



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Lassithi, Crete

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ανάλυση Χωρικής Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στην
περιοχή Αγίου Νικολάου Κρήτης»

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΤΖΕΡΜΙΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής Dr. Γεώργιος Καρατζάς (επιβλέπων)

Καθηγητής Dr. Νικόλαος Νικολαΐδης

Αναπληρωτής Καθηγητής Dr. Νικόλαος Παρανυχιανάκης

Χανιά, 2022

“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”

All models are wrong, but some are useful - George Box

Η παρούσα εργασία αφορά την εκτίμηση της επικινδυνότητας της πλημμύρας στην περιοχή του Αγίου Νικολάου στον Νομό Λασιθίου της Κρήτης. Τα πλημμυρικά γεγονότα είναι από τις συνηθέστερες και πιο καταστροφικές φυσικές καταστροφές. Οι επιπτώσεις σε οικονομικές ζημιές και σε ανθρώπινες ζωές μπορούν να είναι τεράστιες ανάλογα με την σοβαρότητα του φαινομένου, γι' αυτό η ανάλυση του κινδύνου χωρικά είναι απαραίτητη για την λήψη μέτρων από την πολιτεία ώστε να γίνει μείωση των συνεπειών ή να κατασκευαστούν αντιπλημμυρικά έργα.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας η χωρική εκτίμηση του κινδύνου έγινε στο περιβάλλον του παγκοσμίου φήμης λογισμικό ArcGIS. Για την χωρική εκτίμηση έγινε πολυκριτηριακή ανάλυση με έξι παράγοντες, την Συγκέντρωση Ροής, την Ένταση της Βροχόπτωσης, την Κλίση, το Υψόμετρο, τις Χρήσεις Γης και την Γεωλογία της περιοχής. Στην συνέχεια έγινε κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων και κατασκευάστηκαν έξι θεματικοί χάρτες επικινδυνότητας, ένας για κάθε παράγοντα περιγράφοντας την επικινδυνότητα χωρικά σε πέντε κατηγορίες επικινδυνότητας, Πολύ Χαμηλή, Χαμηλή, Μέτρια, Υψηλή, Πολύ Υψηλή. Τέλος η κατασκευή του Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας του Αγίου Νικολάου έγινε με την άθροιση των παραγόντων ανάλογα με την επίδραση που έχει ο κάθε παράγοντας (ποσοστιαία) στο πλημμυρικό γεγονός. Η επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων έγινε με ιστορικές και βιβλιογραφικές αναφορές και έδειξε ότι η περιοχή του Αγίου Νικολάου είναι μια περιοχή χαμηλής προς μέτριας πλημμυρικής επικινδυνότητας. Στην περιοχή τα πλημμυρικά γεγονότα που έχουν συμβεί ήταν μικρής έντασης και οι ζημιές που συνέβησαν ήταν κυρίως οικονομικές, σε ακίνητη περιουσία και σε αγροτικές καλλιέργειες.

Στην συνέχεια έγινε μελλοντική εκτίμηση του κινδύνου για τις χρονικές περιόδους 2041-2060 και 2081-2100 με βάση τα σενάρια κλιματικής αλλαγής της Διακυβερνητικής Επιτροπής της Αλλαγής του Κλίματος (IPCC). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα σενάρια SSP1-2.6 και SSP2-4.5. Αφού υπολογίστηκε η αύξηση της έντασης της βροχόπτωσης για κάθε ένα από αυτά κατασκευάστηκαν οχτώ νέοι χάρτες επικινδυνότητας για κάθε αύξηση της έντασης της βροχόπτωσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν την αύξηση της επικινδυνότητας σε περιοχές κυρίως χαμηλού υψομέτρου με αστική δόμηση όπως και παραθαλάσσιες περιοχές.

Abstract

The present study is about the assessment of the flood risk in the area of Agios Nikolaos, Lasithi, Crete. Flood events are among the most common and most devastating natural disasters. The consequences in terms of economic losses and human lives can be disastrous depending of the severity of the event, so spatial risk analysis is essential for the authorities to mitigate the effects. In this study, spatial risk assessment carried out using Geographic Information System software ArcGIS.

For the assessment a multi-criteria analysis was done using six factors, Flow Accumulation, Rainfall Intensity, Slope, Elevation, Land Use and Geology of the area. Using ArcGIS for the data procession six thematic hazard maps were created one for each factor describing the risk spatially into five risk level categories, Very Low, Low, Moderate, High, Very High. Finally the creation of flood risk map of Agios Nikolaos was done by summing the factors according to the impact of each factor has (by percentage) on the flood event. The results validation was done through historical and literature references and showed that the area of Agios Nikolaos is low to moderate in terms of flood risk.

Next, a future risk assessment carried out for the time periods 2041-2060 and 2081-2100 based on the intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) climate change scenarios. In particular, data from scenarios SSP1-2.6 and SSP2-4.5 were used. After calculating the increase of Rainfall Intensity for each of the scenarios eight new risk maps were constructed for each increase. The results showed that flood risk in low altitude areas, urban areas and coastal areas increased.

Ευχαριστίες

Πριν την παρουσίαση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου Γεώργιο Καρατζά που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το θέμα αυτό και για την βοήθεια του κατά την διάρκεια της εκπόνησης της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή Νικόλαο Νικολαΐδη όπως και τον Καθηγητή Νικόλαο Παρανυχιανάκη για την συμμετοχή τους στην εξέταση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτωρ Χρήστο Γκούμα για την καθοδήγηση και βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης καθώς βρισκόταν δίπλα μου σε κάθε δυσκολία πρόθυμος να με βοηθήσει.

Ευχαριστώ όλους τους φίλους μου που με βοήθησαν και με στήριξαν στην φοιτητική μου πορεία και περάσαμε μαζί τα φοιτητικά μου χρόνια.

Τέλος το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου για την τεράστια στήριξη που μου πρόσφεραν παρά τις δυσκολίες που επικρατούσαν, βοηθώντας με να πετύχω τους στόχους μου.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	V
Abstract	VI
Ευχαριστίες	VII
Πίνακας Εικόνων	X
Πίνακας Πινάκων	XII
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1 Αντικείμενο και σκοπός εργασίας	13
1.2 Υδρολογικός κύκλος	14
1.3 Υδατικοί πόροι	16
1.4 Το φαινόμενο της πλημμύρας	18
1.5 Νομικό πλαίσιο	21
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	24
2.1 Γενικά στοιχεία	24
2.1.1 Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά	24
2.1.2 Μορφολογία και κλίμα	25
2.1.3 Εδάφη και γεωλογικές συνθήκες	27
2.1.4 Προστατευόμενες περιοχές και χρήσεις Γης	28
2.1.5 Βροχομετρικά χαρακτηριστικά	31
2.1.6 Ιστορικό πλημμυρών	33
2.2 Ανθρωπογενή χαρακτηριστικά	34
2.2.1 Διοίκηση	34
2.2.2. Πληθυσμός	34
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	35
3.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	35
3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΓΣΠ και Γεωστατιστικών μεθόδων	36
3.3 Περιγραφή Λογισμικού ArcGIS	38
3.4 Εκτιμώντας την Επικινδυνότητα με την χρήση ΓΣΠ	38
3.5 Μεθοδολογία Δημιουργίας Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας	39
3.6 Δεδομένα	42
3.6.1 Υψόμετρο (Elevation)	42
3.6.2 Γεωλογία (Geology)	43
3.6.3 Χρήσεις γης (Land use)	44

3.6.4 Κλίση (Slope).....	46
3.6.5 Συγκέντρωση ροής (Flow accumulation).....	47
3.6.6 Ένταση βροχόπτωσης.....	48
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	52
4.1 Θεματικοί Χάρτες Πλημμυρικής επικινδυνότητας.	52
4.1.1 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Υψόμετρου (Elevation).....	52
4.1.2 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Γεωλογίας (Geology)	53
4.1.3 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Χρήσεων Γης (Land use).....	55
4.1.4 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Κλίσης (Slope).....	57
4.1.5 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Συγκέντρωσης Ροής (Flow Accumulation).....	58
4.1.6 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Έντασης Βροχόπτωσης (Rainfall Intensity).....	59
4.2 Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Αγίου Νικολάου	60
5. Μελλοντική Ανάλυση Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Βάση της Επερχόμενης Κλιματικής Αλλαγής.....	63
5.1 Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC)	63
5.2 Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)	63
5.3 Μεθοδολογία	65
5.4 Αποτελέσματα.....	66
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	78

Πίνακας Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (ΤΣΑΚΙΡΗΣ,2013)	14
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΝΕΡΟΥ.	16
ΕΙΚΟΝΑ 3: ECONOMIC DAMAGE CAUSED BY SIGNIFICANT FLOODS WORLDWIDE FROM 1900 TO 2016* (IN BILLION U.S. DOLLARS) ΠΗΓΗ: (ΕΜ-DAT,2016)	18
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΞΑΦΝΙΚΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑ ΕΥΒΟΙΑ 2021 . ΠΗΓΗ: HTTPS://WWW.CNN.GR/ELLADA/STORY/231991	19
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	24
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΧΑΡΤΗΣ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΝΟΜΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ. ΠΗΓΗ: 7Η ΥΠΕ	25
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΧΑΡΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ (%) ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.	25
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ. ΠΗΓΗ: METEOBLUE.COM	26
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ. ΠΗΓΗ: METEOBLUE.COM.....	26
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ, ΠΗΓΗ: ΥΠΕΝ	27
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΧΑΡΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ NATURA 2000 ΠΗΓΗ: ΟΙΚΟΣΚΟΡΙΟ.GR.....	28
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ (2018) ΠΗΓΗ: ΟΙΚΟΣΚΟΡΙΟ.GR	30
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΧΑΡΤΗ 11 ΠΗΓΗ: ΟΙΚΟΣΚΟΡΙΟ.GR	30
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΧΑΡΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΥΘΥΝΗΣ.....	31
ΕΙΚΟΝΑ 2.15: ΧΑΡΤΗΣ ΥΕΤΟΥ (1970-2000) ΠΗΓΗ: ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ, ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΑΤΛΑΝΤΑΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ.	32
ΕΙΚΟΝΑ 16: DISTRIBUTION OF FLOODS ACROSS GREECE EXPRESSED AS THE NUMBER OF EVENTS PER ADMINISTRATIONAL UNIT FOR THE PERIOD 1880-2010. IN THE LOWER LEFT CORNER DISTRIBUTION OF EVENTS IS EXPRESSED AS THE NUMBER OF EVENTS PER 100km ² IN EACH OF THESE UNITS.....	33
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΔΗΜΟΣ ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ, ΝΟΜΟΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ.	34
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΑΛΛΗΛΕΞΑΡΤΗΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΛΑΔΩΝ ΓΣΠ	35
ΕΙΚΟΝΑ 19: GEOSTATISTICAL WORKFLOW ΠΗΓΗ: PRO.ARCGIS.COM	37
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ. ΠΗΓΗ: (ΓΟΥΜΑΣ, 2019)	41
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ (ELEVATION MAP) ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ. (Μονάδες σε meters)	42
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ.....	43
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ (CORINE LAND USE COVER 2018).....	44
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ (ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ)	46
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΟΗΣ	47
ΕΙΚΟΝΑ 26: ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΤΟΝ ΧΑΡΤΗ	48
ΕΙΚΟΝΑ 27: ΘΕΜΑΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΈΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	51
ΕΙΚΟΝΑ 28: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ	52
ΕΙΚΟΝΑ 29: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 30: ΤΜΗΜΑΤΑ ΥΨΗΛΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ (ΚΙΤΡΙΝΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ).....	54
ΕΙΚΟΝΑ 31: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ.....	55
ΕΙΚΟΝΑ 32: ΤΜΗΜΑΤΑ ΜΕ ΥΨΗΛΗ (ΑΡΙΣΤΕΡΑ) ΚΑΙ ΜΕΤΡΙΑ (ΔΕΞΙΑ) ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ (ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ).....	56

ΕΙΚΟΝΑ 33: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	57
ΕΙΚΟΝΑ 34: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΟΗΣ	58
ΕΙΚΟΝΑ 35: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΈΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 36: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ	61
ΕΙΚΟΝΑ 37: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΣΕΝΑΡΙΟ SSP1-2.6 MID-TERM BEST CASE SCENARIO.....	68
ΕΙΚΟΝΑ 38: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΣΕΝΑΡΙΟ SSP1-2.6 MID-TERM WORST CASE SCENARIO.	68
ΕΙΚΟΝΑ 39: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ SSP1-2.6 MID-TERM BEST CASE SCENARIO.	69
ΕΙΚΟΝΑ 40:ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ SSP1-2.6 MID-TERM WORST CASE SCENARIO	69
ΕΙΚΟΝΑ 41: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ SSP1-2.6 LONGTERM BEST CASE SCENARIO	70
ΕΙΚΟΝΑ 42:ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ SSP1-2.6 LONGTERM WORST CASE SCENARIO	70
ΕΙΚΟΝΑ 43:ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ SSP2-4.5 MID-TERM BEST CASE SCENARIO .	71
ΕΙΚΟΝΑ 44: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ SSP2-4.5 MID-TERM WORST CASE SCENARIO	71
ΕΙΚΟΝΑ 45: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ SSP2-4.5 LONG-TERM BEST CASE SCENARIO	72
ΕΙΚΟΝΑ 46: ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ SSP2-4.5 LONG-TERM WORST CASE SCENARIO	72

Πίνακας Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΝΕΡΟΥ. ΠΗΓΗ: GLEICK, P. H., 1996: WATER RESOURCES. IN ENCYCLOPEDIA OF CLIMATE AND WEATHER, ED. BY S. H. SCHNEIDER, OXFORD UNIVERSITY PRESS, NEW YORK, VOL. 2, PP.817-8	17
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ. ΠΗΓΗ: METEO.GR.....	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ.	32
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΠΗΓΗ: ΒΑΣΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΥΠΕΚΑ	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (2001,2011) ΔΗΜΟΥ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ. ΠΗΓΗ: ΕΛΣΤΑΤ	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ (KOURGIALAS & KARATZAS, 2016).....	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ (KOURGIALAS & KARATZAS, 2016)	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΤΥΠΟΙ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΜΕ ΚΩΔΙΚΟ (CORINE LAND USE COVER 2018).....	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ (ΣΕ ΜΜ).....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΦΙΝΟΚΑΛΙΑ (ΣΕ ΜΜ)	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΝΕΑΠΟΛΗΣ (ΣΕ ΜΜ).....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΠΟΤΑΜΟΙ (ΣΕ ΜΜ).....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ MFI.....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΚΤΑΣΗΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 19: SHARED SOCIOECONOMIC PATHWAYS IN THE IPCC SIXTH ASSESMENT REPORT (ΠΗΓΗ: IPCC) .	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ (ΠΗΓΗ: (IPCC, 2021))	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 21: SSP1-2.6 MID-TERM ΑΥΞΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 22: SSP1-2.6 LONGTERM ΑΥΞΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 23: SSP2-4.5 MID-TERM ΑΥΞΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 24: SSP2-4.5 LONG TERM ΑΥΞΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 25: ΔΕΙΚΤΗΣ MFI ΓΙΑ SSP1-2.6 MID-TERM.....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 26: ΔΕΙΚΤΗΣ MFI ΓΙΑ SSP1-2.6 LONGTERM	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 27: ΔΕΙΚΤΗΣ MFI ΓΙΑ SSP2-4.5 MID-TERM.....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 28: ΔΕΙΚΤΗΣ MFI ΓΙΑ SSP2-4.5 LONGTERM	67

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο και σκοπός εργασίας

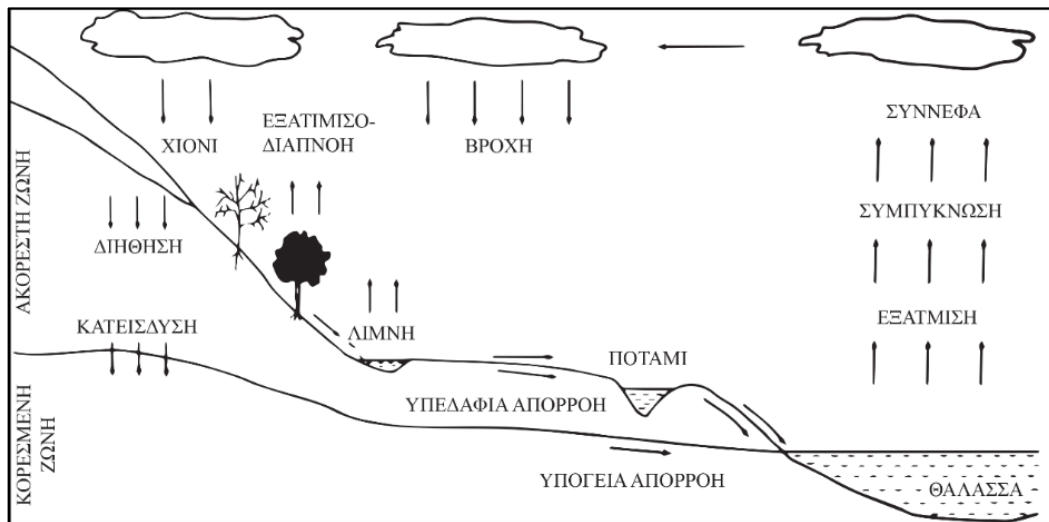
Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η χωρική ανάλυση πλημμυρικής επικινδυνότητας στην περιοχή του Αγίου Νικολάου στον Νομό Λασιθίου Κρήτης. Πρόκειται για μία μακροσκοπική ανάλυση κινδύνου χρησιμοποιώντας ως βασικό εργαλείο μεθόδους Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Η προμήθεια των δεδομένων έχει γίνει από αξιόπιστες Ευρωπαϊκές βάσεις δεδομένων σε τύπους αρχείων κατάλληλους και έτοιμους προς επεξεργασία. Το λογισμικό που τίθεται προς χρήση ονομάζεται ArcGis και αποτελεί τον πυρήνα της ανάλυσης αυτής καθώς μέσα στο περιβάλλον του λαμβάνει χώρα η διαδικασία.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι ένας συνδυασμός πολυκριτηριακής ανάλυσης έξι παραγόντων και επεξεργασίας τους με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται είναι α) Υψόμετρο (Elevation), β) Κλίση (slope), γ) Χρήσεις Γης (Land use) , δ) Συγκέντρωση Ροής (Flow Accumulation), ε) Γεωλογία (Geology) και στ) Ένταση Βροχόπτωσης (Rainfall Intensity) και για κάθε έναν από αυτούς δημιουργείται Θεματικός Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας. Κάθε παράγοντας χωρίζεται σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με το πως επηρεάζουν την επικινδυνότητα. Στην συνέχεια μετατρέπονται σε μορφή ψηφιδωτού (Raster) και επανακατηγοριοποιούνται σε κλίμακα από χαμηλή έως πολύ υψηλή. Τελευταίο στάδιο της ανάλυσης είναι να συνδυαστούν οι θεματικοί χάρτες κατασκευάζοντας ένα συνολικό χάρτη επικινδυνότητας. Για να γίνει αυτό πρέπει να υπολογιστεί πόσο επηρεάζει ποσοστιαία ο κάθε παράγοντας την πλημμυρική επικινδυνότητα. Έτσι αφού όλοι οι χάρτες έχουν την ίδια μορφή και τεχνικά χαρακτηριστικά (τύπος αρχείου, διαστάσεις κελιού, προβολικό σύστημα συντεταγμένων) αθροίζονται σταθμισμένα. Ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας απεικονίζει την συνολική επικινδυνότητα της περιοχής και δίνει μια αρκετά καλή εικόνα για το ποια τμήματα της περιοχής ευθύνης βρίσκονται σε δυσμενέστερη θέση από κάποια άλλα.

Το τελευταίο σκέλος της εργασίας είναι μια μελλοντική ανάλυση πλημμυρικής επικινδυνότητας με την αύξηση της βροχόπτωσης λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η ανάλυση αυτή βασίζεται σε δύο σενάρια που έχουν δημοσιευτεί από την Διακυβερνητική Επιτροπή Αλλαγής του Κλίματος (IPCC) σύμφωνα με την έκτη αναφορά (Sixth Assessment Report). Τα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι το SSP1-2.6 και το SSP2-4.5 με χρονικές περιόδους μεσοπρόθεσμα (2041-2060) και μακροπρόθεσμα (2081-2100). Για κάθε χρονική περίοδο και κάθε σενάριο κατασκευάστηκαν θεματικοί χάρτες καλύτερης και χειρότερης κατάστασης (Σύνολο 8 χάρτες) και με την σειρά τους σύμφωνα με την μεθοδολογία κατασκευάστηκαν οχτώ χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας για κάθε ποσοστό αύξησης της βροχόπτωσης.

1.2 Υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει την κυκλοφορία του νερού τόσο στην επιφάνεια της Γης όσο και κάτω από αυτή. Το νερό δεν μένει ποτέ στάσιμο, κινείται συνεχώς και κατά την πορεία του αλλάζει φάσεις (υγρή, αέρια, στερεή). Η σειρά που εμφανίζεται στην φύση δεν έχει αρχή και τέλος οπότε θα μπορούσε να τεθεί σαν αρχή το νερό στην ατμόσφαιρα. Εκεί βρίσκεται σε μορφή υδρατμών που έχουν προέλθει από την εξάτμιση του επιφανειακού νερού (θάλασσες, λίμνες, ποτάμια κ.λ.π). Οι υδρατμοί στη συνέχεια υπό κατάλληλες συνθήκες συμπυκνώνονται και καταλήγουν μέσω κατακρήμνισης στην επιφάνεια της Γης. Ένα μέρος παραλαμβάνεται από την βλάστηση όπου στην συνέχεια εξατμίζεται ή διαπνέεται. Ένα άλλο μέρος διηθείται στο έδαφος και μέσω υπόγειων ρεμάτων αποθηκεύεται προσωρινά η καταλήγει επιφανειακά σε χαμηλότερα σημεία. Το υπόλοιπο απορρέει επιφανειακά σε θάλασσες και λίμνες, εξατμίζεται και επανέρχεται στην ατμόσφαιρα ολοκληρώνοντας τον κύκλο του. (Τσακίρης, 2013)



Εικόνα 1: Απλοποιημένη γραφική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου (Τσακίρης, 2013)

Η γεωλογική υπηρεσία των ΗΠΑ διαχωρίζει τον υδρολογικό κύκλο σε 16 μέρη:

- Αποθήκευση νερού στη θάλασσα
- Εξάτμιση
- Εξατμισοδιαπνοή
- Εξάχνωση
- Νερό στην ατμόσφαιρα
- Συμπύκνωση
- Κατακρημνίσματα
- Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνια
- Απορροή από λιώσιμο του χιονιού
- Επιφανειακή απορροή
- Ροή σε υδατορέματα
- Αποθήκευση γλυκού νερού
- Διήθηση
- Αποθήκευση υπόγειου νερού
- Εκφόρτωση υπογείου νερού
- Πηγές

Οι διεργασίες αυτές περιγράφουν την μεταφορά του νερού καθώς και την προσωρινή αποθήκευση του ή μεταβολής της κατάστασής του.

Το βασικό υδατικό ισοζύγιο για μία λεκάνη απορροής χωρίς επιφανειακές εισροές ή αντλήσεις νερού περιγράφεται από τον Dingman (2002) ως εξής:

$$P + G_{in} - (Q + ET + G_{out}) = \Delta S$$

Οι μεταβλητές στην εξίσωση είναι ρυθμοί εισόδου και εξόδου στην λεκάνη απορροής και εκφράζονται σε όγκο νερού ανά μονάδα χρόνου.

$$P = \text{Κατακρήμνιση } (L \cdot t^{-1})$$

$$G_{in} = \text{Εισροή υπογείων υδάτων } (L \cdot t^{-1})$$

$$Q = \text{Απορροή } (L \cdot t^{-1})$$

$$ET = \text{Εξατμισοδιαπνοή } (L \cdot t^{-1})$$

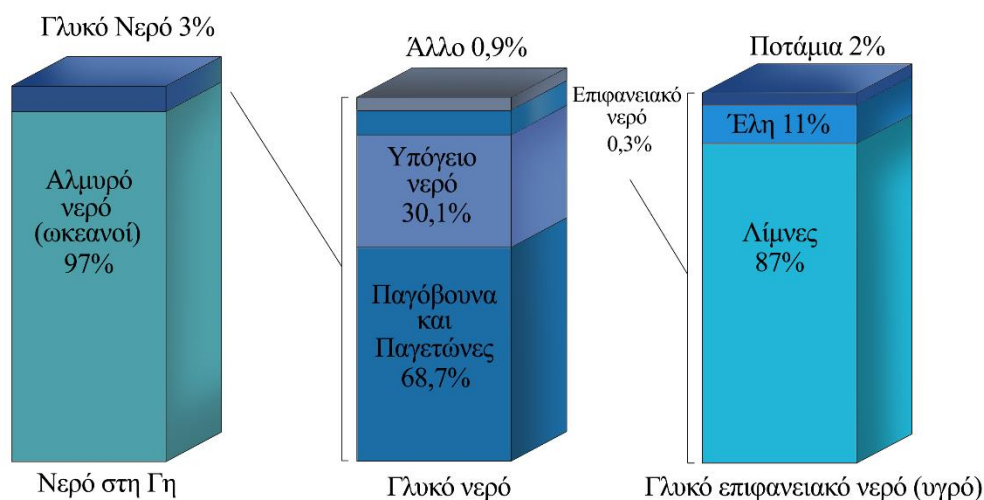
$$G_{out} = \text{Εκροή υπογείων υδάτων}$$

$$\Delta S = \text{Συσσώρευση του νερού στη λεκάνη } (L \cdot t^{-1})$$

1.3 Υδατικοί πόροι

Το νερό έχει ζωτική σημασία για το οικοσύστημα όπως και το καθαρό νερό αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την ζωή στον πλανήτη. Ο συνολικός όγκος του νερού στην υδρόγειο παραμένει σταθερός, ωστόσο η ποιότητα και η διαθεσιμότητά του μεταβάλλεται. Το 75% του πλανήτη είναι καλυμμένο με νερό σε υγρή, αέρια ή στερεή μορφή ωστόσο το γλυκό νερό στον πλανήτη αποτελεί μόλις το 3% της συνολικής ποσότητας. Οι υδατικοί πόροι συνδέονται άμεσα με την ανάπτυξη είτε τοπικά είτε σε παγκόσμιο επίπεδο καθώς το γλυκό νερό είναι σημαντικός παράγοντας ιδιαίτερα για την γεωργία και την βιομηχανία. Επιπλέον με την αύξηση του πληθυσμού και τους ρυθμούς της αστικοποίησης οι ανάγκες σε νερό έχουν αυξηθεί. Λόγω της μεγάλης ζήτησης σε νερό όμως δημιουργούνται προβλήματα που για να επιλυθούν απαιτείται η σωστή διαχείριση του με βιώσιμο τρόπο σε παγκόσμιο επίπεδο. (Odlare, 2014)

Το γλυκό νερό μπορεί να αποτελεί το 3% πάνω στον πλανήτη ωστόσο η πρόσβαση που έχει ο άνθρωπος σε αυτό στην πραγματικότητα είναι αρκετά μικρότερη όπου αυτό οφείλεται σε αρκετούς παράγοντες. Η άνιση κατανομή του νερού στον πλανήτη, η κλιματική αλλαγή και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι παράγοντες που επηρεάζουν την πρόσβαση στο νερό σε ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού της Γης. (Shiklomanov, 1998)



Εικόνα 2: Σχηματική αναπαράσταση παγκόσμιας κατανομής νερού.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού στην υδρόσφαιρα είναι αλμυρό με ποσοστό περίπου 97%. Το υπόλοιπο 3% είναι γλυκό νερό το οποίο βρίσκεται σε διάφορες μορφές στην υδρόσφαιρα. Από την συνολική ποσότητα του γλυκού νερού το 69% περίπου είναι δεσμευμένο σε παγόβουνα και παγετώνες και το 30% βρίσκεται κάτω από το έδαφος. Το 87% του νερού στην επιφάνεια της Γης καλύπτεται από λίμνες, το 2% από έλη και το υπολειπόμενο 2% από ποτάμια.

Συγκεκριμένα στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού σύμφωνα με τον Gleick (1996).

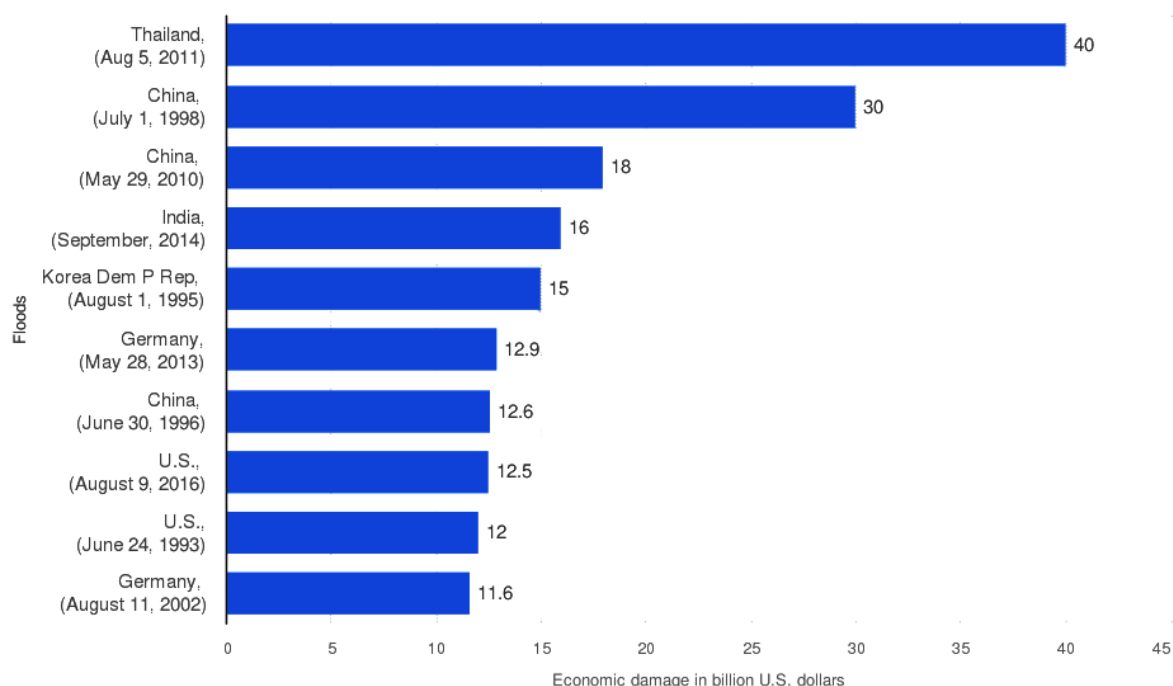
Πίνακας 1: Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού. Πηγή: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-8

Μορφή Νερού	Όγκος νερού σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό γλυκού νερού	Ποσοστό συνολικού νερού
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	-	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	-	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό	12.870.000	-	0,94
Εδαφική υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	-	0,013
Γλυκές	91.000	0,26	0,007
Αλμυρές	85.400	-	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Έλη	11.470	0,03	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	-	100

1.4 Το φαινόμενο της πλημμύρας

Την τελευταία δεκαετία, οι πλημμύρες στην Ευρώπη είχαν επίπτωση σε πάνω από 4 εκατομμύρια κατοίκους καθώς και στις περιουσίες τους σκοτώνοντας σχεδόν χίλιους ανθρώπους και αφήνοντας πάνω από πέντε χιλιάδες άστεγους. Την περίοδο 2006-2013 μετρήθηκαν πάνω από 200 περιστατικά πλημμύρας που υπολογίστηκαν σε ζημιές στα 52 δισεκατομμύρια ευρώ (Guha-Sapir, et al., 2017). Οι καταστροφικές πλημμύρες συμβαίνουν παγκοσμίως καθώς έχουν ένα ευρύ φάσμα υδροκλιματικών προϋποθέσεων. Αποτελούν σημαντικό φυσικό κίνδυνο ειδικά σε περιβάλλον με ποτάμια προκαλώντας σημαντικές απώλειες ζωής και υποδομών. Είναι ικανές να δημιουργήσουν τεράστια αλλοίωση του τοπίου και της γεωμορφολογίας και να μεταφέρουν μεγάλους όγκους. Το πόσο καταστροφικό χαρακτηρίζεται ένα πλημμυρικό φαινόμενο εξαρτάται από τις επιπτώσεις που έχει σε κάθε μορφή ζωής καθώς και στο χρηματικό κόστος που έχει προκαλέσει σε υλικές ζημιές (Russell, 2005). Από το σύνολο των φυσικών καταστροφών εκτιμάται ότι το 40% αποτελεί πλημμυρικά φαινόμενα από τα οποία το 26% των φαινομένων σχετίζεται με θανάτους καθιστώντας έτσι τις πλημμύρες την συνηθέστερη φυσική καταστροφή. (Brende, 2007)

Στην *εικόνα 3* παρουσιάζονται ενδεικτικά τα πιο κοστοβόρα πλημμυρικά φαινόμενα παγκοσμίως από το 1900-2016.



Εικόνα 3: Economic damage caused by significant floods worldwide from 1900 to 2016(in billion U.S. dollars)*
Πηγή: (EM-DAT, 2016)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ορίζει μια πλημμύρα ως προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Οι πλημμύρες ως φυσικά φαινόμενα είναι αδύνατον να προληφθούν, παράγοντες όμως που ενισχύουν το φαινόμενο και τις επιπτώσεις του αποτελούν η κλιματική αλλαγή και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες. (2007/60/ΕΚ)

Η Γεωλογική Υπηρεσία Ηνωμένων Πολιτειών αναφέρει πως υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες πλημμυρών.

- Ξαφνικές πλημμύρες (Flash floods): Προκαλούνται από ραγδαίες βροχοπτώσεις που έχουν σαν αποτέλεσμα ταχεία ύψωση του νερού το οποίο στο πέρασμά του μπορεί να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές. Παράγοντες του φαινομένου είναι η ένταση της βροχής καθώς και η διάρκεια της, οι συνθήκες του εδάφους, η αστικοποίηση κλπ.
- Ποτάμιες πλημμύρες (River flooding): Συμβαίνουν σε περιοχές με μεγάλα ποτάμια σε έκταση και πιο υγρό κλίμα και λόγω μεγάλων βροχοπτώσεων η λιώσιμο του χιονιού προκαλείται ανύψωση του νερού.

Οι ξαφνικές πλημμύρες (Flash floods) στην Ανατολική Μεσόγειο είναι ένα μόνιμο πρόβλημα. Στην Ελλάδα ο αριθμός του φαινομένου αυξάνεται παρά το γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη βελτίωση στις υποδομές της χώρας και τις προσπάθειες της πολιτικής προστασίας καθώς και άλλων οργανισμών. Στις αστικοποιημένες περιοχές οι κάτοικοι είναι πιο εκτεθειμένοι λόγω της υψηλής συγκέντρωσης σε πληθυσμό, περιουσιακά στοιχεία και κοινωνικοοικονομικές δραστηριότητες που λαμβάνουν τόπο εκεί. (Diakakis, et al., 2018)



Εικόνα 4: Ξαφνική πλημμύρα Εύβοια 2021 . Πηγή: <https://www.cnn.gr/ellada/story/231991>

Με βάση τις κατηγορίες των πλημμύρων τα σημαντικότερα αίτια έχουν σχέση με την ένταση, την διάρκεια, την χωρική κατανομή της βροχόπτωσης στις λεκάνες απορροής, τις μεγάλες κλίσεις, τις αποψιλωμένες περιοχές και την χαμηλή δυνατότητα απορρόφησης του εδάφους. Επίσης έχουν σχέση με την λάθος λειτουργία αντιπλημμυρικών υποδομών και την απότομη απελευθέρωση νερού από φράγματα. Φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν την γένεση του φαινομένου είναι η ύπαρξη υδρολογικών συνθηκών όπως η διάβρωση του εδάφους ή η κάλυψη από χιόνι καθώς και μετεωρολογικοί παράγοντες όπως η ποσότητα, ένταση και χωρική κατανομή της βροχόπτωσης. Επίσης η επιφανειακή ροή και η διαδρομή των ποταμών παίζουν σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο. (Wudineh, et al., 2022)

Εκτός από τις ποτάμιες πλημμύρες τα τελευταία χρόνια σημαντικό πρόβλημα αποτελούν οι πλημμύρες σε αστικά περιβάλλοντα (pluvial floods). Το κύριο αίτιο τέτοιου είδους πλημμύρας είναι η μη αποτελεσματική λειτουργία του αποχετευτικού συστήματος των πόλεων. Όσο αυξάνεται η αστικοποίηση αυξάνονται και οι περιουσίες με αποτέλεσμα την αύξηση αδιαπέρατων επιφανειών. Με αυτόν τον τρόπο η απορρόφηση του νερού δεν γίνεται γρήγορα ή καθόλου και η εξάτμιση του αντίστοιχα γίνεται με αργούς ρυθμούς. (Mobini , et al., 2021)

Μετά την εξασθένηση του πλημμυρικού γεγονότος οι έμμεσες συνέπειες είναι κυρίως:

- Μολύνσεις ποταμών και ρεμάτων, όπου κατά κύριο λόγο είναι μικρής διάρκειας (παράσυρση νεκρών ζώων, απορρίμματα στην ροή των υδάτων κ.α.)
- Πείνα και λοιμοί
- Μόνιμη ή παροδική απομάκρυνση των κατοίκων από τις περιοχές που επλήγησαν
- Δημιουργία πυρκαγιών λόγω βραχυκυκλωμάτων στο δίκτυο ηλεκτροδότησης
- Καταστροφή υγροτόπων και μείωση βιοποικιλότητας

Άμεσες συνέπειες από το πλημμυρικό γεγονός ανάλογα με την σοβαρότητα του:

- Θάνατοι, τραυματισμοί και εγκλωβισμοί πολιτών
- Καταστροφές σε ακίνητη περιουσία, υποδομές, μέσα μεταφοράς, γέφυρες, οδικό δίκτυο και συστήματα επικοινωνίας οι οποίες προκαλούνται από την αυξημένη ταχύτητα των υδάτων και των ιζημάτων που μεταφέρονται
- Διάβρωση και απόθεση των ιζημάτων στις αγροτικές και αστικές περιοχές αντίστοιχα με συνέπεια την απώλεια σημαντικού τμήματος του εδαφικού μανδύα και της υπερκείμενης βλάστησης

(Παπαστεφανάκης, 2009)

1.5 Νομικό πλαίσιο

Η Οδηγία 2007/60/ΕΚ αφορά την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 26 Νοεμβρίου του 2007. Η Οδηγία απαιτεί από όλα τα κράτη μέλη να αξιολογήσουν εάν όλα τα υδάτινα ρεύματα και οι ακτές κινδυνεύουν από πλημμύρες καθώς και να χαρτογραφήσουν την έκταση των πλημμυρικών φαινομένων και τον κίνδυνο που μπορούν να προκαλέσουν σε περιουσιακά στοιχεία και ανθρώπινες ζωές. Στην συνέχεια απαιτεί να ληφθούν μέτρα για να μειωθεί το ρίσκο αυτό καθώς και οι επιπτώσεις του φαινομένου. Τέλος η οδηγία ενθαρρύνει το δικαίωμα να είναι αυτές οι πληροφορίες δημόσιες καθώς και την συμμετοχή του κοινού σε αυτή τη διαδικασία.

Η οδηγία 2007/60/ΕΚ συγκεκριμένα αποτελείται από οχτώ κεφάλαια όπου περιέχουν 19 άρθρα.

Κεφάλαιο 1 << ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ>>

Διατυπώνεται ο σκοπός της οδηγίας και η σημαντικότητά της καθώς αναφέρονται και συγκεκριμένοι ορισμοί που εμπεριέχονται στην οδηγία. Τέλος στο κεφάλαιο αυτό αναφέρεται πως τα κράτη μέλη καλούνται να διορίσουν αρμόδιες αρχές και να προσδιορίσουν ορισμένες παράκτιες περιοχές ή μεμονωμένες λεκάνες απορροής ποταμού και να τις υπάγουν σε διαφορετική μονάδα διαχείρισης από εκείνες του άρθρου 3 παράγραφος 1 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ.

Κεφάλαιο 2 <<ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ>>.

Δεύτερο στάδιο της οδηγίας είναι τα κράτη μέλη να διεξάγουν μια προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνου πλημμύρας για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού ή μονάδας διαχείρισης του άρθρου 3 η τμήμα διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού που βρίσκεται στην επικράτεια τους. Η αξιολόγηση αυτή μπορεί να βασίζεται σε διαθέσιμες η εύκολα υπολογιζόμενες πληροφορίες (καταγραφές, μελέτες κλπ.) για μακροπρόθεσμες εξελίξεις και επιπτώσεις από την αλλαγή του κλίματος σε περίπτωση πλημμύρας με σκοπό να αξιολογηθούν οι κίνδυνοι.

Στην αξιολόγηση πρέπει να περιλαμβάνονται: α) χάρτες της περιοχής της λεκάνης απορροής του ποταμού (σε κατάλληλη κλίμακα, περιλαμβανομένων όρια λεκανών και υπολεκάνων απορροής ποταμών, παράκτιων ζωνών με τοπογραφικά χαρακτηριστικά και χρήσης γης). β) περιγραφή πλημμυρών που έχουν συμβεί στο παρελθόν και είχαν επιπτώσεις σε οικονομικό επίπεδο και σε ανθρώπινες ζωές. γ) περιγραφή των πλημμυρών που συνέβησαν και θα μπορούσαν να περιοριστούν οι επιπτώσεις σε περίπτωση που ξανασυμβούν μελλοντικά. δ) αξιολόγηση των δυνητικών επιπτώσεων λαμβάνοντας υπόψιν την τοπογραφία, την θέση των υδατορεμάτων και τα γενικά υδρολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους.

Κεφάλαιο 3 <<ΧΑΡΤΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΚΑΙ ΧΑΡΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ>>

Τα κράτη μέλη καταρτίζουν χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και χάρτες κινδύνων πλημμύρας. Οι χάρτες επικινδυνότητας πρέπει να καλύπτουν τις γεωγραφικές περιοχές που θα μπορούσαν να πλημμυρήσουν σύμφωνα με τα ακόλουθα σενάρια. α) πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας ή σενάρια ακραίων φαινομένων. β) πλημμύρες μέσης πιθανότητας (με πιθανή περίοδο επαναληπτικότητας ≥ 100 χρόνια. γ) πλημμύρες υψηλής πιθανότητας, ανάλογα με την περίπτωση. Για κάθε σενάριο από τα παραπάνω παρατίθενται τα εξής στοιχεία, έκταση της πλημμύρας, βάθος νερού ή στάθμη νερού ανάλογα με την περίπτωση και ταχύτητα ροής ή σχετική ροή υδάτων.

Οι χάρτες κινδύνου πλημμύρας περιγράφουν τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες που συνδέονται με τις πλημμύρες οι οποίες εκφράζονται ως εξής. α) ενδεικτικός αριθμός κατοίκων που ενδέχεται να πληγούν. β) οικονομική δραστηριότητα που ενδέχεται να πληγεί. γ) εγκαταστάσεις που πρόκειται να προκαλέσουν ρύπανση σε περίπτωση που πληγούν και προστατευόμενες περιοχές. δ) άλλες πληροφορίες που το κράτος θεωρεί χρήσιμες όπως επισήμανση περιοχών που ενδέχεται να μεταφερθούν ιζήματα ή να παρασυρθούν υπολείμματα. Τέλος τα κράτη μέλη για τις παράκτιες περιοχές όπου υπάρχει επαρκές επίπεδο προστασίας η κατάστρωση χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας είναι περιορισμένη στο σενάριο παραγράφου 3 στοιχείο α), όπως και για τις περιοχές με πλημμύρες οφειλόμενες σε υπόγεια ύδατα.

Κεφάλαιο 4 <<ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ>>

Τα κράτη μέλη με βάση τους χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας καταρτίζουν συντονισμένα σχέδια διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας εστιάζοντας στη μείωση των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα. Η επίτευξη των στόχων γίνεται με την λήψη διαφόρων μέτρων λαμβάνοντας υπόψη το κόστος και τα οφέλη, την έκταση της πλημμύρας και τις οδούς και περιοχές αποστράγγισης των πλημμυρών, όπως οι φυσικές πλημμυρικές περιοχές, τη διαχείριση εδάφους και υδάτων, τον χωροταξικό σχεδιασμό, τη χρήση γης, την διαφύλαξη της φύσης, τη ναυσιπλοΐα και τις λιμενικές υποδομές. Το σχέδιο διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας είναι εστιαζόμενο στην πρόληψη, την προστασία και την ετοιμότητα λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της λεκάνης ή απορροής ποταμού.

Κεφάλαιο 5 <<ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ 2000/60/ΕΚ, ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΙΝΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΒΟΥΛΕΥΣΗ>>

Τα κράτη μέλη λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα για να συντονίσουν την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας και της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, εστιάζόμενα στις δυνατότητες για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, ανταλλαγή πληροφοριών και την επίτευξη κοινών συνεργειών και κοινού οφέλους που αφορούν τους περιβαλλοντικούς στόχους που καθορίζονται. Ειδικότερα γίνεται η κατάστρωση των πρώτων χαρτών επικινδυνότητας και των χαρτών κινδύνου πλημμύρας και οι συνακόλουθες επανεξετάσεις που προβλέπονται ώστε οι πληροφορίες που περιέχουν να είναι συνεπείς προς τις σχετικές πληροφορίες που υποβάλλονται σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/ΕΚ. Το ίδιο γίνεται και

για την κατάρτιση των πρώτων σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας. Στο άρθρο 10 του κεφαλαίου καταγράφεται ότι σύμφωνα με την ισχύουσα κοινοτική νομοθεσία τα κράτη μέλη μεριμνούν ώστε οι προκαταρκτικές αξιολογήσεις κινδύνων πλημμύρας, οι χάρτες κινδύνων πλημμύρας και τα σχέδια διαχείρισης να καθίστανται διαθέσιμα στο κοινό όπως και επίσης ότι ενθαρρύνεται η ενεργός συμμετοχή των ενδιαφερομένων στην κατάρτιση την επανεξέταση και την ενημέρωση των σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας.

Κεφάλαιο 6 <<ΜΕΤΡΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΕΙΣ>>

Η επιτροπή μπορεί να θεσπίσει τεχνικά υποδείγματα για την επεξεργασία και τη διαβίβαση των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των στατιστικών και χαρτογραφικών δεδομένων και λαμβάνοντας υπόψη τις προβλεπόμενες προθεσμίες επανεξέτασης και ενημέρωσης, μπορεί να προσαρμόζει το παράρτημα στην επιστημονική και τεχνική πρόοδο.

Κεφάλαιο 6 <<ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ>>

Τα κράτη μέλη μπορούν να μην διεξάγουν προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνου πλημμύρας για περιοχές που έχουν διενεργήσει αξιολόγηση κινδύνου πριν τις 22/12/2010 καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι υφίσταται ή ότι κρίνεται πιθανό να παρουσιαστεί δυνητικός κίνδυνος πλημμύρας ή έχουν αποφασίσει πριν τις 22/12/2010 να καταστρώσουν χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και να καταρτίσουν σχέδια διαχείρισης πλημμύρας σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις.

Κεφάλαιο 7 <<ΕΠΑΝΕΞΕΤΑΣΕΙΣ, ΕΚΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ>>

Η προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνου, οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και τα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων επανεξετάζονται και επικαιροποιούνται καθώς και λαμβάνεται υπόψη η πιθανή επίδραση των κλιματικών μεταβολών στη συχνότητα επέλευσης φαινομένων πλημμύρας. Τα κράτη μέλη θέτουν στην Επιτροπή την προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας, τους χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας, τους χάρτες κινδύνων πλημμύρας και τα σχέδια διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας επικαιριοποιημένα.

Αρμόδιες Αρχές

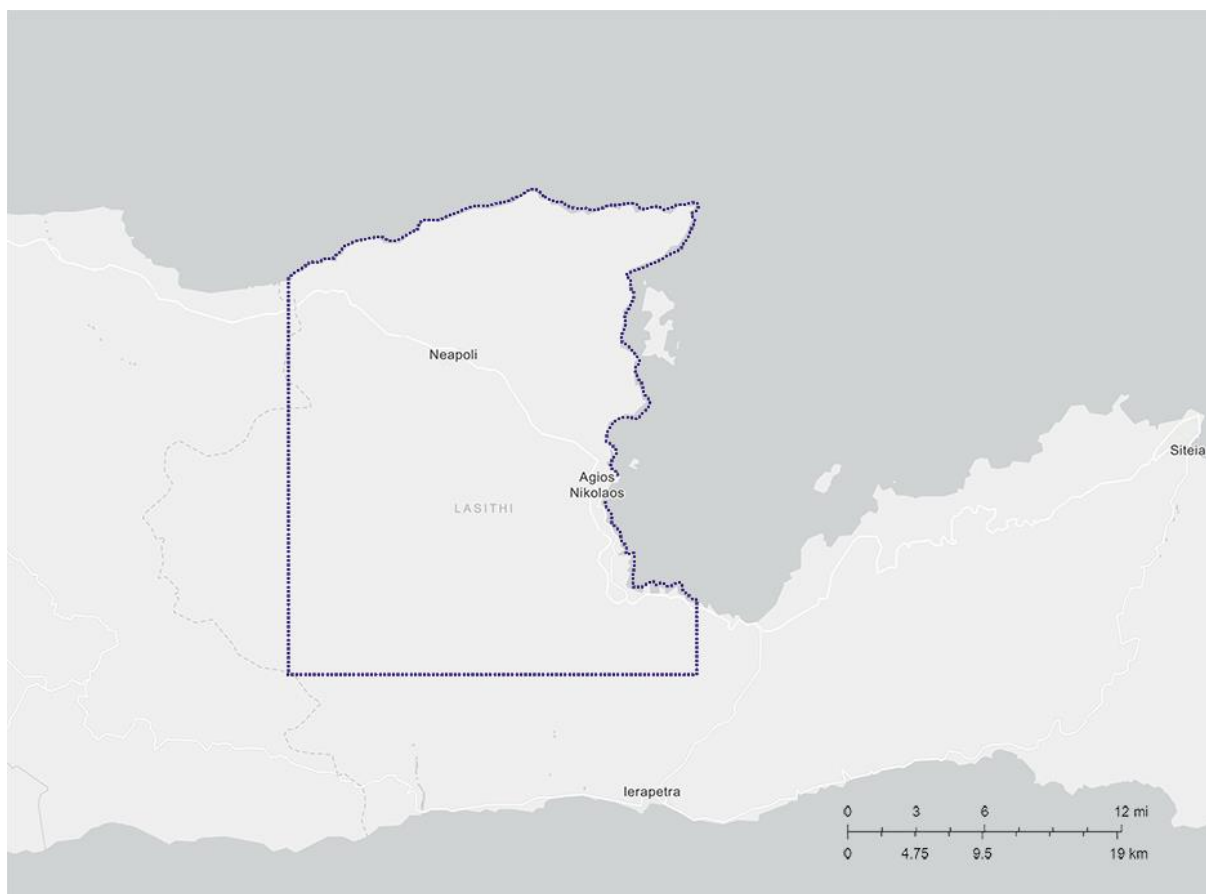
Οι αρμόδιες αρχές σε εθνικό επίπεδο είναι η **Εθνική Επιτροπή Υδάτων** η οποία έχει ορισθεί το υψηλότερο επίπεδο διυπουργικό όργανο και είναι υπεύθυνη για την χάραξη της πολιτικής για την προστασία και διαχείριση των υδάτων. Στην συνέχεια είναι το **Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων** όπου γνωμοδοτεί προς την Εθνική Επιτροπή Υδάτων για τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της χώρας. Τέλος είναι η **Ειδική Γραμματεία Υδάτων** η οποία έχει την αρμοδιότητα κατάρτισης των προγραμμάτων προστασίας και διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας και του συντονισμού των υπηρεσιών και κρατικών φορέων για ανάλογα ζητήματα. Σε περιφερειακό επίπεδο αρμόδια αρχή είναι το **Συμβούλιο Υδάτων Αποκεντρωμένης Διοίκησης** όπου αποτελεί όργανο κοινωνικού διαλόγου και διαβούλευσης για θέματα προστασίας και διαχείρισης των υδάτων.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γενικά στοιχεία

2.1.1 Γεωγραφικά Χαρακτηριστικά

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται Βορειοδυτικά του Νομού Λασιθίου στην Κρήτη με έκταση περίπου 500km^2 και ακτογραμμή 63 km .



Εικόνα 5: Περιοχή Μελέτης

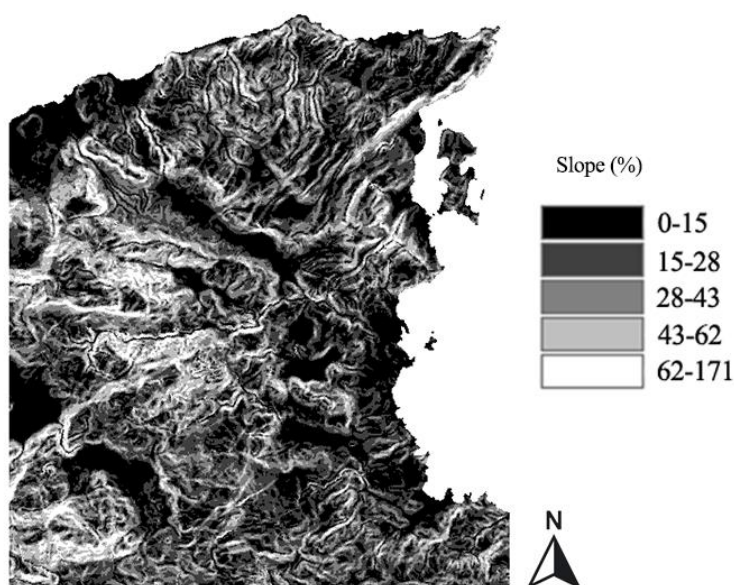
Το Βορειοδυτικό άκρο της περιοχής μελέτης βρίσκεται στο χωρίο Σίσι το οποίο βρίσκεται 5 χιλιόμετρα από τα Μάλια. Το Νοτιοδυτικό άκρο βρίσκεται στα Λασιθιώτικα όρη ή Δίκητη, μία οροσειρά που εκτείνεται στα ανατολικά του νησιού με υψόμετρο περίπου 2000m .

2.1.2 Μορφολογία και κλίμα

Στον Νομό Λασιθίου παρατηρείται μεγάλο υδρογραφικό δίκτυο ωστόσο στην περιοχή μελέτης υπάρχει μία κεντρική οδός αποστράγγισης που καταλήγει στον Άγιο Νικόλαο και μία πολύ μικρή που καταλήγει σε ένα μικρό οικισμό τον Ίστρο. Η περιοχή ανήκει στην λεκάνη απορροής ρεμάτων ανατολικής Κρήτης (GR41)



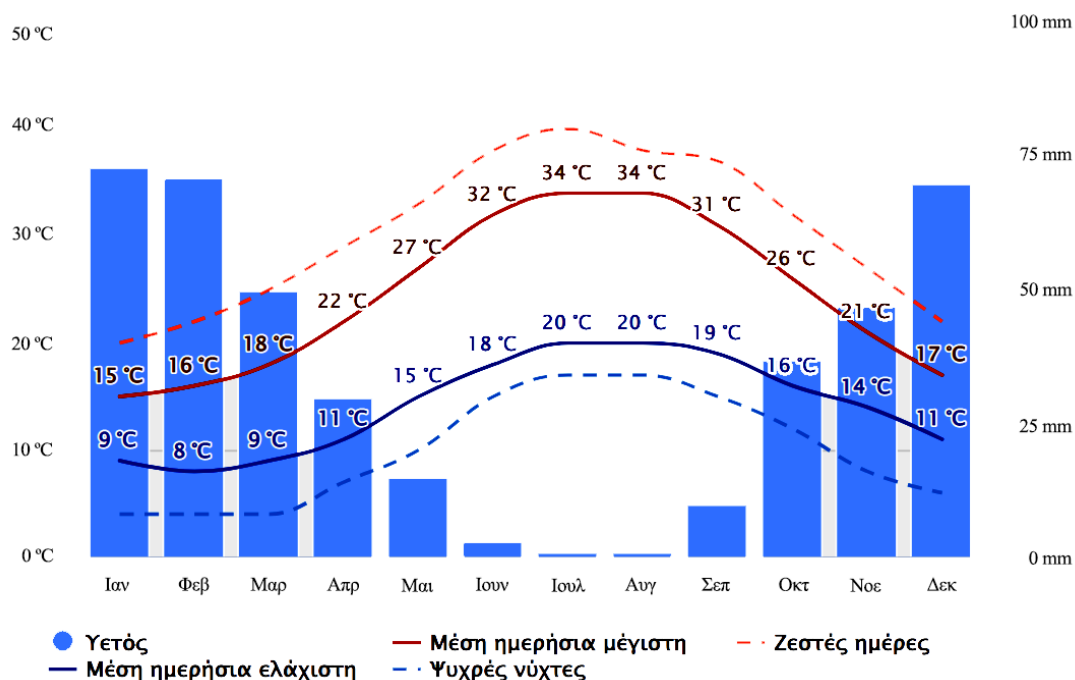
Εικόνα 6: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου Νομού Λασιθίου. Πηγή: 7η ΥΠΕ



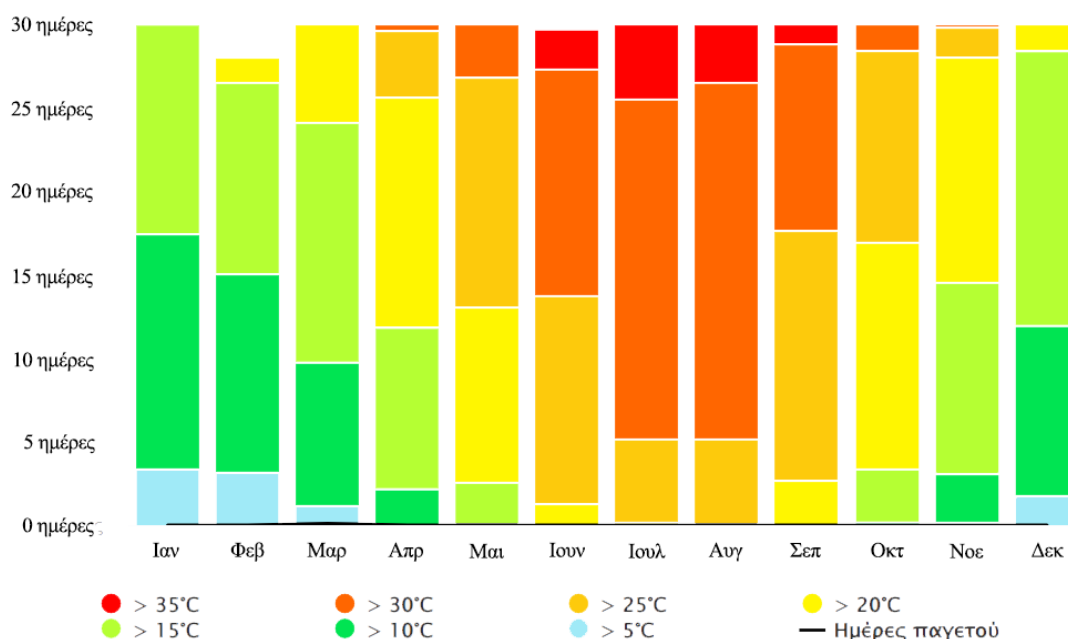
Εικόνα 7: Χάρτης Κλίσης (%) Περιοχής Μελέτης.

Στο ΠΔ 696/1974 χαρακτηρίζεται η μορφολογία του εδάφους πεδινή με κλίση 10%, Λοφώδες 10%-20% και Ορεινή >20%. Με βάση αυτά η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως ορεινή.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση Korpen – Geiger και τις μετρήσεις του δικτύου της ΕΜΥ, οι βασικές κατηγορίες της Ελλάδας είναι κλίματα ξηρά και θερμά εύκρατα και συγκεκριμένα στην Κρήτη έχουμε κλίμα θερμό εύκρατο στέπας με θερμό θέρος. (Arrilla, 2009)



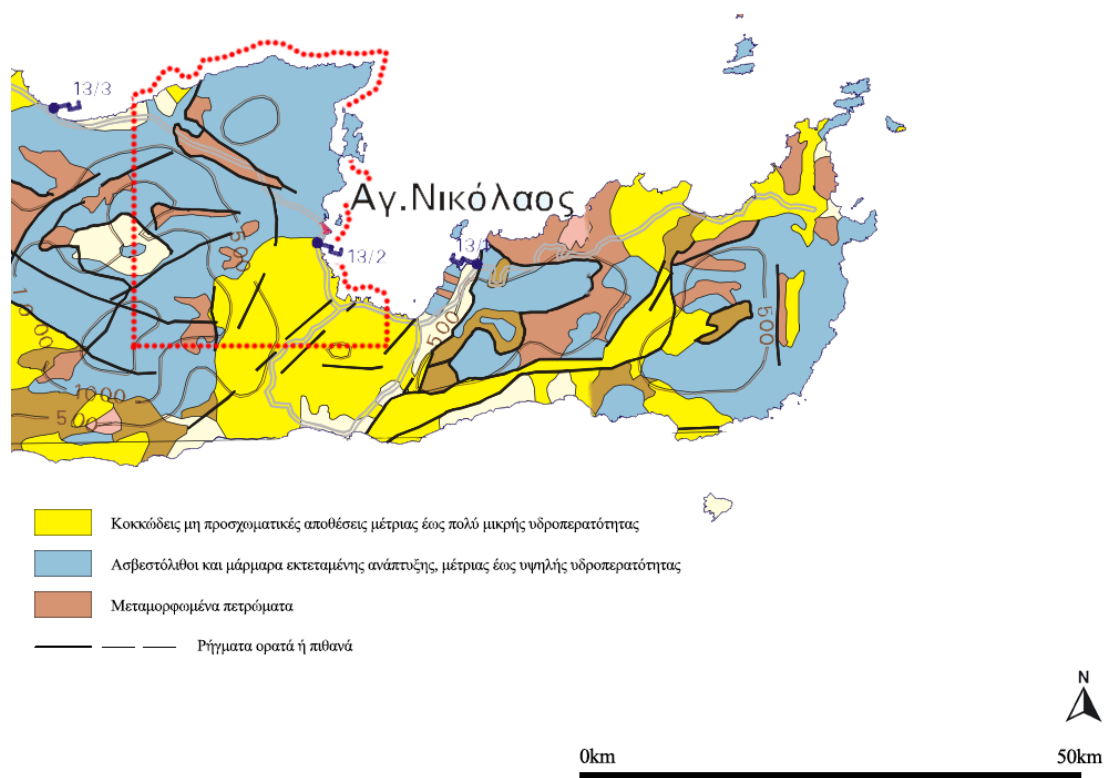
Εικόνα 8: Μέσος όρος θερμοκρασίας και βροχοπτώσεων Αγίου Νικολάου. Πηγή: meteoblue.com



Εικόνα 9: Διάγραμμα μέγιστης θερμοκρασίας Αγίου Νικολάου. Πηγή: meteoblue.com

Στην *Εικόνα 7* και *Εικόνα 8* παρουσιάζονται δεδομένα για την περιοχή του Αγίου Νικολάου στον Νομό Λασιθίου σε χρονικό διάστημα 30 ετών. Παρατηρείται στην περιοχή ότι τους θερινούς μήνες η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει τους 40 °C ενώ τον χειμώνα τους 5°C. Σε σχέση με την υπόλοιπη Ελλάδα η θερμοκρασία τον χειμώνα κυμαίνεται στο εύρος 15 - 20°C ενώ το καλοκαίρι 30 - 35°C αποδεικνύοντας έτσι ότι οι χειμώνες είναι ηπιότεροι σε σχέση με τα θερμά καλοκαίρια.

2.1.3 Εδάφη και γεωλογικές συνθήκες



Εικόνα 10: Υδρολιθολογικός Χάρτης Ελλάδος, Πηγή: ΥΠΕΝ

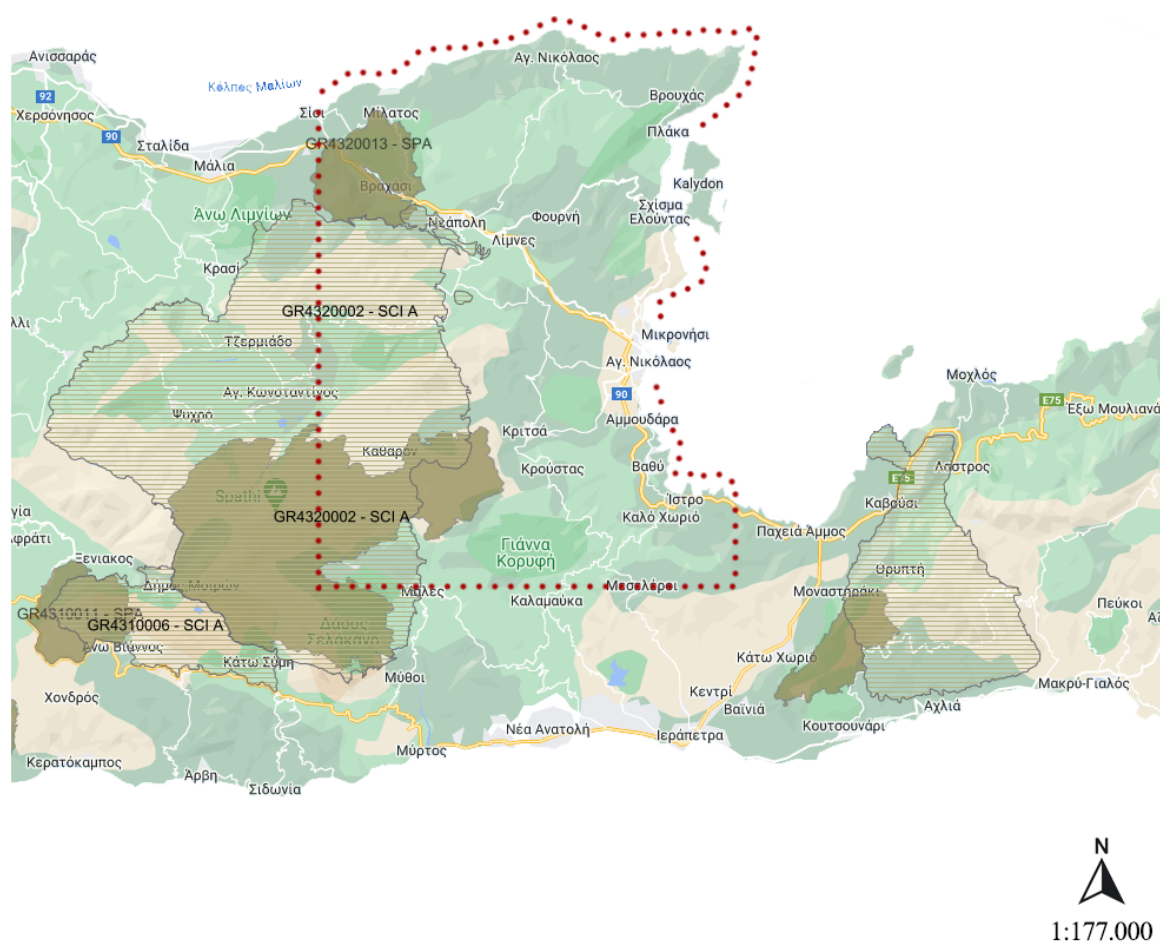
Με βάση τον Υδρολιθολογικό Χάρτη Ελλάδος στην περιοχή ευθύνης (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) η μεγαλύτερη έκταση αποτελείται από Καρστικούς σχηματισμούς. Συγκεκριμένα ασβεστόλιθους και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης. Αυτοί οι ανθρακικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν έντονη καρστικοποίηση, λόγω της χημικής διάβρωσής τους, που ποικίλλει μεταξύ ασβεστόλιθων και δολομιτών. Η μεγάλη επιφανειακή τους ανάπτυξη, η έντονη τεκτονική τους καταπόνηση, η λιθολογική τους σύσταση και η στρωματογραφική τους δομή συντελούν στην ανάπτυξη ρωγμών και ασυνεχειών (δευτερογενές πορώδες), με αποτέλεσμα η υδατοπερατότητα τους να κυμαίνεται από μέτρια ως υψηλή. Η μεγάλη επιφανειακή τους εξάπλωση ευνοεί την ανάπτυξη εκτεταμένων καρστικών συστημάτων. Ανάλογα με την τεκτονική δομή των καρστικών συστημάτων δημιουργούνται επιμέρους υδρογεωλογικές ενότητες, που μπορεί να εκφορτίζονται σε διαφορετικά επίπεδα. Σε πολλές περιπτώσεις τα καρστικά

συστήματα εκφορτίζονται με πηγές υπερπλήρωσης (εσωτερικές λεκάνες) ή με παράκτιες και υποθαλάσσιες πηγές.

Η δεύτερη μεγάλη έκταση αποτελείται από πορώδεις σχηματισμούς οι οποίοι είναι κοκκώδεις μη προσχωματικές αποθέσεις. Περιλαμβάνουν πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις και τριτογενείς γεωλογικούς σχηματισμούς που συνίστανται από εναλλαγές άμμων, μαργών, αργίλων, κροκαλοπαγών, μαργαϊκών ασβεστόλιθων και ψαμμιτών. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζουν γενικά μέτρια ως μικρή υδροπερατότητα, ανάλογα με την συμμετοχή χονδρόκοκκου ή λεπτομερούς υλικού. Στις πλειοκαινικές και νεογενείς αποθέσεις αναπτύσσονται κυρίως επάλληλοι υπό πίεση υδροφορείς.

Τελευταία κατηγορία αποτελούν τα μεταμορφωμένα πετρώματα τα οποία είναι αδιαπέρατοι σχηματισμοί με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα. Στην Κρήτη περιλαμβάνουν τις προαλπικές σειρές που αποτελούνται από τα στρώματα Τυρού. Αυτοί οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί παρεμβάλλονται τοπικά ασβεστόλιθοι και μάρμαρα όπου συχνά αναπτύσσονται καρστικοί υδροφορείς.

2.1.4 Προστατευόμενες περιοχές και χρήσεις Γης



Εικόνα 11: Χάρτης προστατευόμενων περιοχών NATURA 2000 Πηγή: oikoskopio.gr

Το δίκτυο NATURA 2000 αποτελεί ένα Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο περιοχών, οι οποίες φιλοξενούν φυσικούς τύπους οικοτόπων και οικοτόπους ειδών που είναι σημαντικοί σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Το δίκτυο αποτελείται από δύο κατηγορίες περιοχών

- Ζώνες Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) (Special Protection Areas – SPA) για την οрниθοπανίδα όπως ορίζονται στην οδηγία 79/409/ΕΚ «για την διατήρηση των άγριων πτηνών»
- Τόπους Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ) (Sites of Community Importance – SCI) όπως ορίζονται από την οδηγία 92/43/ΕΚ.

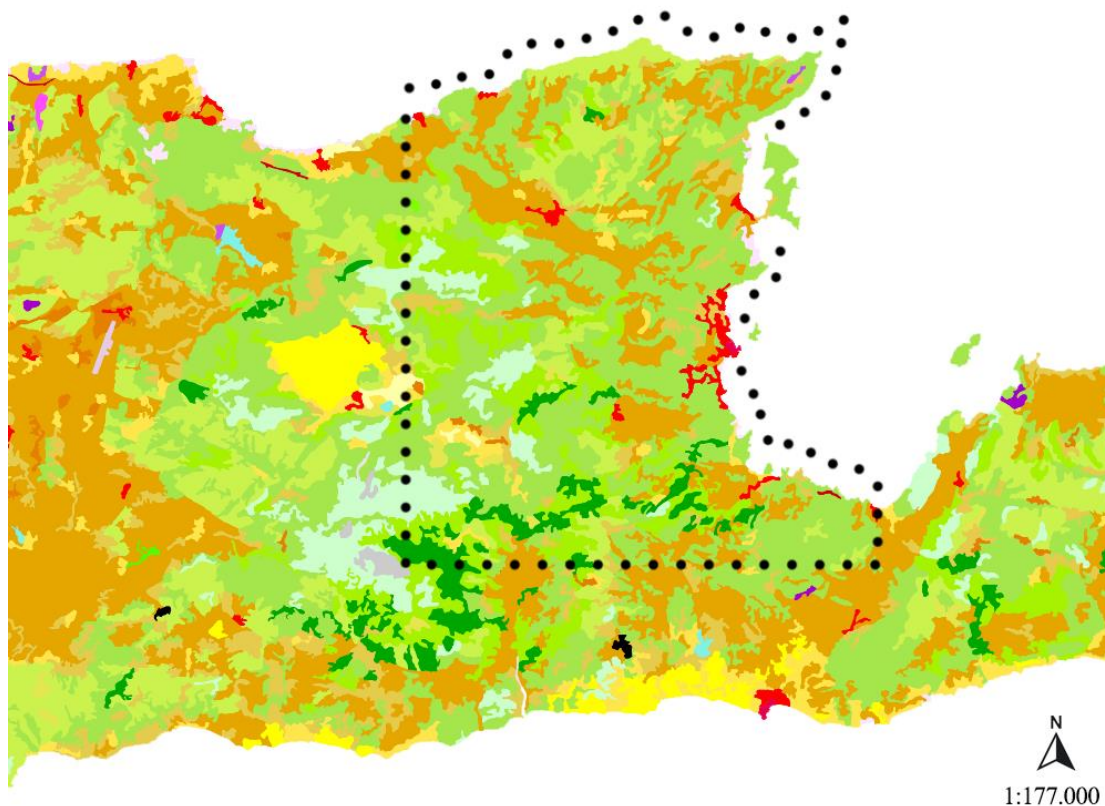
Στην περιοχή ευθύνης υπάρχουν και οι δύο κατηγορίες περιοχών. Αρχικά στο Βορειοδυτικό κομμάτι της περιοχής ευθύνης υπάρχει Ζώνη Ειδικής Προστασίας με κωδικό GR4320013 – SPA. Η περιοχή είναι το Φαράγγι Σεληνάρι-Βραχάσι και είναι σημαντική για την διάβαση και αναπαραγωγή αρπακτικών πτηνών. Σημαντικά είδη της περιοχής είναι ο γυπαετός *Gypaetus barbatus* και το όρνιο *Gyps fulvus*. Πρόκειται για ημιορεινό – ορεινό μέρος που βρίσκεται στην Περιφερειακή Ενότητα Λασιθίου. Το φαράγγι του Σεληνάρι και η ημιορεινή περιοχή που εκτείνεται βόρεια και νότια του στενού αυτού ασβεστολιθικού διαύλου, παρουσιάζει μικτή βλάστηση μακκί και φρυγάνων στο βόρειο τμήμα και ένα μικρό πρινόδασος στα νότια. Στο φαράγγι παρατηρούνται τα ακόλουθα είδη, όρνια (*Gyps barbatus*), γυπαετός (*Gypaetus barbatus*), πετρίτης (*Falco peregrines*), χρυσαετός (*Aquila chrysaetos*), γερακαετός (*Hieraetus pennatus*) και ο σπιζαετός (*Hieraetus fasciatus*). Την οрниθοπανίδα πλαισιώνουν κορυδαλλοί, κελάδες, κότσυφες, τσίχλες, συλβίδες, κεφαλάδες τσιροβάκοι και άλλα είδη των μεσογειακών θαμνώνων και δασικών οικοσυστημάτων. (Heath, et al., 2000)

Στην ευρύτερη περιοχή η οποία καλύπτει ένα μεγάλο κομμάτι της περιοχής ευθύνης έχει οριστεί Τόπος κοινοτικής σημασίας με κωδικό GR4320002 – SCI. Η περιοχή έχει μεγάλη οικολογική σημασία όπου οφείλεται σε μεγάλη ποικιλία οικοτόπων, στην πυκνή βλάστηση και μακκί, και στην παρουσία ενδημικών ειδών χλωρίδας και πανίδας της Κρήτης και της Ελλάδας γενικότερα.

Η χλωρίδα της περιοχής αποτελείται από παρόχθια βλάστηση με κοινά πολυετή και μονοετή φυτά, δάση με πρίνους αλλά και δάσος με αριές.

Η πανίδα της περιοχής περιλαμβάνει ενδημικά και σπάνια είδη όπως το σαλιγκάρι (*Helicodonta wilgeminae*), τον δενδροβάτραχο (*Hyla arborea kretensis*) και τον ενδημικό κρητικό αγριόγατο (*Felis silvestris cretensis*).

Τέλος τα ενδιαίτηματα της περιοχής θεωρούνται υψίστης σημασίας για πλήθος προστατευόμενων αρπακτικών που είτε φωλιάζουν είτε έχουν σποραδική εμφάνιση. (<https://natura2000.eea.europa.eu/>)



Εικόνα 12: Χρήσεις Γης (2018) Πηγή: *oikoskopio.gr*



Εικόνα 13: Υπόμνημα Χάρτη 11 Πηγή: *oikoskopio.gr*

Στην περιοχή μελέτης παρατηρείται ελάχιστη αστική δόμηση η οποία είναι συγκεντρωμένη στις παράκτιες περιοχές ενώ η υπόλοιπη έκταση παρατηρείται ότι καλύπτεται από δάση ή από φυτείες οπωροφόρων δέντρων, ελαιώνες και αμπελώνες.

2.1.5 Βροχομετρικά χαρακτηριστικά

Στην περιοχή ευθύνης βρίσκονται τέσσερις μετεωρολογικοί σταθμοί από τους οποίους υπήρξε δυνατότητα να αντλήσουμε αξιόπιστα δεδομένα καθώς οι υπόλοιποι είχαν δεδομένα μόλις λίγων μηνών.



Εικόνα 14: Χάρτης παρουσίασης μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή ευθύνης.

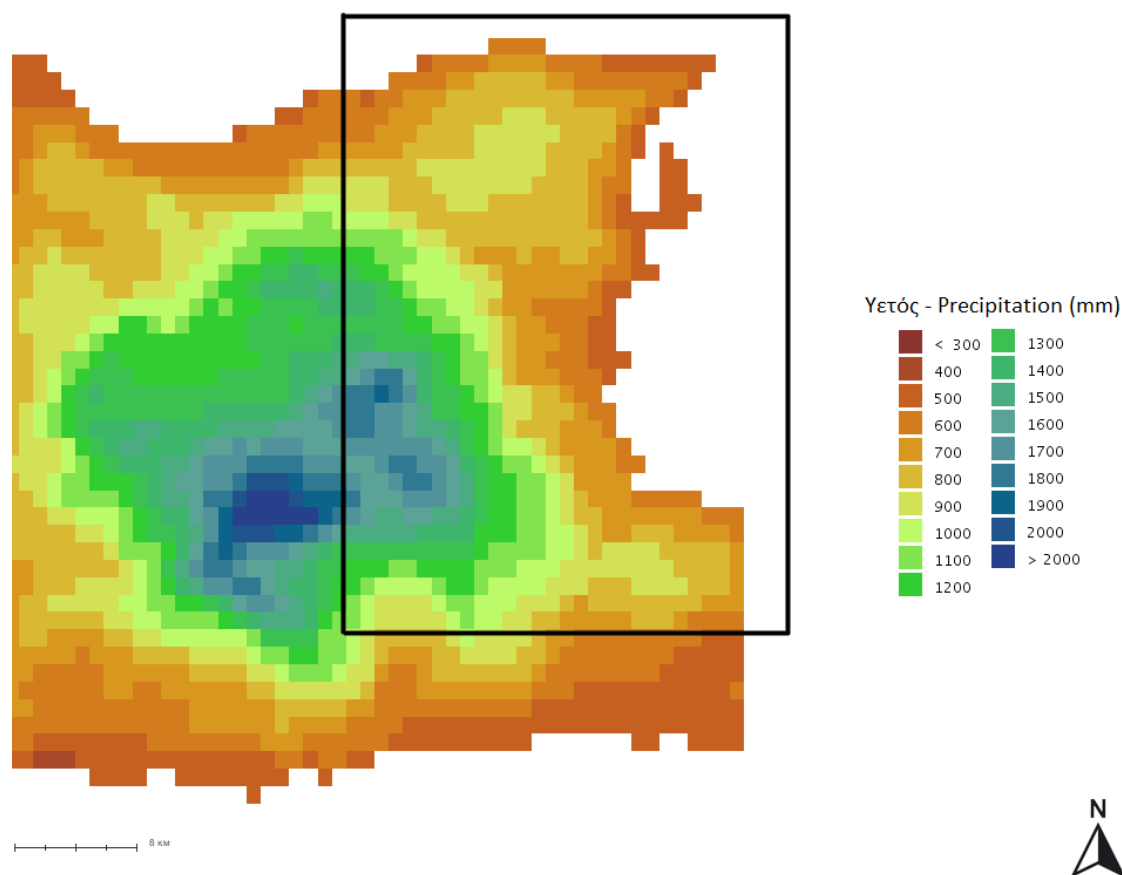
Πίνακας 2: Πληροφορίες μετεωρολογικών σταθμών περιοχής μελέτης. Πηγή: meteo.gr

A/A	Περιοχή σταθμού	Latitude	Longitude	Altitude
1	Φινοκαλιά Λασιθίου	35.33550° N	25.66720° E	250m
2	Άγιος Νικόλαος	35.19140° N	25.72090° E	30m
3	Ποταμοί Λασιθίου	35.20932° N	25.53040° E	865m
4	Νεάπολη Λασιθίου	35.25683° N	25.60622° E	265m

Πίνακας 3: Μέσος όρος Βροχόπτωσης μετεωρολογικών σταθμών περιοχής ευθύνης.

Σταθμοί	Μ.Ο Βροχόπτωσης(mm)	Υδρολογικά Έτη
Άγιος Νικόλαος	462,04	2010-2020
Φινοκαλιά	411,73	2015-2020
Νεάπολη	686,70	2019-2020
Ποταμοί	94,25	2019-2020

Σύμφωνα με τον Κλιματικό Άτλαντα της Ελλάδος από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία προκύπτει ο Χάρτης Υετού για την περιοχή μελέτης (Εικόνα 14) με δεδομένα τα Έτη 1971-2000.



Εικόνα 2.15: Χάρτης Υετού (1970-2000) Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Κλιματικός Άτλαντας της Ελλάδος.

Στην Εικόνα 14 παρατηρείται χαμηλή κατακρήμνιση στις παράκτιες περιοχές ενώ σταδιακά το μέγεθος αυξάνεται έως και $> 2000mm$ στην περιοχή του Όρους Δίκτη που έχει μέσο υψόμετρο 800m και το Ανατολικότερο άκρο του ξεπερνάει τα 2000m σε ύψος.

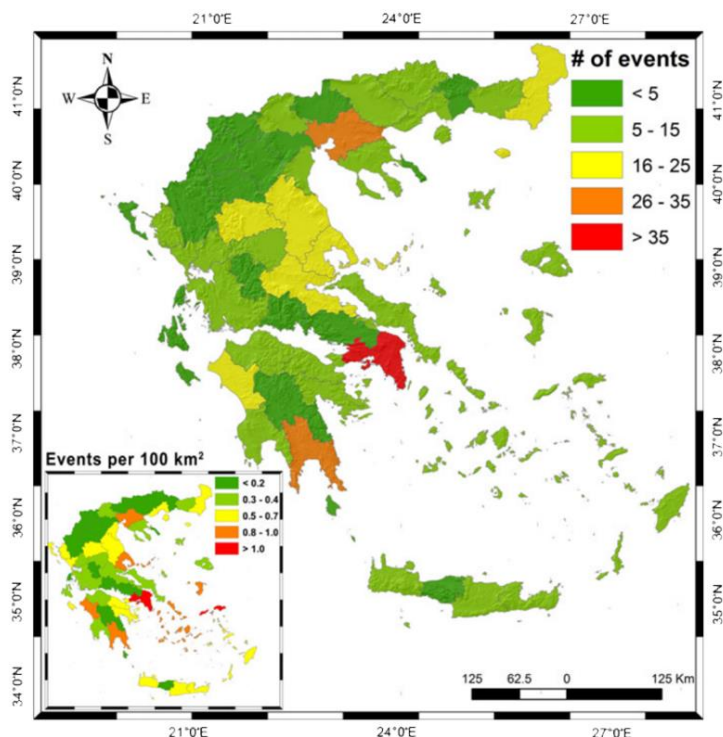
2.1.6 Ιστορικό πλημμυρών

Στην Βάση Καταγραφής Ιστορικών Πλημμυρών του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, δεν αναφέρεται κάποιο ιστορικό πλημμυρικό γεγονός το οποίο να είχε σημαντικές οικονομικές ζημιές ή επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή ωστόσο καταγραφές στον Νομό Λασιθίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Τα γεγονότα αυτά χαρακτηρίστηκαν χαμηλού βαθμού οικονομικών επιπτώσεων σε ακίνητη περιουσία ενώ μεσαίου βαθμού σε περιοχές με αγροτικές καλλιέργειες.

Πίνακας 4: Πλημμυρικά φαινόμενα Ν. Λασιθίου, Πηγή: Βάση Καταγραφής Ιστορικών Γεγονότων ΥΠΕΚΑ

Τοποθεσία	Ονομασία Γεγονότων	Αριθμός Γεγονότων	Τύπος Ζημιάς	Βαθμός Ζημιάς
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΣΗΤΕΙΑ	ΣΗΤΕΙΑ 20.11.1932	1	Economic	Unknown
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ	ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ 01.12.01	1	Economic: Property	Low
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΚΑΤΩ ΜΕΤΟΧΙΟΥ	ΚΑΤΩ ΜΕΤΟΧΙΟΥ 01.12.01	1	Economic: Property	Low
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΛΑΓΟΥ	ΛΑΓΟΥ 01.12.01	1	Economic: Property	Low
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΜΕΣΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	ΜΕΣΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ 01.12.01	1	Economic: Property	Low
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΤΖΕΡΜΙΑΔΟΥ	ΤΖΕΡΜΙΑΔΟΥ 01.12.01	1	Economic: Property	Low
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΨΥΧΡΟΥ	ΨΥΧΡΟΥ 01.12.01	1	Economic: Property	Low
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΑΓ. ΙΩΑΝΝΟΥ	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΟΥ 26.05.03	1	Economic: Property	Low
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΚΑΤΩ ΧΩΡΙΟΥ	ΚΑΤΩ ΧΩΡΙΟΥ 26.05.03	1	Economic: Property	Low
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΣΧΙΝΟΚΑΨΑΛΩΝ	ΣΧΙΝΟΚΑΨΑΛΩΝ 26.05.03	1	Economic: Property	Low
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ 03.12.01	2	Economic: Rural Land Use	Medium
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	ΟΡΟΠΕΔΙΟΥ ΛΑΣΙΘΙΟΥ 04.05.2000	2	Economic: Rural Land Use	Low
Ν. ΛΑΣΙΘΙΟΥ, ΖΗΡΟΥ	ΖΗΡΟΥ 18.08.2002	1	Economic: Rural Land Use	Medium

Σύμφωνα με την έρευνα (Diakakis, et al., 2012) στην Εικόνα 15 αναφέρεται ότι την χρονική περίοδο 1880-2010 υπήρξαν τουλάχιστον 5-15 πλημμυρικά φαινόμενα στον Νομό Λασιθίου.

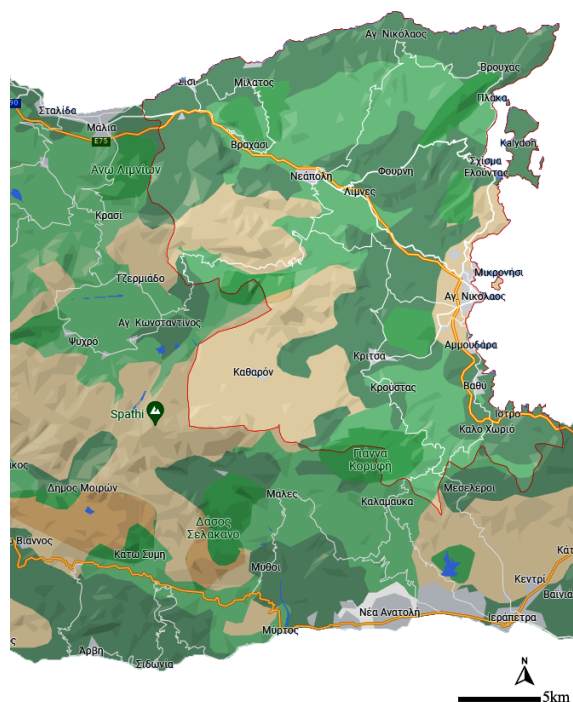


Εικόνα 16: Distribution of floods across Greece expressed as the number of events per administrative unit for the period 1880-2010. In the lower left corner distribution of events is expressed as the number of events per 100km² in each of these units

2.2 Ανθρωπογενή χαρακτηριστικά

2.2.1 Διοίκηση

Η περιοχή μελέτης ανήκει στην Περιφέρεια Κρήτης στον Νομό του Λασιθίου. Το μεγαλύτερο κομμάτι ανήκει στον Δήμο Αγίου Νικολάου ενώ ένα μικρό κομμάτι στον Δήμο Οροπεδίου Λασιθίου.



Εικόνα 17: Δήμος Αγ. Νικολάου, Νομός Λασιθίου.

2.2.2. Πληθυσμός

Πίνακας 5: Μόνιμος πληθυσμός (2001,2011) Δήμου Αγίου Νικολάου. Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ

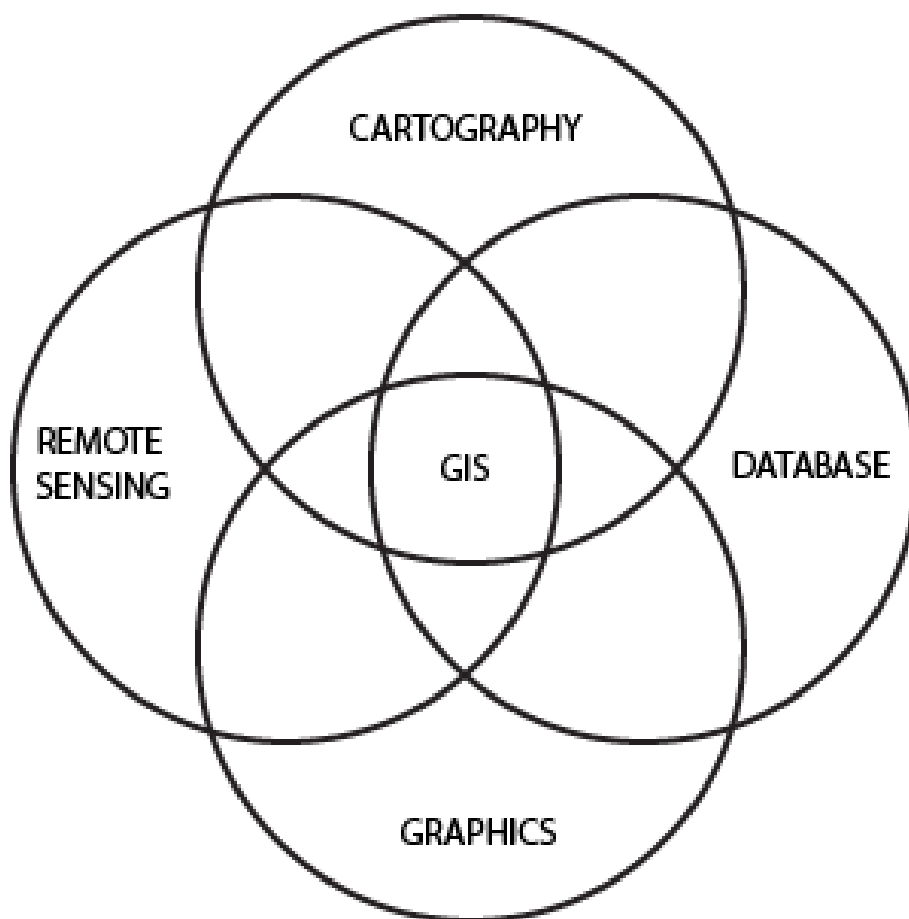
Τοποθεσία	Μόνιμος Πληθυσμός 2001	Μόνιμος Πληθυσμός 2011
ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ (Έδρα: Άγιος Νικόλαος, Ιστορική έδρα: Νεάπολις)	26.069	27.074

Μόνιμος Πληθυσμός θεωρείται το σύνολο των ατόμων που έχουν ζήσει συνεχώς στον τόπο της συνήθους διαμονής τους για περίοδο τουλάχιστον 12 μηνών πριν την ημερομηνία αναφοράς της απογραφής ή έφτασαν στον τόπο συνήθους διαμονής τους κατά τους τελευταίους 12 μήνες πριν την ημερομηνία αναφοράς με την πρόθεση να παραμείνουν εκεί για τουλάχιστον 1 χρόνο. (www.ierapetra.gov.gr, 2013).

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι μια συλλογή hardware, λογισμικού, γεωγραφικών πληροφοριών και σχεδίων η οποία σε συγκεκριμένη διάταξη είναι διαθέσιμη για αποθήκευση, αναβάθμιση, επεξεργασία, ανάλυση και επίδειξη σε οποιαδήποτε μορφή δεδομένων. (Singh & Fiorentino, 1996) Έχουν εφαρμογή σε διάφορα επιστημονικά πεδία με εκτεταμένη χρήση σε θέματα που αφορούν τη φύση, την άγρια ζωή, τις φυσικές πηγές, τις μάζες νερού, τα ποταμών κ.λ.π. Τα ΓΣΠ με την ενσωμάτωση μεθόδων τηλεπισκόπησης (Remote Sensing) έχουν την δυνατότητα να απεικονίσουν ζωντανά (real time) περιβάλλοντα τα οποία με γεωστατιστικούς μεθόδους και προσεγγίσεις, για χωρική και μη χωρική ανάλυση να παράγουν αποτελέσματα που ικανοποιούν τις ανάγκες του χρήστη. (Paramasivam, 2019)



Εικόνα 18: Αλληλεξάρτηση μεταξύ κλάδων ΓΣΠ

3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΓΣΠ και γεωστατιστικών μεθόδων.

Η χρήση των ΓΣΠ είναι αναπόφευκτη σχεδόν σε όλες τις γεωχωρικές εφαρμογές. Λόγω της γρήγορα αναπτυσσόμενης τεχνολογίας των ΓΣΠ υπάρχει τεράστιο ενδιαφέρον διερεύνησης της οικονομικής και ερευνητικής τους αξίας. Για τους λόγους αυτούς είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα των ΓΣΠ:

Η απεικόνιση της χωρικής πληροφορίας γίνεται εύκολα να παραχθεί μέσω των χαρτών με υπόμνημα, διαφορετικούς χρωματισμούς και μοτίβα.

Υπάρχει δυνατότητα να δημιουργηθούν διάφοροι θεματικοί χάρτες με δυνατότητες αναβάθμισης και επεξεργασίας. (Η ακρίβεια της πληροφορίας των χαρτών εξαρτάται από την ποιότητα των εισερχόμενων δεδομένων)

Τα ΓΣΠ είναι ένα πολύ καλό εργαλείο για την λήψη αποφάσεων (decision-making) σε διάφορους κλάδους καθώς προσφέρουν την δυνατότητα της απεικόνισης, διαχείρισης και επίβλεψης ενός συστήματος σε όλο του το σύνολο.

Με μεθόδους ΓΣΠ γίνεται εφικτή η πρόβλεψη, εκτίμηση ρίσκου και εύρεση τοποθεσιών με μεγάλο κίνδυνο από φυσικές καταστροφές. Επίσης ενσωματώνονται δεδομένα χωρικής και μη χωρικής πληροφορίας με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη κατανόηση των έκτακτων συνθηκών από τα φαινόμενα αυτά όπως και επίσης υποστηρίζεται η ανάλυση και η δημιουργία λύσεων για πρόβλεψη και μείωση τους.

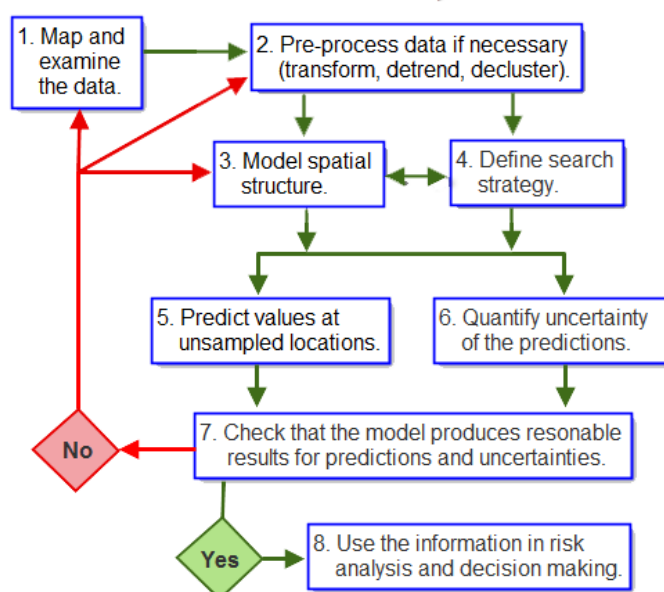
Οι τεχνολογίες ΓΣΠ βελτιώνουν τα σύνολα δεδομένων, τα μοντέλα δεδομένων, και την σχέση μεταξύ των ιδιοτήτων τους. (Singh & Fiorentino, 1996)

Μειονεκτήματα των ΓΣΠ:

- Υψηλό κόστος: Η εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων είναι αρκετά περίπλοκη με μεγάλο κόστος εξοπλισμού καθώς και μεγάλο κόστος εκπαίδευσης για τα συστήματα αυτά.
- Παράμετροι σε πραγματικό χρόνο: Η διαχείριση του συνεχώς αυξανόμενου όγκου δεδομένων και πληροφορίας είναι σημαντική πρόκληση για τα ΓΣΠ
- Γεωγραφικά σφάλματα μεγάλης κλίμακας δεδομένων: Η ποιότητα των δεδομένων επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια των αποτελεσμάτων του τελικού προϊόντος
- Μερική απώλεια ανάλυσης
- Ακρίβεια και ορθότητα: Οι πιο σημαντικές παράμετροι στην δημιουργία χαρτών. Επίσης μπορεί τα μη χωρικά δεδομένα να είναι μη ορθά ή να είναι ανακριβή με αποτέλεσμα η τελική πληροφορία να περιέχει μεγάλο ποσοστό σφάλματος.
- Παραβίαση της προσωπικής ζωής: Η χρήση των δεδομένων που γίνεται δεν περιορίζεται σε εξουσιοδοτημένους χρήστες.
- Μια ιδέα επιρρεπής σε σφάλματα είναι αρκετά πιθανό να οδηγήσει σε σφάλμα του συστήματος έχοντας σημαντικές οικονομικές συνέπειες σε αυτόν που την υλοποιεί.
- Έλλειψη εξειδικευμένων εκπαιδευτικών στον κλάδο αυτό.
(Paramasivam, 2019)

Η Γεωστατιστική έχει εδραιωθεί και αναπτυχθεί τις τελευταίες τρεις δεκαετίες με μεγάλη εφαρμογή στην περιβαλλοντική έρευνα και τεχνολογία. Αποτελεί κομμάτι της χωρικής ανάλυσης και περιλαμβάνει ένα πλήθος στατιστικών μεθόδων. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται αντιπροσωπεύουν φυσικές ποσότητες οικονομικής ή περιβαλλοντικής σημασίας. Οι μέθοδοι αυτοί βασίζονται στην υπόθεση ότι η χωροχρονική μεταβλητότητα (spatiotemporal variability) εμπεριέχει ένα τυχαίο στοιχείο το οποίο έχει συσχέτιση χώρου-χρόνου, έτσι στατιστικοί συντελεστές όπως π.χ. μέση τιμή, τυπική απόκλιση κ.λ.π χρησιμοποιούνται για να εξάγουν πληροφορία από τα διαθέσιμα δεδομένα. Η Γεωστατιστική ασχολείται με κατανομές που το πρωταρχικό χαρακτηριστικό τους είναι εξαρτημένο χωρικά. Η γεωστατιστική ανάλυση έχει ως σκοπό την εκτίμηση στατιστικών παραμέτρων που καθορίζουν την χωρική και/ή χρονική κατανομή (spatial and/or temporal distribution) και εξάρτηση των μεταβλητών που έχουν σχέση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται εκτίμηση παραμέτρων (parameter inference). Οι παράμετροι αυτοί χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση (παρεμβολή) των μεταβλητών σε συγκεκριμένα σημεία στην περιοχή που εξετάζουμε χωρίς να υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα σε αυτήν. (Corzo & Varouchakis, 2019)

Κύριο μειονέκτημα των γεωστατιστικών μεθόδων είναι ότι το αποτέλεσμα βασίζεται στην ακρίβεια των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Τα σετ δεδομένων που χρησιμοποιούνται κατά την παρεμβολή μπορεί να εμπεριέχουν σφάλμα. Σημαντικό είναι επίσης ότι η επιλογή της μεθόδου που θα εκτελεστεί έχει σχέση με αρκετούς παράγοντες όπως ο προϋπολογισμός, οι διαθέσιμοι πόροι, το επίπεδο γνώσεων και εξειδίκευσης του χρήστη κλπ. Επίσης δεν μπορεί να υπάρξει σωστή δειγματοληψία λόγω της συνεχής αλλαγής μεγέθους των κελιών ή των ελλিপών/ ακατάλληλων διαθέσιμων δεδομένων. Τέλος για τα κελιά άγνωστων διαστάσεων εκτελείται η μέθοδος με υποθετική τιμή. (Paramasivam, 2019)



Εικόνα 19:Geostatistical workflow Πηγή: pro.arcgis.com

3.3 Περιγραφή Λογισμικού ArcGIS

Το λογισμικό που χρησιμοποιείται ονομάζεται ArcGIS της ESRI. Το ArcGIS Desktop είναι η κύρια εφαρμογή που χρησιμοποιείται από επαγγελματίες για την σύνταξη, συγγραφή και χρήση γεωγραφικών πληροφοριών. Διαθέτει τρία λειτουργικά επίπεδα και περιλαμβάνει μια σουίτα εφαρμογών το ArcMap, το ArcCatalog, το ArcToolbox και το ArcGlobe.

Το ArcMap αποτελεί την κύρια εφαρμογή του ArcGIS, είναι μια ολοκληρωμένη εφαρμογή συγγραφής χαρτών και χρησιμοποιείται για χαρτογράφηση και επεξεργασία, ανάλυση και αναζήτηση. Η γεωγραφική πληροφορία αναπαρίσταται ως μια συλλογή από στρώματα (layers) σε ένα χάρτη τα οποία αποτελούν το σύνολο των δεδομένων. Επίσης το ArcMap αποτελεί το εργαλείο για εκτύπωση και δημοσίευση.

Το ArcCatalog είναι εργαλείο που βοηθάει στην οργάνωση και διαχείριση των γεωγραφικών πληροφοριών όπως χάρτες, αρχεία δεδομένων γεωβάσεις δεδομένων εργαλεία γεωεπεξεργασίας, μεταδεδομένα και άλλες υπηρεσίες ΓΣΠ. Τα εργαλεία που περιλαμβάνει αφορούν την περιήγηση και εύρεση γεωγραφικών πληροφοριών. Καταγραφή, προβολή και διαχείριση μεταδεδομένων. Εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων. Αναζήτηση δεδομένων ΓΣΠ σε τοπικά δίκτυα και στον Παγκόσμιο Ιστό και διαχείριση βάσεων δεδομένων ΓΣΠ.

Το ArcToolbox είναι μία συλλογή από εργαλεία γεωεπεξεργασίας για ανάλυση, επεξεργασία και μετατροπή δεδομένων. Περιέχει εργαλείοθήκες όπου με την σειρά τους περιέχουν σετ εργαλείων τα οποία διαθέτουν μοναδικά εργαλεία για διεργασίες γεωεπεξεργασίας που χρησιμοποιούνται στην χωρική ανάλυση. (ESRI, 2006)

3.4 Εκτιμώντας την Επικινδυνότητα με την χρήση ΓΣΠ

Βασική αρχή της εκτίμησης κινδύνου είναι ότι ο κίνδυνος που οφείλεται σε φυσικές καταστροφές όπως σεισμοί, τυφώνες, πλημμύρες είναι εξαρτημένος χωρικά και γίνεται με κάποια αποδεκτά όρια αβεβαιότητας όταν υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα διαθέσιμα. Η εκτίμηση κινδύνου των φυσικών καταστροφών χωρίζεται σε δύο μέρη, την επικινδυνότητα και την τρωτότητα (το πόσο ευάλωτη είναι η περιοχή που μελετάτε). Ο κίνδυνος έχει ως μέτρο την ένταση του φαινομένου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Για παράδειγμα οι παραθαλάσσιες περιοχές έχουν μεγαλύτερο δυναμικό κινδύνου πλημμύρας από ότι οι περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Η τρωτότητα μετράτε ως η ζημία που μπορεί να προκαλέσει ο κίνδυνος στην ακίνητη περιουσία (σπίτια, κτήρια, υποδομές, υπηρεσίες) της περιοχής.

Τα ΓΣΠ σε συνεργασία με τις τηλεπισκοπικές μεθόδους (remote sensing) και την φωτογραμμετρία (photogrammetry) έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως μέσο αναγνώρισης του κινδύνου. Αυτό γίνεται με βάση την πληροφορία που υπάρχει διαθέσιμη αφού επεξεργαστεί κατάλληλα. Με την πληροφορία αυτή γίνεται εφικτή η δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας με σκοπό την ανάδειξη περιοχών που είναι ευάλωτες σε κινδύνους φυσικών καταστροφών. Η χρήση των χαρτών αυτών είναι υψίστης σημασίας καθώς χρησιμοποιούνται από τις αρμόδιες αρχές για την πρόληψη, προστασία και διαχείριση των φαινομένων καθώς και των επιπτώσεων τους. Τα ΓΣΠ

μπορούν επίσης να διατηρούν προγράμματα εκτίμησης κινδύνου που επιτρέπουν στους αρμόδιους να κάνουν προσομοίωση καταστροφικών σεναρίων με σκοπό την ανάδειξη πιθανών ζημιών και περιοχών που επηρεάζονται από τα φαινόμενα αυτά. (Lavakare, 2010)

3.5 Μεθοδολογία Δημιουργίας Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας

Σε αυτή την εργασία για τον προσδιορισμό της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας έγινε η χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με συνδυασμό πολυκριτηριακής ανάλυσης. Αρχικά θεωρήθηκαν πέντε διαφορετικά επίπεδα επικινδυνότητας (Risk Levels), Πολύ υψηλή, υψηλή, μέτρια, χαμηλή, πολύ χαμηλή. Το κάθε επίπεδο περιγράφει την πιθανότητα πλημμυρικού φαινομένου σε ένα υδρολογικό έτος.

Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση πιθανοτήτων πλημμυρικών φαινομένων (Kourgialas & Karatzas, 2016)

2% πιθανότητα (50-year return period)	Πολύ υψηλή (Very High)
1% πιθανότητα (100-year return period)	Υψηλή (High)
0,5% πιθανότητα (200-year return period)	Μέτρια (Moderate)
0,2% πιθανότητα (500-year return period)	Χαμηλή (Low)
<0,2% πιθανότητα (>500-year return period)	Πολύ Χαμηλή (Very Low)

Η δημιουργία του Χάρτη Επικινδυνότητας έγινε με τον συνδυασμό έξι θεματικών χαρτών – παραγόντων οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με πλημμυρικά φαινόμενα. Οι παράγοντες συνδέονται μεταξύ τους με γραμμικές αλγεβρικές συναρτήσεις αναθέτοντας τους συντελεστές βαρύτητας. Οι έξι θεματικοί χάρτες – παράγοντες δημιουργήθηκαν στο περιβάλλον του ArcGis και είναι οι εξής: α) Υψόμετρο (Elevation), β) Κλίση (slope), γ) Χρήσεις Γης (Land use), δ) Συγκέντρωση Ροής (Flow Accumulation), ε) Γεωλογία (Geology) και στ) Ένταση Βροχόπτωσης (Rainfall Intensity). Οι παράγοντες Ένταση Βροχόπτωσης, Κλίση, Υψόμετρο και Συγκέντρωση Ροής εκφράζονται με αριθμητικές τιμές ενώ η Γεωλογία και Χρήσεις Γης εκφράζονται περιγραφικά. Κάθε παράγοντας κατηγοριοποιείται σε πέντε επίπεδα επικινδυνότητας (Risk Levels): Πολύ Υψηλή, υψηλή, μέτρια, χαμηλή, πολύ χαμηλή. Οι παράγοντες που εκφράζονται αριθμητικά κατηγοριοποιούνται με βάση την μέθοδο Jenks Natural Breaks. Αυτή η μέθοδος έχει σχεδιαστεί με σκοπό τον προσδιορισμό της καλύτερης διάταξης των τιμών σε διαφορετικές κλάσεις. Αυτό επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση της μέσης απόκλισης κάθε κλάσης από τον μέσο όρο της κλάσης μεγιστοποιώντας την απόκλιση από την μέση των άλλων κλάσεων. (Chen, et al., 2013)

Για τους παράγοντες που εκφράζονται περιγραφικά η κατηγοριοποίηση εξαρτάται από τον βαθμό που επηρεάζουν το πλημμυρικό φαινόμενο, για παράδειγμα περιοχές με αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς ή περιοχές με περιορισμένη κάλυψη γης υποδεικνύουν πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα στους παράγοντες Γεωλογία και Χρήσεων Γης αντίστοιχα.

Στην συνέχεια δημιουργείται για κάθε παράγοντα σύστημα αξιολόγησης των επιπέδων επικινδυνότητας (Risk Levels) αναθέτοντας αριθμητικές τιμές με τον εξής τρόπο:

Πολύ Υψηλή= 10, Υψηλή= 8, Μέτρια= 5, Χαμηλή = 2, Πολύ Χαμηλή = 1

Επειδή οι παράγοντες επηρεάζουν σε διαφορετικό βαθμό τα πλημμυρικά φαινόμενα γίνεται ανάλυση συσχέτισης αναθέτοντας έτσι διαφορετικό συντελεστή βάρους στον καθένα από αυτούς. Λόγω της συσχέτισης που έχουν οι παράγοντες μεταξύ τους καθώς κάποιοι παράγοντες επηρεάζουν άλλους γίνεται διαχωρισμός με βάση την επίδρασή τους σε *a*) μεγάλη επίδραση (major effect) και *b*) μικρή επίδραση (minor effect).

Μεγάλη επίδραση σημαίνει ότι ο πρώτος παράγοντας έχει άμεση επίδραση σε έναν άλλον όπου βαθμολογείται με 1 πόντο. Μικρή επίδραση σημαίνει ότι ο πρώτος παράγοντας έχει έμμεση επίδραση σε κάποιον άλλον με βαθμολόγηση 0.5 πόντους. Έτσι η συνολική βαθμολογία του κάθε παράγοντα προκύπτει από το άθροισμα των επιδράσεων που του αναλογούν. Η επιλογή των παραγόντων (Factor) , την κατηγοριοποίησης των επιπέδων επικινδυνότητας (Risk Levels) και του συντελεστή επίδρασης (Factor Rate) έγινε με βάση την βιβλιογραφία και της προσέγγισης Delphi. (Eimers, et al., 2000) (Kourgialas & Karatzas, 2011) (Yahaya, et al., 2010) (Kourgialas & Karatzas, 2016)

Πίνακας 7: Αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την Πλημμυρική Επικινδυνότητα (Kourgialas & Karatzas, 2016)

Factor Changing	Major Effect	Minor Effect	Factor Rate
Flow accumulation (F)	(L)	(S)	1.5pts (1major+1minor)
Slope (S)	(F), (L)		2.0pts (2major+0minor)
Land use (L)	(F), (R)	(G), (S)	3.0pts (2major+2minor)
Rainfall Intensity (R)	(F)	(L)	1.5pts (1major+1minor)
Geology (G)	(L), (S), (F)		3.0pts (3major+0minor)
Elevation (E)	(R), (L), (G), (F)	(S)	4.5pts (4major+1minor)

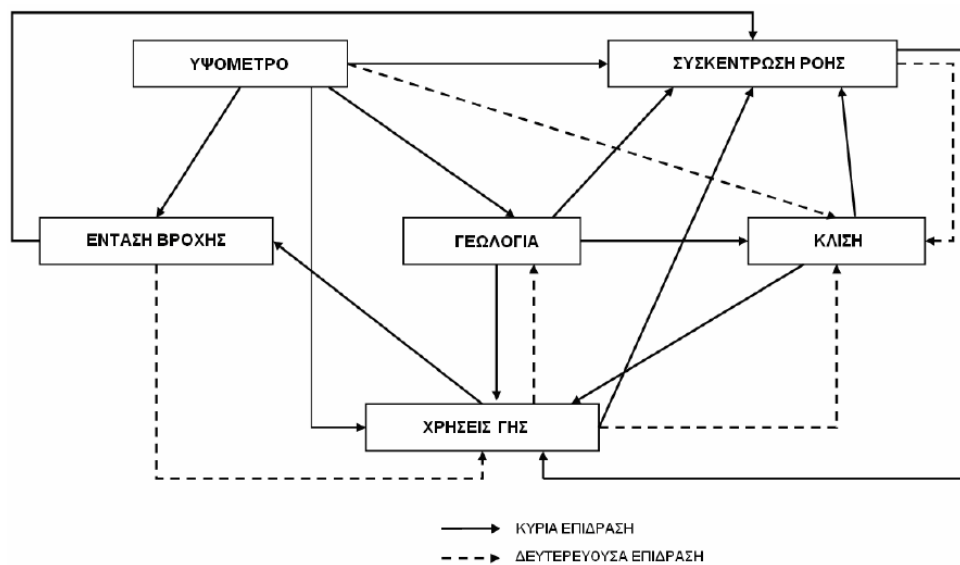
Επόμενο στάδιο είναι ο υπολογισμός του ποσοστού που επηρεάζει ο κάθε παράγοντας. Αρχικά υπολογίζεται το γινόμενο του Συντελεστή Επίδρασης (Factor Rate) με κάθε Επίπεδο Επικινδυνότητας (Risk Level) με το συνολικό άθροισμά τους να παράγει το Συνολικό Βάρος (Total Weight) του κάθε παράγοντα. Στην συνέχεια αθροίζονται όλα τα Συνολικά Βάρη των παραγόντων υπολογίζοντας έτσι το Συνολικό Βάρος όλων των παραγόντων. Το ποσοστό που επηρεάζει ο κάθε παράγοντας στο πλημμυρικό φαινόμενο της περιοχής προκύπτει από τον λόγο του συνολικού βάρους του κάθε παράγοντα προς το συνολικό βάρος όλων των παραγόντων. Για την δημιουργία του συνολικού χάρτη επικινδυνότητας με γραμμική προσέγγιση σταθμισμένων συντελεστών (weighted linear combination approach) όπου ο κάθε παράγοντας πολλαπλασιάζεται με το ποσοστό που επηρεάζει και στην συνέχεια υπολογίζεται το άθροισμά τους δημιουργώντας έτσι τον Χάρτη Επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης. (Kourgialas & Karatzas, 2016)

$$FREGLS = \sum X_i W_i = FW_f + SW_s + LW_L + RW_R + GW_G + EW_E$$

Όπου: X_i = ο χάρτης του κάθε παράγοντα

W_i = το βάρος που επηρεάζει ο κάθε παράγοντας

F = Flow accumulation, S = Slope, L = Land use, R = Rainfall intensity, G = Geology, E = Elevation.



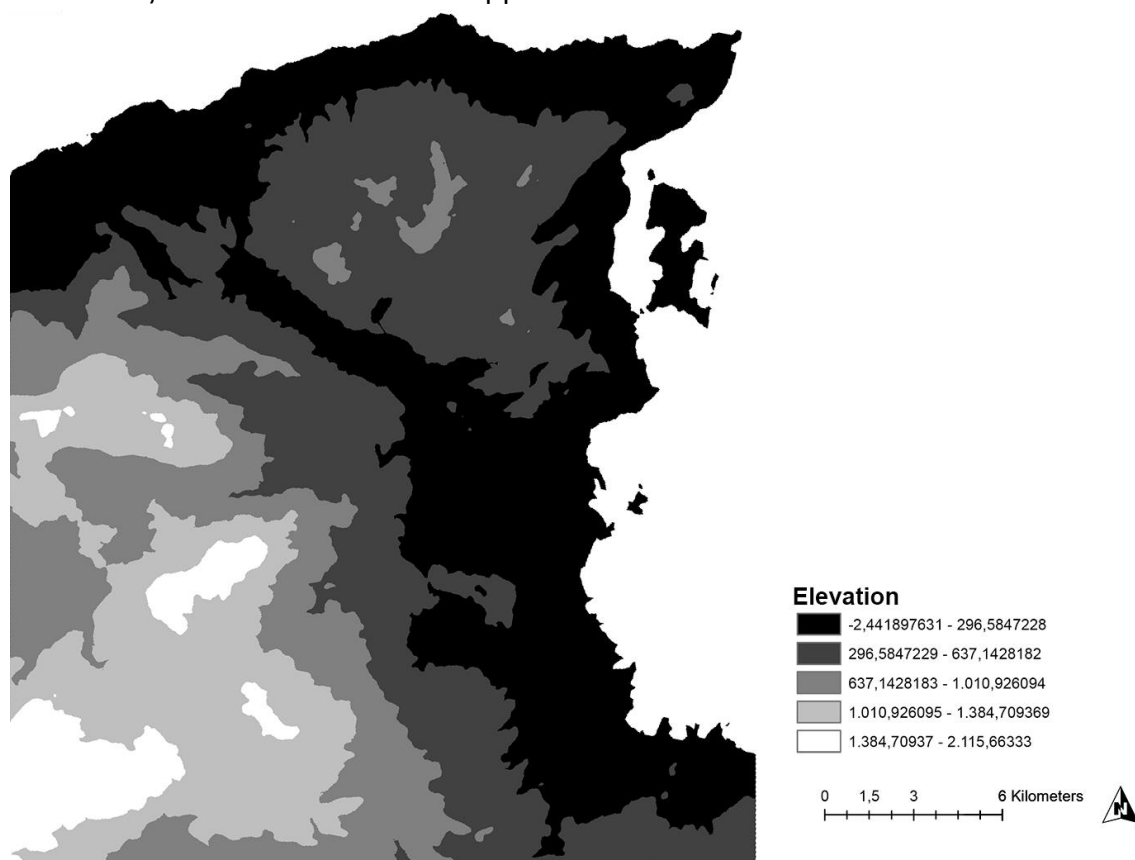
Εικόνα 20: Αλληλεπίδραση των παραγόντων που επηρεάζουν το πλημμυρικό φαινόμενο.
 Πηγή: (Goumas, 2019)

3.6 Δεδομένα

3.6.1 Υψόμετρο (Elevation)

Ο παράγοντας – θεματικός χάρτης του υψόμετρου αποτελεί σημαντικό κομμάτι της διαδικασίας για την ανάλυση του κινδύνου καθώς είναι η βάση για την δημιουργία των υπόλοιπων θεματικών χαρτών. Με την βοήθεια φωτογραμμετρικών μεθόδων έχουν παραχθεί Ψηφιακά Μοντέλα Υψομέτρου (DEM – Digital Elevation Model) ικανά να αναπαραστήσουν το ανάγλυφο της περιοχής χωρίς να συμπεριλαμβάνουν κτήρια, φυτά κ.λ.π με μεγάλη ακρίβεια ώστε να αποτελέσουν εργαλείο για την διαδικασία της εκτίμησης του κινδύνου πλημμυρών. Η δημιουργία ενός Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρου γίνεται με πληθώρα υψομετρικών σημείων, γραμμών ασυνέχειας και αλλαγής κλίσεων (break lines) οι οποίες αποδίδουν τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και τις ανωμαλίες του εδάφους. Τα ΨΜΥ αποτελούν πρωταρχικής σημασίας δεδομένα και έχουν εφαρμογή σε πολλά πεδία όπως το περιβάλλον, η ενέργεια, οι υδραυλικές μελέτες, ο έλεγχος πλημμυρών, οι μελέτες τεχνικών έργων κ.λ.π.

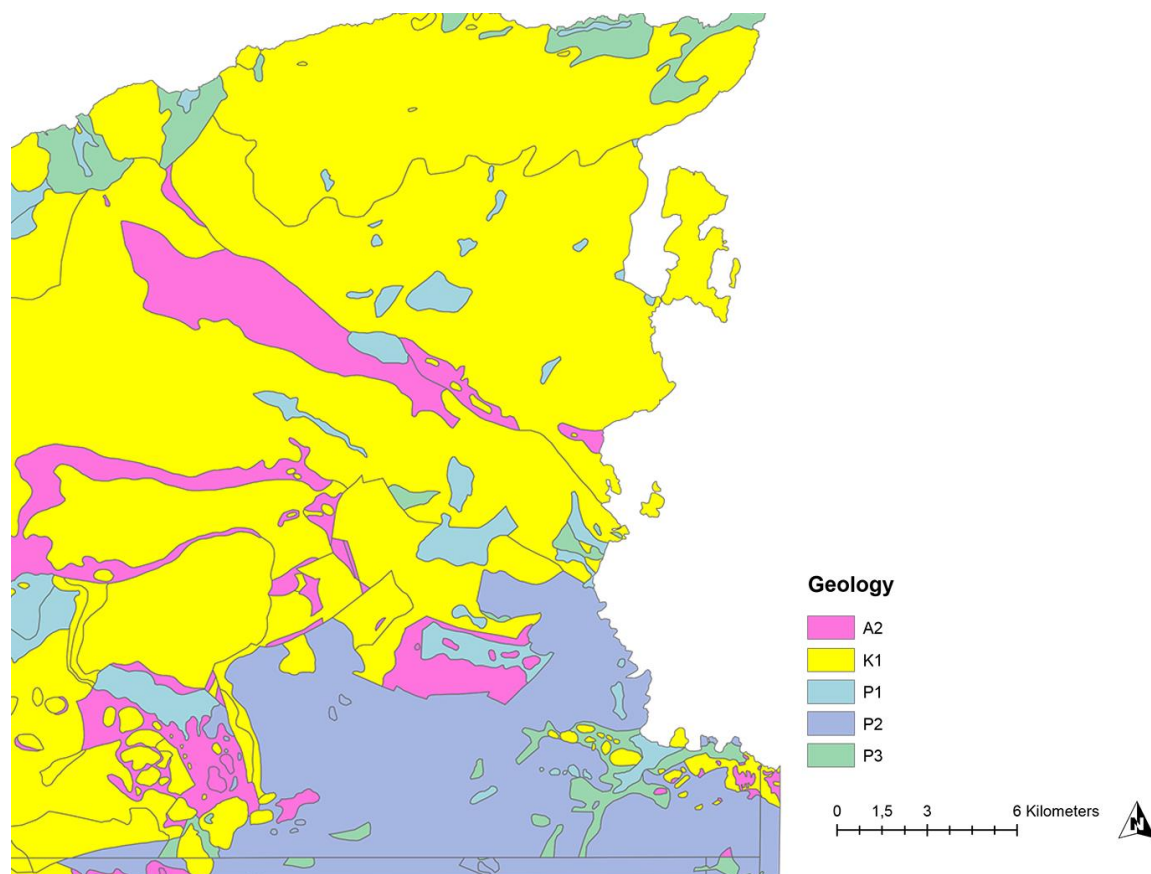
Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος διαθέτει αρχεία DEM για όλη την Ευρώπη. Το μεγαλύτερο κομμάτι της Ελλάδας στην βάση δεδομένων του ΕΟΠ έχει κωδικό E50N10 όπου από εκεί έγινε αποκοπή του DEM για την περιοχή μελέτης (Άγιος Νικόλαος) στο περιβάλλον του ArcGIS [*Analysis* → *Extract* → *Clip*]. Οι ισοϋψείς καμπύλες είναι σχεδιασμένες ανά 20m συμπεριλαμβάνοντας την ισοϋψή 10m. Τα δεδομένα DEM που τέθηκαν προς επεξεργασία έχουν μορφή Raster σχεδιασμένα με διαστάσεις κελιού 25m x 25m και εμβαδό 625m².



Εικόνα 21: Θεματικός Χάρτης Υψομέτρου (Elevation map) περιοχής Αγίου Νικολάου. (Μονάδες σε meters)

3.6.2 Γεωλογία (Geology)

Ο θεματικός χάρτης της Γεωλογίας ανακτήθηκε από τα διαθέσιμα δεδομένα της γεωλογίας της Κρήτης κάνοντας περικοπή την περιοχή μελέτης (*Analysis* → *Extract* → *Clip*). Τα δεδομένα είναι της μορφής Polygon. Με αυτή την μορφή υπάρχει η δυνατότητα διαχωρισμού της περιοχής σε τμήματα χαρακτηρίζοντας έτσι τους γεωλογικούς σχηματισμούς κάθε τμήματος περιγραφικά.



Εικόνα 22: Θεματικός Χάρτης Γεωλογίας

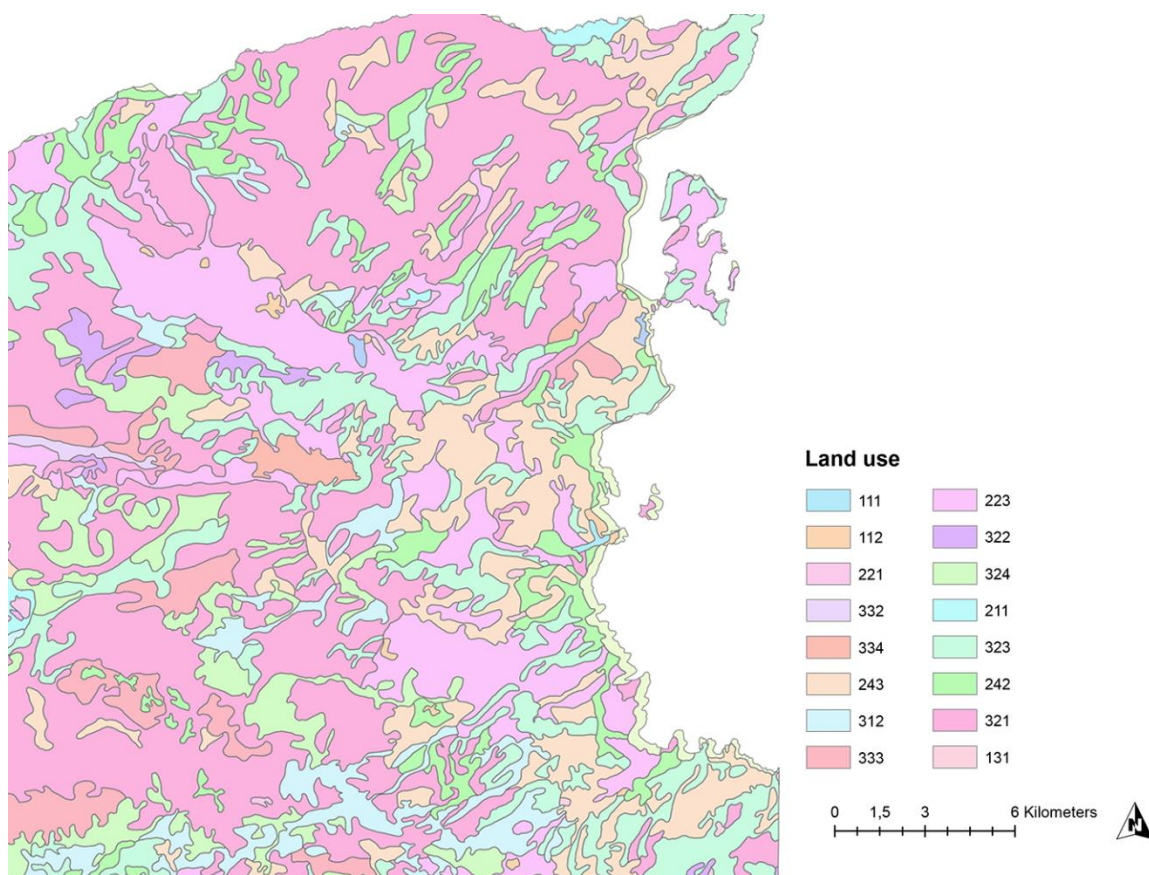
Η ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών έγινε με βάση την υδρολιθική τους συμπεριφορά και διαχωρίστηκαν στις εξής κατηγορίες (Περλέρος, et al., 2004):

- A2: Πρακτικά αδιαπέρατοι η εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας
- K1: Υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας. Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, μάρμαρα υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας.
- P1: Κοκκώδεις προσχωματικές κυρίως αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας. Περιλαμβάνονται αλλουβιακές αποθέσεις, ποτάμιες και θαλάσσιες αναβαθμίδες, κροκαλοπαγή ποτάμιας προέλευσης, πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων όταν έχουν έντονη εξάπλωση.
- 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. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι πλειοκαινικές και μειοκαινικές μάργες, καθώς και ο αδιαίρετος σχηματισμός του νεογενούς

3.6.3 Χρήσεις γης (Land use)

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πως χρησιμοποιείται η γη επιφανειακά καθώς οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες αλλάζουν σημαντικά το ανάγλυφο της περιοχής επηρεάζοντας τις απορροές και μειώνοντας την ικανότητα απορρόφησης νερού από το έδαφος αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο πλημμύρας. Η προμήθεια του θεματικού χάρτη έγινε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος και χρησιμοποιήθηκε υπόβαθρο του Corine Land Cover 2018 κάνοντας περικοπή την περιοχή ευθύνης με το εργαλείο *Clip* [Analysis → Extract → Clip]. Το αρχείο είναι τύπου Polygon – Shapefile έχοντας έτσι την δυνατότητα να χωρίζει σε τμήματα την περιοχή αποθηκεύοντας δεδομένα που εκφράζονται περιγραφικά γνωστοποιώντας ακριβώς πως χρησιμοποιείται κάθε τμήμα στην περιοχή μελέτης.



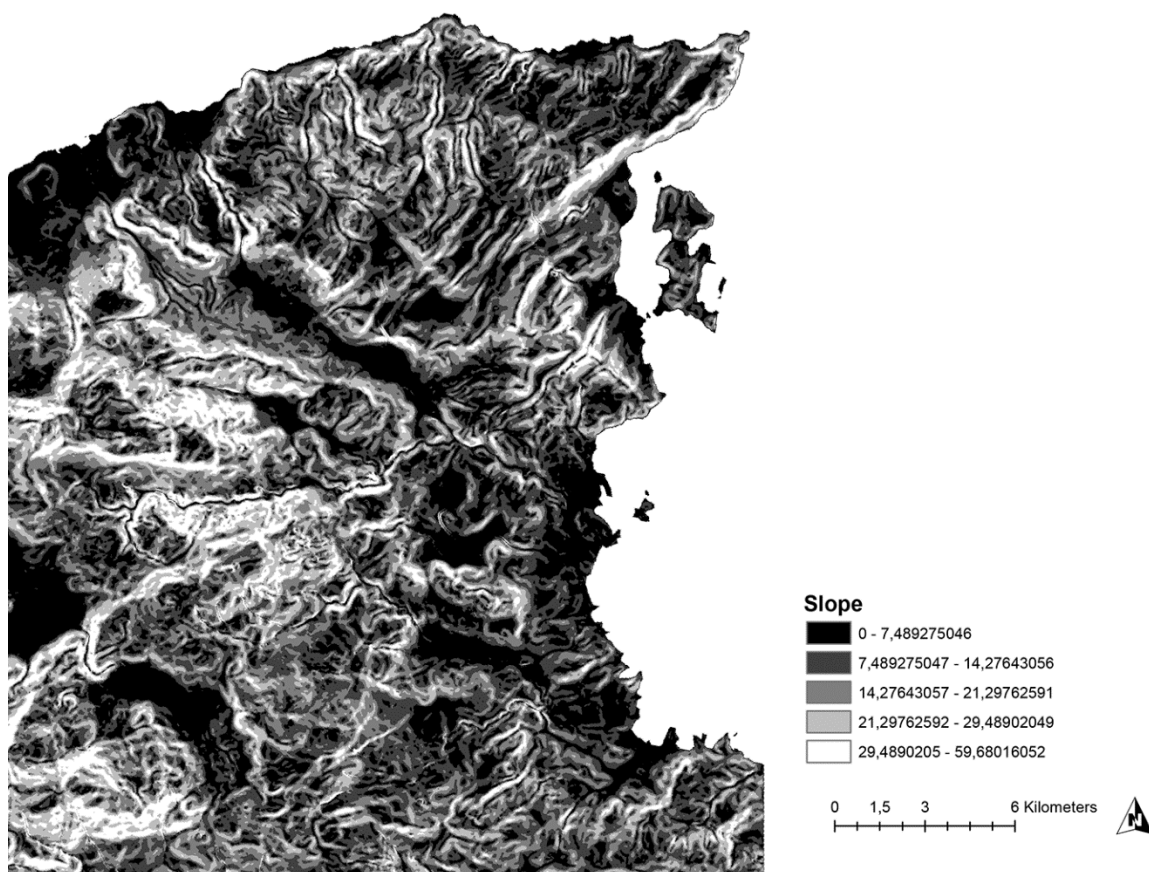
Εικόνα 23: Θεματικός Χάρτης Χρήσεων Γης (Corine Land use Cover 2018)

Πίνακας 8: Τύποι Χρήσεων γης με κωδικό (Corine Land use Cover 2018)

Κωδικός	Τύπος
111	Συνεχής αστική δόμηση
112	Διακεκομμένη αστική δόμηση
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη
221	Αμπελώνες
223	Ελαιώνες
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας
243	Εκτάσεις φυσικής βλάστησης
312	Δάσος κωνοφόρων
321	Φυσικοί βοσκότοποι
322	Θάμνοι και χερσότοποι
323	Σκληροφυλλική βλάστηση
324	Δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις
333	Αραιή βλάστηση
334	Αποτεφρωμένες εκτάσεις

3.6.4 Κλίση (Slope)

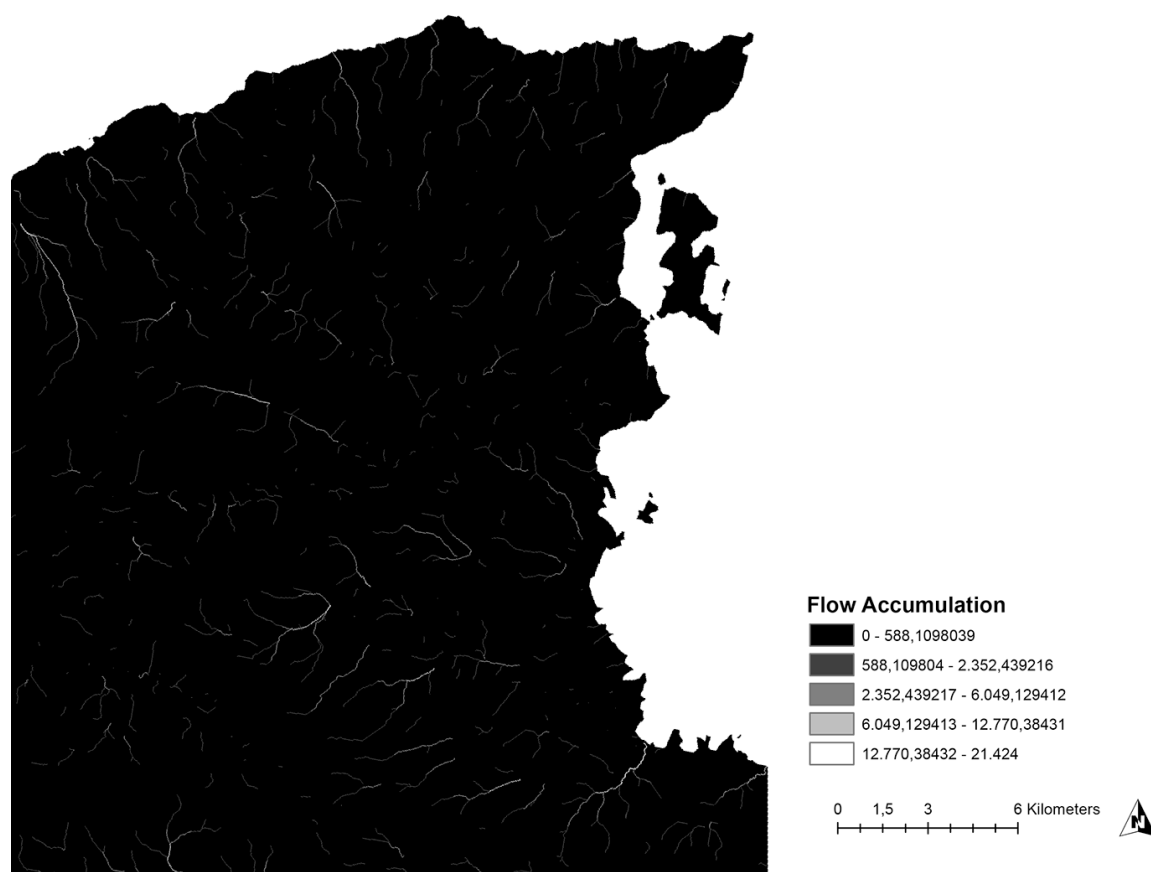
Η κλίση του εδάφους αποτελεί σημαντικό παράγοντα του κινδύνου πλημμύρας καθώς βοηθάει στην κατανόηση του ανάγλυφου της περιοχής και επειδή επηρεάζει άμεσα την κατεύθυνση των απορροών καθορίζοντας έτσι την συσσώρευση της ροής. Ο θεματικός χάρτης της κλίσης κατασκευάστηκε στο περιβάλλον του ArcGis χρησιμοποιώντας το DEM της περιοχής ευθύνης [*Spatial Analyst Tools* → *Surface* → *Slope*]. Το εργαλείο *Slope* αναγνωρίζει την κλίση κάθε κελιού ξεχωριστά και παράγει τον τελικό χάρτη. Έτσι κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης Κλίσης τύπου Raster με διάσταση κελιού 25 x 25. Οι τιμές έχουν μονάδα μέτρησης τις μοίρες.



Εικόνα 24: Θεματικός Χάρτης Κλίσης (Μονάδα μέτρησης σε μοίρες)

3.6.5 Συγκέντρωση ροής (Flow accumulation)

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της ροής είναι σημαντικό κομμάτι της ανάλυσης καθώς επηρεάζει άμεσα το φαινόμενο της πλημμύρας. Για την δημιουργία του θεματικού χάρτη Συγκέντρωσης Ροής έγινε η εξής διαδικασία. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ο θεματικός χάρτης της κλίσης όπου με το εργαλείο *Flow Direction* [*Spatial Analyst Tools* → *Hydrology* → *Flow Direction*] κατασκευάστηκε ένας χάρτης Raster με διαστάσεις 25x25 ο οποίος με μοντέλα ροής υπολογίζει την κατεύθυνση της ροής σύμφωνα με την κλίση των κελιών σε σχέση με των γειτονικών τους. Στην συνέχεια με το εργαλείο *Flow Accumulation* [*Spatial Analyst Tools* → *Hydrology* → *Flow Accumulation*] το οποίο χρησιμοποιεί τον χάρτη κατεύθυνσης ροής κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης Συγκέντρωσης Ροής χρησιμοποιώντας τα ίδια υδρολογικά μοντέλα.



Εικόνα 25: Θεματικός Χάρτης Συγκέντρωσης Ροής

3.6.6 Ένταση βροχόπτωσης

Η Βροχόπτωση είναι αρκετά σημαντικός παράγοντας για τα πλημμυρικά φαινόμενα καθώς αρκετές φορές συντελεί στην γένεση τους. Ο προσδιορισμός της Έντασης της Βροχόπτωσης με ακρίβεια είναι μια δύσκολη διαδικασία καθώς απαιτεί δεδομένα πολλών ετών όπου πολλές φορές δεν είναι διαθέσιμα.

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις μετεωρολογικοί σταθμοί (της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας) οι οποίοι βρίσκονται μέσα στην περιοχή ευθύνης και διαθέτουν αξιόπιστα δεδομένα. Οι σταθμοί ονομάζονται Φινοκαλιά Λασιθίου, Άγιος Νικόλαος, Ποταμοί Λασιθίου και Νεάπολη Λασιθίου.

Πίνακας 9: Μετεωρολογικοί σταθμοί Περιοχής Ευθύνης

A/A	Περιοχή σταθμού	Latitude	Longitude	Altitude
1	Φινοκαλιά Λασιθίου	35.33550° N	25.66720° E	250m
2	Άγιος Νικόλαος	35.19140° N	25.72090° E	30m
3	Ποταμοί Λασιθίου	35.20932° N	25.53040° E	865m
4	Νεάπολη Λασιθίου	35.25683° N	25.60622° E	265m



Εικόνα 26: Τοποθεσία μετεωρολογικών σταθμών στον Χάρτη

Πίνακας 10: Δεδομένα βροχόπτωσης σταθμού Αγίου Νικολάου (σε mm)

Άγιος Νικόλαος	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ιανουάριος	136,40	71,00	177,80	39,20	63,40	32,20	0,00	9,20	0,80	53,80	22,40
Φεβρουάριος	43,00	110,20	122,80	10,60	105,00	0,00	9,40	35,00	8,60	6,60	6,20
Μάρτιος	10,40	33,20	58,00	15,60	18,20	6,20	0,00	4,20	0,00	0,40	6,00
Απρίλιος	7,80	57,00	9,80	7,00	5,40	30,20	0,00	0,00	4,20	10,80	1,20
Μάιος	1,00	25,80	10,60	7,40	3,20	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
Ιούνιος	4,00	3,00	0,00	0,00	0,40	4,80	27,80	1,60	5,60	1,00	14,60
Ιούλιος	0,00	0,00	0,00	0,00	33,20	21,20	37,40	5,80	6,60	12,60	56,40
Αύγουστος	0,00	0,00	0,00	2,80	37,00	37,80	7,20	19,20	106,60	71,20	111,20
Σεπτέμβριος	4,00	4,00	1,60	3,80	7,00	18,40	93,40	32,00	113,00	132,40	117,60
Οκτώβριος	90,60	79,40	32,40	12,60	125,40	58,80	50,40	42,00	170,00	172,80	49,60
Νοέμβριος	44,40	7,20	45,60	165,20	280,20	35,60	7,60	52,80	163,60	54,60	47,40
Δεκέμβριος	149,00	54,80	59,20	39,60	142,40	29,40	99,20	17,80	48,40	64,80	34,20

Πίνακας 11: Δεδομένα βροχόπτωσης σταθμού Φινοκαλιά (σε mm)

Φινοκαλιά	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ιανουάριος	112,80	26,20	105,40	44,00	127,80	91,40
Φεβρουάριος	86,40	16,00	24,00	42,60	135,80	23,40
Μάρτιος	14,60	41,00	99,60	9,60	42,20	95,60
Απρίλιος	7,60	0,60	9,20	0,00	52,00	27,20
Μάιος	15,60	15,20	26,40	7,00	10,80	1,80
Ιούνιος	0,20	0,40	3,00	7,20	0,00	5,20
Ιούλιος	31,20	0,00	0,00	0,00	6,60	0,20
Αύγουστος	14,20	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00
Σεπτέμβριος	15,00	28,80	10,00	4,60	0,00	29,60
Οκτώβριος	14,20	20,20	16,60	4,60	33,80	149,80
Νοέμβριος	12,00	37,40	17,20	118,80	70,40	86,40
Δεκέμβριος	2,80	117,20	33,80	74,60	124,80	63,80

Νεάπολη	2019	2020
Ιανουάριος		199,40
Φεβρουάριος		83,40
Μάρτιος		114,00
Απρίλιος	40,40	82,00
Μάιος	3,80	19,40
Ιούνιος	0,00	15,00
Ιούλιος	17,40	0,60
Αύγουστος	0,00	0,00
Σεπτέμβριος	1,40	25,80
Οκτώβριος	29,60	99,00
Νοέμβριος	103,80	240,20
Δεκέμβριος	207,00	91,20

Πίνακας 12: Δεδομένα βροχόπτωσης Νεάπολης (σε mm)

Ποταμοί	2019	2020
Ιανουάριος		584,80
Φεβρουάριος		147,20
Μάρτιος		100,60
Απρίλιος		172,60
Μάιος	5,00	19,40
Ιούνιος	0,20	3,80
Ιούλιος	18,80	2,60
Αύγουστος	0,00	0,00
Σεπτέμβριος	3,60	22,80
Οκτώβριος	10,80	66,00
Νοέμβριος	71,60	455,00
Δεκέμβριος	268,80	119,00

Πίνακας 13: Δεδομένα βροχόπτωσης Ποταμοί (σε mm)

Στην συνέχεια για την κατασκευή του θεματικού χάρτη Έντασης βροχόπτωσης χρειάστηκε για κάθε σταθμό να υπολογιστεί ο δείκτης MFI (Modified Fournier Index).

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{p^2}{P}$$

Όπου: p = μέσος όρος μηνιαίας βροχόπτωσης και P μέσος όρος ετήσιας βροχόπτωσης

Πίνακας 14: Υπολογισμός Δείκτη MFI

Σταθμός	Μέσος Όρος Μηνών	Μέσος Όρος Ετών	MFI
Άγιος Νικόλαος	38,50	38,50	38,50
Φινοκαλιά	34,31	34,31	34,31
Νεάπολη	62,83	73,76	53,52
Ποταμοί	94,25	128,24	69,27

Για την κατασκευή του Θεματικού Χάρτη Έντασης Βροχόπτωσης έγινε χρήση του εργαλείου *IDW (Inverse Distance Weighted)* [*Spatial Analyst* → *Interpolation* → *IDW*]. Η παρεμβολή *IDW* είναι μία ντετερμινιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται συχνά στην χωρική ανάλυση. Λειτουργεί χρησιμοποιώντας ένα γραμμικά σταθμισμένο σύνολο σημείων (Sample points) με σκοπό τον προσδιορισμό σημείων που δεν γνωρίζει αποδίδοντας μεγαλύτερο βάρος στα σημεία που βρίσκονται πλησιέστερα στην θέση – στόχο.

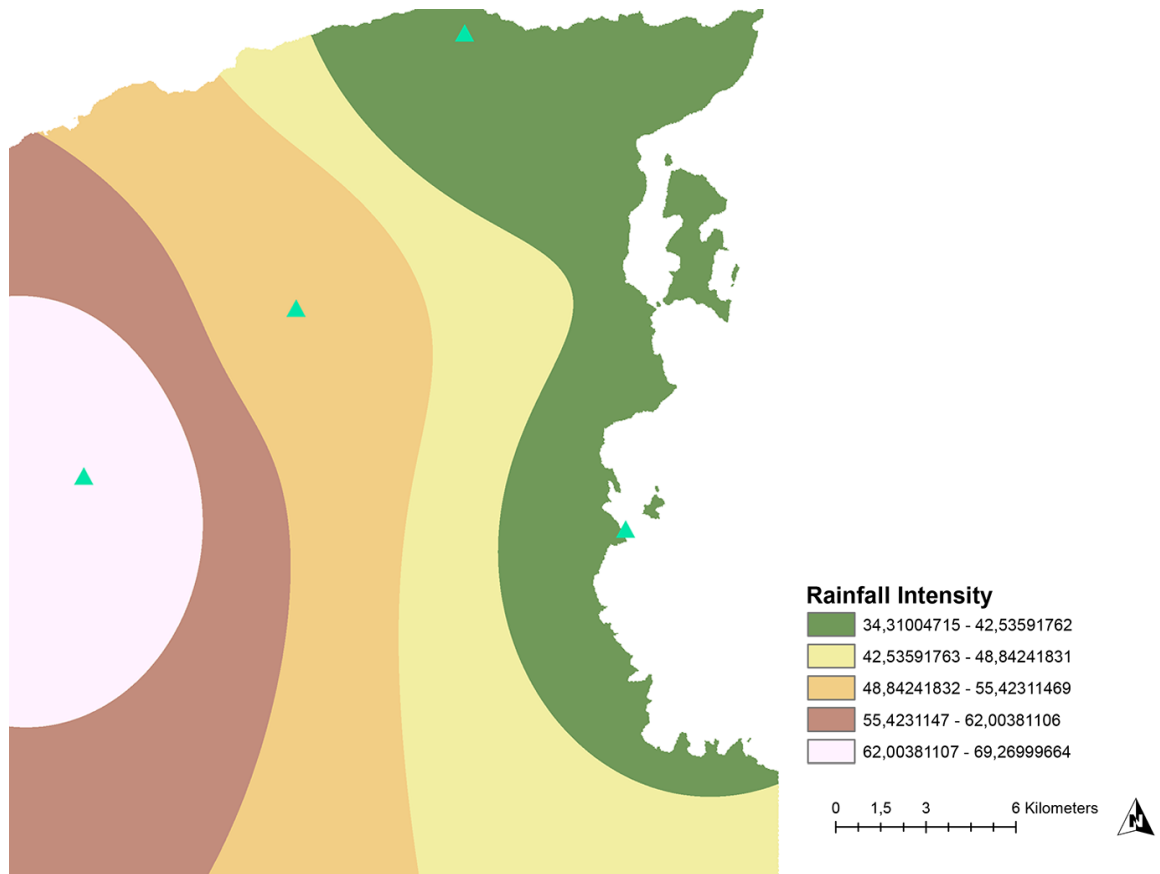
Η άγνωστη τιμή $Z(S_o)$, στο σημείο S_o υπολογίζεται με την εξίσωση:

$$Z(S_o) = \sum_{i=1}^n W_i Z(S_i)$$

Όπου n είναι ο σταθμός, $Z(S_i)$ είναι η τιμή των δειγμάτων S_i , και το W_i είναι το βάρος (συντελεστής) του S_i , το οποίο υπολογίζεται:

$$W_i = \frac{\frac{1}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k}},$$

Όπου d_i είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ των σημείων που γίνεται η παρεμβολή και των σημείων παρατήρησης, και k είναι ο συντελεστής επίδρασης της απόστασης όπου συχνά λαμβάνει τιμές 1 ή 2. Όταν χρησιμοποιείται $k = 2$ η μέθοδος ονομάζεται *Inverse Distance Squared Weighted Interpolation*. (Yang, et al., 2019)



Εικόνα 27: Θεματικός Χάρτης Έντασης Βροχόπτωσης

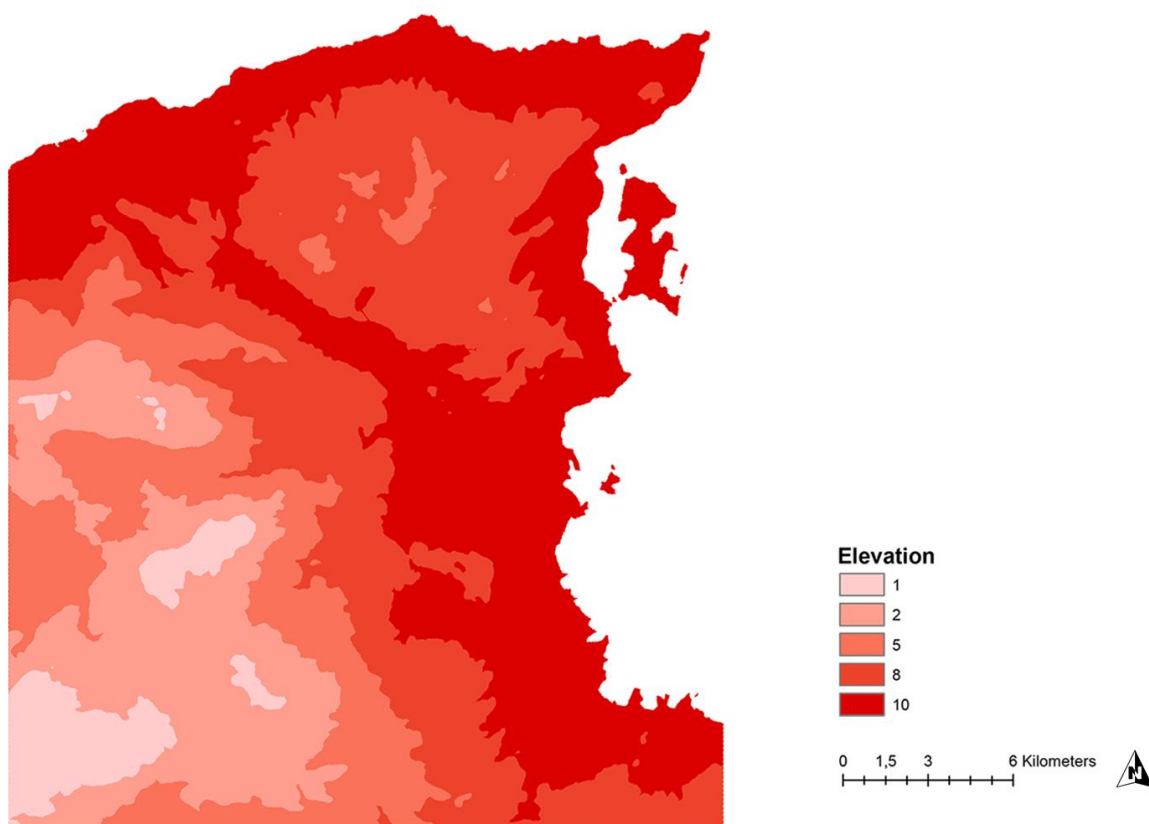
Στον θεματικό χάρτη Έντασης Βροχόπτωσης τα μπλέ σημεία συμβολίζουν την τοποθεσία των σταθμών στην περιοχή μελέτης.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Θεματικοί Χάρτες Πλημμυρικής επικινδυνότητας.

4.1.1 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Υψόμετρου (Elevation)

Για την κατασκευή του Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Υψόμετρου χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης του υψόμετρου. Με το εργαλείο *Reclassify* [*Spatial Analyst* → *Reclass* → *Reclassify*] κατηγοριοποιήθηκαν οι πέντε κλάσεις ανάλογα με το επίπεδο επικινδυνότητας. Υψηλά υψόμετρα συνεισφέρουν λιγότερο στο πλημμυρικό φαινόμενο επομένως λαμβάνουν τιμή 1 σε σχέση με χαμηλά υψόμετρα τα οποία βαθμολογούνται με τιμή 10.



Εικόνα 28: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Υψόμετρου

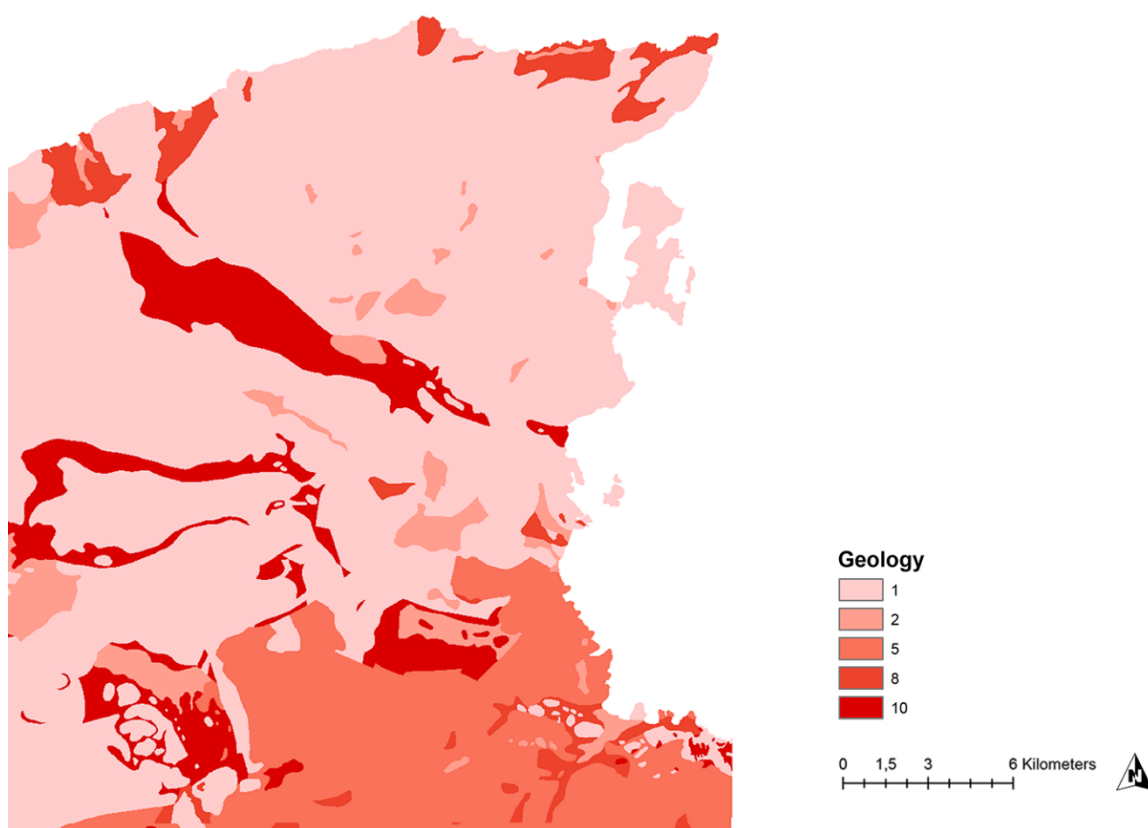
Ο παράγοντας του υψόμετρου είναι αρκετά σημαντικός στην χωρική εκτίμηση του κινδύνου των πλημμύρων καθώς έχει άμεση επίδραση και σε άλλους παράγοντες. Νοτιοδυτικά της περιοχής ευθύνης βρίσκονται οι κορυφές του όρους Δίκη με υψόμετρο περίπου 2000m όπου θεωρούνται τμήματα της περιοχής με πολύ χαμηλή πλημμυρική επικινδυνότητα. Αντίθετα παρατηρείται μεγάλη επικινδυνότητα στις παραθαλάσσιες περιοχές και στους πρόποδες των βουνών της περιοχής καθώς η διαφορά των υψόμετρων είναι αρκετά μεγάλη. Οι απότομες εναλλαγές της επικινδυνότητας στον χάρτη οφείλονται στο ανάγλυφο της περιοχής το οποίο είναι αρκετά ορεινό με μεγάλες κλίσεις εδάφους.

4.1.2 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Γεωλογίας (Geology)

Για την κατασκευή του Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας της Γεωλογίας της περιοχής χρησιμοποιήθηκε ο θεματικός χάρτης της γεωλογίας. Επειδή ο χάρτης έχει μορφή *Polygon – Shapefile* χρειάστηκε να γίνει η μετατροπή του σε αρχείο *Raster* με το εργαλείο *Polygon to Raster* [*Conversion tools* → *To Raster* → *Polygon to Raster*]. Στην συνέχεια η κατηγοριοποίηση των δεδομένων έγινε με το εργαλείο *Reclassify* [*Spatial Analyst* → *Reclass* → *Reclassify*]. Επειδή η γεωλογία εκφράζεται περιγραφικά η κατηγοριοποίηση των επιπέδων επικινδυνότητας σύμφωνα με την υδροπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών έγινε ως εξής:

Πίνακας 15: Πίνακας κατηγοριοποίησης γεωλογικών σχηματισμών

A1	10
P3	8
P2	5
P1	2
K1	1



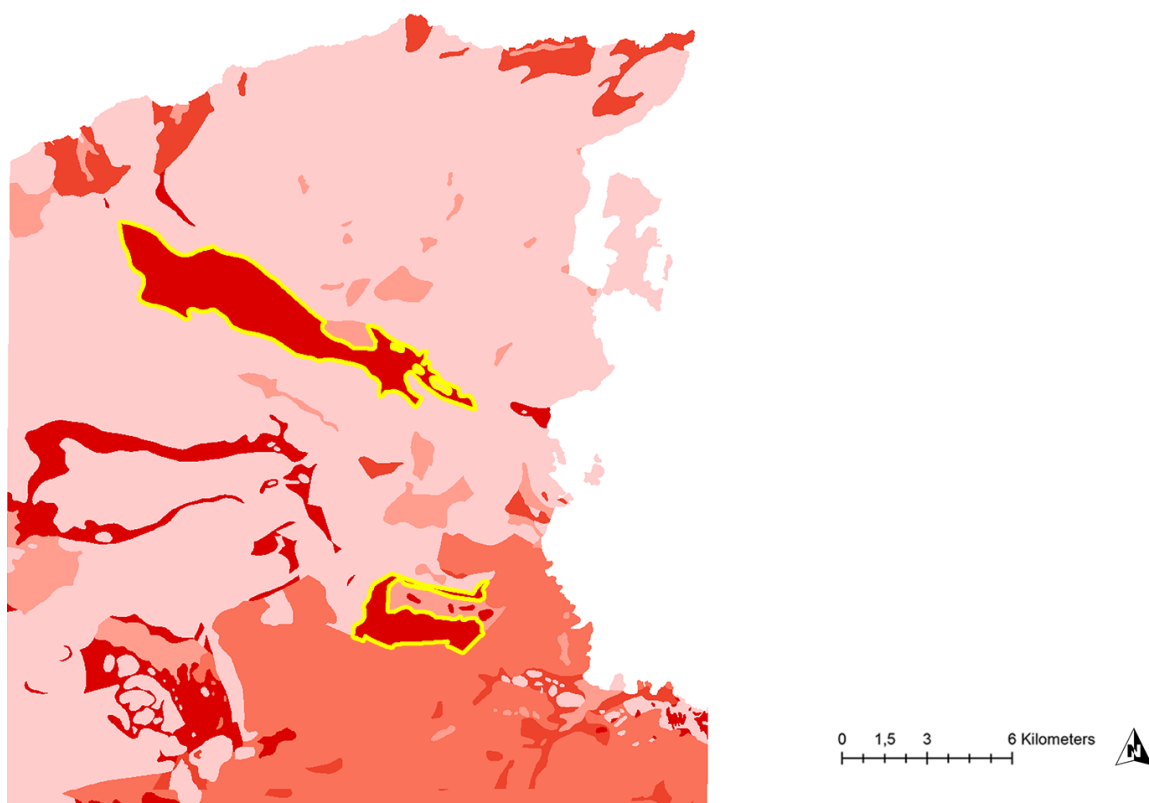
Εικόνα 29: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Γεωλογίας

Τμήματα που έχουν χαρακτηριστεί με πολύ υψηλή επικινδυνότητα αφορούν γεωλογικούς σχηματισμούς πρακτικά αδιαπέρατους ή εκλεκτικής κυκλοφορίας, πολύ μικρής ή μικρής υδροπερατότητας. Παρατηρείται μεγάλη έκταση τέτοιων σχηματισμών να καλύπτουν την περιοχή ευθύνης με δυο μεγάλα τμήματα να αποτελούν υψίστης σημασίας. Το πρώτο τμήμα βρίσκεται κεντρικά και ξεκινάει από το χωριό Βραχάσι καταλήγοντας ανατολικά στο χωριό Λίμνες περιλαμβάνοντας την κωμόπολη Νεάπολη. Όλη αυτή η περιοχή έχει αρκετά χαμηλό υψόμετρο και βρίσκεται ανάμεσα σε ορεινά τμήματα σχηματίζοντας έτσι μια μικρή υπολεκάνη. Το δεύτερο τμήμα βρίσκεται νοτιότερα στην περιοχή των χωριών Κριτσά και Κρούστας.

Με υψηλή επικινδυνότητα χαρακτηρίζονται σχηματισμοί κοκκώδεις με μη προσχωματικές αποθέσεις με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα όπου παρατηρούνται κυρίως στο βόρειο κομμάτι διάσπαρτοι όπως επίσης και στο νότιο κομμάτι καλύπτοντας σχετικά μικρή επιφάνεια.

Μεγάλη έκταση του νότιου τμήματος της περιοχής ευθύνης αποτελείται από αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν χαρακτηριστεί μέτριας πλημμυρικής επικινδυνότητας.

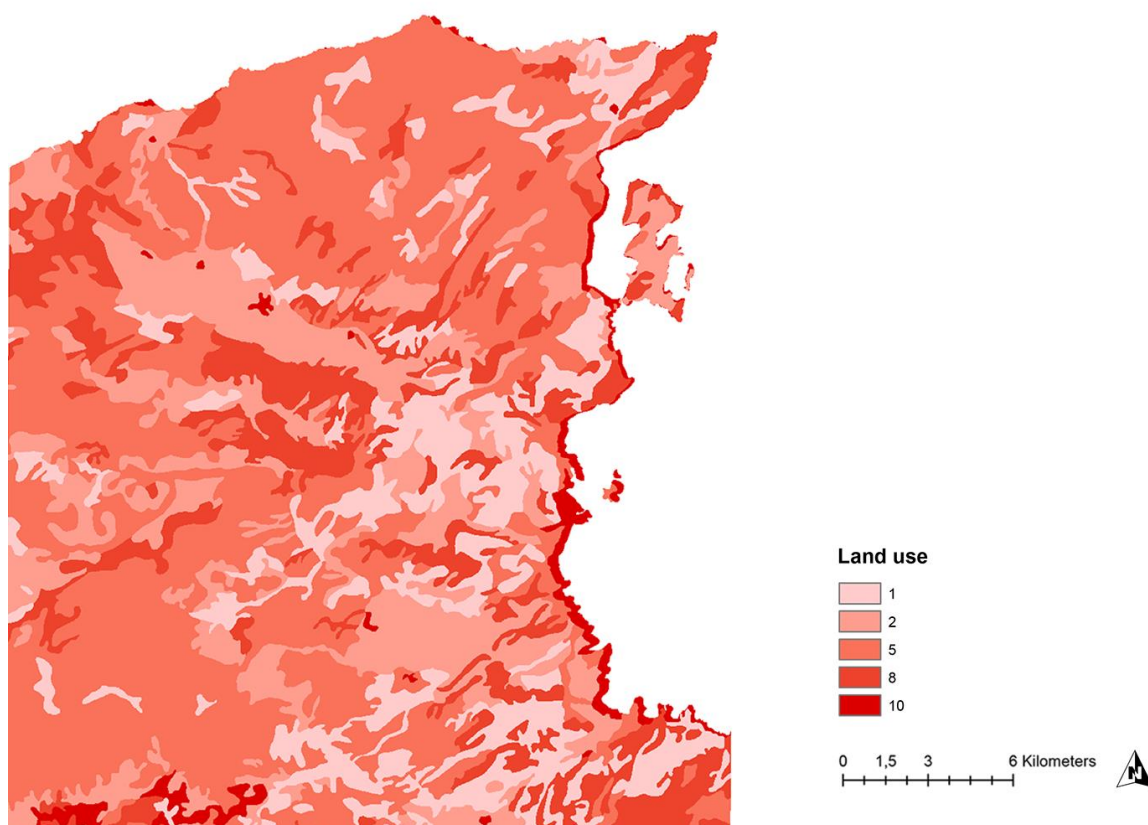
Τέλος Ασβεστόλιθοι, δολομίτες και μάρμαρα μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας συντελούν την μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης χαρακτηρισμένοι με πολύ χαμηλό πλημμυρικό κίνδυνο.



Εικόνα 30: Τμήματα Υψηλής Πλημμυρικής Επικινδυνότητας (Κίτρινο περίγραμμα)

4.1.3 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Χρήσεων Γης (Land use)

Η κατασκευή του Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Χρήσεων Γης έγινε με την χρήση του θεματικού χάρτη Χρήσεων Γης από τα δεδομένα που είχαμε προς διάθεση. Η μορφή του χάρτη είναι *Polygon – Shapefile* διότι τα δεδομένα εκφράζονται περιγραφικά όποτε για να μετατραπεί σε *Raster* έγινε η χρήση του εργαλείου *Polygon to Raster* [*Conversion tools* → *To Raster* → *Polygon to Raster*].



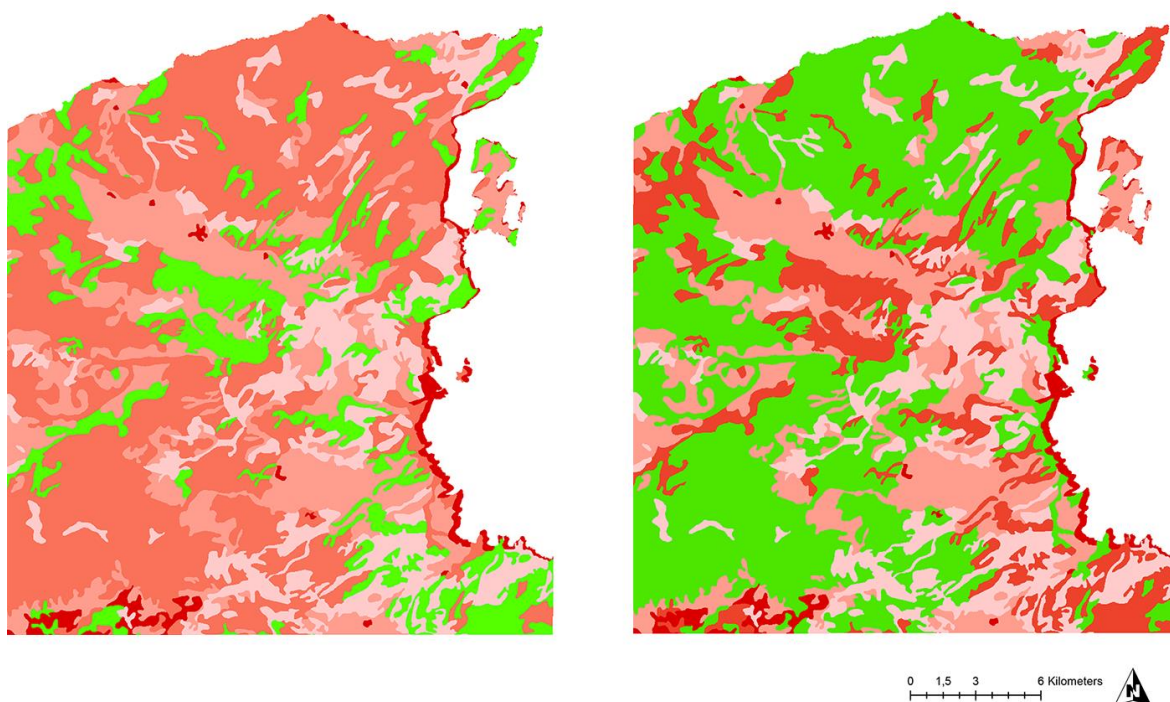
Εικόνα 31: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Χρήσεις Γης

Η κατηγοριοποίηση των δεδομένων σύμφωνα με την πλημμυρική τους επικινδυνότητα έγινε ως εξής με βάση βιβλιογραφικές αναφορές:

Πίνακας 16: Επίπεδα επικινδυνότητας Χρήσεις Γης

Κωδικός	Τύπος	Επίπεδο Επικινδυνότητας (Risk Level)
111	Συνεχής αστική δόμηση	10
112	Διακεκομμένη αστική δόμηση	10
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	8
211	Μη αρδεύσιμη αρδύσιμη γη	2
221	Αμπελώνες	2
223	Ελαιώνες	2
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	5
243	Εκτάσεις φυσικής βλάστησης	1
312	Δάσος κωνοφόρων	1
321	Φυσιικοί βοσκότοποι	5
322	Θάμνοι και χερσότοποι	8
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	8
324	Δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	2
333	Αραιή βλάστηση	5
334	Αποτεφρωμένες εκτάσεις	8

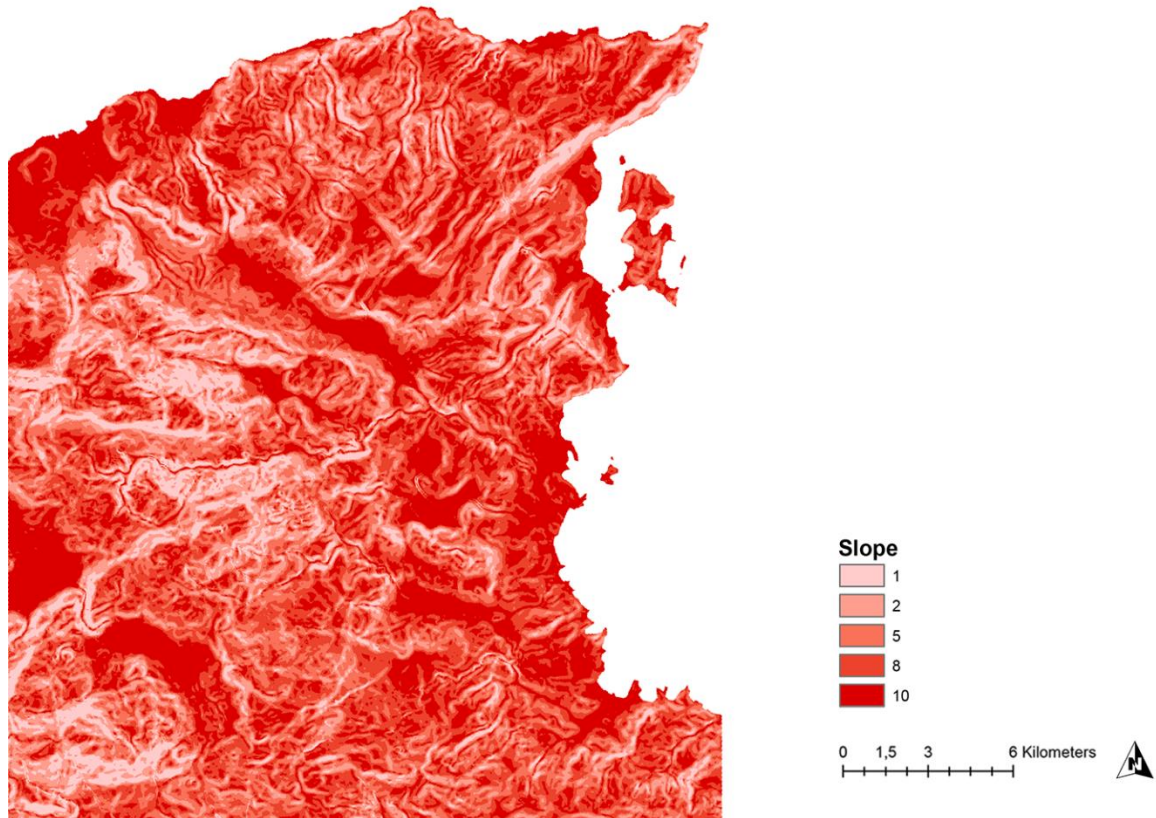
Υψηλή επικινδυνότητα εμφανίζουν περιοχές με αστική δόμηση και παραλιακές περιοχές καλύπτοντας μικρή έκταση στον χάρτη. Τμήματα χαρακτηρισμένα με υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα όπως χώροι εξορύξεως ορυκτών, θάμνοι και χερσότοποι, σκληροφυλλική βλάστηση και αποτεφρωμένες εκτάσεις καλύπτουν μεγάλο κομμάτι της περιοχής μελέτης. Επίσης μεγάλο κομμάτι καλύπτουν σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, φυσικοί βοσκότοποι και αραιή βλάστηση όπου χαρακτηρίζονται μέτριας επικινδυνότητας. Η υπόλοιπη περιοχή ευθύνης αποτελείται από εκτάσεις χαμηλής και πολύ χαμηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας (Αμπελώνες, Ελαιώνες, Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη, φυσική βλάστηση και Δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις) όπου έχουν την ικανότητα να συγκρατούν το νερό έως ένα όριο κορεσμού μειώνοντας το πλημμυρικό φαινόμενο.



Εικόνα 32: Τμήματα με υψηλή (αριστερά) και μέτρια (δεξιά) πλημμυρική επικινδυνότητα (πράσινο χρώμα).

4.1.4 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Κλίσης (Slope)

Για την κατασκευή του Χάρτη Επικινδυνότητας Κλίσης εδάφους έγινε η χρήση του θεματικού χάρτη κλίσης με την χρήση του εργαλείου *Reclassify* [*Spatial Analyst* → *Reclass* → *Reclassify*] κάνοντας ταξινόμηση στα εύρη κλίσεων που επιδρούν στην πλημμυρική επικινδυνότητα.



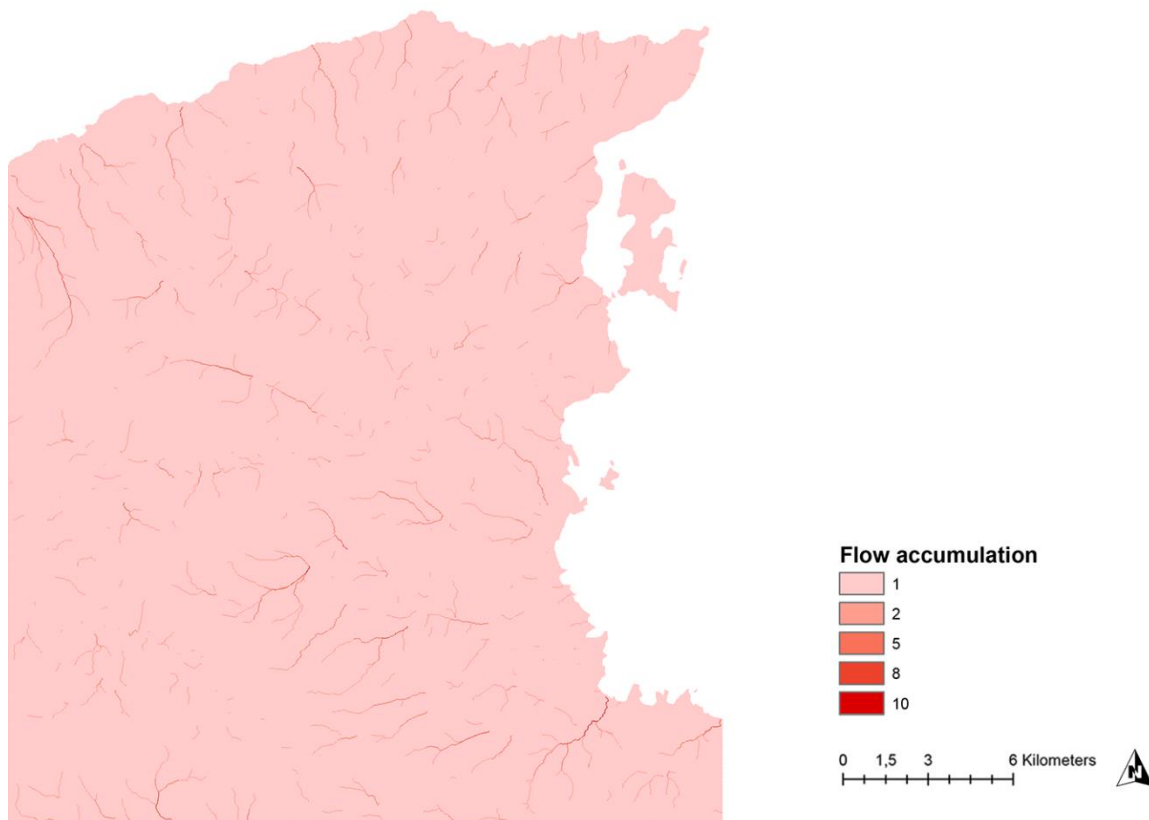
Εικόνα 33: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Κλίσης εδάφους

Η κατηγοριοποίηση των δεδομένων έγινε θεωρώντας πως το πλημμυρικό φαινόμενο δημιουργείται σε πεδινές περιοχές με μικρές κλίσεις καθώς εκεί υπάρχει μικρή ροή και αυξάνεται η συσσώρευση του νερού. Έτσι περιοχές με μικρή κλίση εδάφους χαρακτηρίζονται υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας ενώ περιοχές με μεγάλες κλίσεις χαμηλής επικινδυνότητας.

Γνωρίζοντας ότι η περιοχή είναι αρκετά ορεινή παρατηρείται μεγάλη επικινδυνότητα στις παραθαλάσσιες περιοχές και σε περιοχές που σχηματίζονται μικρές λεκάνες απορροής ανάμεσα σε βουνά και λόφους.

4.1.5 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Συγκέντρωσης Ροής (Flow Accumulation)

Ο Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Συγκέντρωσης Ροής δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας τον θεματικό χάρτη συγκέντρωσης ροής κάνοντας χρήση του εργαλείου *Reclassify* [*Spatial Analyst* → *Reclass* → *Reclassify*]. Έτσι έγινε κατηγοριοποίηση της συγκέντρωσης ροής ανάλογα με την επίδραση που έχει στην πλημμυρική επικινδυνότητα.

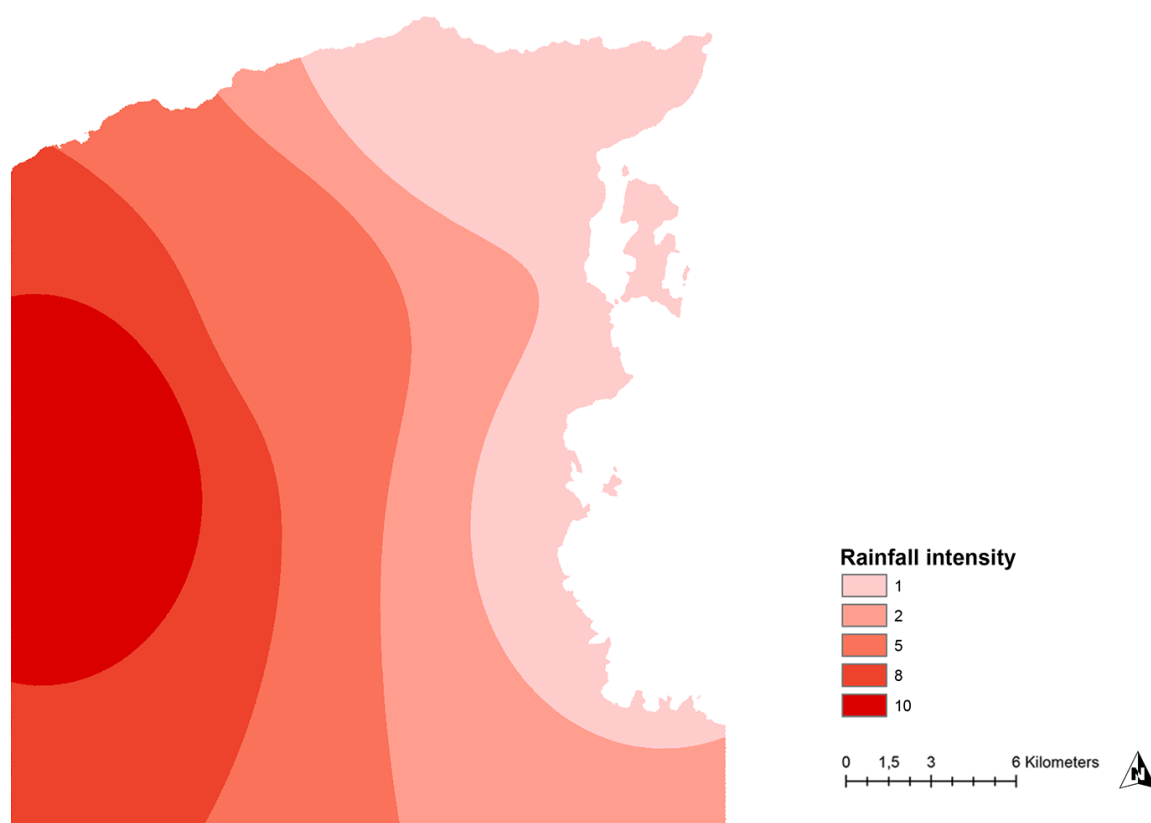


Εικόνα 34: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Συγκέντρωσης Ροής

Το νερό με φυσικούς μηχανισμούς ξεκινάει από μεγάλα υψόμετρα (κατακρημνίσεις) και καταλήγει σε χαμηλότερα είτε σε θάλασσα είτε σε περιοχές με μεγαλύτερα υψόμετρα από την θέση του. Αρχικά σχηματίζονται μικρά ρυάκια που στην πορεία συνήθως ενώνονται σχηματίζοντας ρυάκια ή ποτάμια με μεγαλύτερη δυναμικότητα (Kammerer, 1987). Στον Χάρτη Επικινδυνότητας Συγκέντρωσης Ροής μέσω των μοντέλων που χρησιμοποιεί το λογισμικό φαίνονται τα μονοπάτια που είναι αρκετά πιθανό να ακολουθεί το νερό από την αρχή μέχρι τον τελικό προορισμό του. Παρατηρείται έντονα το φαινόμενο καθώς στην αρχή πριν τις διακλαδώσεις η επικινδυνότητα είναι αρκετά μικρή εφόσον έχουν σχηματιστεί ρυάκια μικρής δυναμικότητας και στην συνέχεια με την συνένωση τους δημιουργούνται πιο ισχυρά ρυάκια ή ποτάμια με μεγάλη πλημμυρική επικινδυνότητα. Συνήθως η κατάληξη τους είναι στην θάλασσα όπως παρατηρείται και στην περιοχή μελέτης αλλά λόγω της μορφολογίας του εδάφους αρκετά από αυτά καταλήγουν σε υπολεκάνες κοντά σε αστικές περιοχές καθώς και στο οδικό δίκτυο.

4.1.6 Χάρτης Πλημμυρικής επικινδυνότητας Έντασης Βροχόπτωσης (Rainfall Intensity)

Ο Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Έντασης Βροχόπτωσης κατασκευάστηκε με τον θεματικό χάρτη έντασης βροχόπτωσης με το εργαλείο *Reclassify* [*Spatial Analyst* → *Reclass* → *Reclassify*].



Εικόνα 35: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Έντασης Βροχόπτωσης

Σε γενικές γραμμές παρά τις υψομετρικές εναλλαγές τους εδάφους στην περιοχή μελέτης, το υψόμετρο στις κατευθύνσεις Δυτικά-Ανατολικά και Δυτικά-Βόρεια μειώνεται αρκετά μέχρι το ύψος της θάλασσας. Ο δείκτης έντασης βροχόπτωσης *MFI* σε υψηλά υψόμετρα έχει σχεδόν διπλάσια τιμή σε σχέση με τις παραθαλάσσιες περιοχές υποδεικνύοντας έτσι τον βαθμό επικινδυνότητας της περιοχής λόγω της βροχόπτωσης. Εκτός από την επίδραση που έχει ο συγκεκριμένος παράγοντας στην συγκέντρωση της ροής του νερού στα ορεινά τμήματα της περιοχής είναι επίσης σημαντικός ο κίνδυνος στις παραθαλάσσιες περιοχές με έντονη αστικοποίηση καθώς βροχοπτώσεις με μεγάλη ένταση συνεισφέρουν αρκετά στο πλημμυρικό φαινόμενο σε χαμηλά υψόμετρα.

4.2 Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Αγίου Νικολάου

Ο Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Αγίου Νικολάου απεικονίζει την πλημμυρική επικινδυνότητα της περιοχής αθροίζοντας το γινόμενο κάθε παράγοντα με το βάρος επίδρασης του καθένα στο πλημμυρικό φαινόμενο. Όπως αναφέρεται και στην μεθοδολογία κατασκευάστηκε ένας πίνακας με τα δεδομένα όλων των παραγόντων με σκοπό τον υπολογισμό της επίδρασης (σε %) του κάθε παράγοντα.

Πίνακας 17: Πίνακας Συντελεστών Επίδρασης Παραγόντων

Παράγοντες	Επίδραση	Επίπεδο Επικινδυνότητας περιγραφικά (Risk Level)	Συντελεστής Βαρύτητας (RL)	Συντελεστής Επίδρασης (FR)	(RL)·(FR)	Συνολικό Βάρος	Ποσοστό (%)
Συγκέντρωση Ροής (Pixels)	12.770- 21.424	Πολύ Υψηλή	10	1,5	15	39	9,67
	6.049- 12.770	Υψηλή	8		12		
	2.352- 6.049	Μέτρια	5		7,5		
	588- 2.352	Χαμηλή	2		3		
	0 - 588	Πολύ Χαμηλή	1		1,5		
Κλίση (Μοίρες)	0 - 7,5	Πολύ Υψηλή	10	2	20	52	12,9
	7,5 - 14,3	Υψηλή	8		16		
	14,3 - 21,3	Μέτρια	5		10		
	21,3 - 29,5	Χαμηλή	2		4		
	29,5 - 59,7	Πολύ Χαμηλή	1		2		
Χρήσεις Γης	Παραλιακή ζώνη - Αστική δόμηση	Πολύ Υψηλή	10	3	30	78	19,35
	Αποτεφρωμένες εκτάσεις - Σκληροφυλλική βλάστηση -Θαμνώδεις - Άγονες εκτάσεις	Υψηλή	8		24		
	Σύνθετα συστήματα καλλιεργειών - Βοσκότοποι - αραιή φυτοκάλυψη	Μέτρια	5		15		
	Αμπελώνες - Ελαιώνες - Μη αρδευσιμη αρόσιμη γη - Οπωροφόρα γεωργική κάλυψη	Χαμηλή	2		6		
	Γη που καλύπτεται από φυσική βλάστηση - Δασώδεις εκτάσεις	Πολύ Χαμηλή	1		3		
Ένταση Βροχόπτωσης (MFI)	62- 69	Πολύ Υψηλή	10	1,5	15	39	9,68
	55- 62	Υψηλή	8		12		
	48- 55	Μέτρια	5		7,5		
	42- 48	Χαμηλή	2		3		
	34- 42	Πολύ Χαμηλή	1		1,5		
Γεωλογία	A1	Πολύ Υψηλή	10	3	30	78	19,35
	P3	Υψηλή	8		24		
	P2	Μέτρια	5		15		
	P1	Χαμηλή	2		6		
	K1	Πολύ Χαμηλή	1		3		
Υψόμετρο (m)	0 - 296	Πολύ Υψηλή	10	4,5	45	117	29,03
	296- 637	Υψηλή	8		36		
	637- 1.010	Μέτρια	5		22,5		
	1.010- 1.384	Χαμηλή	2		9		
	1.384 - 2.115	Πολύ Χαμηλή	1		4,5		
ΣΥΝΟΛΟ						403	100

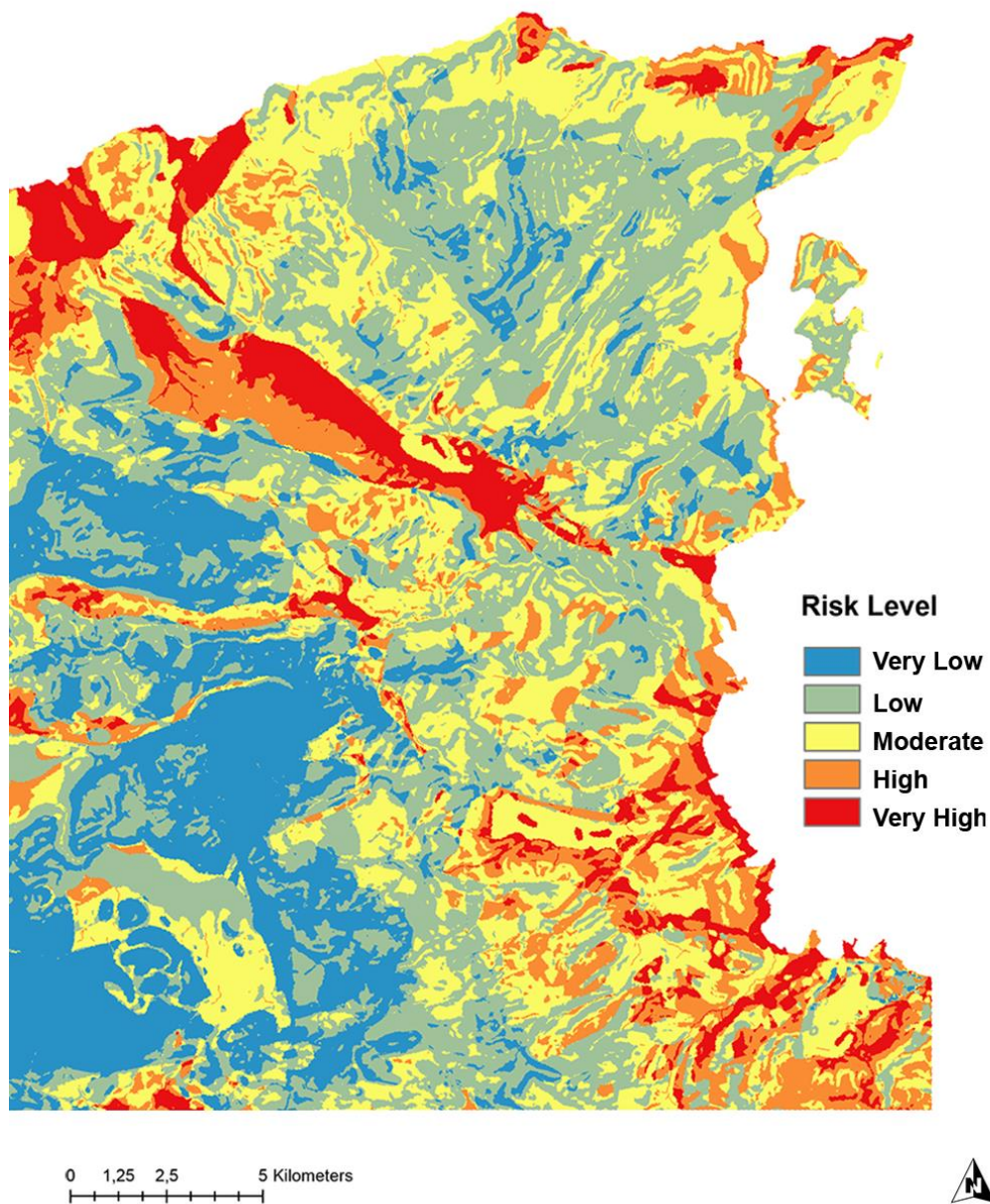
Τελευταίο βήμα για την κατασκευή του χάρτη είναι να γίνει το άθροισμα όλων των παραγόντων στο περιβάλλον του ArcGis με το εργαλείο *Raster Calculator* [*Spatial Analysis tools* → *Map Algebra* → *Raster Calculator*].

Η πράξη για τον τελικό χάρτη επικινδυνότητας που εκτελεί το λογισμικό είναι η εξής:

$$FREGLS = \sum X_i W_i = FW_f + SW_s + LW_L + RW_R + GW_G + EW_E$$

$$FREGLS = 0,0967W_f + 0,129W_s + 0,1935W_L + 0,0968W_R + 0,1935W_G + 0,2903W_E$$

F = Flow accumulation, S = Slope, L = Land use, R = Rainfall intensity, G = Geology, E = Elevation.



Εικόνα 36: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Αγίου Νικολάου

Αξιολογώντας την πλημμυρική επικινδυνότητα της περιοχής του Αγίου Νικολάου παρατηρείται μια τάση της επικινδυνότητας να αυξάνεται όσο γίνεται η μετάβαση από τα ορεινά τμήματα προς τα παραθαλάσσια. Περιοχές όπως το βουνό Δίκη, η περιοχή που βρίσκεται η κορυφή Σελένα και το βόρειο κομμάτι της Δημοτικής Ενότητας Αγίου Νικολάου χαρακτηρίζονται πολύ χαμηλής έως μέτριας επικινδυνότητας. Περιοχές που αποτελούνται από αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς πολύ μικρής έως μικρής διαπερατότητας φαίνεται να έχουν μεγάλη επίδραση καθώς στον τελικό Χάρτη Επικινδυνότητας οι ίδιες περιοχές χαρακτηρίζονται ως Μέτριου με Υψηλού Κινδύνου. Επίσης εκτάσεις με αστική δόμηση, σκληροφυλλική βλάστηση, θάμνους, χερσότοποι και αποτεφρωμένες εκτάσεις παρουσιάζουν αυξημένη επικινδυνότητα. Ο συνδυασμός των υψομετρικών διαφορών με την ένταση της βροχόπτωσης αποτυπώνουν την επίδρασή τους στον χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας με αποτέλεσμα παραθαλάσσιες περιοχές, μικρές πεδιάδες και εκτάσεις που συγκεντρώνεται ροή να παρουσιάζουν υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα στον χάρτη.

Πίνακας 18: Ποσοστό έκτασης ανά κατηγορία πλημμυρικής επικινδυνότητας περιοχής ευθύνης

Πλημμυρική Επικινδυνότητα	Ποσοστό Κάλυψης (%)
Πολύ Χαμηλή	19
Χαμηλή	34
Μέτρια	27
Υψηλή	13
Πολύ Υψηλή	7

5. Μελλοντική Ανάλυση Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Βάσει της Επερχόμενης Κλιματικής Αλλαγής

5.1 Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC)

Η IPCC καθιερώθηκε το 1988 από το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών και τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό. Στόχος της είναι η ανάλυση της κλιματικής αλλαγής με βάση το σύνολο των γνώσεων της επιστήμης καθώς και την ανάλυση των επιπτώσεων κοινωνικά και οικονομικά. Επίσης έχει στόχο την δημιουργία στρατηγικών μείωσης και αντιμετώπισης του φαινομένου αυτού. Η Επιτροπή διαρθρώνεται σε τρεις ομάδες εργασίας και μία ομάδα δράσης. Η πρώτη ομάδα εργασίας ασχολείται με το επιστημονικό κομμάτι της κλιματικής αλλαγής, η δεύτερη με τις επιπτώσεις και την τρωτότητα και η τρίτη με την μείωση του φαινομένου. Ο στόχος της ομάδας δράσης είναι η ανάπτυξη και η βελτίωση της μεθοδολογίας για τον υπολογισμό και την αναφορά των αερίων του θερμοκηπίου. Η επιτροπή από το 1990 έχει αναρτήσει έξι αναφορές εκτίμησης (1990, 1995, 1997, 2001, 2007, 2022) όπου κάθε ομάδα ασχολείται με το αντικείμενό της. (IPCC, 2021)

5.2 Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)

Τα SSPs βασίζονται σε πέντε σενάρια που περιγράφουν το πως οι κοινωνικοοικονομικές τάσεις θα επιδράσουν στην κλιματική αλλαγή και σε τι βαθμό.

SSP1 – Sustainability, Taking the Green Road (Μικρή πρόκληση στην μείωση και προσαρμογή): Ο κόσμος αρχίζει να λειτουργεί με ένα πιο βιώσιμο τρόπο σεβόμενος τα περιβαλλοντικά όρια. Επενδύσεις στην εκπαίδευση και την υγεία επιταχύνουν την δημογραφική μετάβαση και η οικονομική ανάπτυξη γίνεται περισσότερο ανθρωποκεντρική με γνώμονα την ανθρώπινη ευημερία.

SSP2 – Middle of the Road (Μέτριες προκλήσεις στην μείωση και προσαρμογή): Οι κοινωνικές οικονομικές και τεχνολογικές τάσεις δεν αλλάζουν σημαντικά σε σχέση με ιστορικά μοτίβα. Η ανάπτυξη και το εισόδημα έχουν άνιση κατανομή με κάποιες χώρες να κάνουν σημαντική πρόοδο σε σχέση με άλλες. Οι βιώσιμοι στόχοι δεν πετυχαίνονται με την επιθυμητή πρόοδο και τα περιβαλλοντικά συστήματα υποβιβάζονται.

SSP3 – Regional Rivalry, A Rocky Road (Υψηλές προκλήσεις για την μείωση και προσαρμογή): Οι χώρες γίνονται πιο εσωστρεφείς ανησυχώντας για την ασφάλεια και την ανταγωνιστικότητα επικεντρώνονται στην εθνική ενεργειακή και επισιτιστική εξασφάλιση εις βάρος της ευρύτερης ανάπτυξης. Η οικονομική ανάπτυξη είναι αργή και οι ανισότητες παραμένουν ή επιδεινώνονται. Η χαμηλή διεθνής προτεραιότητα για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων οδηγεί σε έντονη περιβαλλοντική υποβάθμιση.

SSP4 – Inequality, A Road Divided (Χαμηλές προκλήσεις στην μείωση, υψηλές στην προσαρμογή): Η ανισότητα τόσο στο εσωτερικό των χωρών όσο και μεταξύ τους δημιουργεί ένα χάσμα στη διασύνδεση διεθνώς δημιουργώντας προβλήματα στην οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη. Ο ενεργειακός τομέας διαφοροποιείται και οι περιβαλλοντικές πολιτικές επικεντρώνονται σε τοπικά ζητήματα γύρο από περιοχές μεσαίων και υψηλών εισοδημάτων.

SSP5 – Fossil-fueled Development – Taking the Highway (Υψηλές προκλήσεις για την μείωση, χαμηλές για την προσαρμογή): Ο κόσμος ελπίζει στον ανταγωνισμό των αγορών όσον αφορά την καινοτομία και την ανάπτυξη τεχνολογιών με σκοπό την βιωσιμότητα. Η οικονομία σημειώνει μεγάλη βελτίωση και περιβαλλοντικά προβλήματα θέτονται υπό έλεγχο. (IPCC, 2021)

Πίνακας 19: Shared Socioeconomic Pathways in the IPCC Sixth Assessment Report (Πηγή: IPCC)

SSP	Scenario	Estimated warming (2041–2060)	Estimated warming (2081–2100)	Very likely range in °C (2081–2100)
SSP1-1.9	very low GHG emissions: CO ₂ emissions cut to net zero around 2050	1.6 °C	1.4 °C	1.0 – 1.8
SSP1-2.6	low GHG emissions: CO ₂ emissions cut to net zero around 2075	1.7 °C	1.8 °C	1.3 – 2.4
SSP2-4.5	intermediate GHG emissions: CO ₂ emissions around current levels until 2050, then falling but not reaching net zero by 2100	2.0 °C	2.7 °C	2.1 – 3.5
SSP3-7.0	high GHG emissions: CO ₂ emissions double by 2100	2.1 °C	3.6 °C	2.8 – 4.6
SSP5-8.5	very high GHG emissions: CO ₂ emissions triple by 2075	2.4 °C	4.4 °C	3.3 – 5.7

5.3 Μεθοδολογία

Η εξέταση της μελλοντικής πλημμυρικής επικινδυνότητας πραγματοποιείται σε δύο σενάρια SSP και σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους. Συγκεκριμένα γίνεται η χρήση των σεναρίων SSP1-2.6 και SSP2-4.5 για τις περιόδους 2041-2060 και 2081-2100.

Πίνακας 20: Δεδομένα αύξησης κλιματικής αλλαγής (Πηγή: (IPCC, 2021))

	Near term, 2021-2040		Mid-term, 2041-2060		Long term, 2081-2100	
Scenario	Best Estimate (°C)	Very Likely Range (°C)	Best Estimate (°C)	Very Likely Range (°C)	Best Estimate (°C)	Very Likely Range (°C)
SSP1-2.6	1.5	1.2 to 1.8	1.6	1.2 to 2.2	1.4	1.3 to 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 to 1.8	2.0	1.6 to 2.5	2.7	2.1 to 3.5

Η IPCC δηλώνει στην έκτη αναφορά με σιγουριά (High confidence) ότι για κάθε 1°C που αυξάνεται η θερμοκρασία, η βροχόπτωση αυξάνεται κατά 7% (Τιμές σε παγκόσμια κλίμακα) (IPCC, 2021). Έτσι για κάθε σενάριο και χρονική περίοδο έγινε 7% αύξηση του δείκτη έντασης βροχόπτωσης *MFI* για καλύτερο και χειρότερο σενάριο. Στην συνέχεια με το εργαλείο *IDW (Inverse Distance Weighted)* [*Spatial Analyst* → *Interpolation* → *IDW*] έγινε παρεμβολή των δεδομένων στον χώρο και κατασκευάστηκαν οι χάρτες έντασης βροχόπτωσης με διαστάσεις κελιού 25x25m. Στην συνέχεια με το εργαλείο *Reclassify* [*Spatial Analyst* → *Reclass* → *Reclassify*] έγινε κατηγοριοποίηση των δεδομένων και κατασκευάστηκαν οι θεματικοί χάρτες επικινδυνότητας έντασης βροχόπτωσης. Τέλος για κάθε σενάριο και χρονική περίοδο κατασκευάστηκαν σύμφωνα με την μεθοδολογία οι συνολικοί χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας.

5.4 Αποτελέσματα

Πίνακας 21: SSP1-2.6 Mid-term Αύξηση Βροχόπτωσης

SSP1-2.6	Αλλαγή θερμοκρασίας (°C)	Αύξηση Βροχόπτωσης	Ποσοστιαία Αύξηση Βροχόπτωσης
Best Case Scenario	1,2	1,2·7%	8,40%
Worst Case Scenario	2,2	2,2·7%	15.4%

Πίνακας 22: SSP1-2.6 Longterm Αύξηση Βροχόπτωσης

SSP1-2.6	Αλλαγή θερμοκρασίας (°C)	Αύξηση Βροχόπτωσης	Ποσοστιαία Αύξηση Βροχόπτωσης
Best Case Scenario	1,3	1·7%	9,10%
Worst Case Scenario	2,4	1,8·7%	16.8%

Πίνακας 23: SSP2-4.5 Mid-term Αύξηση Βροχόπτωσης

SSP2-4.5	Αλλαγή θερμοκρασίας (°C)	Αύξηση Βροχόπτωσης	Ποσοστιαία Αύξηση Βροχόπτωσης
Best Case Scenario	1,6	1,6·7%	11,20%
Worst Case Scenario	2,5	2,5·7%	17.5%

Πίνακας 24: SSP2-4.5 Long term Αύξηση Βροχόπτωσης

SSP2-4.5	Αλλαγή θερμοκρασίας (°C)	Αύξηση Βροχόπτωσης	Ποσοστιαία Αύξηση Βροχόπτωσης
Best Case Scenario	2,1	2,1·7%	14.5%
Worst Case Scenario	3,5	3,5·7%	24.5%

Στους Πίνακες 21,22,23,24 αναγράφεται η αύξηση της βροχόπτωσης για κάθε καλύτερο και χειρότερο σενάριο και χρονικής περιόδου των SSP που εξετάζουμε. Η αύξηση αυτή για να μπορεί να επεξεργαστεί αφομοιώνεται στον δείκτη *MFI* στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 25: Δείκτης MFI για SSP1-2.6 Mid-term

MFI	Άγιος Νικόλαος	Φινοκαλιά	Νεάπολη	Ποταμοί
Αρχικό	38,5	34,31	53,52	69,27
Καλύτερο Σενάριο	41,734	37,19204	58,01568	75,08868
Χειρότερο Σενάριο	44,429	39,59374	61,76208	79,93758

Πίνακας 26: Δείκτης MFI για SSP1-2.6 Longterm

MFI	Άγιος Νικόλαος	Φινοκαλιά	Νεάπολη	Ποταμοί
Αρχικό	38,5	34,31	53,52	69,27
Καλύτερο Σενάριο	42,0035	37,43221	58,39032	75,57357
Χειρότερο Σενάριο	44,968	40,07408	62,51136	80,90736

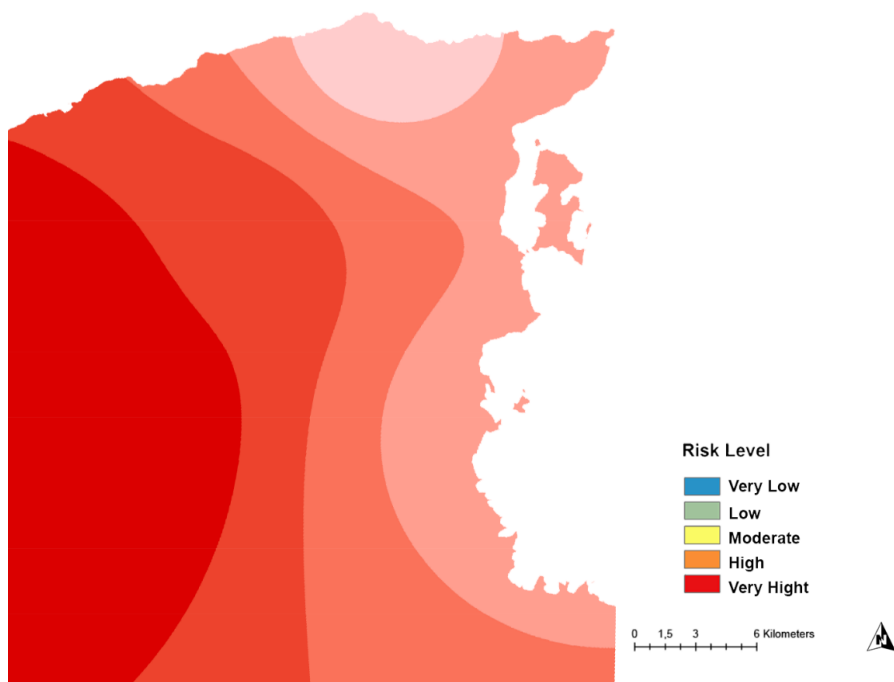
Πίνακας 27: Δείκτης MFI για SSP2-4.5 Mid-term

MFI	Άγιος Νικόλαος	Φινοκαλιά	Νεάπολη	Ποταμοί
Αρχικό	38,5	34,31	53,52	69,27
Καλύτερο Σενάριο	42,812	38,15272	59,51424	77,02824
Χειρότερο Σενάριο	45,2375	40,31425	62,886	81,39225

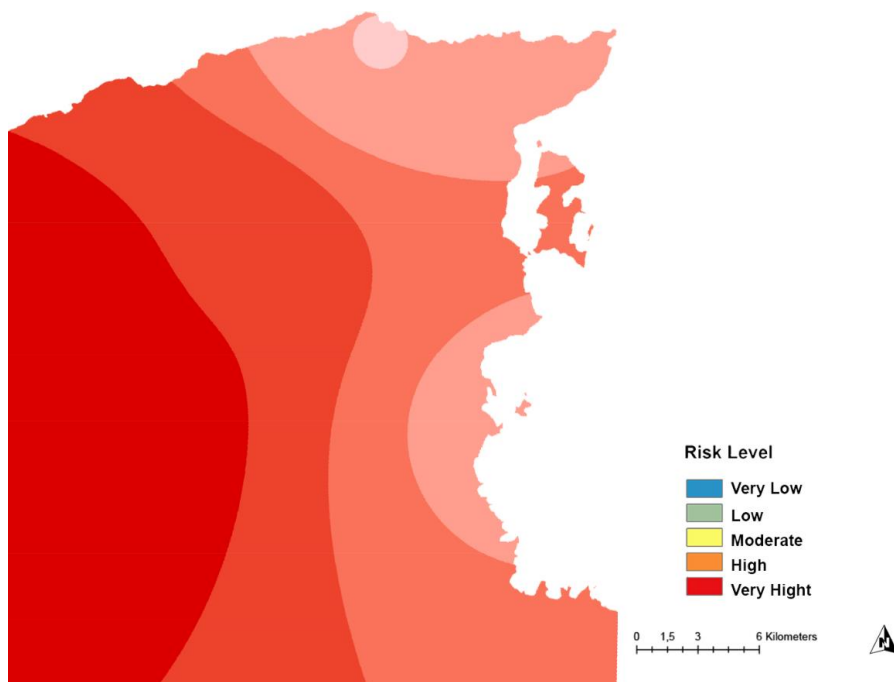
Πίνακας 28: Δείκτης MFI για SSP2-4.5 Longterm

MFI	Άγιος Νικόλαος	Φινοκαλιά	Νεάπολη	Ποταμοί
Αρχικό	38,5	34,31	53,52	69,27
Καλύτερο Σενάριο	44,0825	39,28495	61,2804	79,31415
Χειρότερο Σενάριο	47,9325	42,71595	66,6324	86,24115

Με βάση τα MFI κατασκευάστηκαν οι χάρτες επικινδυνότητας.

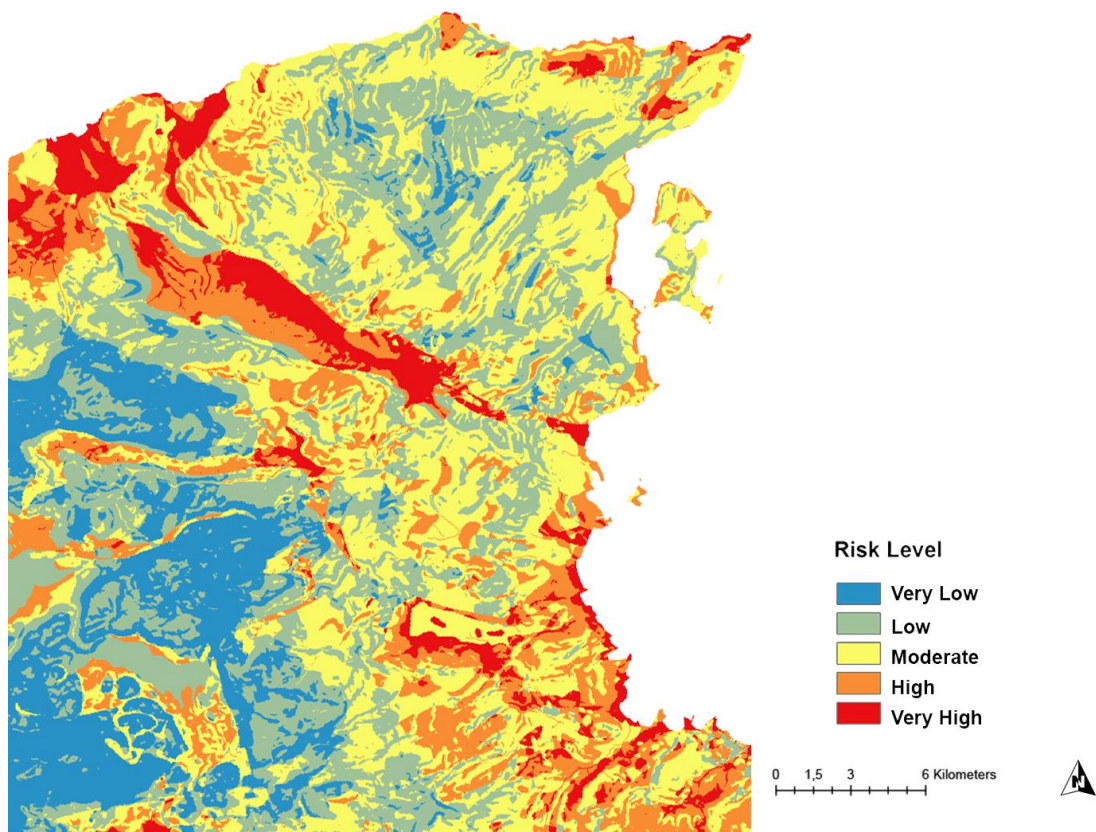


Εικόνα 37: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας βροχόπτωσης για σενάριο SSP1-2.6 Mid-term Best Case Scenario.

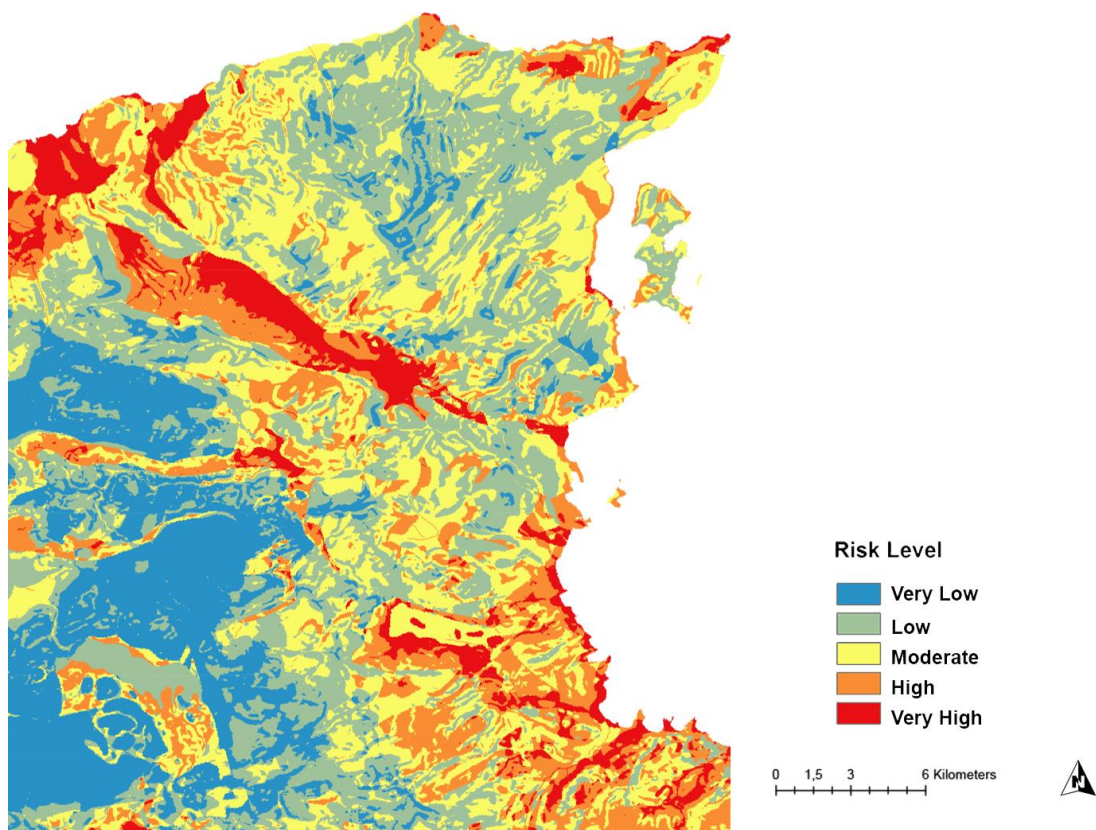


Εικόνα 38: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας βροχόπτωσης για σενάριο SSP1-2.6 Mid-term Worst Case Scenario.

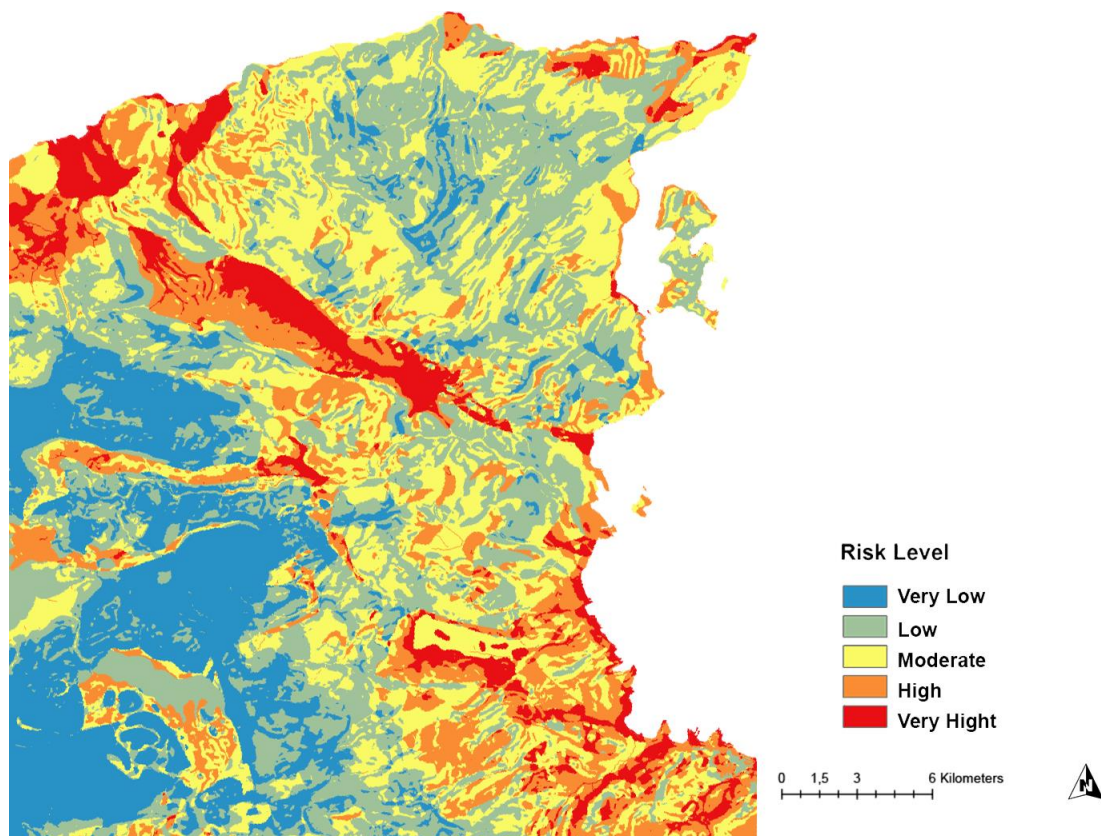
Στις Εικόνες 37 και 38 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι Χάρτες Πλημμυρικής Επικινδυνότητας της Έντασης της Βροχόπτωσης για αύξηση βροχόπτωσης 8,4% και 15,4% αντίστοιχα. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι συνολικοί χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας.



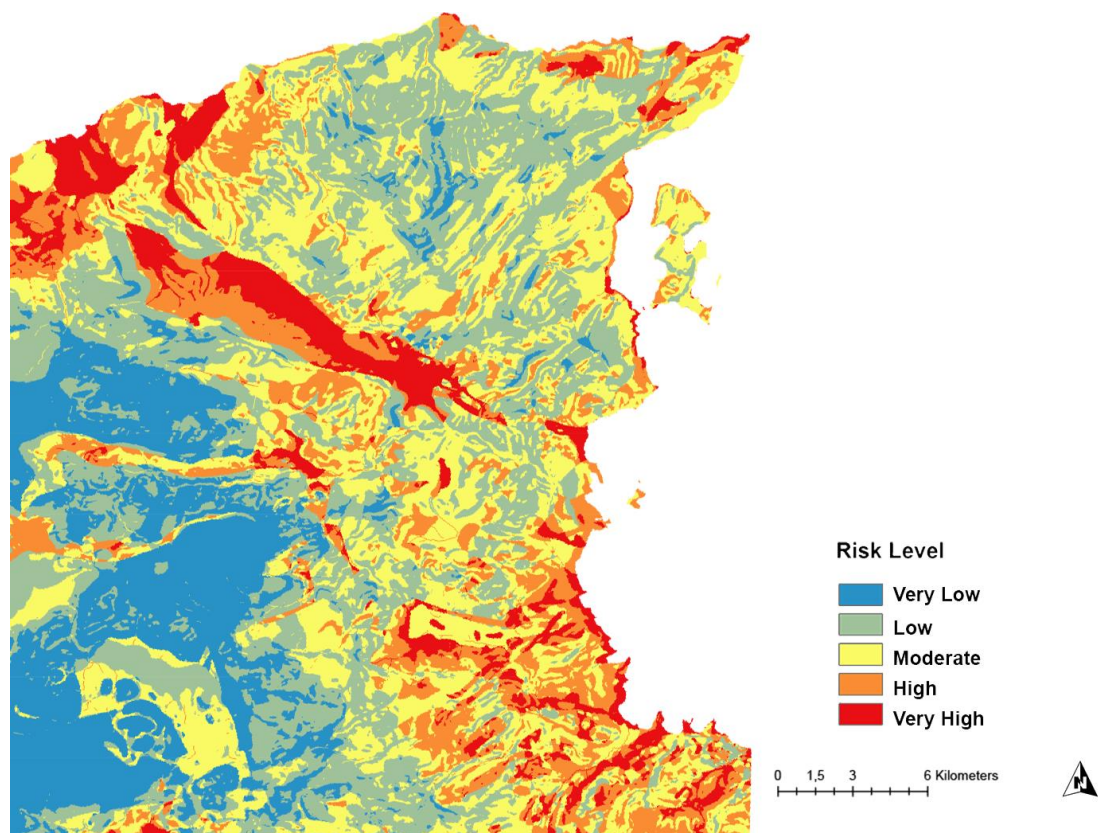
Εικόνα 39: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας SSP1-2.6 Mid-term Best Case Scenario



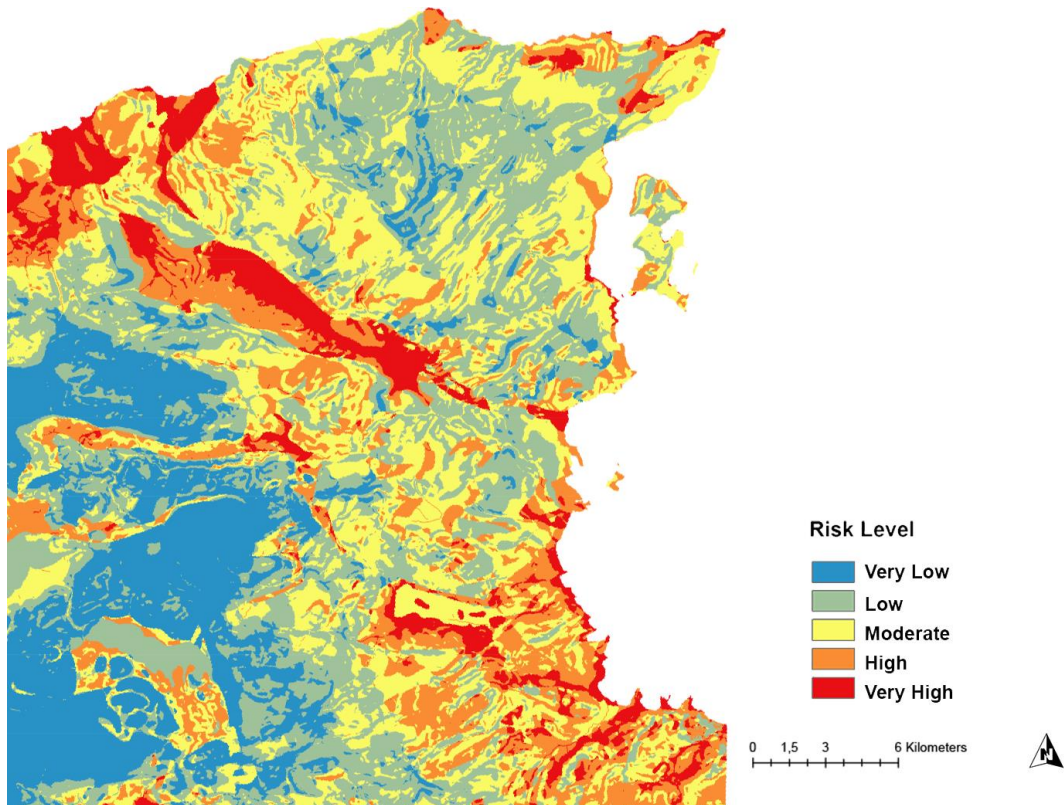
Εικόνα 40: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας SSP1-2.6 Mid-term Worst Case Scenario



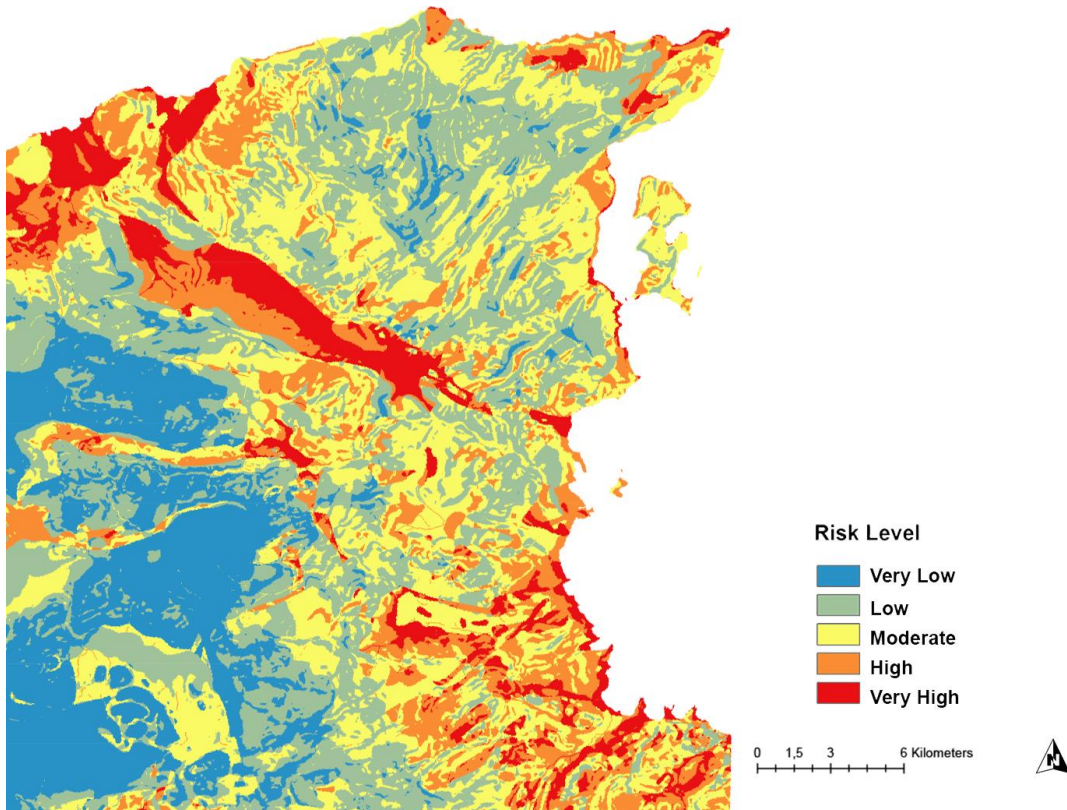
Εικόνα 41: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας SSP1-2.6 Longterm Best Case Scenario



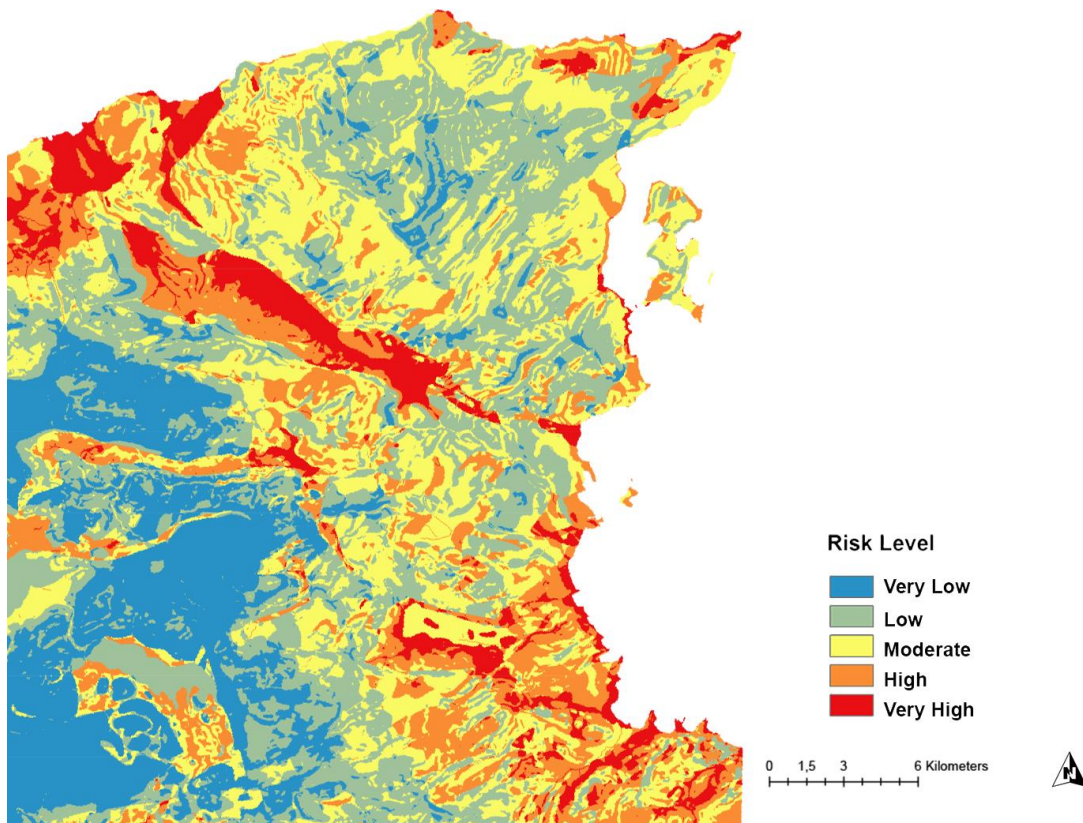
Εικόνα 42:Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας SSP1-2.6 Longterm Worst Case Scenario



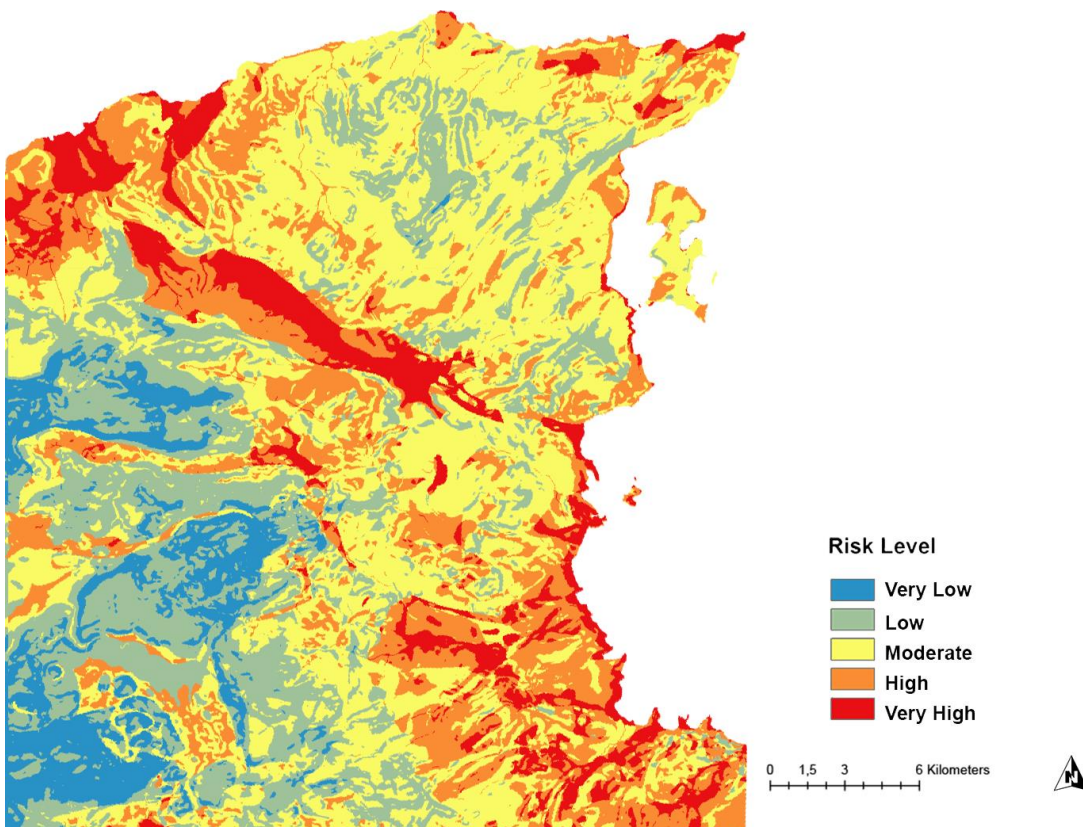
Εικόνα 43:Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας SSP2-4.5 Mid-term Best Case Scenario



Εικόνα 44: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας SSP2-4.5 Mid-term Worst Case Scenario



Εικόνα 45: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας SSP2-4.5 Long-term Best Case Scenario



Εικόνα 46: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας SSP2-4.5 Long-term Worst Case Scenario

Η αύξηση της βροχόπτωσης φαίνεται να έχει μεγάλη επίδραση στην πλημμυρική επικινδυνότητα της περιοχής. Παραθαλάσσιες περιοχές, εκτάσεις που βρίσκονται σε υπολεκάνες και εκτάσεις που έχουν χαρακτηριστεί με μέτρια ή υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα με την αύξηση της βροχόπτωσης ο κίνδυνος αυξάνεται ακόμα περισσότερο. Η βροχόπτωση είναι παράγοντας γένεσης του φαινομένου της πλημμύρας και επηρεάζει άμεσα και τους υπόλοιπους παράγοντες με αποτέλεσμα να αυξάνεται η επιφανειακή απορροή, να αυξάνεται η συσσώρευση και με τις κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες, υψομέτρου και χρήσεων γης να αυξάνεται η επικινδυνότητα ραγδαία. Επίσης αρκετά τμήματα αλλάζουν κατηγορία και χαρακτηρίζονται μια κλάση πάνω ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτές τις εκτάσεις. Όπως έχει αναφερθεί η περιοχή ευθύνης είναι αρκετά ορεινή με αποτέλεσμα να υπάρχουν μεγάλες διαφορές δυναμικού, έτσι όταν πολλοί παράγοντες με υψηλή επικινδυνότητα αθροίζονται (σταθμισμένα) το αποτέλεσμα είναι η επικινδυνότητα να είναι αρκετά αυξημένη.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση κινδύνου πλημμύρας είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία καθώς η γένεση του φαινομένου αποτελείται από αρκετούς παράγοντες. Οι επιπτώσεις του φαινομένου αυτού μπορούν να είναι καταστροφικές οικονομικά αλλά και για την ανθρώπινη ζωή γι'αυτό είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε σε εθνικό, περιφερειακό και τοπικό επίπεδο την πιθανότητα εμφάνισης τους. Με τα δεδομένα αυτά η πολιτεία έχει την δυνατότητα να δράσει κατάλληλα ώστε να μειωθούν οι σοβαρές επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν και να διασφαλίσει ένα ασφαλές περιβάλλον.

Στην παρούσα εργασία έγινε χωρική ανάλυση πλημμυρικής επικινδυνότητας στην περιοχή του Αγίου Νικολάου. Μία ορεινή περιοχή στο Βορειοδυτικό κομμάτι του Νομού Λασιθίου με μεγάλες κλίσεις και διαφορές υψομέτρων. Η κάλυψη γης παρουσιάζει έντονη διαφοροποίηση χωρίς διακριτά όρια με κυρίαρχες εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης και δάση. Η γεωλογία της περιοχής έχει κυριάρχους γεωλογικούς σχηματισμούς μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας με εξαίρεση τμήματα με πολύ μικρή υδροπερατότητα. Η μορφολογία του εδάφους ενισχύει την δημιουργία ρεμάτων και ποταμών τα οποία η πλειονότητα καταλήγει στην θάλασσα ενώ ένα ποσοστό καταλήγει σε ενδιάμεσες υπολεκάνες.

Ο Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Αγίου Νικολάου αποτελεί προϊόν μιας πολυκριτηριακής ανάλυσης με συνδυασμό μεθόδων γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Οι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη είναι α) Υψόμετρο (Elevation), β) Κλίση (slope), γ) Χρήσεις Γης (Land use), δ) Συγκέντρωση Ροής (Flow Accumulation), ε) Γεωλογία (Geology) και στ) Ένταση Βροχόπτωσης (Rainfall Intensity). Η επιλογή των παραγόντων και η κατηγοριοποίηση της επικινδυνότητας για κάθε παράγοντα έγινε με την προσέγγιση Delphi από ένα σύνολο επιστημόνων σχετικό με το αντικείμενο. Η χωρική ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό παγκόσμιας φήμης ArcGIS όπου για κάθε παράγοντα κατασκευάστηκε θεματικός χάρτης επικινδυνότητας σε τέτοια μορφή ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί κατάλληλα. Τελευταίο στάδιο αποτελεί το άθροισμα των παραγόντων με συντελεστές ανάλογα με το πόσο κάθε παράγοντας επηρεάζει το πλημμυρικό φαινόμενο.

Κάθε παράγοντας επηρεάζει διαφορετικά την επικινδυνότητα της περιοχής όπως και κάποιους από τους υπόλοιπους παράγοντες άμεσα και έμμεσα. Ο παράγοντας του υψομέτρου όπως έχει διαμορφωθεί και στην μεθοδολογία έχει αρκετά μεγάλη επίδραση στην επικινδυνότητα. Στο Νοτιοδυτικό κομμάτι της περιοχής όπου βρίσκονται οι κορυφές του βουνού Δίκη η επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται ως πολύ χαμηλή καθώς τα υψόμετρα είναι αρκετά υψηλά. Με κατεύθυνση βορειοανατολική όσο γίνεται η μετάβαση από υψηλά σε χαμηλά υψόμετρα η επικινδυνότητα αυξάνεται σταδιακά καθώς η ροή καταλήγει και συσσωρεύεται εκεί. Επίσης παραθαλάσσιες περιοχές εμφανίζουν υψηλό πλημμυρικό κίνδυνο για τους ίδιους λόγους.

Από τον χάρτη του υψομέτρου στην συνέχεια κατασκευάστηκε ο θεματικός χάρτης της κλίσης του εδάφους. Η πληροφορία που δίνει αυτός ο χάρτης είναι πολύ σημαντική καθώς βοηθάει να κατανοήσουμε με λεπτομέρεια την μορφολογία της περιοχής και να εντοπίσουμε άμεσα ποιες περιοχές είναι υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας. Σε

αρκετά σημεία φαίνεται ξεκάθαρα ότι η ροή συσσωρεύεται καθώς περιβάλλονται από έδαφος μεγαλύτερου υψομέτρου. Αυτά τα σημεία-τμήματα της περιοχής όμως δεν σημαίνει ότι είναι κρίσιμα σε όλες τις περιπτώσεις αλλά επηρεάζουν την επικινδυνότητα σημαντικά όταν συμπίπτουν χωρικά και άλλοι παράγοντες.

Στην συνέχεια κατασκευάζεται ο θεματικός χάρτης συσσώρευσης ροής όπου δημιουργείται μέσω υδρολογικών μοντέλων στο περιβάλλον του ArcGis και απεικονίζει το πώς δημιουργούνται τα ρέματα, ρυάκια, ποτάμια και το που καταλήγουν. Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό καταλήγει στην θάλασσα αλλά λόγω της μορφολογίας του εδάφους κάποια καταλήγουν σε ενδιάμεσα τμήματα της περιοχής ευθύνης αυξάνοντας την επικινδυνότητα και εκεί.

Ο τελευταίος χάρτης που εκφράζεται αριθμητικά είναι της έντασης βροχόπτωσης. Η κατασκευή του έγινε με τέσσερις μετεωρολογικούς σταθμούς όπου οι δύο παρέχουν δεδομένα δεκαετίας και οι άλλοι δύο μόνο δύο ετών. Τα δεδομένα των δύο σταθμών με περίοδο δύο ετών δεν μας δίνουν μια διαχρονική και πλήρη εικόνα της βροχόπτωσης όσο τα δεδομένα μίας δεκαετίας παρόλα αυτά, επειδή οι αποστάσεις των σταθμών δεν είναι μεγάλες δεν περιμένουμε να παρεκκλίνουν πολύ. Ο χάρτης επικινδυνότητας της έντασης της βροχόπτωσης που δημιουργήθηκε παρεμβάλλοντας τα δεδομένα στον χώρο δείχνει μια σταδιακή μείωση της επικινδυνότητας όσο μεγαλώνει η υψομετρική διαφορά. Αυτό δείχνει ότι οι κατακρημνίσεις σε υψηλά υψόμετρα αυξάνουν την επικινδυνότητα καθώς αυξάνεται η επιφανειακή ροή και εν συνεχεία η συσσώρευση της.

Οι δύο τελευταίοι χάρτες οι οποίοι εκφράζονται περιγραφικά είναι των χρήσεων γης και της γεωλογίας. Η κάλυψη γης είναι αρκετά σημαντικός παράγοντας καθώς επηρεάζει σημαντικά την επιφανειακή ροή και την απορρόφηση του νερού. Παραλιακές περιοχές και περιοχές με αστική δόμηση εμφανίζουν πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα όπως και περιοχές με θάμνους, χερσότοπους, σκληροφυλλική βλάστηση και αποτεφρωμένες εκτάσεις που χαρακτηρίζονται υψηλής επικινδυνότητας. Το μεγαλύτερο κομμάτι όμως της περιοχής ευθύνης καλύπτεται από σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, φυσικούς βοσκοτόπους και αραιή βλάστηση. Τέτοιου είδους κάλυψη γης χαρακτηρίζεται ως μέτριας επικινδυνότητας με σημαντική επίδραση στο φαινόμενο της πλημμύρας.

Ο τελευταίος παράγοντας αφορά τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής. Η επικινδυνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της υδροπερατότητας, όσο μεγαλύτερη υδροπερατότητα τόσο μικρότερη η επικινδυνότητα. Το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης καλύπτεται από ασβεστόλιθους δολομίτες και μάρμαρα μέτριας έως υψηλής διαπερατότητας. Η δεύτερη μεγαλύτερη έκταση καλύπτεται από αποθέσεις μέτριας έως μικρής υδροπερατότητας και είναι συγκεντρωμένη κυρίως στο νότιο κομμάτι της περιοχής ευθύνης. Οι σχηματισμοί με την μεγαλύτερη πλημμυρική επικινδυνότητας είναι κοκκώδεις με μη προσχωματικές αποθέσεις μικρής έως πολύ μικρής υδροπερατότητας. Ένα μεγάλο μέρος των σχηματισμών αυτών βρίσκεται στην δυτική μεριά της περιοχής ευθύνης σε σχετικά μεγάλο υψόμετρο σε σχέση με δύο κομμάτια που βρίσκονται γεωγραφικά σε περιοχές με αστική δόμηση αυξάνοντας σημαντικά τον κίνδυνο εκεί.

Με την κατασκευή του Χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας Αγίου Νικολάου είναι εμφανής η επίδραση που έχουν οι παράγοντες στην επικινδυνότητα. Όπως παρουσιάζεται και στα αποτελέσματα το 19% της περιοχής χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλής

επικινδυνότητας, το 34% χαμηλής, το 27% μέτριας, το 13% υψηλής και το 7% πολύ υψηλής. Με βάση τα στατιστικά αυτά μπορούμε να συμπεράνουμε ότι γενικά η περιοχή ευθύνης χαρακτηρίζεται χαμηλής προς μέτριας πλημμυρικής επικινδυνότητας. Ειδικότερα όμως το 20% που χαρακτηρίζεται υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας είναι αρκετά σημαντικό καθώς η έκταση αυτή αποτελείται κυρίως από κατοικημένες περιοχές και εκμεταλλεύσιμη γη από τον άνθρωπο με αποτέλεσμα οι συνέπειες σε αυτές τις περιοχές να θεωρούνται υψίστης σημασίας. Τα πλημμυρικά φαινόμενα έχουν την δυνατότητα να προκαλέσουν τεράστιες υλικές ζημιές όπως και να κοστίσουν ανθρώπινες ζωές, γι' αυτό πρέπει να δοθεί η απαραίτητη σημασία από την πολιτεία για την μείωση των επιπτώσεων.

Το τελευταίο σκέλος της εργασίας αφορά την ανάλυση επικινδυνότητας πλημμύρας σε μελλοντικό χρόνο με βάση δύο σενάρια κλιματικής αλλαγής της IPCC. Η IPCC δεν έχει ανακοινώσει ποιο σενάριο θεωρεί πιο πιθανό να συμβεί γι' αυτό επιλέχθηκαν δύο σενάρια, ένα αρκετά αισιόδοξο (SSP1-2.6) και ένα πιο δυσμενές (SSP2-4.5). Με βάση την μεθοδολογία για την δημιουργία του χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας δημιουργήθηκαν οχτώ νέοι χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας, τέσσερις για το SSP1-2.6 και τέσσερις για το SSP2-4.6 μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα (καλύτερης και χειρότερης κατάστασης).

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα για το σενάριο SSP1-2.6 με περίοδο 2041-2060 παρατηρούμε αύξηση της επικινδυνότητας κυρίως στα χαμηλά υψόμετρα. Επίσης η επικινδυνότητα αυξάνεται στο βόρειο κομμάτι στην περιοχή του Αγίου Νικολάου και στα περίχωρα. Σε γενικές γραμμές το σενάριο SSP1-2.6 δεν έχει μεγάλη επίδραση στην επικινδυνότητα.

Το σενάριο SSP1-2.6 για την περίοδο 2081-2100 απεικονίζει την επικινδυνότητα σχεδόν ίδια με την χρονική περίοδο 2041-2060 καθώς οι διαφορές στα σενάρια αύξησης της βροχόπτωσης είναι περίπου 1%.

Το σενάριο SSP2-4.5 για περιόδους 2041-2060 παρουσιάζει ίδια σχεδόν επικινδυνότητα με τα προηγούμενα σενάρια καθώς τα ποσοστά αύξησης της βροχόπτωσης είναι στα ίδια εύρη.

Σημαντική επίδραση έχει το μακροχρόνιο σενάριο 2081-2100 SSP2-4.5 όπου το καλύτερο σενάριο αυξάνει την βροχόπτωση στα 14.5% και το χειρότερο κατά 24.5%. Το καλύτερο σενάριο δεν έχει διαφορές σε σχέση με τα προηγούμενα καθώς η αύξηση δεν διαφέρει και πολύ. Αντιθέτως το χειρότερο σενάριο παρουσιάζει μια διαφορετική εικόνα της επικινδυνότητας στην περιοχή. Η συνολική επικινδυνότητα είναι αρκετά αυξημένη ειδικά στις περιοχές που χαρακτηριζόντουσαν ως χαμηλής επικινδυνότητας όπου με την αύξηση χαρακτηρίζονται ως μέτριας. Ακόμα και τμήματα υψηλών υψομέτρων κοντά στις κορυφές του Δίκτη παρουσιάζουν αυξημένη επικινδυνότητα.

Με βάση τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η επικινδυνότητα για αύξηση της βροχόπτωσης σε γενικές γραμμές δεν αυξάνεται πολύ. Τα ποσοστά αύξησης της βροχόπτωσης είναι αρκετά υψηλά, ωστόσο ο παράγοντας της βροχόπτωσης επηρεάζει την πλημμυρική επικινδυνότητα περίπου 10% σε σχέση με τους υπόλοιπους παράγοντες γι' αυτό το λόγο και η συνολική επικινδυνότητα δεν ανεβαίνει τόσο. Με εξαίρεση την χειρότερη κατάσταση του σεναρίου SSP2-4.5 για περιόδους 2061-2100 όπου η

επικινδυνότητα αυξάνεται αρκετά (24.5%) κυρίως σε περιοχές που χαρακτηρίζονταν χαμηλής επικινδυνότητας αλλά και σε παραθαλάσσιες.

Η περιοχή μελέτης του Αγίου Νικολάου μια περιοχή με μεγάλη ακτογραμμή, ορεινή με μεγάλες αυξομειώσεις στο υψόμετρο και μεγάλες διαφοροποιήσεις στην κάλυψη της γης είναι αρκετά δύσκολο να εκτιμηθεί ως προς την επικινδυνότητα της καθώς δεν υπάρχουν διακριτά όρια των κατηγοριών της επικινδυνότητας. Παρ' όλα αυτά για την περιοχή αποτελεί κανόνα η επικινδυνότητα να αυξάνεται σε χαμηλά υψόμετρα, μικρές και μεγάλες πεδιάδες και περιοχές με αστική δόμηση και περιοχές με χρήσεις γης τέτοιες ώστε να δημιουργούν συνθήκες γένεσης του φαινομένου.

Τελικά η περιοχή ευθύνης χαρακτηρίζεται χαμηλής έως μέτριας πλημμυρικής επικινδυνότητας όπως φαίνεται στον τελικό χάρτη επιβεβαιώνοντας με ιστορικά και βιβλιογραφικά στοιχεία. Σχολιάζοντας για μελλοντικό χρόνο η επικινδυνότητα αυξάνεται σύμφωνα με τα σενάρια της IPCC χωρίς όμως σοβαρές επιδράσεις, λαμβάνοντας υπόψη αυτή την αύξηση όμως πρέπει να ληφθούν προληπτικά μέτρα από τις αρμόδιες αρχές.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arrilla, A., 2009. *Geografía general I. Geografía Física*. Madrid: UNED.
- Brende, J., 2007. *Floods, Stress Effects of**, *Encyclopedia of Stress*. (Second Edition) επιμ. s.l.: Academic Press.
- Chen, J., Yang, S. T. & Li, H. W., 2013. *Research on Geographical Environment Unit Division Based on the Method of Natural Breaks (Jenks)*, s.l.: s.n.
- Corzo, G. & Varouchakis, A. E., 2019. *Spatiotemporal Analysis of Extreme Hydrological Events*. s.l.: s.n.
- Diakakis, M., Mavroudis, S. & Deligiannakis, G., 2012. *Floods in Greece, a statistical and spatial approach*.
- Diakakis, M., Priskos, G. & Skordoulis, M., 2018. *Public perception of flood risk in flash flood prone areas of Eastern Mediterranean: The case of Attica Region in Greece*. s.l.: s.n.
- Eimers, J. L., Weaver, J. C., Terziotti, S. & Midgette, R. W., 2000. *Methods of Rating Unsaturated Zone and Watershed Characteristics of Public Water Supplies in North Carolina*. , Raleigh NC: Water-Resources Investigations Reports.
- ESRI, 2006. *What is ArcGIS 9.2*, s.l.: ESRI.
- Goumas, C., 2019. *Ανάλυση Πλημμυρικής Επικινδυνότητας και Μοντελοποίηση Ροής του ρέματος Σταλού Χανίων*. s.l.: s.n.
- Γον, 2013. *Μόνιμος Πληθυσμός ανά Τοπική Κοινότητα & Οικισμό του Δήμου Ιεράπετρας (2001-2011)*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.ierapetra.gov.gr/ierapetra/monimos-plithismos-ana-topiki-koinotita-oikismo-2001-2011>
- Guha-Sapir, Below, D. & Hoyois, P., 2017. *EM-DAT: International Disaster Database*. s.l.: s.n.
- Heath, F. M. & Evans, 2000. *Important Bird Areas in Europe: Priority sites for conservation 2: Southern Europe*. s.l.: s.n.
- IPCC, 2021. *Climate Change 2021 The Physical Science Basis*, s.l.: IPCC.
- Kammerer, J. C., 1987. *Largest rivers in the United States (Water fact sheet)*, s.l.: USGS Publications Warehouse.
- Kourgialas, N. & Karatzas, G., 2011. *Flood management and a gis modelling method to assess flood-hazard areas: a case study*, s.l.: Hydrol. Sci. j.
- Kourgialas, N. N. & Karatzas, G. P., 2016. *A flood risk decision making approach for Mediterranean tree crops using GIS; climate change effects and flood-tolerant species*, s.l.: s.n.
- Lavakare, A., 2010. *GIS & Risk Assessment*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.geospatialworld.net/article/gis-risk-assessment/>
- Mobini, S. και συν., 2021. *Analysis of pluvial flood damage costs in residential building - A case study in Malmo*, Lund : s.n.

- Odlare, M., 2014. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. s.l.:s.n.
- Paramasivam, C. R., 2019. *Merits and Demerits of GIS and Geostatistical Techniques*. s.l., s.n.
- Perlman, H., Makropoulos, C. & Koutsoyiannis, D., 2016. *Ο υδρολογικός κύκλος (The water cycle)*. s.l.:s.n.
- Russell, A., 2005. *SEDIMENTARY PROCESSES / Catastrophic Floods*. s.l.:s.n.
- Shiklomanov, I. a., 1998. *World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century*. s.l.:s.n.
- Singh & Fiorentino, 1996. *Geographical Information Systems in Hydrology*. Στο: Dordrecht: Springer-Science & Business Media.
- weew, a. & wewra, a., 2008. *surface*. s.l.:s.n.
- Wudineh, F. A., Moges, S. A. & Kidanewold, B. B., 2022. *Flood Generation Mechanisms and Potential Drivers of Flood in Wabi-Shebele River Basin, Ethiopia*, s.l.: s.n.
- Yahaya, S., Ahmad , N. & Abdalla, R. F., 2010. *Multicriteria analysis for flood vulnerable areas in Hadejia-Jama'are river basin Nigeria*, s.l.: s.n.
- Yang, W. και συν., 2019. Using Principal Components Analysis and IDW Interpolation to Determine Spatial and Temporal Changes of Surface Water Quality og Xin'anjiang River in Huangshan, China. *International Journal of Enviromental Reasearch and Public Health*, p. 14.
- Παπαστεφανάκης, Ν., 2009. *Στοχαστική ανάλυση του πλημμυρικού γεγονότος της 17ης Οκτωβρίου 2006 στην υδρολογική λεκάνη της Αλμυρίδας*, s.l.: s.n.
- Περλέρος, Β. και συν., 2004. *Υπόγειο υδατικό δυναμικό Κρήτης, Προβλήματα και προοπτικές*. s.l., Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI.
- Τσακίρης, Γ., 2013. *ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ: Ι. Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων*. s.l.:Συμμετρία.

Ηλεκτρονικές Πηγές

- natura2000.eea.europa.eu
- statistics.gr
- www.ierapetra.gov.gr
- ypen.gov.gr
- oikoskopio.gr
- usgs.gov
- ipcc.ch
- meteo.gr
- emy.gr