.1.1. Κλιματολογικά Στοιχεία

Το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή μελέτης μπορεί να χαρακτηριστεί ως ήπιο και ξηρό μεσογειακό, με κύρια χαρακτηριστικά το χαμηλό ύψος βροχοπτώσεων, τις υψηλές θερμοκρασίες, τη μακρά περίοδο ανομβρίας και τη μεγάλη ηλιοφάνεια.



**Εικόνα 3.6 :** Διάγραμμα με το μέσο όρο θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των τελευταίων 30 χρόνων, στη περιοχή Τυμπάκι (<https://www.meteoblue.com/el>).

Το παραπάνω διάγραμμα μας δείχνει τη μέγιστη θερμοκρασία μίας μέσης ημέρας για κάθε μήνα, που προσδιορίζεται από τη συμπαγής κόκκινη γραμμή (“ημερήσια μέση μέγιστη”) και ομοίως τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία που προσδιορίζεται από τη συμπαγής μπλε γραμμή (“ημερήσια μέση ελάχιστη”), για το Τυμπάκι. Οι κρύες νύχτες και ζεστές ημέρες, που προσδιορίζονται από τις μπλε και κόκκινες διακεκομμένες γραμμές αντίστοιχα, δείχνουν τον μέσο όρο της πιο κρύας νύχτας και πιο ζεστής ημέρας, του κάθε μήνα για τα τελευταία 30 χρόνια.



**Εικόνα 3.7 :** Διάγραμμα με τις μέγιστες θερμοκρασίες των τελευταίων 30 χρόνων, στη περιοχή Τυμπάκι (<https://www.meteoblue.com/el>).

Το διάγραμμα μέγιστης θερμοκρασίας για το Τυμπάκι παρουσιάζει πόσες ημέρες ανά μήνα επιτυγχάνονται συγκεκριμένες θερμοκρασίες. Με βάσει τις μετρήσεις, παρατηρούμε ότι η περιοχής μελέτης δεν εμφανίζει ούτε υπερβολικά ψηλές θερμοκρασίες (>40°) αλλά αντίστοιχα ούτε υπερβολικά μικρές (ημέρες παγετού). Ωστόσο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ο μέσος όρος των θερμοκρασιών που καταγράφονται είναι υψηλές (>30°).

### 3.1.2. Γεωλογία

Η ευρύτερη περιοχή του Τυμπακίου, αποτελεί το δυτικότερο τμήμα της λεκάνης της Μεσσαράς που περιβάλλεται από τον Ψηλορείτη (ή Όρος Ίδη) στα βορειοδυτικά, την οροσειρά Δίκτη από την βορειοανατολική πλευρά και τα Αστερούσια Όρη από το νότο.

Η ιζηματογενής λεκάνη Τυμπακίου σχηματίστηκε και εξελίχθηκε κατά τη διάρκεια του Μειόκαινου. Τα αποθέματα Πλειστόκαινου και Ολόκαινου κυριαρχούν στην περιοχή μελέτης. Ο νεογενετικός σχηματισμός καλλιεργείται κυρίως στα βόρεια της περιοχής μελέτης και αποτελεί τη βάση των αποθέσεων του Πλειστόκαινου.

Ο σχηματισμός Προ-Νεογονιδίου καλλιεργείται κυρίως στα βόρεια της περιοχής. Η γεωλογική επαφή του νεογονιδίου με τους προ-νεογονιδιακούς σχηματισμούς (που αντιπροσωπεύονται κυρίως από ασβεστόλιθους) είναι τεκτονική με τη μορφή ρήξης με την κύρια κατεύθυνση Δ-ΝΔ προς Α-ΒΑ.

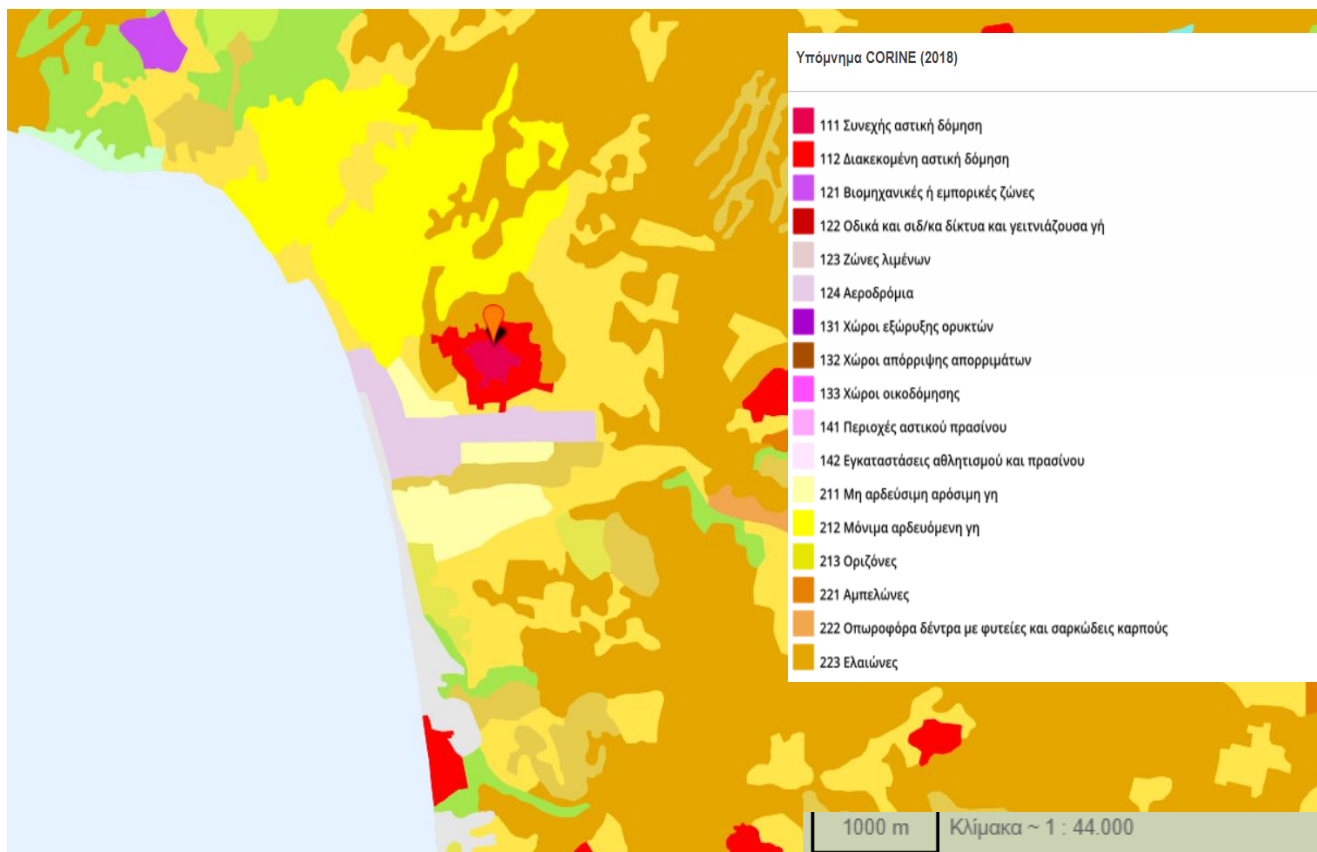
Όλα τα κοιτάσματα εμφανίζουν ετερογενείς αλληλουχίες συσσωματωμάτων, σμηνών, αμμοχάλικων και αργίλων με ταχείες πλευρικές και κάθετες λιθολογικές αλλαγές, καθιστώντας τη συσχέτιση των στρωμάτων ένα δύσκολο έργο.

Γενικά, τα κατάλοιπα από ασβεστώδη νεογενή δρουν πρακτικά ως αδιαπέραστα στρώματα, ενώ τα πιο χονδροειδή και ακανόνιστα τεταρτογενή κοιτάσματα είναι οι διαπερατές μονάδες. Το ανώτερο Πλειστόκαινο και τα πρόσφατα κοιτάσματα έχουν μέσο πάχος τα 120 μέτρα στο νότιο τμήμα της λεκάνης και τα 90 μέτρα στο βόρειο, ενώ το πάχος των κοιτασμάτων του Πλειστόκαινου είναι πάνω από 200 μέτρα.

Οι διαθέσιμες γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες (δείχνουν ότι υπάρχουν τρεις υδρογεωλογικές μονάδες στην περιοχή: α) η Άνω Πλειόκαινος προς τον Τεταρτογενή σχηματισμό υδροφορέα, β) η Μέση Μειόκαινος προς τον Άνω Πλειόκαινο σχηματισμό υδροπλάνο και γ) οι Μεσοζωικοί σχηματισμοί υδρολυμάτων. Η συνέχεια αυτών των σχηματισμών διακόπτεται από διάφορα ελαττώματα που οδηγούν σε μια δομή μπλοκ-αστοχίας. (Vafidis, A, 2013)

### 3.1.3. Χρήσεις Γης

Οι κύριες χρήσεις γης της περιοχής μελέτης είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία. Όντας τμήμα της πεδιάδας της Μεσσαράς, παρατηρείται εκτεταμένη καλλιέργεια εσπεριδοειδών, ελιάς και αμπελιού. Πρόκειται για μία περιοχή με αρδευόμενη έκταση περίπου 40.000 στρεμμάτων. Επιπλέον στην περιοχή γίνεται καλλιέργεια λαχανικών, φρούτων, όπως και δημητριακών. Οι ιδανικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής, δηλαδή ήπιος καιρός και ηλιοφάνεια ακόμη και τους χειμερινούς μήνες, οδήγησε ιδιωτικές επενδύσεις εγκατάστασης θερμοκηπίων.



Εικόνα 3.8 : Χάρτης χρήσεις γης της περιοχής μελέτης βάση corine 2018 (<http://www.oikoskopio.gr/map/>)



## **4ο Κεφάλαιο: Παρουσίαση λογισμικού ArcGIS**

### **4.1. Γενική Περιγραφή GIS**

Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), γνωστό ευρέως και ως G.I.S (Geographic Information System), είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης πληροφορίας που σχετίζεται με φαινόμενα που εξελίσσονται στο χώρο. Τα συστήματα GIS, έχουν τη δυνατότητα να αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε χαρτογραφικό ή γεωγραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Αναγνωρίζονται ως μοναδικά εργαλεία στην χωρική ανάλυση, καθώς έχουν την ικανότητα να συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των βάσεων δεδομένων με τη δυνατότητα ρεαλιστικής οπτικοποίησης και την καταγεγραμμένη χωρική πληροφορία που παρέχουν οι χάρτες (αναλογική ή ψηφιακή μορφή).

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα ΓΣΠ είναι (Καρτέρης 2002-2003):

- Διατήρηση των δεδομένων (κλίσεις, κάλυψη γης κ.λ.π.) σε ψηφιακή μορφή με αποτέλεσμα να καταλαμβάνουν μικρό χώρο και να είναι εύχρηστα.
- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι ποσοτικές πληροφορίες οι οποίες είναι δυνατόν να καταχωρούνται κατά οποιαδήποτε γεωγραφική μονάδα ή διάταξη.
- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμό αυτών.
- Τα υπάρχοντα λογισμικά επιτρέπουν διάφορες μορφές επεξεργασίας, μετατροπών κ.α. διότι παρουσιάζουν συμβατότητα με τους τύπους αρχείων των ΓΣΠ.
- Οι διάφορες μορφές εξαγόμενων αποτελεσμάτων παράγονται πολύ γρήγορα, αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιαδήποτε γεωγραφική θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα.
- Η βάση δεδομένων μπορεί να ενημερώνεται εύκολα και επιτρέπει τον αποτελεσματικό εντοπισμό και ανάλυση των αλλαγών που έγιναν σε δύο ή περισσότερες περιόδους.
- Οι διάφορες μορφές ανάλυσης πραγματοποιούνται με πολύ μικρότερο κόστος και πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα σε σύγκριση με κλασικές μεθόδους.

- Όλες οι αναλύσεις γίνονται με αντικειμενικό τρόπο και υπάρχει πλήρης αυτοματισμός στην παραγωγή αποτελεσμάτων.
- Υπάρχει δυνατότητα συνδυασμού λογισμικών τηλεπισκόπησης με λογισμικά GIS, γεγονός που επιτρέπει τη δημιουργία ενημερωμένων κατά την τρέχουσα χρονική περίοδο, βάσεων δεδομένων καθώς και την εισαγωγή, ανάλυση και εξαγωγή συγκεκριμένων δεδομένων (τοπογραφικά, υδρολογικά, εδαφολογικά κ.α.).
- Υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης δεδομένων GPS (Global Positioning System) με GIS, παρέχοντας on – line και real – time δεδομένα.
- Η παραγωγή χαρτών μέσω του GIS μπορεί να προσαρμοσθεί στις ιδιαίτερες ανάγκες ενός προβλήματος.

Εκτός όμως, από τα εμφανή πλεονεκτήματά τους, τα ΓΣΠ έχουν και κάποια μειονεκτήματα που σχετίζονται κυρίως με το κόστος απόκτησής τους, τη χρήση τους που απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και τη μετατροπή και καταχώρηση ορισμένων υπαρχόντων δεδομένων σε συγκεκριμένη βάση δεδομένων. Εντούτοις, το κυριότερο πρόβλημα στην Ελλάδα είναι η εύρεση ενημερωμένων χαρτογραφικών υλικών, όπως χάρτες βλάστησης, κάλυψης γης, δημογραφικών πληροφοριών κ.α. Παρόλα αυτά, η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού έχει αρχίσει να παράγει ψηφιοποιημένα δεδομένα (χάρτες ισοϋψών, χρήσεων γης, γεωλογικούς χάρτες κ.α.) τα οποία μπορούν να εισαχθούν εύκολα σε ένα ΓΣΠ και να εξαχθούν τα απαραίτητα χαρτογραφικά δεδομένα.



## 4.2. ArcGIS Desktop

Το ArcGIS Desktop είναι ένα σύστημα από τμήματα λογισμικού, που αξιοποιείται για χωρική ανάλυση και διαχείριση δεδομένων. Το προϊόν αυτό είναι διαθέσιμο σε 3 εκδόσεις:

- ArcView: με το οποίο γίνεται αναλυτική χρήση χωρικών και περιγραφικών δεδομένων, χαρτογράφηση και ανάλυση αυτών των δεδομένων.
- ArcEditor: το οποίο παρέχει τις δυνατότητες του ArcView αλλά και δυνατότητες δημιουργίας και διορθώσεις δεδομένων καθώς και επιπλέον χωρικές επεξεργασίες.
- ArcInfo: το οποίο πέραν των δυνατοτήτων του ArcView και του ArcEditor, προσφέρει επιπλέον εργαλεία χωρικής επεξεργασίας.

Η κάθε έκδοση του ArcGIS, περιλαμβάνει τρεις βασικές εφαρμογές, το ArcMap, το ArcCatalog και το ArcToolBox. Η εφαρμογή ArcMap αποτελεί την κεντρική εφαρμογή του ArcGIS Desktop και έχει τις δυνατότητες δημιουργίας και επεξεργασίας χαρτών, εμφάνισης και ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων, αναζήτησης και επιλογής χωρικών δεδομένων, δημιουργίας γραφημάτων, και διαμόρφωσης χαρτών για εκτύπωση. Τα αρχεία που δημιουργεί το ArcMap έχουν επέκταση ".mxd." (ESRI inc. 2006a, 2006b).

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης μελέτης, έγινε χρήση του προγράμματος ArcMap, από το λογισμικό του ArcGIS Desktop. Για τις ανάγκες της εργασίας, μέσω του προγράμματος έγινε δημιουργία και επεξεργασία αρχείων raster και shape file. Το ArcMap είναι ένα εργαλείο με το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί χαρτογράφηση οποιασδήποτε περιοχής, καθώς και ανάλυση και επεξεργασία χαρτών. Οι χάρτες απεικονίζονται σε μορφή σελίδας συμπεριλαμβάνοντας ένα γεωγραφικό παράθυρο (data frame) ως βάση, με μια σειρά επιπέδων, λεζαντών, κλιμάκων και άλλων στοιχείων.

Για τη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν αρχεία shapefile για την εισαγωγή των δεδομένων, αλλά και αρχεία καννάβου raster, που περιείχαν αριθμητική πληροφορία για κάθε κελί του καννάβου. Το μέγεθος καννάβου ήταν 5μ επί 5μ. Τα αρχεία είναι ένα ευρέως διαδεδομένα και ομαδοποιούνται σε 3 ή και περισσότερα αρχεία, τα οποία και είναι αλληλεξαρτώμενα. (ArcGIS Handbook, Univ. of Maryland, 2012).

## **5ο Κεφάλαιο: Μεθοδολογία**

### **5.1. Χρήση των ΓΣΠ στην Εκτίμηση της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας**

Η ανάγκη εκτίμησης της επικινδυνότητας μιας περιοχής όσον αφορά διάφορα φαινόμενα και ιδιαίτερα τις φυσικές καταστροφές (ρύπανση υπόγειου νερού, πλημμύρες, διάβρωση εδαφών, κτλ.) υπήρχε από πολύ παλιά αλλά άρχισε να εφαρμόζεται σαν πρακτική τη δεκαετία του 60 με την ισχυροποίηση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και τη δημιουργία εξειδικευμένου λογισμικού χαρτογραφίας (Kourgialas and Karatzas, 2011). Τα ΓΣΠ, δεδομένου ότι έχουν την δυνατότητα να ενσωματώνουν όλες τις τεχνικές αξιολόγησης χωρικών δεδομένων, αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά τεχνολογικά εργαλεία για την εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου.

Με βάση την Οδηγία 2007/60/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία προαναφέρθηκε αναλυτικά και στο Κεφάλαιο 2, γίνεται αντιληπτό ότι είναι αδύνατη η υλοποίηση πλήρους αντιπλημμυρικής προστασίας, σε επίπεδο που αφορά τόσο τη πρόβλεψη όσο και την αποφυγή πλημμυρικών γεγονότων. Σκοπός της οδηγίας είναι η θέσπιση πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες.

Σύμφωνα με τον Torterotot, για τη διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων και την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους, τα βιώσιμα πλάνα απαρτίζονται από 2 σημεία-κλειδιά (Χρήστος Γκούμας, 2019) :

- Ορθή στρατηγική διαχείρισης πλημμυρικών φαινομένων
- Εκτίμηση της χωρικής έκτασης του πλημμυρικού κινδύνου
- Αποκατάσταση ζημιών μετά το πέρας του πλημμυρικού γεγονότος

## 5.2 Μεθοδολογία Δημιουργίας Χαρτών

Για την εκτίμηση της χωρικής πλημμυρικής επικινδυνότητας στην περιοχή του Τυμπακίου, με τη βοήθεια του GIS ArcMap, δημιουργήθηκε ένας χάρτης διαβάθμισης της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Για την κατασκευή του τελικού χάρτη, πραγματοποιήθηκε ο συνδυασμός 6 επιμέρους θεματικών χαρτών που αφορούν παράγοντες που έχουν άμεση συσχέτιση με τη δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων. Όλοι οι χάρτες γεωαναφέρθηκαν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα ΕΓΣΑ '87.

Πιο συγκεκριμένα, παρακάτω προσδιορίζονται οι επιμέρους παράγοντες που επηρεάζουν την συνολική πλημμυρική επικινδυνότητα στην εκάστοτε περιοχή μελέτης, οι οποίοι είναι (Κουργιαλάς, 2010):

- α) Υψόμετρο (Elevation)
- β) Κλίση (Slope)
- γ) Χρήσεις Γης (Land Use)
- δ) Συγκέντρωση Ροής (Flow Accumulation)
- ε) Γεωλογία (Geology)
- στ) Ένταση Βροχόπτωσης (Rainfall Intensity)

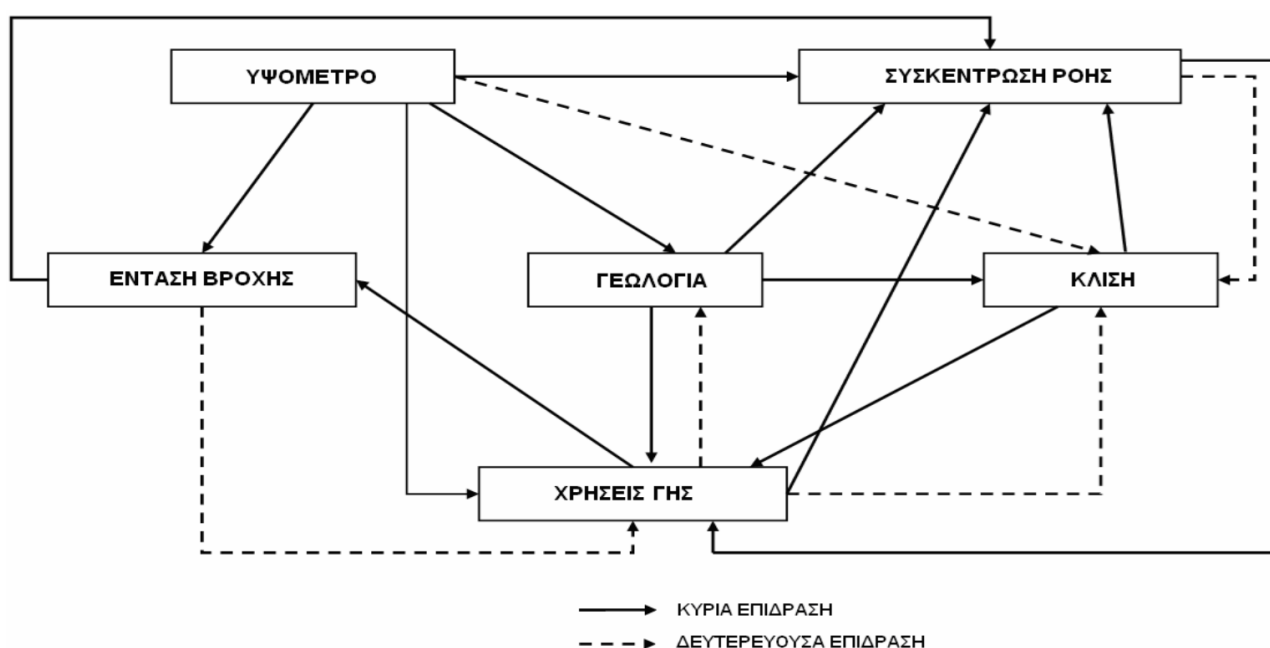
Κάθε παράγοντας προσδιορίζεται σε χάρτη καννάβου (raster) για την μελετώμενη περιοχή.

Προκειμένου να καθοριστεί ο συντελεστής βαρύτητας (A) κάθε επιπέδου στο συγκεκριμένο παράγοντα, προτάθηκε μια κλίμακα τιμών διακύμανσης (points) από το 1-10, για το κάθε επίπεδο, αρχίζοντας με 10 points για την Πολύ Υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα (Πολύ Υψηλή) = 10 pts, μέχρι την Πολύ Χαμηλή πλημμυρική επικινδυνότητα, που καταλαμβάνει και το χαμηλότερο επίπεδο, (Πολύ Χαμηλή) = 1 pts (Shaban et al., 2001).

Τα επίπεδα χωρικής πλημμυρικής επικινδυνότητας περιγράφονται ως η πιθανότητα να έχουμε πλημμυρικό γεγονός μέσα σε ένα υδρολογικό έτος:

- 2% πιθανότητα (20-year flood) - Πολύ Υψηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- 1% πιθανότητα (100-year flood) - Υψηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- 0,5% πιθανότητα (200-year flood) - Μέτρια Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- 0,2% πιθανότητα (500-year flood) - Χαμηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- < 0,2% πιθανότητα (>500-year flood) - Πολύ Χαμηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα

Για την εκτίμηση της τελικής πλημμυρικής επικινδυνότητας, η επίδραση που έχει κάθε παράγοντας διαφέρει, καθώς και ο προσδιορισμός της επίδρασης του κάθε παράγοντα ανεξάρτητα στην πλημμυρική επικινδυνότητα, δεν μπορεί να δώσει μια ολοκληρωμένη εικόνα της συνολικής επίδρασης. Επομένως, είναι απαραίτητη η καθολική συσχέτιση όλων των παραγόντων μαζί, ώστε να δημιουργηθεί ο τελικός χωρικός χάρτης πλημμυρικού κινδύνου. Για να μπορέσουν να ενσωματωθούν οι αλληλεπιδράσεις του που φέρει ο κάθε παράγοντας, μιας και δεν έχουν τον ίδιο βαθμό επίδρασης, πρέπει να ακολουθηθεί μια σταθμισμένη προσέγγιση. Τέλος, για την εκτίμηση των τελικών βαρών των εμπλεκόμενων παραγόντων, μελετήθηκε η επίδραση του κάθε παράγοντα στους υπόλοιπους (αλληλεπίδραση). Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η σχηματική επίδραση:



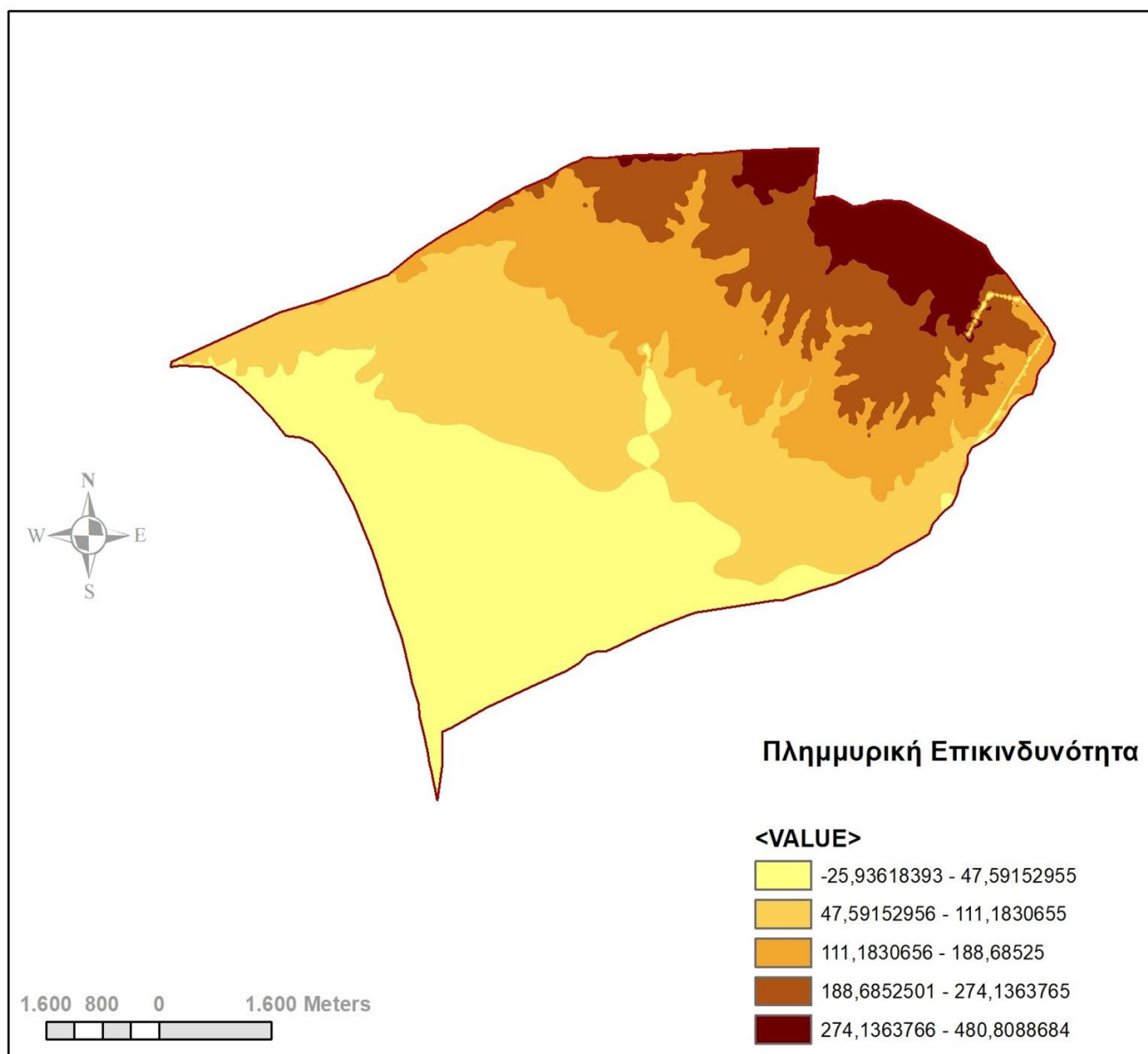
**Εικόνα 5.1.** : Σχηματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης των επιμέρους παραγόντων που συμβάλλουν στην πλημμυρική επικινδυνότητα

### 5.3. Δεδομένα

#### 5.3.1. Υψόμετρο (Elevation)

Η δημιουργία του θεματικού χάρτη του υψομέτρου βασίστηκε στον αναλυτικότερο και πιο διαδεδομένο τρόπο απεικόνισης του ανάγλυφου της γήινης επιφάνειας, στα Ψηφιακά Μοντέλα Ανάγλυφου (DEM – Digital Elevation Model). Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκε ένα τρισδιάστατο μοντέλου εδάφους, το οποίο αποτέλεσε και τη βάση για τους επόμενους θεματικούς χάρτες που παρουσιάζονται παρακάτω.

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι μια αξιόπιστη πηγή εξαγωγής τοπογραφικών παραγόντων, τα οποία είναι υπεύθυνα για την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων μίας περιοχής. Το DEM κατασκευάζεται από ψηφιοποιημένους χάρτες ισοϋψών καμπύλων, της μορφής shapefile – polyline. Οι ισοϋψείς είναι σχεδιασμένες ανά 20 μέτρα, ενώ έχει συμπεριληφθεί και η ισοϋψής καμπύλη των 10 μέτρων. Για τη δημιουργία του DEM, έγινε χρήση της λειτουργίας Clip (Analysis), με την οποία έγινε η περικοπή της περιοχής ενδιαφέροντος από τη συνολική έκταση του γεωγραφικού επιπέδου των δεδομένων (τη Κρήτη). Από την εργαλειοθήκη ArcToolbox κατόπιν, επιλέχθηκε από το πακέτο Spatial Analyst tools η λειτουργία Topo to Raster, η οποία ορίζει τα θεματικά επίπεδα, το πεδίο αποθήκευσης του υψομέτρου και το είδος των δεδομένων. Έτσι, με την εντολή αυτή δημιουργήθηκε από τις ισοϋψείς καμπύλες το τρισδιάστατο ανάγλυφο εδάφους DEM, στο οποίο ορίστηκε, για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης, η δημιουργία κελιών 5x5 μέτρων, με εμβαδόν κελιού 25m<sup>2</sup>.

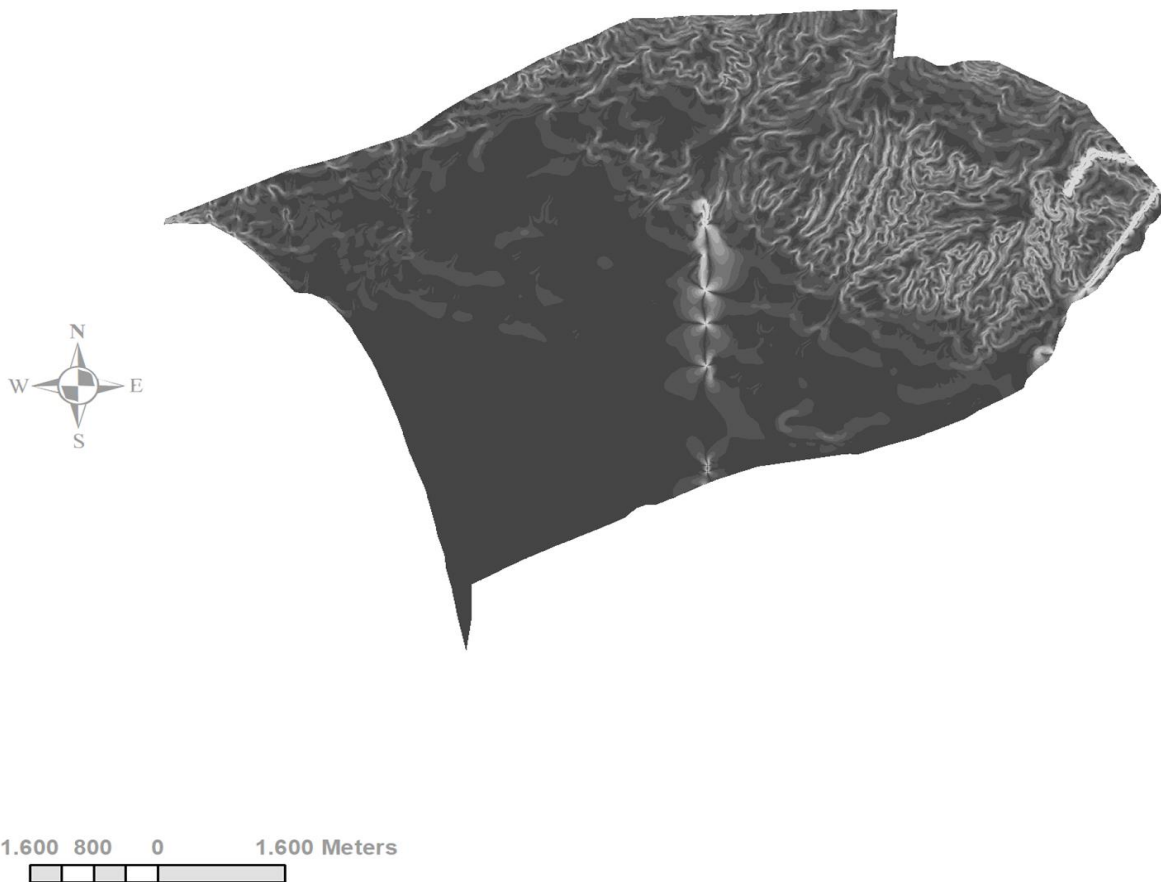


**Εικόνα 5.2.** : Χάρτης υψομέτρων της περιοχής μελέτης

Η μορφολογία του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο της εμφάνισης των πλημμυρικών φαινομένων και στον προσδιορισμό των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε αυτά. Από τη μία πλευρά, τοπογραφικοί παράγοντες έχουν άμεση επίδραση στο μέγεθος της ροής και στην ταχύτητα απορροής. Από την άλλη πλευρά, οι κατάντη περιοχές είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμύρες μιας και συσσωρεύουν τις μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Οι περιοχές αυτές έχουν ως επί το πλείστον χαμηλό υψόμετρο (Masoud, 2012).

### 5.3.2 Κλίση (Slope)

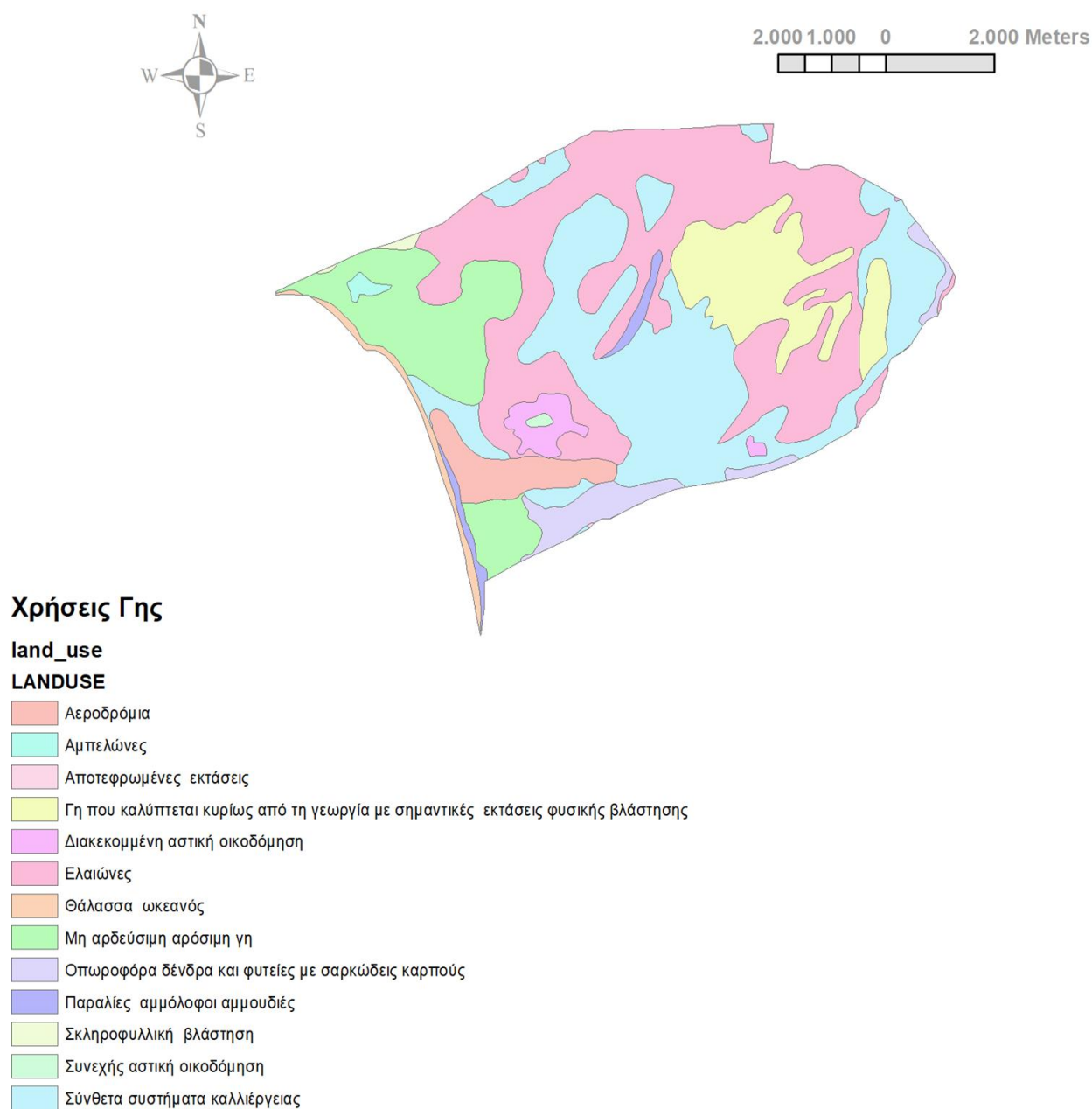
Ο θεματικός χάρτης του παράγοντα της κλίσης, κατασκευάστηκε με βάση το ανάγλυφο του εδάφους, δηλαδή το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους (DEM). Συγκεκριμένα με τη βοήθεια της εντολής Slope (Spatial Analysis), από το DEM εξάχθηκε ο χάρτης κλίσεων τύπου raster. Η εντολή αυτή μας δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας ενός καννάβου εικονοστοιχείων, όπου το κάθε ένα από αυτά φέρει την πληροφορία της κλίσης, σε αριθμητική τιμή από 0 έως 90. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στις μοίρες της γωνίας κλίσης του εδάφους σε συγκεκριμένο σημείο της περιοχής ενδιαφέροντος.



**Εικόνα 5.3. :** Χάρτης κλίσης της περιοχής μελέτης

### 5.3.3 Χρήσεις Γης ( Land Use)

Ο θεματικός χάρτης των χρήσεων γης προσδιορίστηκε με βάση τα πιο πρόσφατα δεδομένα του Corine Land Cover, για την νήσο Κρήτη. Με τη βοήθεια της λειτουργίας Clip (Analysis), το αρχικό αρχείο που περιείχε πληροφορίες για όλη την Κρήτη, κόπηκε στα όρια της περιοχής μελέτης και στη συνέχεια με τη χρήση της λειτουργίας Polygon to Raster, μετατράπηκε σε αρχείο raster. Για κάθε εικονοστοιχείο επιλέχθηκαν διαστάσεις 5 επί 5 μέτρα.

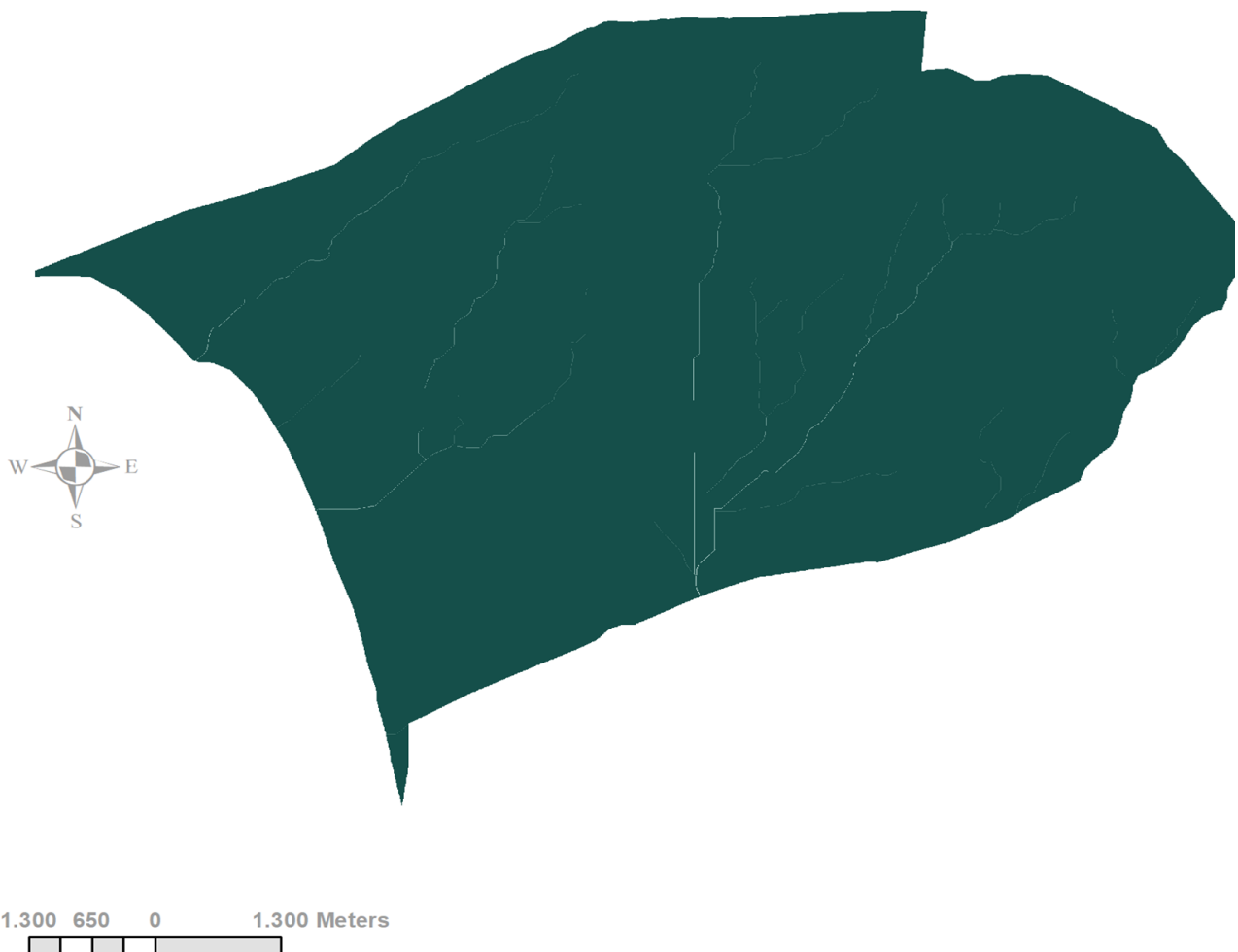


**Εικόνα 5.4. :** Χάρτης χρήσεων γης της περιοχής μελέτης



### 5.3.4 Συγκέντρωση Ροής (Flow Accumulation)

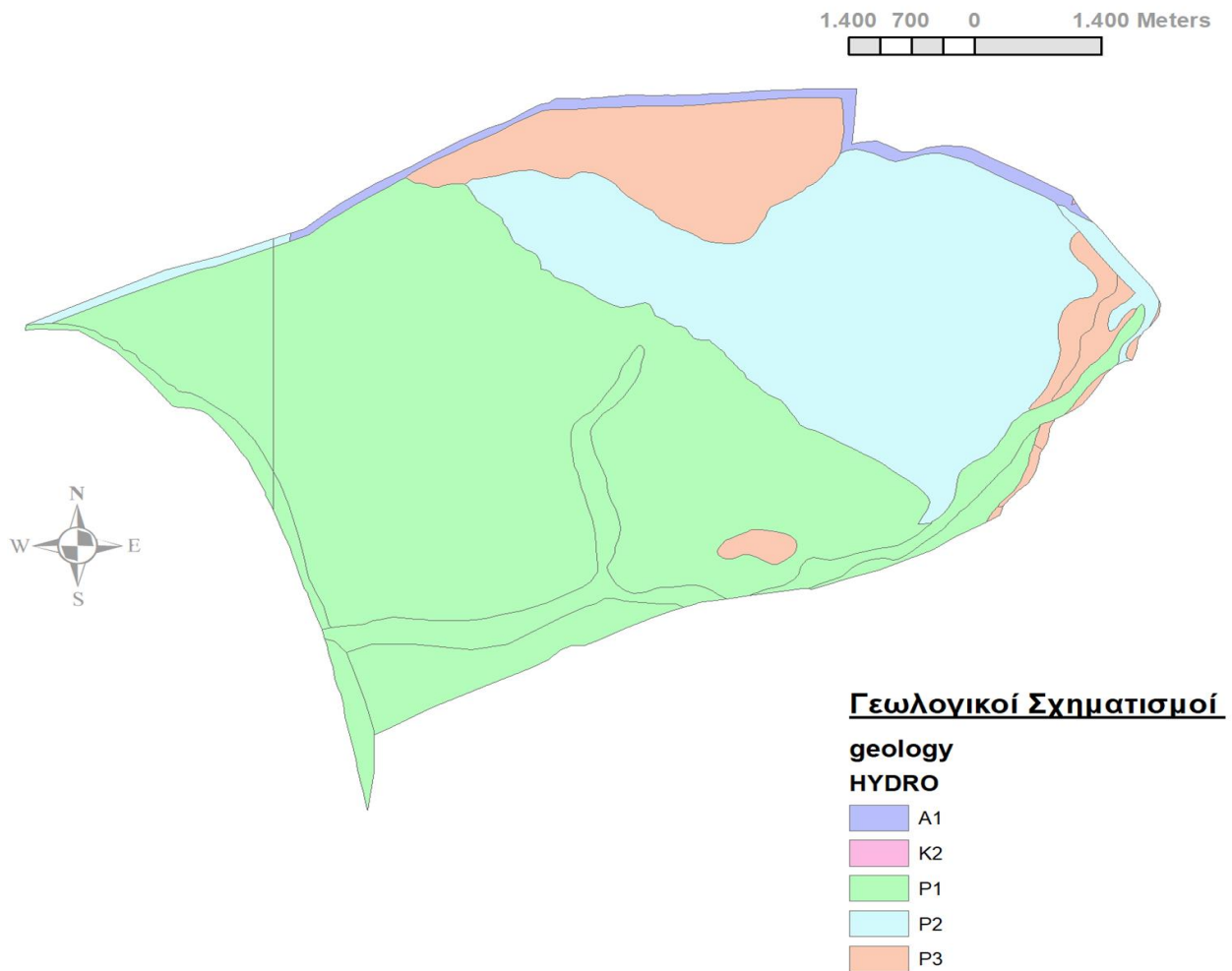
Ο χάρτης συγκέντρωσης ροής προσδιορίζει τα σημεία σημαντικής συγκέντρωσης επιφανειακού νερού. Η κατασκευή και αυτού του χάρτη βασίστηκε στο τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους (DEM) και στη συνέχεια μέσα από την ομάδα εργαλείων Spatial Analyst tools, χρησιμοποιήθηκαν κατά σειρά οι εντολές Fill, Flow Direction και Flow accumulation. Ειδικότερα με την εντολή Fill αφαιρέθηκαν σημεία τοπικής ταπείνωσης (sink) του ανάγλυφου που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στην υδρολογική ανάλυση, με την εντολή Flow Direction δημιουργήθηκε ένα αρχείο raster του επιπέδου διεύθυνσης της ροής, ενώ τελικά με την εντολή Flow accumulation δημιουργείται το αρχείο raster της συσσώρευσης μεγάλου όγκου επιφανειακής απορροής.



**Εικόνα 5.5.** : Χάρτης συγκέντρωσης ροής της περιοχής μελέτης

### 5.3.5 Γεωλογία (Geology)

Για τον θεματικό χάρτη της γεωλογίας, ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με τους προηγούμενους χάρτες για τον καθορισμό των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης από τη διαθέσιμη γεωλογία, όλης της Κρήτης.



**Εικόνα 5.6. :** Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης

Οι κατηγορίες στις οποίες είναι ταξινομημένοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί είναι οι εξής (Λιονής , Περλέρος, 2001):

- **A1:** Πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί μικρής υδροπερατότητας. Περιλαμβάνονται οι σχηματισμοί του φλύσχη και τα ελαφρώς μεταμορφωμένα αργιλικά ιζήματα των διαφόρων ζωνών. Κατά θέσεις εντός των στρωμάτων του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικού χαρακτήρα υδροφορίες μικρού έως μέσου δυναμικού.
- **K1:** Υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας. Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, μάρμαρα υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας. Περιλαμβάνονται οι έντονα καρστικοποιημένοι ανθρακικοί σχηματισμοί της ζώνης της Τρίπολης, τα ανθρακικά Τρυπαλίου και οι Τριαδικοί κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Ιονίου ζώνης. Στους σχηματισμούς αυτούς αναπτύσσονται υψηλού δυναμικού υπόγειες υδροφορίες που εκφορτίζονται μέσω μεγάλων καρστικών πηγών.
- **P1:** Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι αλλουβιακές αποθέσεις, οι ποτάμιες και θαλάσσιες αναβαθμίδες, τα κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης, τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι κορημάτων όταν έχουν σημαντική εξάπλωση. Αναπτύσσονται, κατά θέσεις, αξιόλογες φρεάτιες υδροφορίες. Κοντά στη θάλασσα οι υδροφορίες αυτές έχουν υποστεί κατά θέσεις, υποβάθμιση εξαιτίας της υφαλμύρισης.
- **P2:** Μειοκαινικές και πλειοκαινικές αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα κροκαλοπαγή και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι των νεογενών σχηματισμών που φιλοξενούν επιμέρους υπόγειες υδροφορίες μέσου έως μικρού δυναμικού.
- **P3:** Κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι πλειοκαινικές και μειοκαινικές μάργες, καθώς και ο αδιαίρετος σχηματισμός του νεογενούς. Τοπικά στον αδιαίρετο σχηματισμό των νεογενών αναμένεται η ανάπτυξη ασθενών υδροφοριών μέσα σε παρεμβολές κροκαλοπαγών ή μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Κατά θέσεις στις νεογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται στρώματα γύψου που παρουσιάζουν αξιόλογη υδροφορία εντόνως όμως υποβαθμισμένη εξαιτίας των θεικών ιόντων.

### 5.3.6 Βροχόπτωση (Rainfall Intensity)

Η κατασκευή του θεματικού χάρτη της έντασης βροχόπτωσης (rainfall intensity), πραγματοποιήθηκε με δεδομένα που συλλέχθηκαν από μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονταν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Στην εικόνα που ακολουθεί, απεικονίζονται οι μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν. Οι σταθμοί Πετροκεφάλι Μοιρών, Γόρτυνα Ηρακλείου και Πλώρα Ηρακλείου βρίσκονται στα Νοτιοανατολικά, ενώ ο σταθμός Φουρφουράς Ρεθύμνου στα Βορειοδυτικά, σε σχετική απόσταση από τη περιοχή ενδιαφέροντος. Για την τοποθέτηση των σταθμών έγινε μετατροπή των συνταγμένων από WGS84 σε ΕΓΣΑ87 και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές Create Feature Class και το Editor tool bar για τον απόλυτο προσδιορισμό της θέσης τους.



Εικόνα 5.7. : Εγκατεστημένοι μετεωρολογικοί σταθμοί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

### ***Modified Fourier Index (MFI) map***

Για την κατασκευή του χάρτη έντασης βροχόπτωσης (rainfall intensity) με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών, έγινε χρήση του δείκτη MFI (Modified Fournier Index) σε περιβάλλον ΓΣΠ.

Ο δείκτης MFI (Modified Fournier Index) εκφράζει το άθροισμα της μέσης μηνιαίας έντασης βροχόπτωσης για κάθε σταθμό (εξίσωση 1) και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$MFI = \sum_{1}^{12} \frac{P^2}{P} \quad (1)$$

όπου:

- $p$  = μέση μηνιαία βροχόπτωση, και
- $P$  = η μέση ετήσια βροχόπτωση.

Για κάθε μετεωρολογικό σταθμό βρέθηκε ο δείκτης MFI που τον χαρακτηρίζει. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα φύλλα Excel όπου πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός του δείκτη MFI για τους 4 σταθμούς που βρίσκονται περιμετρικά από την περιοχή μελέτης. Οι πίνακες 1 και 2 αφορούν την χρονική περίοδο 2010-2020, ενώ οι πίνακες 3 και 4 την χρονική περίοδο 2019-2020. Για την ολοκληρωμένη μελέτη και την εξασφάλιση ενός έγκυρου αποτελέσματος, χρειαζόντουσαν τα βροχομετρικά δεδομένα μιας δεκαετίας για τον εκάστοτε σταθμό. Ωστόσο, για τους μετεωρολογικούς σταθμούς Πλώρα Ηρακλείου και Γόρτυνα Μεσσαράς, έγινε οι ανάκτηση δεδομένων μόνο για τα έτη 2019 και 2020.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Μ.Ο μηνών	MFI
Ιανουάριος	123,4	87,2	106,0	85,2	79,6	165,4	62,0	117,0	51,3	177,8	37,6	99,3	35,9
Φεβρουάριος	48,4	136,8	154,6	49,8	68,0	152,2	8,6	7,4	59,0	118,4	44,4	77,1	
Μάρτιος	0,0	9,4	41,8	18,6	76,8	112,6	35,4	88,0	22,8	40,6	45,6	44,7	
Απρίλιος	4,6	4,4	18,4	12,4	29,6	10,2	0,8	7,0	0,2	82,8	0,8	15,6	
Μάιος	1,4	4,6	1,2	13,2	2,2	2,8	19,6	15,4	14,8	4,2	0,0	7,2	
Ιούνιος	1,4	5,3	0,0	0,0	1,4	3,8	0,0	2,8	12,6	0,0	0,2	2,5	
Ιούλιος	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,3	
Αύγουστος	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	
Σεπτέμβριος	1,8	2,4	0,0	1,6	0,2	37,0	1,4	0,0	30,4	0,6	4,0	7,2	
Οκτώβριος	30,4	89,2	12,0	0,4	58,0	97,0	11,4	51,2	18,4	15,8	39,2	38,5	
Νοέμβριος	62,0	0,0	42,8	58,3	24,6	72,0	9,6	50,0	110,2	86,0	44,6	50,9	
Δεκέμβριος	107,4	87,2	100,2	66,4	218,9	2,8	32,8	47,4	99,4	120,9	73,5	87,0	
Μ.Ο. Ετών	31,7	35,5	39,8	25,5	46,6	55,1	15,1	32,2	34,9	54,2	24,2		

Πίνακας 5.1: Υπολογισμός MFI για τον μετεωρολογικό σταθμό Πετροκεφάλι Μοιρών.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Μ.Ο μηνών	MFI
Ιανουάριος			285,4	191,2	12,6	619,6	142,8	216,4	33,4	370,2	464,8	259,6	88,2
Φεβρουάριος	79,6	177,6	237,8	119,6	88,6	430	85,4	36,8	111,6	380,2	140	171,6	
Μάρτιος	10,8	88	105,4	37,2	162,4	175,4	75,6	188,8	41,6	194	83	105,7	
Απρίλιος	10	52,2	34	80,8	32,8	103,6	0	9,8	8,4	80	38	40,9	
Μάιος	15,6	35,2	2	24	3,2	21,2	35,2	96,4	49,6	6,4	4,8	26,7	
Ιούνιος	0,4	3,6	0	0	2,4	8,8	0	3,6	26,4	0	1	4,2	
Ιούλιος	0	0	0,2	0	0	0	0	0	5,2	12	10,8	2,6	
Αύγουστος	0	0	0	3,6	0	22	0,2	0,8	8,8	0	0	3,2	
Σεπτέμβριος	4,4	6,8	0,6	54,4	39,2	29,2	3,6	1,6	101	2,8	8	22,9	
Οκτώβριος	87,2	101,6	19,6	0,8	72,8	106,6	71,6	32,4	21,8	12	67,2	54,0	
Νοέμβριος	74,6	64,2	91	96,2	27,6	73,6	74,4	70,6	204,4	124,4	300,6	109,2	
Δεκέμβριος	235,6	174,4	191,6	125,3	292	8,8	420,8	179	207,1	283,8	299,6	219,8	
Μ.Ο. ετών	47,1	64,0	80,6	61,1	61,1	133,2	75,8	69,7	68,3	122,2	118,2		

Πίνακας 5.2: Υπολογισμός MFI για τον μετεωρολογικό σταθμό Φουρφουράς Ρεθύμνου

	2019	2020	Μ.Ο μηνών	MFI
Ιανουάριος	187,0	55,6	121,3	44,8
Φεβρουάριος	152,4	66,6	109,5	
Μάρτιος	38,6	50,0	44,3	
Απρίλιος	118,8	8,2	63,5	
Μάιος	4,4	0,6	2,5	
Ιούνιος	0,0	4,0	2,0	
Ιούλιος	13,2	4,2	8,7	
Αύγουστος	0,0	0,0	0,0	
Σεπτέμβριος	0,0	7,8	3,9	
Οκτώβριος	19,0	38,8	28,9	
Νοέμβριος	50,6	46,2	48,4	
Δεκέμβριος	125,7	83,0	104,4	
Μ.Ο ετών	59,1	30,4		

Πίνακας 5.3 : Υπολογισμός MFI για τον μετεωρολογικό σταθμό Πλώρα Ηρακλείου

	2019	2020	Μ.Ο μηνών	MFI
Ιανουάριος	175,3	81,4	128,4	43,5
Φεβρουάριος	135,6	52,4	94,0	
Μάρτιος	36,2	53,8	45,0	
Απρίλιος	68,1	8,0	38,1	
Μάιος	4,2	4,8	4,5	
Ιούνιος	0,0	0,2	0,1	
Ιούλιος	9,8	10,2	10,0	
Αύγουστος	0,0	0,2	0,1	
Σεπτέμβριος	0,0	2,8	1,4	
Οκτώβριος	15,2	35,2	25,2	
Νοέμβριος	76,2	49,4	62,8	
Δεκέμβριος	137,2	87,4	112,3	
Μ.Ο ετών	54,8	32,2		

*Πίνακας 5.4 : Υπολογισμός MFI για τον μετεωρολογικό σταθμό Γόρτυνα Μεσσαράς*

Στη συγκεκριμένη μελέτη η χωρική απεικόνιση της έντασης βροχόπτωσης και ο συσχετισμός της με την πλημμυρική επικινδυνότητα στην περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο παρεμβολής (interpolation) spline των σημειακών τιμών του δείκτη MFI για καθένα από τους τέσσερις μετεωρολογικούς σταθμούς που προαναφέρθηκαν. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρεμβολής, ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου τα σημειακά δεδομένα είναι σχετικά λίγα σε αριθμό.

Αναλυτικότερα, για την διαδικασία αυτή έγινε αρχικά εισαγωγή του σημειακού αρχείου των σταθμών στο περιβάλλον του GIS, το οποίο περιείχε όλη την ποιοτική πληροφορία για τις τιμές του δείκτη MFI για κάθε σταθμό. Με την εντολή Interpolation to Raster και τη μέθοδο χωρικής παρεμβολής Spline για τις τιμές του δείκτη MFI, δημιουργήθηκε ένα αρχείο καννάβου που περιγράφει την διακύμανση της έντασης βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια έγινε η κατηγοριοποίηση της διακύμανσης των τιμών του δείκτη MFI με την εντολή Reclassify (Spatial Analyst) σε 5 κλάσεις (πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή ένταση βροχής). Οι πέντε αυτές κλάσεις περιγράφουν τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας για τον συγκεκριμένο θεματικό χάρτη. Συγκεκριμένα, όσο πιο αυξημένη είναι η ένταση της βροχόπτωσης τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου. Επομένως, η διακύμανση των τιμών του δείκτη MFI που αντιστοιχούν στην κλάση με πολύ υψηλή ένταση βροχής, συσχετίζονται με πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου.



## *Μέθοδος Σταθμισμένων Αντιστρόφων Αποστάσεων (Inverse Irregular Weighted-IDW)*

Η μέθοδος των σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων ανήκει στην κατηγορία των ντετερμινιστικών μεθόδων τοπικών εκτιμήσεων. Η IDW αποτελεί μια βελτιωμένη εκδοχή της μεθόδου του εγγύτερου γείτονα, καθώς χρησιμοποιεί τιμές μεταβλητών όχι μόνο των γειτονικών σημείων του δείγματος. Αναλυτικότερα, στην IDW μέθοδο παρεμβολής, εφαρμόζεται η παραδοχή ότι τα χαρακτηριστικά των σημείων του δείγματος τα οποία βρίσκονται πιο κοντά το ένα με το άλλο είναι περισσότερο όμοια από ότι τα χαρακτηριστικά εκείνων των σημείων του δείγματος που απέχουν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους. Για να προβλεφθεί η τιμή ενός χαρακτηριστικού ενός σημείου εκτός του δείγματος, η IDW χρησιμοποιεί τις τιμές των σημείων του δείγματος που γειτονιάζουν με το σημείο της περιοχής πρόβλεψης. Τα σημεία εκείνα του δείγματος που εντοπίζονται σε μικρότερη απόσταση από το σημείο πρόβλεψης θα έχουν μεγαλύτερη επιρροή στην προβλεπόμενη τιμή από εκείνα που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση (Τσαούση, 2016).

Με αυτό τον τρόπο, με την μέθοδο IDW γίνεται η υπόθεση ότι η τιμή κάθε σημείου του δείγματος έχει μία επίδραση στις τιμές των χαρακτηριστικών των σημείων εκτός του δείγματος, η οποία μειώνεται όσο αυξάνεται η απόσταση. Έτσι, τα σημεία του δείγματος που βρίσκονται πιο κοντά στο σημείο πρόβλεψης σταθμίζονται με μεγαλύτερο βάρος από ότι τα σημεία που βρίσκονται σε πιο μακρινή απόσταση από το σημείο πρόβλεψης (Τσαούση, 2016).

Η παρεμβολή με τη μέθοδο των αντίστροφων σταθμισμένων αποστάσεων, γίνεται με βάση τη σχέση:

$$z(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i), \text{ όπου } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

Όπου  $z(x)$  η τιμή της μεταβλητής στη ζητούμενη απόσταση,  $z(x_i)$  οι τιμές-μετρήσεις στα σημεία του δείγματος,  $n$  ο αριθμός των σημείων του δείγματος που συμμετέχουν και  $\lambda_i$  τα βάρη σε κάθε σημείο του δείγματος, τα οποία υπολογίζονται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$\lambda_i = \frac{d_i^{-k}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-k}}$$

Όπου  $d_i$  οι αποστάσεις του σημείου προς εκτίμηση από το κάθε σημείο του δείγματος,  $k$  ο συντελεστής επιρροής της απόστασης, ο οποίος συνήθως παίρνει τιμή ίση με 1 ή 2 (Τσαούση, 2016).

### ***Χάρτες Κατανομής με μέθοδο IDW με την χρήση GIS***

Στην παρούσα εργασία, για την δημιουργία των χαρτών κατανομής με την μέθοδο IDW, έγινε χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Το ArcGIS Desktop αποτελεί μια σουίτα εφαρμογών, που περιλαμβάνει τα ArcMap, ArcCatalog και ArcToolbox. Με συνδυαστική χρήση τους μπορεί να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε ενέργεια χρειαστεί όσον αφορά τη δημιουργία και την επεξεργασία χαρτών GIS, είτε απλή είτε πολυσύνθετη, όπως χαρτογράφηση, γεωγραφική ανάλυση, επεξεργασία και σύνθεση δεδομένων, απεικόνιση και γεωανάλυση.

## ***6ο Κεφάλαιο: Αποτελέσματα***

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη χωρική εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου. Για την υλοποίηση της μελέτης έγινε χρήση του ArcGIS 10.5 και συγκεκριμένα του ArcMap, ώστε να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία και ο συνδυασμός των επιμέρους θεματικών χαρτών, αλλά και η τελική εξαγωγή των χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας ανά παράγοντα και συνολικά.

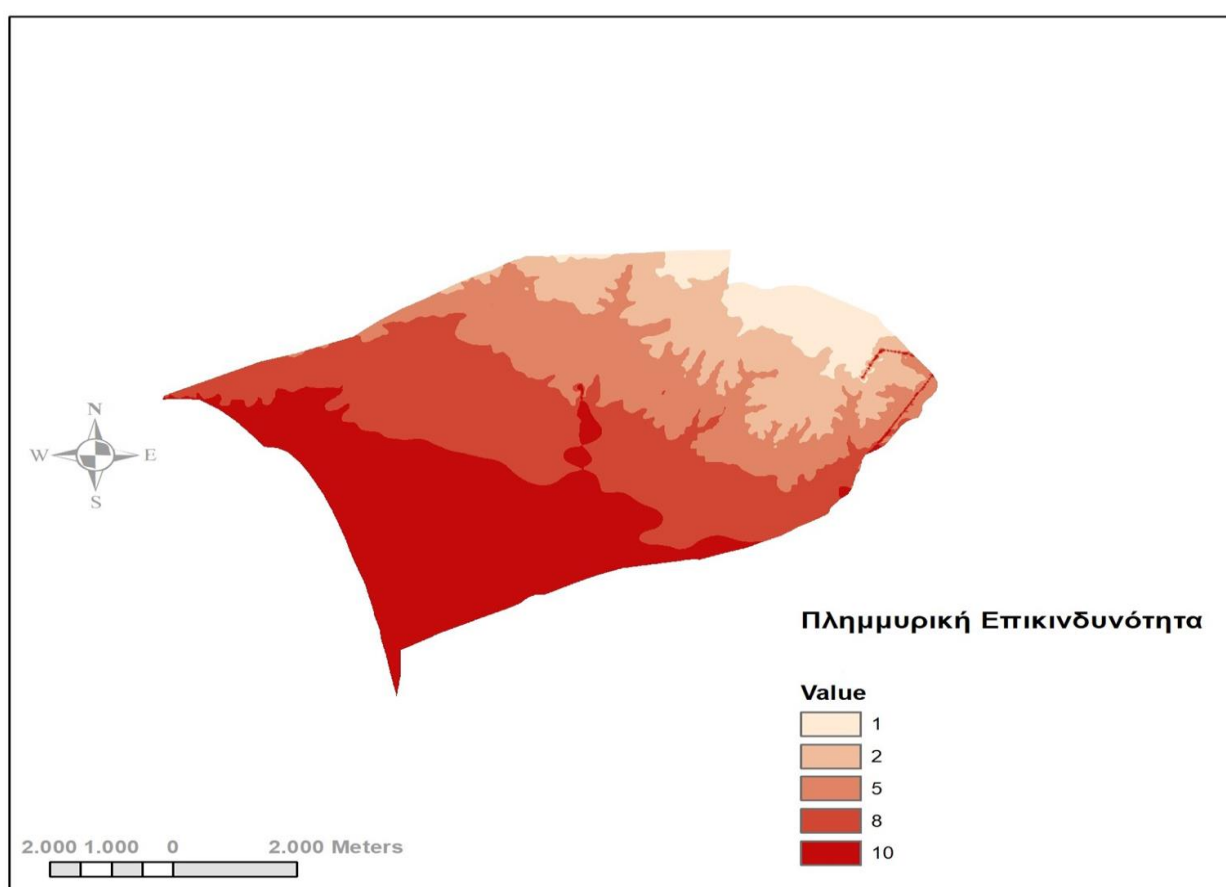
Για την κατασκευή των χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας, απαραίτητη ήταν η κατηγοριοποίηση των θεματικών χαρτών της κάθε παραμέτρου, με κριτήριο την συνεισφορά τους στη δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων. Συγκεκριμένα, για τους χάρτες βροχόπτωσης, υψομέτρου, κλίσης και συσσώρευσης ροής, τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν με βάση την μέθοδο Natural Breaks (Jenks) σε 5 ομάδες, με βαθμούς 1, 2, 5, 8 και 10 για πλημμυρική επικινδυνότητα Πολύ Μικρή, Μικρή, Μέτρια, Υψηλή και Πολύ Υψηλή αντίστοιχα. Για το θεματικό χάρτη χρήσεων γης, πραγματοποιήθηκε η μετατροπή του σε χάρτη καννάβου raster, όπως και οι υπόλοιποι και η κατηγοριοποίηση του βασίστηκε στις επιπτώσεις που φέρει η εκάστοτε χρήση γης, ως προς την πλημμυρική επικινδυνότητα.

### ***6.1 Χάρτες Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Επιμέρους Παραγόντων***

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες των 6 επιμέρους παραγόντων της χωρικής εκτίμησης πλημμυρικής επικινδυνότητας. Η επικινδυνότητα κατηγοριοποιείται σε 5 κατηγορίες: Πολύ Χαμηλή, Χαμηλή, Μέτρια, Υψηλή και Πολύ Υψηλή.

### 6.1.1 Χάρτης Υψομέτρου (Elevation Map)

Η μορφολογία του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο της εμφάνισης των πλυμυρικών φαινομένων και στον προσδιορισμό των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε αυτά. Από τη μία πλευρά, τοπογραφικοί παράγοντες έχουν άμεση επίδραση στο μέγεθος της ροής και στην ταχύτητα απορροής. Από την άλλη πλευρά, οι κατάντη περιοχές είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμύρες μιας και συσσωρεύουν τις μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Οι περιοχές αυτές έχουν ως επί το πλείστον χαμηλό υψόμετρο (Masoud, 2012).

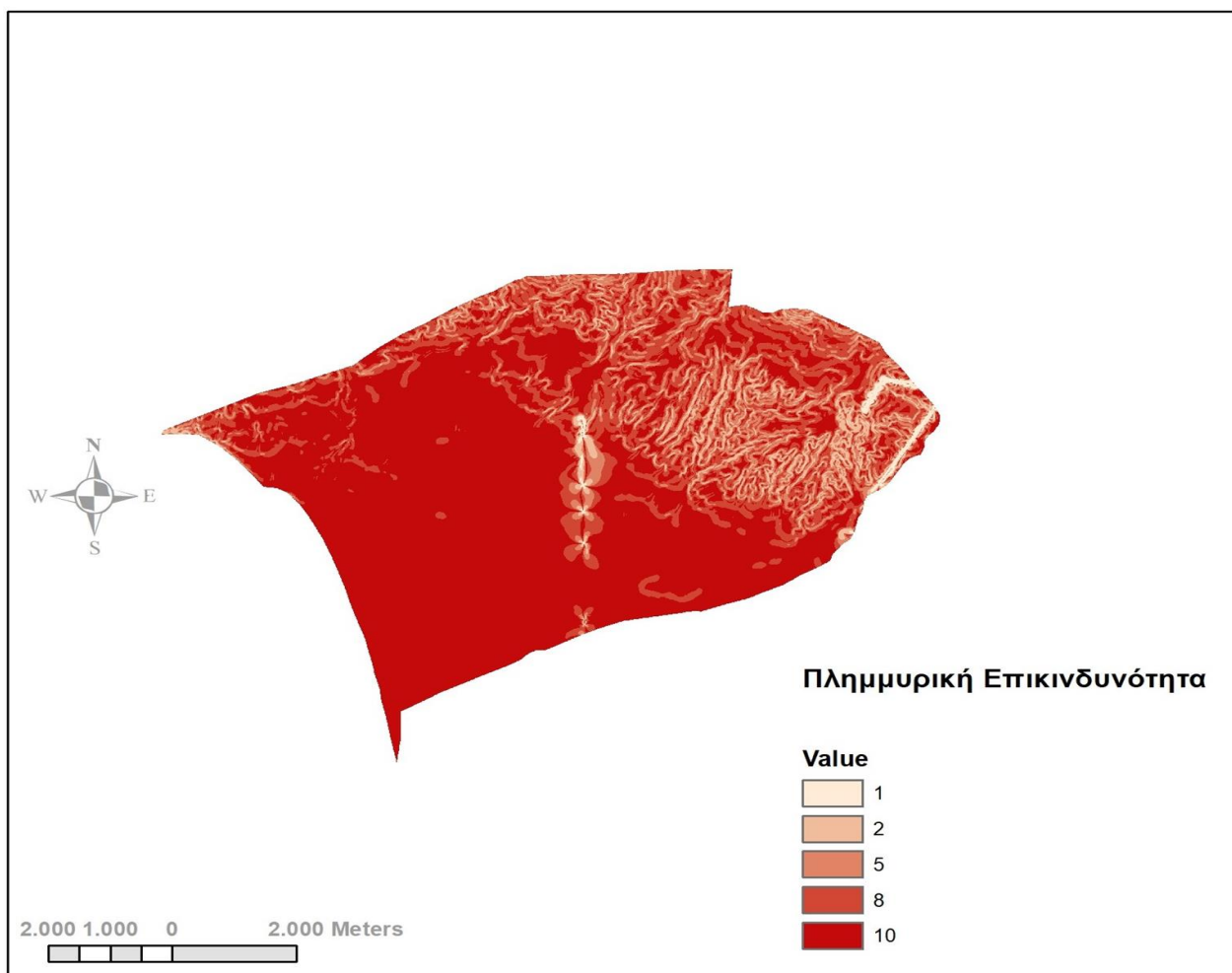


**Εικόνα 6.1:** Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με το Υψόμετρο στην περιοχή του Τυπακίου.

Με βάση το θεματικό χάρτη υψομέτρου παρατηρούμε ότι οι παράκτιες περιοχές καθώς και οι κοιλάδες χαμηλού υψομέτρου, αποτελούν περιοχές πολύ υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας. Όσο το υψόμετρο αυξάνεται, τόσο η πλυμυρική επικινδυνότητα μειώνεται με αποτέλεσμα τα ορεινά σημεία της περιοχής να εμφανίζουν τη χαμηλότερη επικινδυνότητα.

### 6.1.2 Χάρτης Κλίσεων Εδαφικού Ανάγλυφου (Slope Map)

Σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της πλημμυρικής επικινδυνότητας είναι οι κλίσεις του εδαφικού ανάγλυφου. Ως κλίση εδαφικού ανάγλυφου ορίζεται η γωνία μεταξύ της επιφάνειας με ένα οριζόντιο σημείο αναφοράς.

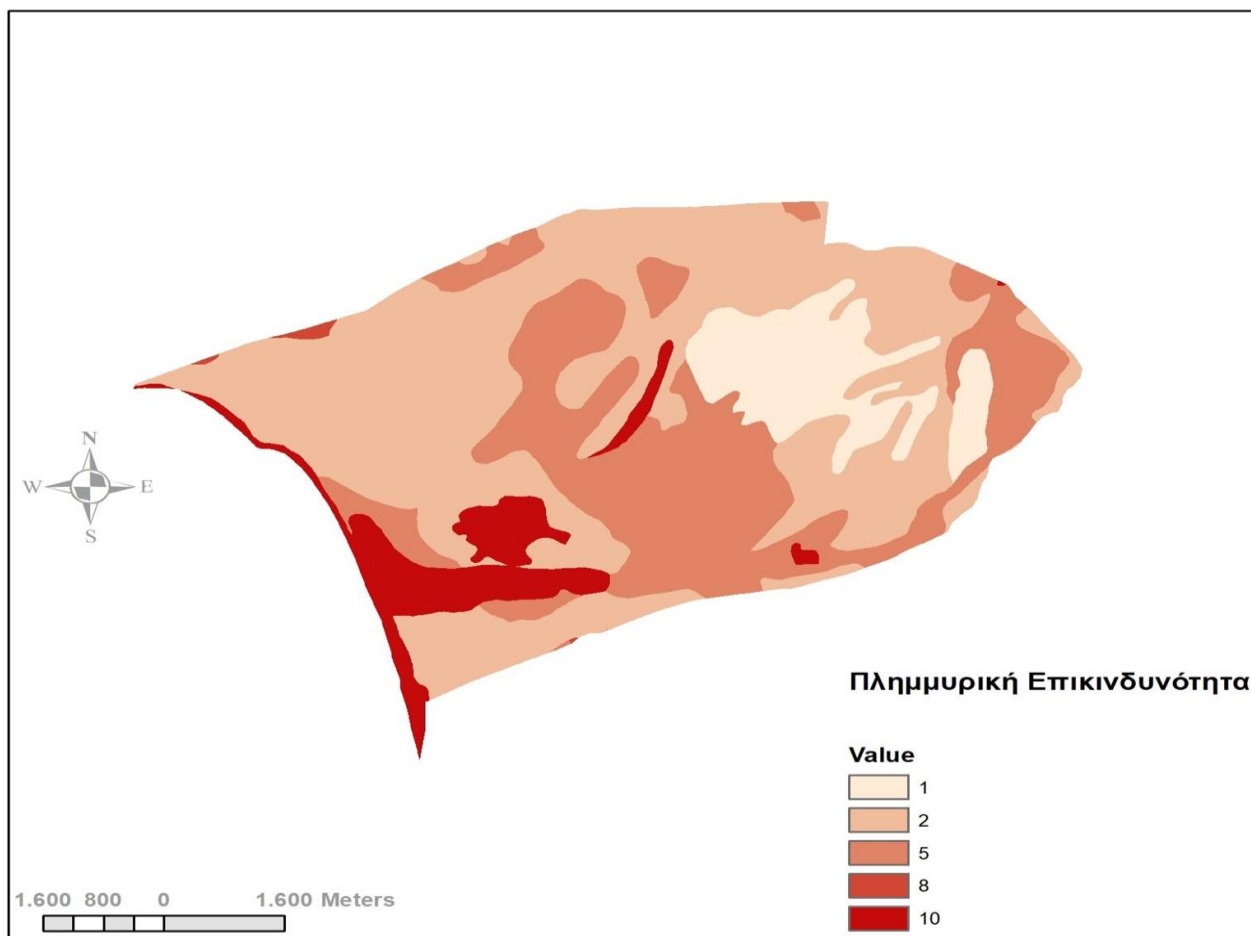


**Εικόνα 6.2:** Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Εδαφική Κλίση στην περιοχή του Τυμπακίου.

Γεγονός αποτελεί ότι οι απότομες πλαγιές δημιουργούν πιο γρήγορες ροές, ωστόσο τα πλημμυρικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα σε ήπιες κλίσεις. Έτσι με βάση και τον παραπάνω χάρτη της εδαφικής κλίσης, η πλημμυρική επικινδυνότητα είναι αυξημένη στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης καθώς αποτελεί πεδινή περιοχή, ενώ μειώνεται στις πιο ορεινές και απόκρημνες περιοχές.

### 6.1.3 Χάρτης Χρήσεις Γης (Land Use)

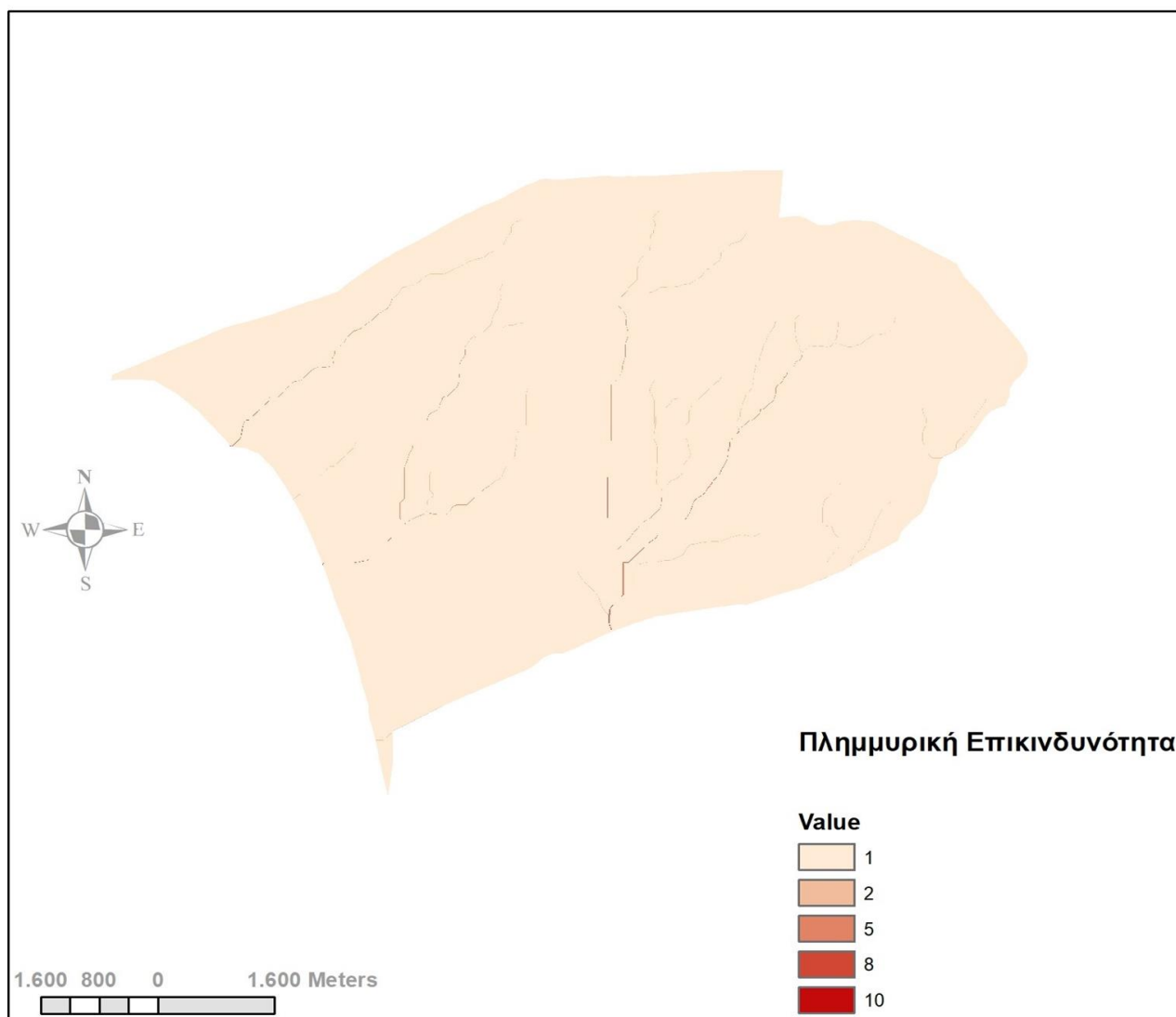
Ένας ακόμη πολύ βασικός παράγοντας που είναι υπεύθυνος για την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων είναι οι χρήσεις γης. Η δημιουργία της πλημμύρας είναι αντιστρόφως ανάλογη απο τη πυκνότητα της βλάστησης. Η βροχή έχει τη δυνατότητα να ρέει γρηγορότερα πάνω σε επιφάνειες σε σχέση με τις δασικές περιοχές, οι οποίες ταυτόχρονα έχουν και μεγαλύτερη απορροφητικότητα.



**Εικόνα 6.3:** Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με τις Χρήσεις Γης στην περιοχή του Τυπακίου.

Παρατηρώντας τον χάρτη χρήσεων γης, η πλημμυρική επικινδυνότητα εμφανίζεται αυξημένη σε περιοχές με έντονη αστικοποίηση (συνεχή ή διακεκομμένη αστική οικοδόμηση, αεροδρόμια), σε αποτεφρωμένες εκτάσεις αλλά και σε υδροβιότοπους που είναι ήδη κορεσμένοι σε νερό. Αντίθετα η επικινδυνότητα είναι χαμηλή σε περιοχές που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση ή αποτελούν καλλιεργήσιμες ζώνες (φυσική βλάστηση, ελαιώνες, αμπελώνες, μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη, σπωροφόρα δένδρα), δηλαδή σε περιοχές όπου υπάρχει μικρή απορροή.

#### 6.1.4 Χάρτης Συγκέντρωσης ροής (Flow Accumulation)



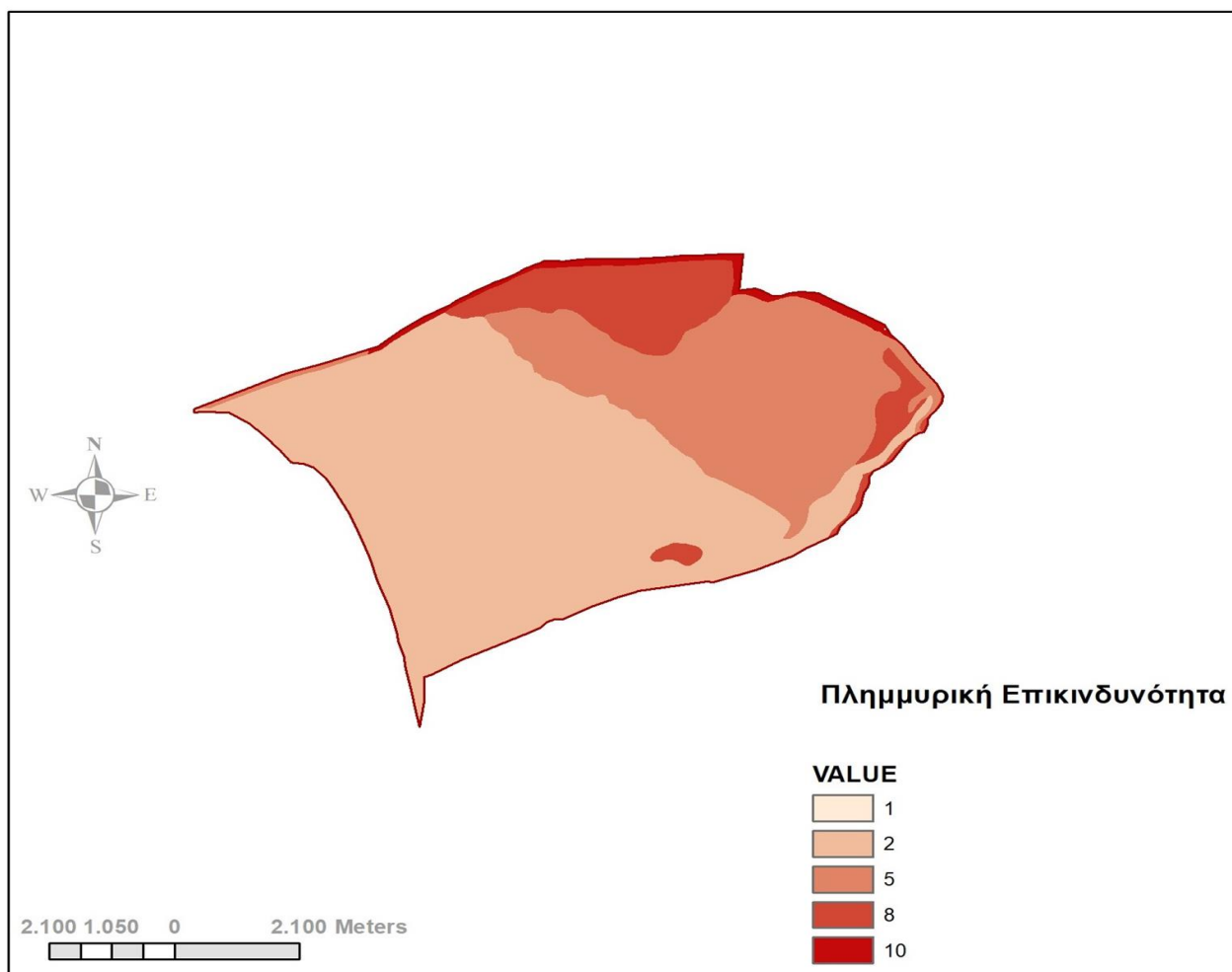
**Εικόνα 6.4:** Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Συγκέντρωση Ροής στην περιοχή του Τυμπακίου.

Σύμφωνα με τον θεματικό χάρτη συγκέντρωσης ροής το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης εμφανίζει μικρή πλημμυρική επικινδυνότητα. Τα σημεία που παρουσιάζουν υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα είναι πιθανόν ποταμοί και ρέματα, όπου συσσωρεύεται η επιφανειακή απορροή λόγω της γεωμορφολογίας της περιοχής. Στα ρέματα η επικινδυνότητα είναι μικρότερη, μιας και η ροή είναι εποχιακή, σε αντίθεση με τα ποτάμια όπου η συγκέντρωσης ροής είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα η ροή νερού να παρουσιάζεται όλο το χρόνο.



### 6.1.5 Χάρτης Γεωλογίας (Geology)

Η γεωλογία των εδαφών της περιοχής μελέτης είναι ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τη πλημμυρική επικινδυνότητα, μιας και εξετάζεται το πορώδες των εδαφών, δηλαδή τον συνολικό όγκο του εδάφους που καταλαμβάνει η αέρια και υγρή φάση.

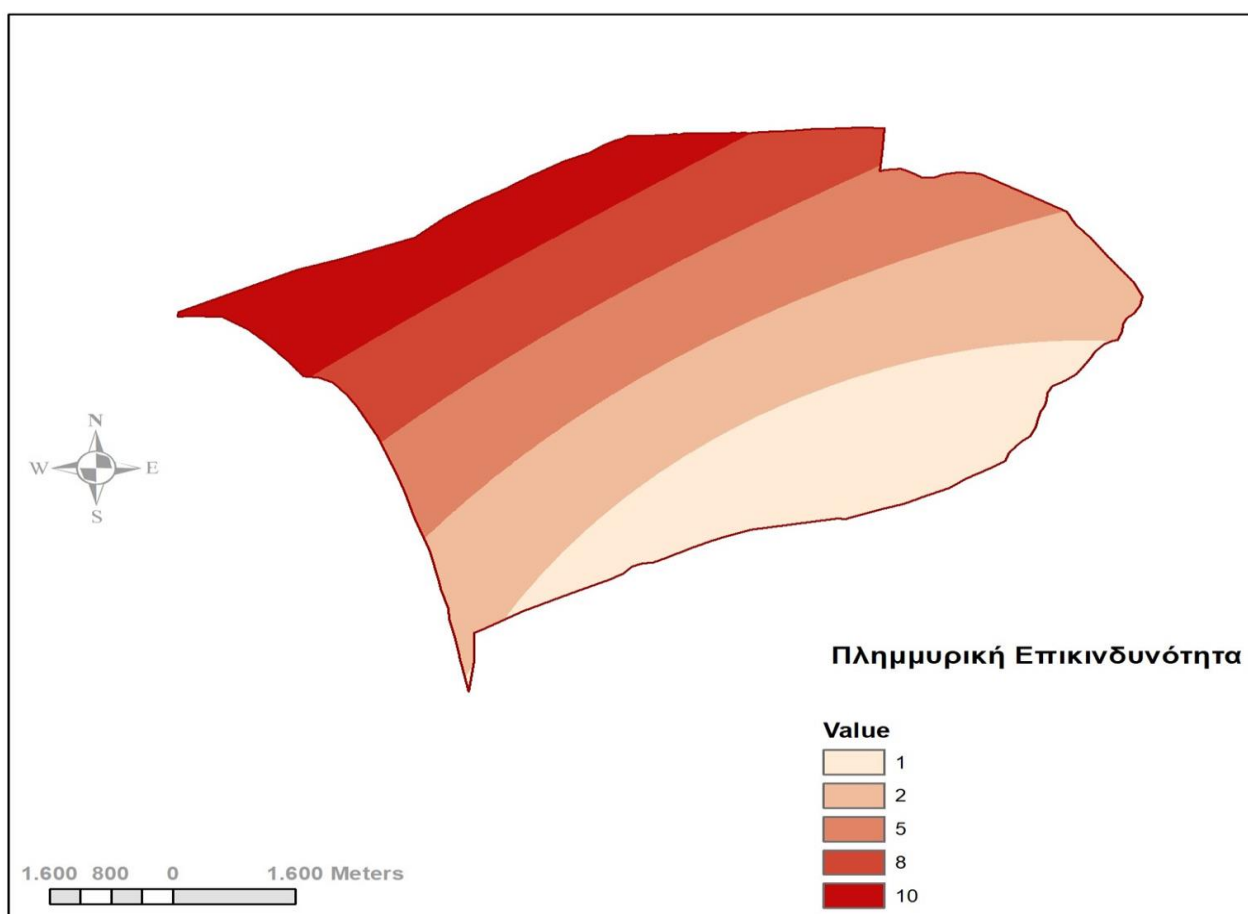


**Εικόνα 6.5:** Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Γεωλογία στην περιοχή του Τυμπακίου.

Με βάση τον θεματικό χάρτη της υδρογεωλογίας, παρατηρείται ότι σε περιοχές με αδιαπέρατους σχηματισμούς (χαμηλή υδροπερατότητα), δηλαδή στα ορεινά της περιοχής μελέτης, η πλημμυρική επικινδυνότητα είναι πολύ αυξημένη. Παράλληλα υψηλή εμφανίζεται η επικινδυνότητα σε τμήματα όπου υπάρχουν πορώδεις σχηματισμοί χαμηλής έως μέτριας υδροπερατότητας. Τέλος στις περιοχές με σχηματισμούς με υψηλή υδροπερατότητα η πλημμυρική επικινδυνότητα εμφανίζεται μειωμένη.

### 6.1.6 Χάρτης Βροχόπτωσης (Rainfall Intensity)

Η ένταση της βροχόπτωσης αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες πλημμυρικής επικινδυνότητας, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι ένταση της βροχόπτωσης τόσο πιθανότερη είναι η εμφάνιση πλημμυρικού φαινομένου. Η δημιουργία του θεματικού χάρτη βασίστηκε σε 4 μετεωρολογικούς σταθμούς περιμετρικά της περιοχής μελέτης.



**Εικόνα 6.6:** Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Ένταση της Βροχόπτωσης στην περιοχή του Τυπακίου.

Παρατηρώντας τον χάρτη, οι διαφοροποιήσεις της έντασης βροχόπτωσης και κατ' επέκταση της πλημμυρικής επικινδυνότητας λόγω αυτής, προκύπτουν από τις καταγραφές του εκάστοτε σταθμού και την παρεμβολή που πραγματοποιήθηκε για την επίδραση των τιμών με τη μέθοδο των αντίστροφων σταθμισμένων αποστάσεων. Συγκεκριμένα στο νοτιοανατολικό μέρος της περιοχής εμφανίζεται η μικρότερη πλημμυρική επικινδυνότητα ενώ όσο προχωράμε προς τα δυτικά ολοένα και αυξάνεται.

## 6.2 Συνδυαστική Χωρική Πλημμυρική Επικινδυνότητα

Για την ολοκλήρωση της μελέτης αναγκαία είναι και η κατασκευή ενός συνολικού χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας, οποίος συντέθηκε από τους 6 επιμέρους χάρτες των παραγόντων που συμβάλουν στη πλημμυρική επικινδυνότητα. Η δημιουργία του τελικού χάρτη πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της σταθμισμένης αλληλοεπικάλυψης των επιμέρους θεματικών χαρτών, για κάθε εικονοστοιχείο του καννάβου. Όπως έχει προαναφερθεί, ο εκάστοτε παράγοντας επιδρά στους υπόλοιπους παράγοντες είτε σε κύριο είτε σε δευτερεύον επίπεδο, η σχέση των οποίων απεικονίζεται στην εικόνα 5.1.

Για τον υπολογισμό της αλληλεπίδρασης των παραγόντων, μετρήθηκε για το καθένα από αυτούς οι κύριες και οι δευτερεύουσες επιδράσεις του στους άλλους. Κατόπιν, αξιολογήθηκε η κάθε κύρια επίδραση με 1 πόντο και η κάθε δευτερεύουσα με 0,5 πόντους.

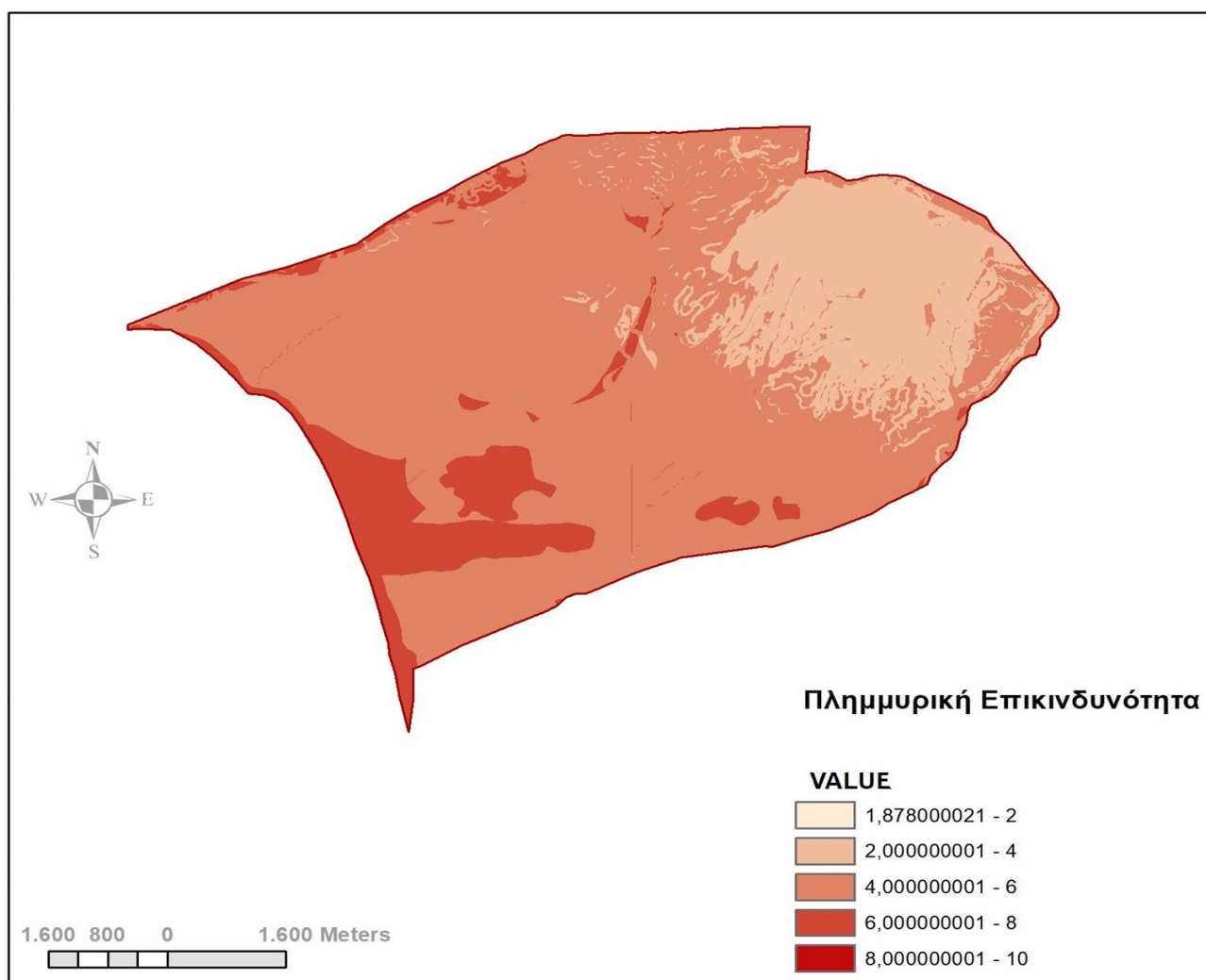
Προκειμένου να έχουμε μια ικανοποιητικότερη αποτίμηση της επίδρασης του κάθε παράγοντα στην πλημμυρική επικινδυνότητα, προσδιορίζουμε τον παράγοντα ( $A*B$ ), ο οποίος προκύπτει από το γινόμενο του συντελεστή βαρύτητας ( $A$ ) του κάθε επιπέδου με το ρυθμό επίδρασης ( $B$ ) του κάθε παράγοντα (Shabanet al., 2006). Με αυτό τον τρόπο προκύπτει το συνολικό βάρος (total weight) του κάθε παράγοντα και στη συνέχεια το άθροισμα αυτών των τιμών μας δίνει το ολικό συνολικό βάρος (grand total weight), που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ίσο με:  $113,5 + 52 + 78 + 39 + 78 + 39 = 399,5$ . Τελικά το ποσοστό που επιδρά ο κάθε παράγοντας στην πλημμυρική επικινδυνότητα προκύπτει από τη διαίρεση του συνολικού βάρους (total weight) του κάθε παράγοντα με το ολικό συνολικό βάρος (grand total weight). Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Παράγοντες	Περιοχή Επίδρασης	Επίπεδα (Πλημμυρικής Επικινδυνότητας)	Συντελεστής Βαρύτητας (Α)	Ρυθμός Επίδρασης (Β)	(Α*Β)	Συνολικό Βάρος	Ποσοστό Επίδρασης (%)
Υψόμετρο (m)	-25,9 - 47,6	Πολύ Υψηλή	10	4,5	45	113,5	28,4
	47,6 - 111,2	Υψηλή	8		36		
	111,2 - 188,7	Μέτρια	5		22,5		
	188,7 - 274,1	Χαμηλή	2		9		
	274,1 - 480,8	Πολύ Χαμηλή	1		4,5		
Κλίση (degree)	0, - 5,6	Πολύ Υψηλή	10	2	20	52	13
	5,6- 14,6	Υψηλή	8		16		
	14,6 - 27,2	Μέτρια	5		10		
	27,2 - 51,4	Χαμηλή	2		4		
	51,4 - 84,5	Πολύ Χαμηλή	1		2		
Χρήσεις Γης	Παραλιακή ζώνη – Συνεχής / Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	Πολύ Υψηλή	10	3	30	78	19,5
	Αποτεφρωμένες Εκτάσεις – Σκληροφυλλική βλάστηση – Αεροδρόμια	Υψηλή	8		24		
	Σύνθετα Συστήματα Καλλιέργειας	Μέτρια	5		15		
	Αμπελώνες – Ελαιώνες - Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη - Οπωροφόρα Δένδρα	Χαμηλή	2		6		
	Γη που καλύπτεται από φυσική βλάστηση	Πολύ Χαμηλή	1		3		
Συγκέντρωση Ροής (pixels)	901.668 - 381.882,9	Πολύ Υψηλή	10	1,5	15	39	9,8
	381.882,9 - 205.085,3	Υψηλή	8		12		
	205.085,8 - 99.006,7	Μέτρια	5		7,5		
	99.006,7 - 24.751,7	Χαμηλή	2		3		
	24.751,7 – 0	Πολύ Χαμηλή	1		1,5		
Γεωλογία	A1	Πολύ Υψηλή	10	3	30	78	19,5
	P3	Υψηλή	8		24		
	P2	Μέτρια	5		15		
	P1	Χαμηλή	2		6		
	K1	Πολύ Χαμηλή	1		3		
Ένταση Βροχόπτωσης (Units MFI)	57,1 - 52,1	Πολύ Υψηλή	10	1,5	15	39	9,8
	52,1 - 48,6	Υψηλή	8		12		
	48,6 - 45,5	Μέτρια	5		7,5		
	45,5 - 42,7	Χαμηλή	2		3		
	42,7- 39,4	Πολύ Χαμηλή	1		1,5		
						399,5	100

Πίνακας 6.1: Υπολογισμοί παραγόντων πλημμυρικής επικινδυνότητας

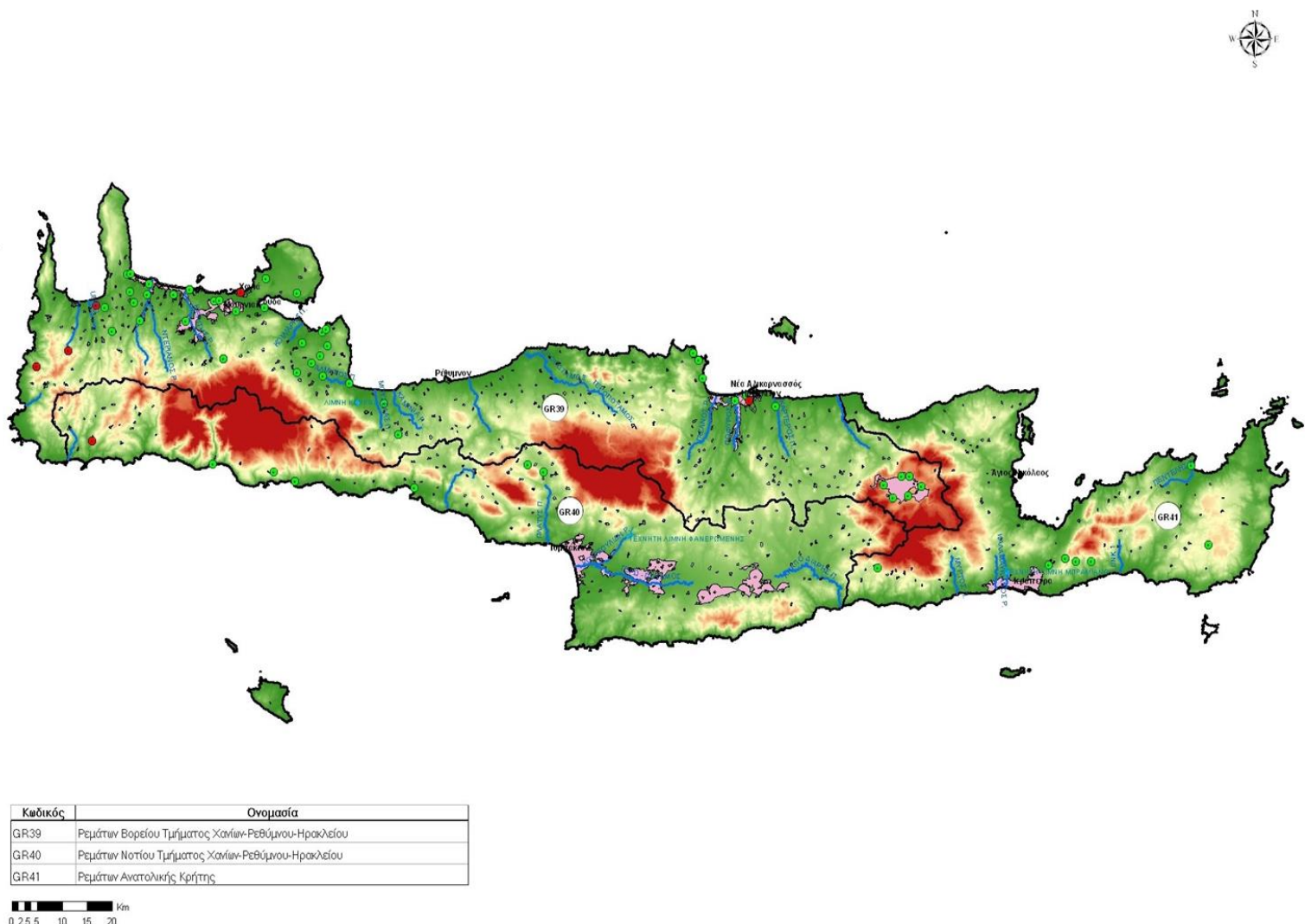
Στον πίνακα 6.1 παρουσιάζονται οι 6 παράγοντες που εξετάστηκαν για την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας καθώς και η ποσοτικοποίηση που πραγματοποιήθηκε σε σχέση με την επίδραση τους στην συνολική πλημμυρική επικινδυνότητα. Με βάση τους υπολογισμούς, την μεγαλύτερη επιρροή στη συνολική επικινδυνότητα ασκεί το υψόμετρο με ποσοστό επίδρασης 28,4%. Ακολουθούν αμέσως μετά με μικρότερη επιρροή οι χρήσεις γης και η γεωλογία με ποσοστό 19,5% και στη συνέχεια η κλίση με ποσοστό 13%. Τέλος την μικρότερη επιρροή την έχουν η συγκέντρωση ροής και η ένταση βροχόπτωσης με ποσοστό επίδρασης 9,8% και για τους δύο παράγοντες.

Για τη δημιουργία του χάρτη συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας έγινε χρήση των παραπάνω δεδομένων και με τη βοήθεια της εντολής raster calculator από το λογισμικό του ArcMap, πραγματοποιήθηκε η αλληλοεπικάλυψη των επιμέρους θεματικών χαρτών.



**Εικόνα 6.7:** Χάρτης συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης.

Με βάση τον τελικό χάρτη, παρατηρούμε ότι η πλημμυρική επικινδυνότητα στην περιοχή μελέτης είναι αυξημένη στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής. Το αποτέλεσμα αυτό συνάδει με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τους επιμέρους θεματικούς χάρτες της μελέτης που πραγματοποιήθηκε. Αξίζει επιπλέον να σημειωθεί ότι σε μελέτη που υλοποιήθηκε από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων στο πλαίσιο του έργου: “ Τεχνικός Σύμβουλος Υποστήριξης και Υποβοήθησης της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων στην Εφαρμογή της Οδηγίας 2007/06/ΕΚ για την Αξιολόγηση και τη Διαχείριση των Κινδύνων Πλημμύρας”, επιβεβαιώνει την υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα που εμφανίζει η περιοχή του Τυμπακίου. Στο χάρτη που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης:



**Εικόνα 6.8:** Εφαρμογή της Οδηγίας 2007/06/ΕΚ για την Αξιολόγηση και τη Διαχείριση των Κινδύνων Πλημμύρας  
([https://floods.ypeka.gr/egyFloods/prokatarktiki\\_axiologisi/B\\_Prokatarktiki\\_Axiologisi\\_Kindynon\\_Plimmyras\\_Xartes/GR13.jpg](https://floods.ypeka.gr/egyFloods/prokatarktiki_axiologisi/B_Prokatarktiki_Axiologisi_Kindynon_Plimmyras_Xartes/GR13.jpg)) ( Η περιοχής μελέτης προσδιορίζεται με το βέλος)

### ***6.3 Εξέταση Μελλοντικής Πλημμυρικής Επικινδυνότητας***

Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, πέρα από την υπάρχουσα πλημμυρική επικινδυνότητα της περιοχής του Τυμπακίου, εξετάστηκε και ο μελλοντικός πλημμυρικός κίνδυνος. Συγκεκριμένα δημιουργήθηκαν δύο σενάρια βασισμένα στην αλλαγή των χρήσεων γης τη περιοχής ενδιαφέροντος, με σκοπό να μελετήσουμε την επίδραση που θα έχει η εκάστοτε αλλαγή στον πλημμυρικό κίνδυνο.

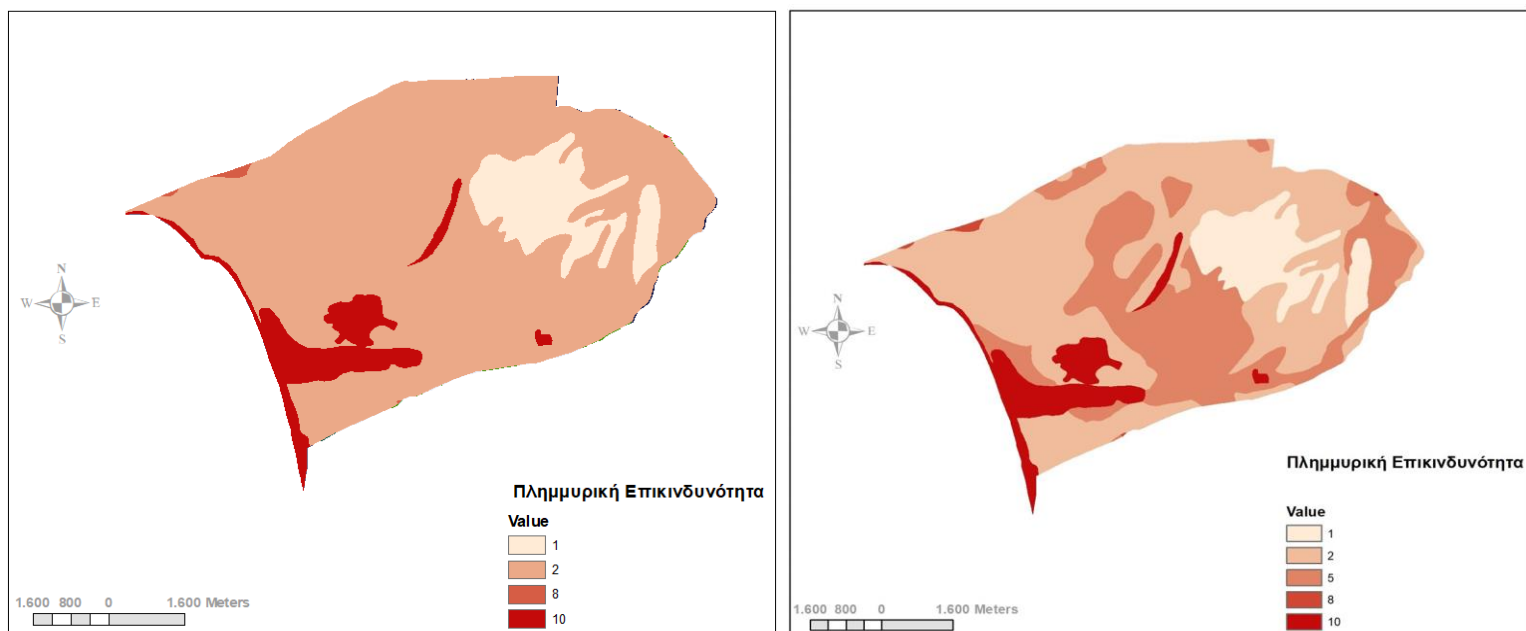
#### ***6.3.1 Μετατροπή Σύνθετων Συστημάτων Καλλιέργειών σε Άνυδρες Καλλιέργειες***

Η άνυδρη ή ξερική καλλιέργεια αποτελεί μια παραδοσιακή μέθοδο καλλιέργειας κηπευτικών που μπορεί να αποβεί αποδοτική σε εδάφη μη αρδευόμενων ζωνών σε ημίξηρο κλίμα. Οι καλλιέργειες αυτές εξαρτώνται αυστηρά από την βροχόπτωση και την ατμοσφαιρική υγρασία, και βασικό τους χαρακτηριστικό είναι πως δεν υπάρχει ανάγκη ποτίσματος. Συγκεκριμένα αυτού του είδους τα φυτά, έχουν τη δυνατότητα μέσω της ανακατανομής των στρωμάτων εδάφους να απορροφούν την υγρασία που είναι παγιδευμένη στο έδαφος. Συνήθως, στις ξηρικές καλλιέργειες παράγονται κτηνοτροφικά φυτά, δημητριακά και όσπρια, αμπέλια, αμυγδαλιές, ελιές, βότανα και αρωματικά φυτά, ντομάτες και άλλα προϊόντα.

Το πρώτο σενάριο που εξετάζεται, με σκοπό την εκτίμηση της μελλοντικής πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης, βασίζεται στη μετατροπή των σύνθετων συστημάτων καλλιέργειας σε άνυδρες καλλιέργειες. Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της επιφανειακής άρδευσης και αμέσως μετά, το έδαφος κάτω από την επιφάνεια του είναι σχεδόν κορεσμένο. Όλοι οι πόροι ή τα μικρά ανοίγματα μεταξύ των εδαφικών τεμαχιδίων είναι σχεδόν γεμάτοι με νερό. Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι ο έδαφος που καλλιεργείται η άνυδρη καλλιέργεια είναι λιγότερο κορεσμένο σε σχέση με αυτό των σύνθετων συστημάτων, αφού οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό καλύπτονται από την βροχόπτωση και την ατμοσφαιρική υγρασία και όχι από την καθημερινή άρδευση. Επομένως, με την αύξηση των άνυδρων καλλιεργειών μειώνουμε την επιφανειακή απορροή, καθώς περιορίζουμε τις περιοχές με χαμηλή υδροπερατότητα.

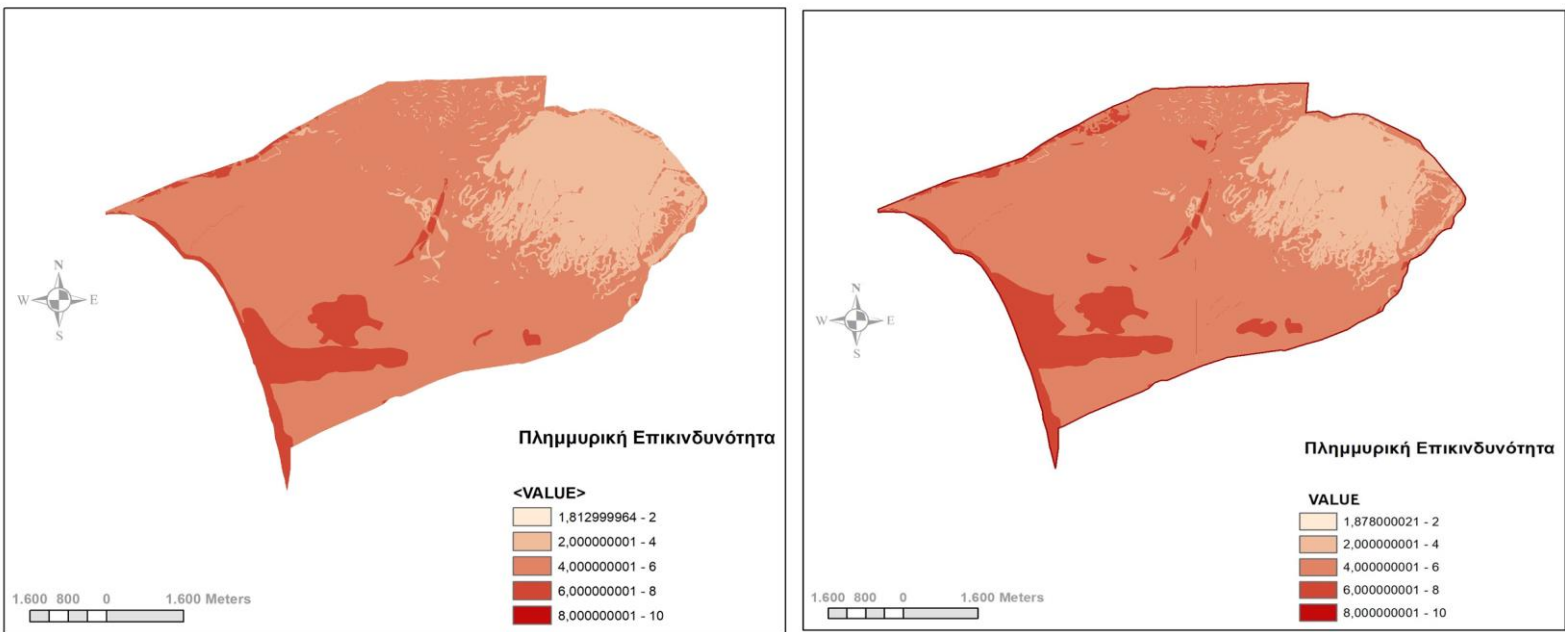


Ακολουθώντας την ίδια μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε και στο βασικό σενάριο και με την χρήση του ArcMap για την εκτίμηση της χωρικής πλημμυρικής επικινδυνότητας, πραγματοποιήθηκε εξαγωγή νέου θεματικού χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας λόγω της επίδρασης των χρήσεων γης, καθώς και του συνολικού χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας με τα νέα δεδομένα:



**Εικόνα 6.9:** Σενάριο 1ο: Σύγκριση πλημμυρικής επικινδυνότητας λόγω χρήσεων γης: Μελλοντική (Αριστερά) και Τρέχουσα (Δεξιά)

Συγκρίνοντας τους δύο χάρτες, παρατηρείται μείωση του πλημμυρικού κινδύνου στις περιοχές που πραγματοποιήθηκε μετατροπή των σύνθετων συστημάτων καλλιέργειας σε άνυδρες. Ειδικότερα η πλημμυρική επικινδυνότητα από κατηγορία “Μέτρια” υποβαθμίστηκε σε κατηγορία “Χαμηλή”, αναδεικνύοντας την καλύτερη απορρόφηση του νερού από το έδαφος στις περιοχές όπου καλλιεργούνται άνυδρα φυτά.



**Εικόνα 6.10:** Σενάριο 1ο: Σύγκριση συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας: Μελλοντική (Αριστερά) και Τρέχουσα (Δεξιά)

Με βάση την ποσοτικοποίηση των παραγόντων σε σχέση με την επίδραση στην συνολική πλημμυρική επικινδυνότητα, οι χρήσεις γης καταλαμβάνουν την δεύτερη θέση με ποσοστό 19,5%. Αυτό αποδεικνύεται και με την σύγκριση των παραπάνω χαρτών, καθώς με την μετατροπή των χρήσεων γης που υλοποιήσαμε, η συνολική πλημμυρική επικινδυνότητα επηρεάστηκε άμεσα. Συγκεκριμένα παρατηρείται ότι στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος, όπως και σε τμήματα του βορειοδυτικού τμήματος, η πλημμυρική επικινδυνότητα τροποποιήθηκε από “Υψηλή” σε “Μέτρια”. Σύμφωνα με το γεγονός αυτό, η επιλογή κηπευτικών και δένδρων που υπάγονται στην κατηγορία των ξηρών καλλιεργειών, μπορεί να αποτελέσει μια ουσιαστική λύση για περιοχές που βρίσκονται σε ζώνες υψηλού κινδύνου πρόσκλησης πλημμυρικού γεγονότος, μίας και επιφέρουν ουσιαστική μείωση του πλημμυρικού κινδύνου.

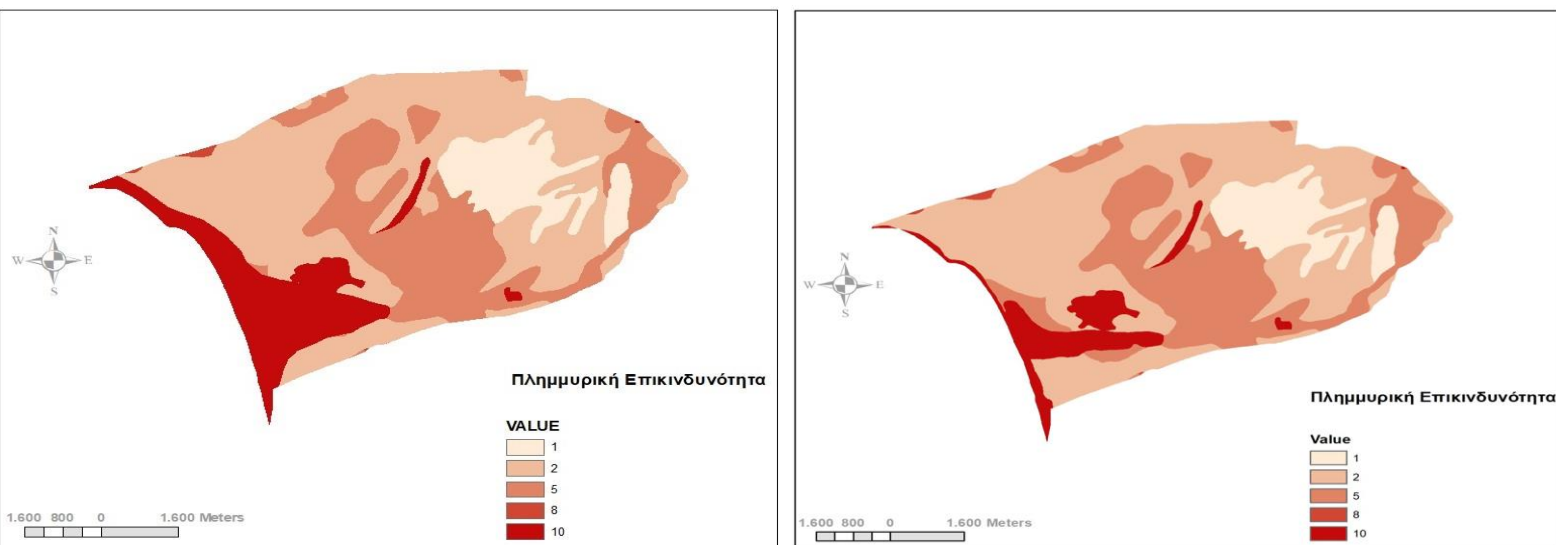
### 6.3.2. Δημιουργία Παραλιακής Αστικής Ζώνης

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται έντονα το φαινόμενο της αστικοποίησης με αποτέλεσμα αγροτική και δασική γη να μετατρέπεται σε αστική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η απορροή των όμβριων υδάτων σε σχέση με την απορροή που θα υπήρχε σε ένα φυσικό περιβάλλον (Λέκκας, 2000; Κατιρτζίδης, 2015). Ταυτόχρονα, η μείωση της απορροφητικότητας λόγω έλλειψης φυσικού πρασίνου αλλά και η καταστροφή των φυσικών ρευμάτων, με τη δόμηση τους με κτίσματα και οδικούς άξονες, σε συνδυασμό με δυνατές βροχοπτώσεις, έχουν αποτελέσει αιτίες προκλήσεις σοβαρών πλημμυρικών φαινομένων σε αστικές περιοχές.

Είναι γεγονός ότι οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις προκαλούν με έμμεσο τρόπο αίτια εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων (κυρίως στο αστικό περιβάλλον). Έχει παρατηρηθεί ότι σε πυκνοδομημένες περιοχές αλλά και σε περιοχές που υπάρχει περιορισμένος χώρος πρασίνου, υπάρχει αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών γεγονότων. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται άμεσα με την αστικοποίηση, καθώς η επιφανειακή απορροή αυξάνεται εξαιτίας της επικάλυψης των φυσικών επιφανειών με αδιαπέρατες επιφάνειες λόγω οικοδόμησης και οδόστρωσης, με αποτέλεσμα να μειώνεται η δυνατότητα του εδάφους να απορροφήσει τα νερά και ο υδάτινος όγκος που απορρέει να είναι μεγάλος.

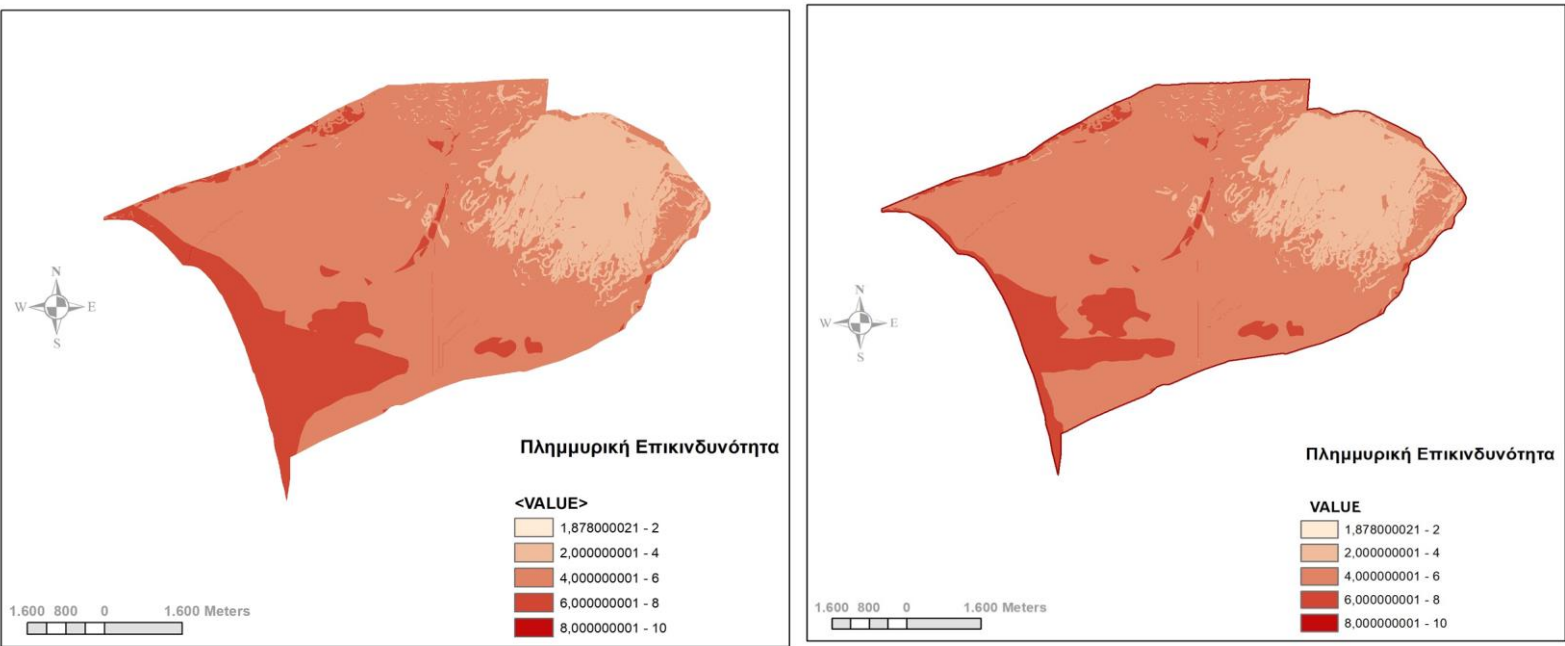
Παράλληλα, η οικιστική ανάπτυξη χωρίς πολεοδομικό σχεδιασμό έργων υποδομής, η κατασκευή τεχνικών έργων χωρίς περιβαλλοντικό σχεδιασμό και η ανεξέλεγκτη δόμηση περιορίζουν την κοίτη των ρευμάτων σε οικιστικές περιοχές και καταργούν σημαντικό μέρος του φυσικού υδρογραφικού δικτύου, με υψηλή διακινδύνευση έναντι των πλημμυρών (Λέκκας, 2000; Ξανθόπουλος, κ.ά., 1995). Τέλος, οι επεμβάσεις που κάνουν οι άνθρωποι στο υδρογραφικό δίκτυο αυξάνει την πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρών. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται επιχωματώσεις, εγκιβωτισμός και κάλυψη των φυσικών κοιτών των ποταμοχειμάρρων με δομημένες εκτάσεις ή οδικούς άξονες, τροποποιώντας την φυσική απορροή και αυξάνοντας τον κίνδυνο πλημμυρικών φαινομένων (Ξανθόπουλος, κ.ά., 1995).

Το δεύτερο σενάριο που επιλέξαμε για την εκτίμηση του μελλοντικού πλημμυρικού κινδύνου στη περιοχής μελέτης, είναι η δημιουργία μιας παραλιακής αστικής ζώνης. Γνωρίζουμε ότι οι αλλαγές των χρήσεων γης μειώνουν τη φυσική ικανότητα του εδάφους όσον αφορά την κατακράτηση υδάτων (μείωση συντελεστών διήθησης) και οδηγούν στην αύξηση των συντελεστών απορροής. Με αυτό το τρόπο θα εξετάσουμε κατά πόσο θα επηρεαστεί και θα αυξηθεί η πλημμυρική επικινδυνότητα σε σχέση με αυτή που προβλέψαμε σύμφωνα με τα τωρινά δεδομένα.



**Εικόνα 6.11:** Σενάριο 2ο: Σύγκριση πλημμυρικής επικινδυνότητας λόγω χρήσεων γης: Μελλοντική (Αριστερά) και Τρέχουσα (Δεξιά)

Στα νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης, δηλαδή στη παράκτια περιοχή όπου και δημιουργήσαμε μια νέα αστικοποιημένη ζώνη, ο πλημμυρικός κίνδυνος λόγω χρήσεων γης εμφανίζεται αυξημένος. Περιοχές που εντάσσονται στη ζώνη αυτή, μετατράπηκαν από κατηγορία πλημμυρικής επικινδυνότητας “Χαμηλή” και “Μέτρια” σε κατηγορία “Πολύ Υψηλή”, επιβεβαιώνοντας με αυτό το τρόπο το καθοριστικό ρόλο που παίζει η συνεχής αστική οικοδόμηση στην εμφάνιση πλημμυρικών γεγονότων.



**Εικόνα 6.12:** Σενάριο 2ο: Σύγκριση συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας: Μελλοντική (Αριστερά) και Τρέχουσα (Δεξιά)

Παρατηρώντας τους δύο χάρτες συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας, γίνεται φανερό ό,τι η αλλαγή των χρήσεων γης και ειδικότερα η προσθήκη μίας νέας ζώνης συνεχής αστικής οικοδόμησης στο παραλιακό μέτωπο, οδηγεί σε αύξηση των περιοχών του νοτιοδυτικού τμήματος στην κατηγορία “Υψηλή” από “Μέτρια”. Σύμφωνα με αυτό το σενάριο, γίνεται κατανοητό ό,τι οποιαδήποτε επέκταση του πολεοδομικού σχεδίου μιας περιοχής χωρίς την κατάλληλη μελέτη και πρόβλεψη για επαρκή αντιπλημμυρικά έργα, μπορεί να προκαλέσει σοβαρή αύξηση του πλημμυρικού κινδύνου.

## **7ο Κεφάλαιο: Συμπεράσματα**

Οι πλημμύρες θεωρούνται από τους πιο συχνούς και καταστρεπτικούς τύπους φυσικών καταστροφών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η εκδήλωση ενός πλημμυρικού φαινομένου μπορεί να προκαλέσει ανθρώπινες απώλειες, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις αλλά και περιβαλλοντική υποβάθμιση. Τα πλημμυρικά γεγονότα δεν μπορούν να προληφθούν ή να αποτραπούν, ωστόσο με τη εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής διαχείρισης πλημμυρών, υπάρχει η δυνατότητα μείωσης των αρνητικών τους επιπτώσεων σε όλους τους τομείς. Με βάση αυτό, κρίνεται αναγκαία η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου μιας περιοχής, με σκοπό να προσδιοριστεί η πιθανότητα του να λάβει χώρα ένα πλημμυρικό γεγονός και κατόπιν να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα στοχεύοντας στον περιορισμό των επιπτώσεων που θα επιφέρει.

Το λογισμικό GIS ή Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μέσω της χρήσης του, δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της χωρικής επικινδυνότητας πλημμυρικών φαινομένων βάση ευρέως διαθέσιμων δεδομένων. Αποτελεί μια θεμελιώδη μέθοδο για τη διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων, καθώς ο εκάστοτε χρήστης (δημόσιος ή ιδιώτης) μπορεί να προσδιορίσει τις ζώνες πλημμυρικής επικινδυνότητας μιας περιοχής ενδιαφέροντος και ταυτόχρονα να εκτιμήσει το ποσοστό που συμβάλει ο κάθε παράγοντας ή παράγοντες για τη πρόκληση ενός πλημμυρικού γεγονότος. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν καθιερωθεί ως το καταλληλότερο και ικανότερο μέσο και εργαλείο επίλυσης χωρικών προβλημάτων και ταυτόχρονα προσφέρουν καθολικότητα, αφού υπάρχουν δωρεάν πλατφόρμες ΓΣΠ ανοιχτού κώδικα εμπλουτισμένες με εκτεταμένη υποστήριξη και οδηγούς χρήσης, διευκολύνοντας τον εκάστοτε χρήστη. Τέλος τα δεδομένα που χρειάζονται για τον προσδιορισμό της πλημμυρικής επικινδυνότητας, όπως χάρτες κλίσης, υψομέτρου, χρήσεις γης καθώς και γεωλογικά και βαρομετρικά δεδομένα είναι εύκολα διαθέσιμα.

Στην συγκεκριμένη εργασία υλοποιήθηκε χωρική εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου για την περιοχή του Τυμπακίου της Κρήτης. Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει ενδιαφέρον, καθώς στα νοτιοδυτικά είναι παραθαλάσσια ζώνη, ενώ όσο κατευθυνόμαστε προς τα βορειοανατολικά το υψόμετρο αυξάνεται. Σύμφωνα με τον χάρτη συνολικής πλημμυρικής επικινδυνότητας στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής επικρατεί, με βάση τη κατηγοριοποίηση που έχει πραγματοποιηθεί, “Μέτρια” πλημμυρική επικινδυνότητα. Στο βορειοανατολικό τμήμα, όπου το υψόμετρο και η κλίση αυξάνονται σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή, παρατηρούμε ότι επικρατεί “Χαμηλή” πλημμυρική επικινδυνότητα. Τέλος οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από “Υψηλή” πλημμυρική επικινδυνότητα είναι κατά βάση οι παραθαλάσσιες περιοχές, εξαιτίας του συνδυασμού των παραγόντων της χαμηλής κλίσης, του χαμηλού υψομέτρου αλλά και των χρήσεων γης που επιφέρουν υψηλό πλημμυρικό κίνδυνο. Απαραίτητο είναι να επισημανθεί ότι ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας επαληθεύτηκε με μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τη Γενική Γραμματεία Υδάτων, καταδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο την αποτελεσματικότητα και εγκυρότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Η μελέτη για τον προσδιορισμό του πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής ενδιαφέροντος, δεν περιορίστηκε μόνο στα τωρινά δεδομένα αλλά πραγματοποιήθηκε και εκτίμηση της μελλοντικής πλημμυρικής επικινδυνότητας. Ειδικότερα, κατασκευάστηκαν δύο σενάρια, όπου στο πρώτο έγινε μετατροπή των σύνθετων συστημάτων καλλιέργειας σε άνυδρες καλλιέργειες, ενώ στο δεύτερο δημιουργήθηκε μια νέα ζώνη συνεχής αστικής οικοδόμησης στο παραλιακό μέτωπο. Τα αποτελέσματα από το πρώτο σενάριο μας έδειξαν ότι η επιλογή άνυδρων καλλιεργειών, μειώνει σημαντικά την συνολική πλημμυρική επικινδυνότητα από “Υψηλή” σε “Μέτρια” στις περιοχές αυτές. Ένα τέτοιο είδος καλλιέργειας θα μπορούσε να δώσει τη λύση στην αγροτική ανάπτυξη μίας περιοχής που χαρακτηρίζεται από υψηλό πλημμυρικό κίνδυνο. Αντίθετα, τα αποτελέσματα από το δεύτερο σενάριο μας ανέδειξαν τον κίνδυνο που μπορεί να προκαλέσει η αλλαγή στο πολεοδομικό σχέδιο της περιοχής, με την προσθήκη περαιτέρω αστικοποιημένων τμημάτων στην παραθαλάσσια περιοχή. Η πλημμυρική επικινδυνότητα μετατράπηκε από “Μέτρια” σε “Υψηλή” στην αστική ζώνη που προστέθηκε, κάνοντας ξεκάθαρη τη σημασία που ενέχει η ολοκληρωμένη μελέτη για επαρκή αντιπλημμυρικά έργα.



## ***Βιβλιογραφία***

### **Ξένη Βιβλιογραφία**

Diakakis, M., & Deligiannakis, G. (2013). Vehicle-related flood fatalities in Greece. *Environmental Hazards*, 12(3-4), 278-290

E.E.A. (European Environmental Agency), 2007. Climate change and water adaptation issues. EEA. Office for Official Publications of the European Communities. Technical report No.2.

EM-DAT, The OFDA/CRED international disaster database

ESRI Inc. ARCGIS ArcMAP Tutorial, Enviromental Systems Research Institute Inc., Redlands California, 2006. [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/pdf/ArcMap\\_Tutorial.pdf](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/pdf/ArcMap_Tutorial.pdf)

Green, C. H., Parker, D. J. & Tunstall, S. M. (2000) Assessment of Flood Control and Management Options. Thematic Review IV.4 prepared as an input to the World Commission on Dams, Cape Town

IPCC, 2001. Climate change 2001: The Scientific Basis. In: J.T. Houghton, Y. Ding, D.J Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Jonson (eds), Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 p.

IPCC, 2007a, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp

IPCC, 2007b, Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Lin

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, DOI: 10.1080/02626667.2011.555836

Large floods in Europe, 1985–2009 Zbigniew W. Kundzewicz , Iwona Pińskwar & G. Robert Brakenridge (2013)

Martini, F., & Loat, R. (2007). Handbook on good practices for flood mapping in Europe

Masoud B. K., Saied P., Biswajeet P., Ahmad Rodzi M., Wan Nor Azmin S., Abbas M., 2012. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia *Environ Earth Sci.*, 67:251–264.

Menne, B. and Murray, V. (2013), “Floods in the WHO European Region: Health effects and their prevention”, World Health Organization, Regional Office for Europe.

Mimikou M. A., 2005, Water resources in Greece : present and future, *Global NEST Journal*, Vol 7, No 3, pp 313-322

Shaban, A., Khawlie, M., Bou, Kheir. R., Abdallah, C., 2001. Assessment of road instability along a typical mountainous road using GIS and aerial photos, Lebanon-eastern Mediterranean. *Bull Eng Geol Env*, 60:93-101.

Smith, K., & Ward, R. (1998). *Floods: physical processes and human impacts*. John Wiley and Sons Ltd.

Svensmark, H., & Nigel C., 2008. *The Chilling Stars: A New Theory of Climate Change*. Energy & Environment, Vol. 19 (No.5).

Vafidis, A., Andronikidis, N., Hamdan, H., Kritikakis, G., Economou, N., Panagopoulos, G., Soupios, P., Steiakakis, E., & Manoutsoglou, E. (2013). The CLEARWATER project: preliminary results from the geophysical survey in Tympaki, Crete, Greece.. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 47(3), 1338-1344.

World Meteorological Organization (WMO). Water-related hazards dominate disasters in the past 50 years, Geneva, 23 July 2021 (<https://public.wmo.int/en/media/press-release/water-related-hazards-dominate-disasters-past-50-years> )

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Βαχαβιώλος Θ., 2011. Διπλωματική Εργασία, Μεθοδολογία προσδιορισμού ευάλωτων περιοχών σε πλημμύρες σύμφωνα με την οδηγία 2007/60.

Γκιόκας, Α. (2008), "Κατάρτιση μεθοδολογικού πλαισίου για την εκπόνηση χαρτών πλημμύρας", Μεταπτυχιακή εργασία, ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, 95 σελίδες, ΕΜΠ

Γκούμας, Χ., 2019. "Ανάλυση Πλημμυρικής Επικινδυνότητας και Μοντελοποίηση Ροής του ρέματος Σταλού Χανίων", Μεταπτυχιακή Διατριβή, Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς.

ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ (ΕΜΥ), Το κλίμα της Ελλάδας, 2010, <http://www.hnms.gr/emv/el/>

ΙΕΠΒΑ – ΕΑΑ, 2020, Καιρικά επεισόδια με κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις στην Ελλάδα την περίοδο 2000-2019, Κ. Παπαγιαννάκη, Α. Σαλονικίδη, Β. Κοτρώνη, Κ. Λαγουβάρδος

Καρτέρης, Α.Μ., 2002-2003. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Περιβάλλοντος. Τμήμα Εκδόσεων, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο, Α.Π.Θ, σελ 13-14.

Κατιρτζίδης, Α., 2015. Διαχείριση κινδύνου στις παράκτιες περιοχές από ακραία φαινόμενα πλημμύρας από τη θάλασσα, Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.

Κωτούλας Δ, 2001, Υδρολογία και Υδραυλική Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Εκδόσεων

Λέκκας, Ε., 2000. Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές. Access επιμ. Αθήνα: s.n

Λιονής Μ., Περγέρος, Β. 2001. Υδρογεωλογική Μελέτη Κάμπου Χανίων. Υπουργείο Γεωργίας.

Μιμίκου, Μ., 1994. Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, έκδοση 2, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Ξανθόπουλος, Θ. και συν., 1995. Το Πρόβλημα των Πλημμυρών της Αθήνας: Στρατηγική Αντιμετώπισης, Συνέδριο: Αντιπλημμυρική προστασία του λεκανοπεδίου της Αθήνας, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. s.l., s.n.

Σακκάς Ι., 2004. Τεχνική Υδρολογία, Τόμος Ι, Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων. Εκδόσεις Αϊβαζή, Θεσσαλονίκη

Στάθης, Δ., 2004. Ακραία γεγονότα βροχής και πλημυρογένεση στην Ελλάδα. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων.

Τσαούση, Α. 2016. Πολυμεταβλητή ανάλυση χρονοσειρών ατμοσφαιρικών ρύπων και χαρτογραφική απεικόνιση της διασποράς τους.

Ν. 1739/87, 1987, Διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις, ΦΕΚ 201 Α

### **Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία**

<https://earthobservatory.nasa.gov/features/Water>

<https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/legacy/Files/Ydatikoi%20Poroi/Odhgia%20Plaisio/Odigia%20Plaisio.pdf>

<https://public.wmo.int/en/media/press-release/water-related-hazards-dominate-disasters-past-50-years>

<http://www.oikoskopio.gr/map/>