



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ
ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Χαρτογράφηση επιφανειακού υδρογραφικού δικτύου και
εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου στην ευρύτερη περιοχή της
Νέας Μάκρης, Ανατολική Αττική**

Διπλωματική Εργασία των:

Τσιλίκη Πολυζώιδη Ιωάννη 1114201300125

Χατζοπούλου Δήμητρα 1114201300132

Επιβλέπουσα:

Δρ. Χαρίκλεια Σκυλοδήμου, Ε.Δι.Π. Τμήματος Γεωλογίας και
Γεωπεριβάλλοντος

ΑΘΗΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την κα. Χαρίκλεια Σκυλοδήμου, Ε.ΔΙ.Π. του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Ε.Κ.Π.Α., για την πολύτιμη καθοδήγηση και τη βοήθεια της σε όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ επίσης, τον Καθηγητή κ. Χαμπίκ Μαρουκιάν και τον κ. Γεώργιο Μπαθρέλλο, Ε.ΔΙ.Π. του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος Ε.Κ.Π.Α., για την παρουσία του στο πεδίο μαζί μας κατά τα πρώτα μας βήματα στην χαρτογράφηση των ρεμάτων.

Θα θέλαμε ακόμη να ευχαριστήσουμε το δημοτικό σύμβουλο Μαραθώνα κ. Παναγιώτη Μακρή, για τη βοήθειά του στην συγκέντρωση των τοπογραφικών χαρτών της Γ.Υ.Σ., απαραίτητων για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	11
1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ – ΟΡΙΣΜΟΙ.....	11
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ	16
1.3. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ	18
1.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	33
2.1 ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	33
2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	40
2.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	43
2.4 ΚΛΙΜΑ.....	44
2.5 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	47
3.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ.....	47
3.2 ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΔΙΟΥ	50
3.3 GPS ΔΙΠΛΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (Dual-frequency GPS)	52
3.3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ GPS ΔΙΠΛΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ.....	52
3.4 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ)	53
3.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ	55
3.5.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	57
4.1 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	57
4.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	59

4.3 ΡΕΜΑ ΚΑΡΛΑΝΤΕΡΑΣ	62
4.4 ΡΕΜΑ ΟΣΙΟΥ ΕΦΡΑΙΜ.....	65
4.5 ΡΕΜΑ ΞΥΛΟΚΕΡΙΖΑΣ.....	67
4.6 ΡΕΜΑ ΑΝΑΤΟΛΗΣ	69
4.7 ΡΕΜΑ ΡΟΚΦΕΛΕΡ	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΥΜΜΗΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	78
5.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ.....	78
5.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ	88
5.3 ΧΑΡΤΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	96
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πλημμύρες θεωρούνται ένα παγκόσμιο φαινόμενο υψηλού κινδύνου. Εμφανίζονται όταν οι έντονες βροχοπτώσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα προκαλούν ταχεία άνοδο του νερού. Παρόλο που η πλημμύρα είναι ένα φυσικό μέρος του κύκλου του νερού, μπορεί να αποβεί καταστροφική για τον ανθρώπινο υλικό πολιτισμό.

Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ευρύτερη περιοχή της Νέας Μάκρης και Ανατολής. Τα ρέματα που μελετώνται είναι: το ρέμα της Καρλαντέρας, το ρέμα του Οσίου Εφραίμ, το ρέμα της Ξυλοκέριζας, το ρέμα της Ανατολής και το ρέμα του Ροκφέλερ. Όλο το υδρογραφικό δίκτυο είναι εποχιακής ροής. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει δύο επιμέρους στόχους: την χαρτογράφηση, την ανάλυση και την αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου και την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή μελέτης.

Η μεθοδολογία της χαρτογράφησης του υδρογραφικού δικτύου περιλαμβάνει τη χρήση: τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:5.000 και 1:25.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.), υπαιθρίων παρατηρήσεων και τη λήψη φωτογραφικού υλικού από τα σημεία παρατήρησης στο πεδίο με ταυτόχρονη χρήση GPS. Με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) δημιουργήθηκε ο χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης. Πέντε διαφορετικοί παράγοντες λήφθηκαν υπόψη για την εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου: το υψόμετρο, οι μορφολογικές κλίσεις, οι χρήσεις γης της περιοχής μελέτης, η διαπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών και οι ζώνες επιρροής στις κοίτες των ρεμάτων. Οι παράγοντες αυτοί βαθμονομήθηκαν μέσω μιας ενιαίας αριθμητικής κλίμακας, αλληλοσυσχετίστηκαν με την άθροισή τους και έτσι προέκυψε ο χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι όλα τα ρέματα που μελετώνται εκβάλουν μέσω αγωγού αποστράγγισης, εκτός από το ρέμα της Ανατολής που η εκβολή του καλύπτεται από αστικό ιστό. Από το συνολικό μήκος όλων των κοιτών, το 35% έχει καλυμμένη και ημικαλυμμένη κοίτη. Η περιοχή χωρίστηκε σε διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου και παρατηρήθηκαν ζώνες «Υψηλού» και «Πολύ

υψηλού» πλημμυρικού κινδύνου κυρίως στα χαμηλότερα υψόμετρα που είναι συγκεντρωμένος ο αστικός ιστός και οι κοίτες των ρεμάτων είναι καλυμμένες. Το ποσοστό των ζωνών αυτών καλύπτει το 24% της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης. Κύριο αίτιο που αυξάνει τον πλημμυρικό κίνδυνο είναι η ανθρώπινη παρέμβαση που μέσω των υποδομών παρεμποδίζει την φυσική ροή των ρεμάτων.

ABSTRACT

Floods are considered to be an international phenomenon of great danger. They occur when intense rainfalls cause rapid ascent of the water, in short amount of time. Although a flood is a natural part of the Water Cycle, it has also proven to be catastrophic for catastrophic for the human civilization.

The study area of this thesis is the region of Nea Makri and Anatoli. The streams that are being studied are: the stream of Karlantera, the stream of St Efraim, the stream of Xilokeriza, the stream of Anatoli and the stream of Rockefeller. The entire stream network of this area has seasonal flow. This thesis has two distinct goals: the mapping, the analysis and the depiction of the stream network and the evaluation of flood hazard in the study area.

The methodology of mapping the stream network includes the use of topographic maps with scale of 1:5000 and 1:25000 of the Military Geographic Service, field observations and their photo material, with simultaneous use of GPS. The map of flood hazard of the study area has been created with the help of Geographic Information Systems (GIS). Five different factors have been taken into consideration for the assessment of the flood hazard: the altitudes, the slopes, the land use of the study area, the permeability of the geological formations and the buffer zones around the floodplains of the streams. The factors have been calibrated with a single numerical scale, they were correlated, and, through their sum, the flood hazard map has arisen.

The result analysis showed that all the streams that are being studied, flow through drainage pipes, except for the stream of Anatoli, in which case the mouth is covered by urban area. From the total length of all floodplains, 35% has its floodplain covered or semi-covered. The area has been divided into gradated hazard levels and “High risk” and “Very high risk” zones of flood hazard are being observed around low altitudes, where urban area is located and the floodplains of the stream are covered. The percentage of those zones covers 24% of the total study area. The human intervention also plays a big part in the increased risk for flood, because the human infrastructures are blocking the natural flow of the streams.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πλημμύρες αποτελούν ένα είδος κινδύνου παγκοσμίως. Εμφανίζονται όταν οι έντονες βροχοπτώσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα προκαλούν ταχεία άνοδο του νερού. Ωστόσο, η πλημμύρα είναι ένα φυσικό μέρος του κύκλου του νερού, αλλά μπορεί να αποβεί καταστροφικό για τον ανθρώπινο υλικό πολιτισμό. Οι πλημμύρες συμβαίνουν συνήθως όταν η βροχόπτωση πέφτει πιο γρήγορα από ότι το νερό μπορεί να απορροφηθεί στο έδαφος ή να παρασυρθεί από ποτάμια ή ρυάκια. Τα νερά μπορεί να συσσωρεύονται σταδιακά για μια περίοδο εβδομάδων, όταν μια μεγάλη περίοδος βροχόπτωσης ή τήξης χιονιού γεμίζει το έδαφος με νερό και αυξάνει τα επίπεδα των ρευμάτων.

Τα εδάφη με μεγάλη βλάστηση είναι λιγότερο πιθανό να παρουσιάσουν πλημμύρες. Τα φυτά επιβραδύνουν το νερό καθώς τρέχει πάνω από τη γη, δίνοντάς του χρόνο να μπει στο έδαφος. Παράλληλα, οι υγρότοποι λειτουργούν ως ρυθμιστές των υψηλών επιπέδων νερού και διαδραματίζουν βασικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων των πλημμυρών. Οι πλημμύρες είναι επίσης υπεύθυνες για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ιζημάτων εντός των ρευμάτων. Αυτά τα ιζήματα αποτελούν βιότοπους για ζώα και η περιοδική κίνηση των ιζημάτων είναι ζωτικής σημασίας για τη ζωή διαφόρων τύπων οργανισμών. Τα φυτά και τα ψάρια κατά μήκος του ποταμού του Κολοράντο, για παράδειγμα, εξαρτώνται από τις εποχιακές πλημμύρες (Howard, Brillman & Burkle, 1996).

Συνάμα, οι πλημμύρες αντιπροσωπεύουν το 40% όλων των φυσικών καταστροφών παγκοσμίως και προκαλούν περίπου τους μισούς θανάτους από φυσικές καταστροφές (Howard, Brillman & Burkle, 1996). Οι περισσότερες πλημμύρες συμβαίνουν σε αναπτυσσόμενες και τροπικές περιοχές όπου ο αντίκτυπος στη δημόσια υγεία είναι σημαντικός, ο αριθμός των εκτοπισμένων είναι συχνά μεγάλος και ο αριθμός των θανάτων είναι υψηλός. Μετά από μια πλημμύρα οι θάνατοι και οι τραυματισμοί όχι μόνο οφείλονται στα φυσικά χαρακτηριστικά του συμβάντος, αλλά καθορίζονται επίσης από τις επικρατούσες κοινωνικές, οικονομικές και υγειονομικές συνθήκες της κοινότητας, καθώς και τυχόν ενδημικές μολυσματικές ασθένειες (Howard, Brillman & Burkle, 1996).

Στην παρακάτω διπλωματική εργασία διαρθρώνονται δύο επιμέρους στόχοι:

1. Η χαρτογράφηση, η ανάλυση και η αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου με τη χρήση τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.).

2. Η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή μελέτης, με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ).

Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ευρύτερη περιοχή της Νέας Μάκρης και Ανατολής. Τα ρέματα που μελετώνται είναι: Το ρέμα της Καρλαντέρας, το ρέμα του Οσίου Εφραίμ, το ρέμα της Ξυλοκέριζας, το ρέμα της Ανατολής και το ρέμα του Ροκφέλερ. Όλο το υδρογραφικό δίκτυο είναι εποχιακής ροής.

Στο κεφάλαιο 1 αναλύονται βασικές έννοιες και ορισμοί σχετικά με τις πλημμύρες. Παρατίθεται ιστορικό πλημμυρών στον Ελλαδικό χώρο και στην Αττική, και περιγράφεται η γενικότερη έννοια του πλημμυρικού κινδύνου.

Το κεφάλαιο 2 εστιάζει στην περιοχή μελέτης και περιγράφονται τα γεωμορφολογικά της στοιχεία, η υδρογεωλογία, το κλίμα καθώς και τα δημογραφικά της στοιχεία.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την εργασία στο πεδίο και κατά την εργασία στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ). Ακολουθεί η ανάλυση και η βαθμονόμηση των παραγόντων που επιδρούν στη πλημμυρική επικινδυνότητα που είναι το υψόμετρο, οι μορφολογικές κλίσεις, οι χρήσεις γης, η διαπερατότητα των πετρωμάτων και οι ζώνες επιρροής της κοίτης των ρεμάτων.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται ανάλυση του επιφανειακού υδρογραφικού δικτύου που περιλαμβάνει τη χαρτογράφηση και παρατίθενται οι γεωμορφολογικές παρατηρήσεις. Παρατίθενται κάποια από τα σημεία παρατήρησης στο πεδίο, συνοδευόμενα από φωτογραφικό υλικό για την καλύτερη κατανόηση του

υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης. Για την ακριβή αποτύπωση των σημείων παρατήρησης έγινε χρήση GPS, του οποίου αναλύεται η λειτουργία.

Στο κεφάλαιο 5 γίνεται εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Αναλύονται εκτενέστερα οι παράγοντες που επιδρούν σε αυτή, συνοδευόμενοι με τους αντίστοιχους χάρτες των υψομέτρων, των μορφολογικών κλίσεων, των χρήσεων γης της διαπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής και των ζωνών επιρροής στις κοίτες των ρεμάτων, οι οποίοι δημιουργήθηκαν μέσω του ΓΣΠ. Στη συνέχεια γίνεται συσχέτιση των χαρτών των παραγόντων και παρουσιάζονται οι χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης .

Τέλος, η μελέτη ολοκληρώνεται με την εξαγωγή συμπερασμάτων από την χαρτογράφηση του υδρογραφικού δικτύου και από τους παραγόμενους χάρτες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ – ΟΡΙΣΜΟΙ

Οι πλημμύρες αποτελούν μια πολύ συχνή φυσική καταστροφή, οι οποίες έχουν σοβαρές συνέπειες στις ανθρώπινες κοινωνίες που πλήττουν. Μπορούν να προξενήσουν ζημιές στις υποδομές, ζημιές στη φύση και τη γεωργική παραγωγή, ακόμα και απώλεια ανθρώπινων ζώων. Παράλληλα, αποπλένουν τα γόνιμα εδάφη σε περιοχές που αναπτύσσονται καλλιέργειες, μολύνουν τα υδατικά αποθέματα και μπορούν μέχρι και να προκαλέσουν κατολισθήσεις εδαφών (Schilling, 1991).

Εκδηλώνονται από ραγδαίες βροχοπτώσεις και καταιγίδες, από το ανέβασμα της στάθμης των ποταμών ή και το λιώσιμο του χιονιού. Πιο συγκεκριμένα, ανθρωπογενείς αιτίες που συμβάλλουν στη δημιουργία πλημμυρών είναι οι αστοχίες των φραγμάτων ή των προστατευτικών αναχωμάτων ενώ στα φυσικά/μετεωρολογικά φαινόμενα που μπορούν να προκαλέσουν μια πλημμύρα συγκαταλέγονται οι καταρρακτώδεις τροπικές βροχές και καταιγίδες. Σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, είναι φυσικό να αναφερόμαστε περισσότερο στον ρόλο των βροχοπτώσεων στις πλημμύρες που συμβαίνουν, καθώς τα κατακρημνίσματα που δίνει το μεσογειακό κλίμα έχουν γίνει πολύ απρόβλεπτα και μεταβλητά τα τελευταία χρόνια, τόσο χωρικά όσο και χρονικά, σε σχέση με τα πιο υγρά κλίματα (Πλημμύρες, 2017).

*Σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ «Για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας», ως **πλημμύρα ορίζεται** η προσωρινή κατάκλυση του εδάφους από νερό το οποίο, υπό κανονικές συνθήκες, δεν είναι καλυμμένο από νερό. Η έννοια αυτή περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χειμάρρους και υδατορεύματα εφήμερης ροής, υπερχειλίσεις λιμνών, πλημμύρες από υπόγεια ύδατα, πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, καθώς και πλημμύρες που προκαλούνται από θαλάσσια κύματα βαρύτητας. Ακόμη, περιλαμβάνει πλημμύρες από καταστροφές μεγάλων υδραυλικών έργων, όπως θραύσεις αναχωμάτων και φραγμάτων. (ΚΥΑ Η.Π.31822/1542/Ε103/10/20-07-2010 – ΦΕΚ 1108/Β'/2010). Επίσης, στην ανωτέρω Οδηγία 2007/60/ΕΚ ως **κίνδυνος πλημμύρας ορίζεται** ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των*

δυναμικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται μ' αυτή την πλημμύρα.

Γενικά θα μπορούσε να ορίσει την πλημμύρα κάποιος ως ένα φυσικό φαινόμενο που συμβαίνει όταν σε ένα υδατικό σώμα το νερό αυξάνεται και υπερχειλίζει, με αποτέλεσμα η γειτονική γη να σκεπάζεται από νερό. Ο κύριος παράγοντας που επιδρά στην δημιουργία της πλημμύρας σύμφωνα με την επιστήμη της υδρογεωλογίας, είναι η αύξηση της υδατοπαροχής ή/και η μείωση της διατομής της κοίτης. Λαμβάνει χώρα δηλαδή όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης αδυνατεί να διοχετεύσει τον αυξημένο όγκο υδάτων (Μαμάσης, 2009).

Σύμφωνα με τους Montz και Gruntfest (2002), οι πλημμύρες έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (Sene, 2013)

- Εμφανίζονται ξαφνικά
- Κινούνται γρήγορα και γενικά βίαια, με αποτέλεσμα τον υψηλό κίνδυνο απειλής της ζωής και σοβαρών υλικών ζημιών και των υποδομών.
- Είναι γενικά μικρής κλίμακας σε σχέση με το μέγεθος των επιπτώσεων
- Συνδέονται συχνά με άλλα γεγονότα, όπως οι παραποτάμιες πλημμύρες σε μεγαλύτερα ρέματα και τις κατολισθήσεις λάσπης.
- Είναι σπάνιες (Gruntfest & Handmer, 2001)

Μία πλημμύρα είτε παρουσιάζει βραδεία εξέλιξη είτε ανήκει στην κατηγορία της ξαφνικής πλημμύρας. Οι ξαφνικές πλημμύρες που οφείλονται σε ραγδαίες βροχοπτώσεις με μεγάλη ποσότητα βροχής σε μικρό χρονικό διάστημα, είναι τα πιο συνηθισμένα φαινόμενα στον Ελλαδικό χώρο. Αυτό φυσικά οφείλεται στο γεωμορφολογικό ανάγλυφο της χώρας μας, το οποίο συμβάλει στην δημιουργία πολλών ρεμάτων με μικρές σχετικά λεκάνες απορροής. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα θύματα εξαιτίας πλημμυρών προέρχονται από τις ξαφνικές πλημμύρες. Η διάρκεια, η ένταση και η χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων είναι

σημαντική παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση ή μη ενός πλημμυρικού φαινομένου. Ωστόσο υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που μπορούν να δράσουν κατασταλτικά ή να αυξήσουν τον κίνδυνο ενός τέτοιου φαινομένου. Αναφέρονται ενδεικτικά:

- Η δυνατότητα του υδρογραφικού δικτύου να παροχετεύσει αποτελεσματικά την επιφανειακή απορροή
- Το μέγεθος, η γεωλογία και η γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής
- Το ποσοστό φυτοκάλυψης του εδάφους
- Οι χρήσεις γης

Οι πλημμύρες, ωστόσο, έχουν και τα οφέλη τους, όπως είναι η αναπλήρωση του εδάφους με θρεπτικά συστατικά και υγρασία και κατά συνέπεια η αύξηση της αγροτικής παραγωγικότητας. Οι τακτές πλημμύρες επίσης προσφέρουν ένα κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη και διατήρηση της βιοποικιλότητας. Όσον αφορά στο πλημμυρικό πεδίο, οι πλημμύρες αυξάνουν συνεχώς το ύψος του με αποτέλεσμα τη μείωση της επιδεκτικότητάς του σε μελλοντικές πλημμύρες (Βιοποικιλότητα, n.d.).

Πλημμυρικό πεδίο είναι η περιοχή γύρω από έναν ποταμό, η οποία περιοδικά καλύπτεται με νερό από την υπερχειλίση του ποταμού λόγω της υπέρβασης της χωρητικότητας του καναλιού. Συνήθως καλύπτεται από στρώσεις άμμου, πηλού και αργίλου που αποτέθηκαν από το υπερχειλισμένο νερό. Πλημμυρικά πεδία υπάρχουν κυρίως σε ακτές χαμηλού υψομέτρου και στα χαμηλά σημεία μεγάλων προσχωσιγενών ποταμών (Alexander, 2001).

Γραμμές πλημμύρας είναι οι γραμμές εκατέρωθεν της βαθιάς γραμμής του υδατορεύματος, που προκύπτουν ύστερα από την υδραυλική μελέτη και περικλείουν τη ζώνη πλημμύρας.

Ζώνη πλημμύρας ορίζεται ως η εδαφική περιοχή η οποία κατακλύζεται από τα πλημμυρικά νερά για συγκεκριμένη κάθε φορά περίοδο επαναφοράς και περικλείεται από τις γραμμές πλημμύρας (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1 : Κύρια αίτια και τύποι πλημμυρών (ΦΕΚ του 2018, 2018).

Υδατορεύματα ή υδατορέματα (μη πλεύσιμοι ποταμοί, χείμαρροι, ρέματα και ρυάκια) είναι οι φυσικές ή διευθετημένες διαμορφώσεις της επιφάνειας του εδάφους που είναι κύριοι αποδέκτες των υδάτων της επιφανειακής απορροής και διασφαλίζουν την διέλευσή τους προς άλλους αποδέκτες σε χαμηλότερες στάθμες. Στην έννοια του υδατορεύματος δεν περιλαμβάνονται τα εγχειροβελτιωτικά έργα όπως αρδευτικές και αποστραγγιστικές τάφροι καθώς και οι πλεύσιμοι ποταμοί (Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, n.d.).

Διευθέτηση υδατορεύματος ορίζεται η επέμβαση στο υδατόρευμα με την εκτέλεση των αναγκαίων έργων με σκοπό την βελτίωση των συνθηκών ροής, τη μείωση των κινδύνων από πλημμύρες και τον έλεγχο των διαβρώσεων και των αποθέσεων φερτών υλικών. Στα έργα αυτά περιλαμβάνεται και η εκτροπή του υδατορεύματος καθώς και η υποκατάστασή του με κλειστό ή ανοιχτό τεχνικό έργο στην ίδια ή διαφορετική θέση (Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, n.d.).

Λεκάνη απορροής ενός ποταμού ονομάζεται το δίκτυο των καναλιών μαζί με τις κλιτείς που αποστραγγίζουν, οριοθετημένη από τον **υδροκρίτη** ο οποίος διαχωρίζει τις γειτονικές λεκάνες. Οι λεκάνες απορροής ποικίλουν σε μέγεθος ενώ

οι μικρότερες λεκάνες αποτελούν ενιαίο και αναπόσπαστο τμήμα των μεγαλύτερων (Alexander, 2001) (βλ. Σχήμα 1. 2).



Σχήμα 1.2: Οριοθέτηση λεκάνης απορροής (<http://www.geo.auth.gr/>)

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Οι πλημμύρες ως διαχρονικά και διεθνή φαινόμενα, επηρεάζουν μια μεγάλη μερίδα ανθρώπων, κτίρια και υποδομές. Στην ιστορική πορεία, οι πλημμύρες είναι οι πιο θανατηφόρες και έχουν προκαλέσει περισσότερες οικονομικές απώλειες από άλλες φυσικές καταστροφές. Η ιστορία των πλημμυρών θεωρείται ότι επικεντρώνεται στην αρχαία Ελλάδα, από την αρχή της Εποχής του Χαλκού. Ειδικότερα, οι αρχαίοι Έλληνες απέφυγαν να ζουν κοντά σε λίμνες και ποτάμια, πιθανώς για λόγους υγιεινής και προστασίας από πλημμύρες. Στην σύγχρονη εποχή ο κίνδυνος από πλημμύρα εξακολουθεί να είναι ένα πρόβλημα που προβληματίζει όλο και περισσότερο.

Η συνεχιζόμενη αστικοποίηση και η αποψίλωση των δασών κατά τη διάρκεια των αιώνων, οδήγησαν σε αυξανόμενο και ανεξέλεγκτο κίνδυνο πλημμύρας. Για το λόγο αυτό, ένα σύνολο ειδικών μέτρων θα πρέπει να εφαρμοστεί σε ευάλωτες περιοχές, με στόχο τον μετριασμό των σοβαρών ζημιών που ενδέχεται να προκαλέσουν οι πλημμύρες, συμπεριλαμβανομένων των φραγμάτων κατά των πλημμυρών, των τεχνολογιών εκτροπής της ροής του νερού, της συλλογής των βρόχινων υδάτων, των κήπων βροχής για την κατακράτηση των υδάτων και της αναδάσωσης.

Στην Ελλάδα, η τακτική καταγραφή των πλημμυρών από οργανισμούς πολιτικής προστασίας ξεκίνησε σχετικά πρόσφατα, περιορίζοντας τα συστηματικά επίσημα αρχεία τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Από την άλλη πλευρά, οι περιφερειακές αρχές, οι οργανισμοί αποζημίωσης ζημιών και ο Τύπος τεκμηρίωσαν καταστροφές σε επίσημες εκθέσεις ή σε ανέκδοτη μορφή, διατηρώντας αρχεία με εκτενή ποσότητα δεδομένων, που δεν αξιολογήθηκαν συστηματικά στο σύνολό τους μέχρι τώρα. Παλαιότερες εργασίες πρότειναν και έδειξαν ότι η εξέταση της ιστορίας πλημμυρών παίζει σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση επικινδυνότητας πλημμύρας (Diakakis et al., 2011a).

Τα τελευταία χρόνια, μελέτες που χρησιμοποιούν ποιοτικές πληροφορίες για την αναδημιουργία του ιστορικού φυσικών καταστροφών γίνονται συχνότερες,

ειδικά σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα και περιγραφές. Ειδικά στην περιοχή της Μεσογείου, αυτή η προσέγγιση εφαρμόζεται σε διάφορους τύπους καταστροφών (π.χ. πλημμύρες, κατολισθήσεις) που δείχνουν πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα. Επιτυχημένα παραδείγματα περιλαμβάνουν εφαρμογές στον τομέα της διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας και κατολισθήσεων (Guzzetti and Tonelli, 2004) και μελέτης φαινομένων που προκαλούν καταστροφές (Cuesta et al., 1999). Η χρήση των αρχείων τύπου ως πηγή πληροφοριών έχει επεκταθεί ακόμη και σε διεθνείς οργανισμούς πρόγνωσης των κινδύνων (Tschögl et al., 2006) που εξάγουν δεδομένα και στη συνέχεια αναπτύσσουν βάσεις δεδομένων για την ανακατασκευή και τη μελέτη καταστροφών. Ένα μεγάλο μέρος της χώρας είναι ορεινό, με την πιο αστική ανάπτυξη να πραγματοποιείται σε πεδινά. Ο πληθυσμός συσσωρεύεται κυρίως σε παράκτιες περιοχές και στα νησιά, σε περιοχές στις οποίες το καλοκαίρι παρατηρείται αξιοσημείωτη αύξηση του πληθυσμού που συμβάλλει στην αυξημένη ευπάθεια των πλημμυρών. Ο πληθυσμός συγκεντρώνεται σε αστικά κέντρα, με μεγαλύτερη την Αθήνα (* 4 εκατομμύρια), τη Θεσσαλονίκη (* 1 εκατομμύριο), την Πάτρα (* 230.000) και το Ηράκλειο (* 140.000) να είναι ο οικοδεσπότης ενός μεγάλου μέρους του συνολικού πληθυσμού (* 11 εκατομμύρια). Ένα μεγάλο μέρος του αποχετευτικού δικτύου της χώρας, αποτελείται από εφήμερο βουνό, χειμάρρους και μικρές έως μεσαίες λεκάνες αποχέτευσης, με περιορισμένο ποσοστό απορρίψεων για το μεγαλύτερο μέρος του έτους. Στη Μεσόγειο, οι περισσότερες πλημμύρες προκαλούνται από έντονες βροχοπτώσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αντίθετα με τους ποταμούς της Κεντρικής Ευρώπης, η έλλειψη μεγάλων ποταμών και οι περιφερειακές βροχές καθιστούν τις περιφερειακές πλημμύρες σχεδόν απούσες. Τα οργανικά υδρολογικά δεδομένα είναι λιγοστά, καθώς οι περισσότερες λεκάνες απορροής δεν έχουν μετρηθεί καθιστώντας τα ιστορικά αρχεία πολύτιμα σε μελέτες πλημμυρών

1.3. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ

Το λεκανοπέδιο της Αττικής έχει απασχολήσει ιδιαίτερα ανά τους καιρούς με τις πλημμύρες που το προσβάλλουν. Συγκεκριμένα, ιστορικά γεγονότα που έχουν καταγραφεί είναι (Καλλιαντέρης, 2017) :

- Στις 14 Νοεμβρίου του 1896, 70 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους σε Αθήνα και Πειραιά, όταν μετά από μία ισχυρή δωδεκάωρη καταιγίδα, ξεχείλισε ο Κηφισός και πλημύρισε η περιοχή του Αγίου Παντελεήμονα.
- Στις 23 Νοεμβρίου 1925 μια καταιγίδα στον Πειραιά, άφησε πίσω της οκτώ θύματα και πολλά κατεστραμμένα σπίτια.
- Στις 22 Νοεμβρίου 1934, έξι άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους από τη δυνατή νεροποντή που έπνιξε το Νέο Φάληρο και το Μοσχάτο. Ισχυρή καταιγίδα την ίδια μέρα έπληξε τις περιοχές της Νέας Ιωνίας και της Νέας Φιλαδέλφειας προκαλώντας ζημιές σε δεκάδες σπίτια.
- Στις 5 Νοεμβρίου 1961, η Αττική θρήνησε τον μεγαλύτερο αριθμό νεκρών, όταν μετά από συνεχή χαλαζόπτωση που έμοιαζε περισσότερο με τυφώνα, πλημύρισε ο Κηφισός στέλνοντας στο θάνατο 40 ανθρώπους. Το επίκεντρο της καταστροφής ήταν στο Μπουρνάζι. Ακόμη, 300 άτομα τραυματίστηκαν και 3.700 έμειναν άστεγοι ενώ πάνω από 4.000 σπίτια καταστράφηκαν. Μέσα σε οκτώ ώρες έπεσαν 114 mm βροχής και σε μία ώρα 40 mm βροχής.
- Στις 2 Νοεμβρίου 1977, η νεροποντή χτύπησε σε Αιγάλεω και Μοσχάτο. Ο απολογισμός 36 νεκροί, σχεδόν 2.000 υπόγεια σπίτια πλημμυρισμένα και αμέτρητες καταστροφές.
- Το Νοέμβριο του 1977 επίσης, σφοδρές πλημμύρες έχουν καταγραφεί στον Ασπρόπυργο όταν πλημύρισε ο παραπόταμος του Αγίου Γεωργίου.
- Το 1981 πλημύρισαν σε Αιγάλεω και Περιστέρι οι χείμαρροι Μάσχα, Προφήτη Δανιήλ και Δαφνόρεμα.

- Τον Νοέμβριο του 1993 οι καταστροφικές πλημμύρες έπνιξαν κυριολεκτικά τη Βάρη, τη Βούλα και τη Γλυφάδα όταν πλημμύρισε το Λυκόρεμα. Σε διάρκεια πέντε ωρών, όπως θυμάται χαρακτηρισικά ο μετεωρολόγος Θοδωρής Κολυδάς, έπεσαν 64 χιλιοστά βροχής ενώ 2.000 άνθρωποι έμειναν άστεγοι.
- Στις 21 Οκτωβρίου 1994, ο Ποδονίφτης ξεχείλισε στην περιοχή της Νέας Ιωνίας και του Περισσού πνίγοντας 13 ανθρώπους ενώ ανυπολόγιστες ήταν οι υλικές ζημιές. Η δύναμη της βροχής ήταν τέτοια που μέσα σε 1,5 ώρα έπεσαν 70mm βροχής (τα 40 mm σε μία ώρα). Πάνω από 500 οικογένειες έμειναν άστεγες, σχεδόν 400 σπίτια κατέρρευσαν και 4.000 πλημμύρισαν.
- Τον Ιανουάριο του 1996 το Θριάσιο Πεδίο έγινε απέραντη λίμνη και δύο άνθρωποι πνίγηκαν όταν ο Σαρανταπόταμος (που ξεκινάει από την περιοχή της Μάντρας και φτάνει μέχρι την Χαλυβουργική), υπερχειλίσει και καθώς δεν είχε διέξοδο προς τη θάλασσα, έπνιξε κυριολεκτικά την περιοχή. Δεν ήταν όμως αυτή η πρώτη φορά. Ο Σαρανταπόταμος είχε επίσης πλημμυρίσει, το 1953, το 1977, το 1978 προκαλώντας μεγάλες ζημιές στην περιοχή του Θριάσιου Πεδίου, ενώ το 1963 ο χειμάρρος Σούρες είχε ξεχειλίσει πνίγοντας πάλι την περιοχή του Θριάσιου.
- Στις 8 Ιουλίου 2002 πλημμύρισαν ισόγεια και υπόγεια οικιών και επιχειρήσεων στον Κηφισό (βλ. Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Πλημμύρες στις 8 Ιουλίου 2002 (Καλλιαντέρης, 2017)

- Στις 22 – 25 Νοεμβρίου 2005, μετά από βροχόπτωση 60 ωρών πλημμύρισαν η βόρεια και ανατολική Αττική. Συγκεκριμένα σημειώθηκαν 245 mm βροχής στον Διόνυσο και 130 mm στην Πεντέλη.
- Στις 24 Οκτωβρίου 2014 στη Δυτική Αττική σημειώθηκαν καταστροφικές ζημιές από πλημμύρα. Εκατοντάδες αυτοκίνητα παρασύρθηκαν, σπίτια και καταστήματα πλημμύρισαν στην Νίκαια, στου Ρέντη, στο Ίλιον, στην Ανθούπολη και τον Πειραιά (βλ. Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4 : Εικόνες από την πλημμύρα στη Δυτική Αθήνα (<https://www.naftemporiki.gr>)

- Στις 15 Νοεμβρίου 2017 φονική πλημμύρα με 24 θανάτους και μεγάλες υλικές καταστροφές έλαβε χώρα στην Δυτική Αττική, πλήττοντας ιδιαίτερα την περιοχή της Μάνδρας, την Νέα Πέραμο, την Μαγούλα και την Ελευσίνα. Πρόκειται για την Τρίτη μεγαλύτερη πλημμύρα στην Αττική με βάση τον αριθμό των νεκρών που προκλήθηκε από ισχυρή βροχόπτωση (βλ. Σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5: Καταστροφές από την πλημμύρα στην περιοχή της Μάνδρας
(<https://www.reportaznet.gr>)

1.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Ένας φυσικός κίνδυνος είναι ένα δυνητικά επιβλαβές φυσικό γεγονός, που μπορεί να προκαλέσει απώλεια ζωής ή τραυματισμό, ζημία περιουσίας, κοινωνική και οικονομική αναστάτωση ή περιβαλλοντική υποβάθμιση (UNISDR, 2004). «Δυνητικά βλαβερό» σημαίνει ότι υπάρχουν στοιχεία που εκτίθενται στον κίνδυνο που θα μπορούσαν, αλλά δεν χρειάζεται απαραίτητα, να βλάψουν (Gouldby & Samuels, 2005). Ο στόχος της εκτίμησης των κινδύνων πλημμύρας, είναι να κατανοηθεί η πιθανότητα ότι μια πλημμύρα συγκεκριμένης έντασης θα συμβεί σε μεγάλο χρονικό διάστημα. Η εκτίμηση επικινδυνότητας στοχεύει στην εκτίμηση αυτής της πιθανότητας για περιόδους ετών έως δεκαετιών, για την υποστήριξη δραστηριοτήτων διαχείρισης κινδύνου.

Η ένταση αναφέρεται συνήθως στο συνδυασμό βάθους πλημμύρας και οριζόντιας έκτασης πλημμύρας. Άλλα μέτρα έντασης όπως η ταχύτητα ροής και η διάρκεια πλημμύρας μπορεί επίσης να είναι σημαντικά ανάλογα με την κατάσταση. Αυτή η σχέση μεταξύ της πιθανότητας μιας πλημμύρας και της έντασής της δημιουργεί την έννοια της περιόδου επιστροφής (επίσης γνωστή ως διάστημα υποτροπής), που αντιπροσωπεύεται από το σύμβολο T και εκφράζεται σε όρους ετών. Πλημμύρα T-year είναι η ένταση πλημμύρας που έχει πιθανότητα υπέρβασης $1 / T$ σε ένα δεδομένο έτος (Gouldby & Samuels, 2005).

Αυτή η πιθανότητα ονομάζεται πιθανότητα υπέρβασης. Παραδείγματος χάρη, υπάρχει πιθανότητα υπέρβασης $1/10$ (0,10) ότι σε ένα δεδομένο έτος θα εμφανιστεί πλημμύρα μεγαλύτερη από τη δεκαετή ένταση πλημμύρας. Οι εκτιμήσεις επικινδυνότητας πλημμύρας συνήθως στοχεύουν στην εκτίμηση της έντασης πλημμύρας για ένα εύρος πιθανότητας υπέρβασης, για παράδειγμα από 0,1 έως 0,001. Είναι σημαντικό να επισημανθεί, ότι αυτός ο ορισμός της περιόδου επιστροφής είναι αντίθετος με αυτό που φαίνεται να σημαίνει ο όρος «πλημμύρα 10 ετών» ή «πλημμύρα 100 ετών» (δηλαδή η ένταση μιας πλημμύρας που θα συνέβαινε μία φορά κάθε δέκα ή εκατό χρόνια). Αυτή είναι μια σημαντική πηγή σύγχυσης και παρανόησης σχετικά με τον ορισμό των περιόδων επιστροφής, και

μπορεί να οδηγήσει σε ακατάλληλη εκτίμηση ή αντίληψη του κινδύνου και του κινδύνου (Gouldby & Samuels, 2005).

Η αξιολόγηση του πλημμυρικού κινδύνου είναι μια αξιολόγηση του κινδύνου των πλημμυρών από όλους τους πλημμυρικούς μηχανισμούς. Ο προσδιορισμός των μέτρων μετριασμού των πλημμυρών παρέχει συμβουλές σχετικά με τις ενέργειες που πρέπει να ληφθούν πριν και κατά τη διάρκεια μιας πλημμύρας. Οι πηγές νερού που μπορούν να προξενήσουν πλημμύρες περιλαμβάνουν(Gouldby & Samuels, 2005):

- Υπόγεια ύδατα (κορεσμένα υπόγεια ύδατα)
- Επιφανειακά νερά
- Τεχνητό νερό (ρεύμα ριπής, κανάλια ή δεξαμενές)
- Ποτάμια, ρέματα ή υδατορεύματα
- Υπόνομοι και αποχετεύσεις
- Πλημμύρες παράκτιων περιοχών χαμηλών υδάτων λόγω της αύξησης της στάθμης της θάλασσας

Για καθεμία από τις πηγές νερού, εμφανίζονται διαφορετικές υδραυλικές εντάσεις. Οι πλημμύρες μπορεί να προκύψουν λόγω ενός συνδυασμού πηγών πλημμύρας, όπως τα υψηλά υπόγεια ύδατα και ένα ανεπαρκές σύστημα αποχέτευσης επιφανειακών υδάτων. Πρέπει να ληφθούν υπόψη η τοπογραφία, η υδρογεωλογία και τα φυσικά χαρακτηριστικά της υπάρχουσας ή της προτεινόμενης ανάπτυξης. Η εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας θα πρέπει να είναι μια αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας και των συνεπειών.

Οι μη επαγγελματικές εκτιμήσεις κινδύνων πλημμύρας μπορούν να πραγματοποιηθούν από μέλη του κοινού, όπως αρχιτέκτονες, αξιολογητές περιβάλλοντος ή άλλους που δεν διαθέτουν ειδική επαγγελματική κατάρτιση στον τομέα αυτό. Ωστόσο, πρόκειται για μια περίπλοκη αξιολόγηση και τέτοιες εκτιμήσεις μπορούν να απορριφθούν από τις Αρχές ως ανεπαρκείς ή θα μπορούσαν να θεωρηθούν αμελείς σε περίπτωση πλημμύρας, ζημίας και αξίωσης για ασφαλιστική ικανότητα. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η συγγραφή επαγγελματικών αξιολογήσεων κινδύνων πλημμύρας πραγματοποιείται από συμβούλους του πεδίου

των Πολιτικών Επιστημών. Οι επαγγελματικές εκτιμήσεις κινδύνου πλημμύρας μπορούν να καλύπτουν μεμονωμένα κτίρια ή ολόκληρες περιοχές. Μπορούν επίσης να συμμετέχουν σε μια διαδικασία δέουσας επιμέλειας για υπάρχοντα νοικοκυριά ή επιχειρήσεις (UNISDR, 2004).

Η ενότητα αυτή εστιάζει στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της απόρριψης του σχεδιασμού ή του ρυθμού ροής του νερού, μέσω του ποταμού ή της πεδιάδας. Οι δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις περιγράφονται εδώ ως ανάλυση συχνότητας απόρριψης και μοντελοποίηση απορροής βροχόπτωσης. Αν και μερικές φορές χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι, συνήθως συμπληρώνουν, αντί να αντικαθιστούν, μία ή και τις δύο αυτές προσεγγίσεις. Οι προσεγγίσεις ανάλυσης συχνότητας εκφόρτισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της μέγιστης απόρριψης ή του μέγιστου ρυθμού ροής νερού, που περνά μια συγκεκριμένη τοποθεσία κατά τη διάρκεια μιας πλημμύρας.

Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στην ύπαρξη μακροχρόνιων αρχείων ακριβών μετρήσεων απορροής ποταμού. Συνήθως, η υψηλότερη καταγεγραμμένη απόρριψη από κάθε έτος χρησιμοποιείται στην ανάλυση. Παραδείγματος χάρη, εάν υπάρχουν διαθέσιμα 30 χρόνια ημερήσιων μετρήσεων εκφόρτισης σε έναν συγκεκριμένο σταθμό μέτρησης, τότε 30 σημεία δεδομένων χρησιμοποιούνται στην ανάλυση συχνότητας εκφόρτισης. Καθένα αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη παρατήρηση καθημερινής εκφόρτισης από ένα από τα 30 χρόνια εγγραφής. Αυτά τα σημεία δεδομένων αναφέρονται ως μέγιστη ετήσια απαλλαγή. Μόλις εντοπιστούν αυτά τα σημεία δεδομένων, ο αναλυτής ταιριάζει σε διάφορες στατιστικές κατανομές (για παράδειγμα: log-normal, log-Pearson ή γενικευμένη ακραία τιμή) και επιλέγει τη διανομή που περιγράφει με ακρίβεια τα δεδομένα. Το σχήμα 2 απεικονίζει αυτόν τον τύπο ανάλυσης, που πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας μετρήσεις εκφόρτισης από έναν σταθμό στο Πουέρτο Ρίκο. Πρέπει να τονιστεί ότι η σωστή εφαρμογή και ερμηνεία των στατιστικών διαδικασιών απαιτεί ουσιαστική εμπειρία και εξειδικευμένες γνώσεις.

Σημαντικές εκτιμήσεις στην ανάλυση συχνότητας εκφόρτισης:

- Τα αρχεία εκκένωσης πρέπει να είναι καλής ποιότητας. Η σωστή μέτρηση της εκφόρτισης απαιτεί συντήρηση εξοπλισμού για συνεχή αυτόματη παρακολούθηση των επιπέδων νερού, καθώς και επαλήθευση χρησιμοποιώντας μετρήσεις πεδίου ροής και προφίλ διατομής ποταμού σε μια σειρά συνθηκών ροής τουλάχιστον αρκετές φορές το χρόνο (Buchanan & Somers, 1969).

- Τα αρχεία εκκένωσης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλα για να εκτιμηθούν οι περίοδοι επιστροφής που απαιτούνται για την ανάλυση κινδύνου πλημμύρας. Δεν υπάρχει ενιαία κατευθυντήρια γραμμή, αλλά τα αρχεία θα πρέπει να έχουν μήκος τουλάχιστον 10 ετών για την εκτέλεση οποιουδήποτε είδους ανάλυσης συχνότητας (Interagency Advisory Committee on Water Data, 1982) και περισσότερο, εάν είναι επιθυμητές εκτιμήσεις για χαμηλές πιθανότητες υπέρβασης.

- Η χρονική ανάλυση του αρχείου απορρίψεων πρέπει να είναι αρκετά καλή για να μετρήσει τις σημαντικές ιδιότητες των πλημμυρών στον ποταμό.

- Η περιοχή δεν μπορεί να έχει υποστεί σημαντικές αλλαγές όσον αφορά τη χρήση γης, όπως η αστικοποίηση, η γεωργική ανάπτυξη ή η αποψίλωση των δασών κατά την περίοδο του αρχείου απορρίψεων. Εάν έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές αλλαγές, τα αποτελέσματα των τυπικών στατιστικών αναλύσεων δεν θα είναι έγκυρα. Υπάρχουν πιο προηγμένες στατιστικές μέθοδοι που προσπαθούν να εξηγήσουν αυτές τις προκλήσεις, αλλά εξακολουθούν να έχουν σημαντικούς περιορισμούς και γενικά δεν συνιστώνται για τη λήψη αποφάσεων (Villarini et al., 2010).

Σε πολλές περιπτώσεις, οι μετρήσεις εκφόρτισης είναι είτε ανύπαρκτες είτε ανεπαρκείς ποσότητες ή ποιότητα, για να είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν ανάλυση συχνότητας εκφόρτισης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μία από τις ευρείες κατηγορίες εργαλείων που είναι γνωστά ως μοντέλα απορροής βροχής (αναφέρονται επίσης ως υδρολογικά μοντέλα), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή εκτιμήσεων ακραίων βροχοπτώσεων, σε εκτιμήσεις εκκένωσης σχεδιασμού και σχεδίαση υδρογραφιών. Για να γίνει αυτό, πρέπει να αντιπροσωπεύουν την κίνηση του νερού κατά μήκος του τοπίου (μια διαδικασία γνωστή ως απορροή) και στο κανάλι του ποταμού. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά

μοντέλα απορροής βροχόπτωσης, το καθένα με ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ανάλογα με ένα εύρος παραγόντων όπως εφαρμογή, γεωγραφική ρύθμιση και διαθεσιμότητα δεδομένων και επίπεδο γνώσης του χρήστη.

Τα περισσότερα είναι περίπλοκα, βασίζονται σε υπολογιστή και απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις για σωστή χρήση. Οι δύο κύριες κατηγορίες μοντέλων απορροής βροχής είναι:

- **Lumped:** Τα Lumped μοντέλα αντιμετωπίζουν την λεκάνη απορροής ως ενιαία μονάδα. Οι υπολογισμοί εκτελούνται χρησιμοποιώντας απλουστευμένες, χωρικά μέσες διαδικασίες. Η προκύπτουσα εκτίμηση απορρίψεων ισχύει μόνο για την έξοδο της λεκάνης απορροής (το πιο μοντελοποιημένο σημείο του δικτύου ποταμών). Τα γνωστά στρογγυλά μοντέλα περιλαμβάνουν TR-55 και άλλες μονάδες με βάση υδρογράφους μεθόδους.

- **Κατανεμημένα:** Τα κατανεμημένα μοντέλα χρησιμοποιούν χωρικά ποικίλα δεδομένα εισόδου για διεργασίες όπως κατακρήμνιση, διήθηση, υποκλοπή, διαρροή, διήθηση και εκτίμηση εκροής βασικής ροής ή άλλες μεταβλητές.

Αυτό το είδος μοντέλου απαιτεί περισσότερα δεδομένα από ό, τι τα μοντέλα, αλλά είναι πιο ευέλικτο και μπορεί να είναι πιο ακριβές. Τα κατανεμημένα μοντέλα προορίζονται συχνά για χρήση σε μια συγκεκριμένη κλίμακα κλίμακας, όπως το μικρό αστικό λεκάνες απορροής (SWMM, GSSHA, Vflo, OpenLISEM) ή μεγάλες λεκάνες απορροής ποταμού (VIC). Τα περισσότερα κατανεμημένα μοντέλα, εάν χρησιμοποιούνται σωστά, μπορούν να παρέχουν εκτιμήσεις εκφόρτισης σε διάφορες τοποθεσίες κατά μήκος του ποταμού δικτύου.

Ορισμένα δημοφιλή μοντέλα, όπως το HEC-HMS, διακρίνουν τη λεκάνη απορροής σε έναν αριθμό υποθαλάσσιων λεκανών, καθένα από τα οποία στη συνέχεια αντιπροσωπεύεται με τη χρήση ενός μοντέλου απορροής βροχοπτώσεων.

Τα σπειροειδή μοντέλα μπορούν έτσι να συνδυαστούν, για να εκτιμηθεί η απόκριση της λεκάνης απορροής σε διάφορα σημεία. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να συνδυαστούν μερικά από τα πλεονεκτήματα των ομαδοποιημένων και κατανεμημένων μοντέλων. Εκτός από την επιλογή ενός κατάλληλου μοντέλου

απορροής βροχόπτωσης, η καταλληλότητα αυτής της προσέγγισης για την εκτίμηση επικινδυνότητας πλημμύρας εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα τοπικών ή περιφερειακών συνόλων δεδομένων βροχής υψηλής ποιότητας και άλλων πληροφοριών για τον χαρακτηρισμό της λεκάνης απορροής, όπως τοπογραφικοί χάρτες ή μοντέλα ψηφιακής ανύψωσης (DEM), κάλυψη γης και πληροφορίες εδάφους, καθώς και τη θέση και τις ιδιότητες των ποταμών και άλλων υδατικών συστημάτων.

Είναι επίσης ζωτικής σημασίας να είναι διαθέσιμες οι μετρήσεις βροχοπτώσεων, είτε εκκένωσης πλημμύρας είτε έκτασης πλημμύρας για μία ή περισσότερες προηγούμενες, έτσι ώστε το μοντέλο να μπορεί να επαληθευτεί και να προσαρμοστεί, ώστε να λαμβάνει υπόψη τις τοπικές συνθήκες. Η διαδικασία επαλήθευσης έναντι τοπικών μετρήσεων είναι γνωστή ως επικύρωση. Η διαδικασία προσαρμογής διαφόρων συστατικών του μοντέλου, έτσι ώστε τα προσομοιωμένα αποτελέσματα να ταιριάζουν καλύτερα με τις τοπικές μετρήσεις, είναι γνωστή ως βαθμονόμηση. Μόλις ένα μοντέλο βαθμονομηθεί και επικυρωθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των ροών σχεδιασμού. Ενώ υπάρχουν πιο εξελιγμένες προσεγγίσεις, το συνηθισμένο σημείο εκκίνησης είναι να πραγματοποιηθεί ανάλυση συχνότητας βροχόπτωσης στη μέγιστη ετήσια βροχόπτωση. Η διαδικασία ανάλυσης συχνότητας βροχόπτωσης είναι παρόμοια με αυτήν που περιγράφεται για την ανάλυση συχνότητας εκκένωσης, και υπόκειται σε πολλές από τις ίδιες γενικές προκλήσεις.

Ένα σημαντικό πρόσθετο στοιχείο στην ανάλυση συχνότητας βροχόπτωσης είναι ότι πρέπει επίσης, να επιλεγεί η διάρκειά της. Η σωστή επιλογή της διάρκειας βροχόπτωσης είναι πολύ σημαντική, επειδή οι πλημμύρες σε μικρές αστικές περιοχές ή ορεινές λεκάνες απορροής προκύπτουν από ακραίες βροχοπτώσεις που διαρκούν αρκετά λεπτά έως αρκετές ώρες. Αντίθετα, σε μεγάλα ποτάμια συστήματα, οι πλημμύρες μπορεί να προκύψουν από βροχοπτώσεις που διαρκούν αρκετές ημέρες έως αρκετές εβδομάδες. Επομένως, η επιλογή της ακατάλληλης διάρκειας βροχόπτωσης μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένες εκτιμήσεις για την εκκένωση των πλημμυρών. Παράλληλα, οι οδηγίες για την επιλογή της διάρκειας

της βροχόπτωσης βρίσκονται στα περισσότερα εισαγωγικά κείμενα υδρολογικής μηχανικής (παράδειγμα McCuen, 2005).

Έχουν ήδη πραγματοποιηθεί αναλύσεις συχνότητας βροχόπτωσης για ορισμένες περιοχές. Ειδικότερα, σε αυτές τις περιπτώσεις τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως καμπύλες έντασης-διάρκειας-συχνότητας (IDF, επίσης μερικές φορές αναφέρονται ως διάρκεια συχνότητας έντασης). Στην ιδανική περίπτωση, οι καμπύλες IDF παρέχονται για πολλές χρονικές περιόδους και για ένα ευρύ φάσμα περιόδων επιστροφής. Εάν η επιθυμητή διάρκεια ή επιστροφή βροχόπτωσης βρίσκεται μεταξύ δύο καμπυλών IDF, η σωστή ένταση βροχόπτωσης μπορεί να παρεμβληθεί γραμμικά από τη δημοσιευμένη καμπύλες. Αυτές οι καμπύλες μπορούν να διευκολύνουν τις αναλύσεις απορροής βροχόπτωσης, αλλά έχουν σημαντικούς περιορισμούς, ειδικά σε μεγάλες λεκάνες απορροής και για βροχοπτώσεις μεγάλης διάρκειας. Μόλις εκτιμηθεί η ένταση βροχόπτωσης μιας δεδομένης περιόδου επιστροφής, συνήθως θεωρείται ότι, όταν χρησιμοποιείται ως είσοδος στο μοντέλο απορροής βροχόπτωσης, η προκύπτουσα προσομοίωση εκφόρτισης έχει την ίδια περίοδο επιστροφής.

Για παράδειγμα, εάν η 12ωρη διάρκεια 100 ετών της έντασης βροχόπτωσης εκτιμάται για την περιοχή που περιέχει την λεκάνη απορροής και στη συνέχεια χρησιμοποιείται ως είσοδος στο μοντέλο απορροής βροχής της λεκάνης απορροής, η προσομοιωμένη έξοδος απόρριψης αιχμής θεωρείται ότι αποτελεί επαρκή εκτίμηση 100 ετών μέγιστη εκφόρτιση. Αυτή η υπόθεση δεν ισχύει αυστηρά για διάφορους λόγους, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο προηγμένες μέθοδοι για την αποφυγή της. Είναι ωστόσο γενικά αποδεκτή στην τυπική πρακτική κινδύνου πλημμύρας (Wright, Smith, & Baeck, 2014). Υπάρχουν πολλές σημαντικές εκτιμήσεις κατά την εκτίμηση της απόρριψης σχεδιασμού χρησιμοποιώντας μοντέλα απορροής βροχής:

- Τα αρχεία βροχόπτωσης πρέπει να είναι καλής ποιότητας. Η σωστή μέτρηση βροχόπτωσης απαιτεί σωστή εγκατάσταση, καθώς και συχνή συντήρηση του εξοπλισμού και του περιβάλλοντος χώρου.

- Τα αρχεία βροχόπτωσης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλα για να εκτιμηθούν οι περίοδοι επιστροφής που απαιτούνται για την ανάλυση κινδύνου πλημμύρας.

- Εκτός από το ότι έχουν αρκετά μεγάλα αρχεία βροχόπτωσης της κατάλληλης διάρκειας, είναι συνήθως απαραίτητο να υπάρχουν πολλαπλοί μετρητές βροχής στην περιοχή ή λεκάνη απορροής,. Αυτό συμβαίνει επειδή μπορεί να υπάρχουν σημαντικές χωρικές διακυμάνσεις στην ένταση της βροχόπτωσης σε μεμονωμένες καταιγίδες. Πολλαπλοί μετρητές επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό αυτής της παραλλαγής και την παρεμβολή βροχοπτώσεων για την κάλυψη κενών μεταξύ των μετρητών. Δεν υπάρχουν απλές οδηγίες για τον αριθμό των βροχών που απαιτούνται, ούτε για το πώς πρέπει να καλυφθούν αυτά τα κενά. Ο υπολογισμός της χωρικής διακύμανσης των βροχοπτώσεων είναι ιδιαίτερα δύσκολος σε ορεινές περιοχές, λόγω τοπογραφικών επιδράσεων στην κίνηση των καταιγίδων και στη δημιουργία βροχοπτώσεων. Όταν είναι διαθέσιμες, εκτιμήσεις βροχόπτωσης από ραντάρ καιρού ή δορυφόρους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση χωρικών διακυμάνσεων βροχοπτώσεων, αλλά σημαντική εμπειρία είναι αυτή που απαιτείται για τη σωστή χρήση τέτοιων συνόλων δεδομένων, για εφαρμογές πλημμύρας.

- Η χρονική ανάλυση του ρεκόρ βροχοπτώσεων πρέπει να είναι αρκετά καλή, για να μετρήσει τις βροχοπτώσεις στις χρονικές περιόδους που προκαλούν πλημμύρες στην λεκάνη απορροής. Για παράδειγμα, οι μετρήσεις ωριαίας βροχόπτωσης δεν επαρκούν για να εκτιμηθεί η βροχόπτωση μικρής διάρκειας που προκαλεί πλημμύρες σε απότομες ορεινές λεκάνες απορροής ή σε μικρές αστικές περιοχές αλλά μπορεί να είναι επαρκής για μεγαλύτερες ποτάμια.

- Ανάλογα με την περιοχή και το επιλεγμένο μοντέλο απορροής βροχής, απαιτούνται πρόσθετες λεπτομερείς πληροφορίες. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να περιλαμβάνουν δεδομένα κάλυψης γης, τη θέση και τα χαρακτηριστικά των καναλιών του ποταμού και πληροφορίες για τον χαρακτηρισμό του εδάφους και της ροής των υπόγειων υδάτων.

- Είναι δύσκολο να εκτελεστεί μοντελοποίηση απορροής βροχόπτωσης σε λεκάνες απορροής που έχουν σημαντική ρύθμιση (δηλ. Τεχνητές ρυθμίσεις ροών ποταμών μέσω δεξαμενών και άλλων υδραυλικών υποδομών).

Τα μοντέλα παρέχουν τη δυνατότητα να συμπεριληφθούν αυτά τα εφέ, σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας. Ακόμα και αν ένα επιλεγμένο μοντέλο έχει αυτήν την ικανότητα, ωστόσο, είναι σπάνιο το μοντέλο να έχει πληροφορίες σχετικά με αυτό, και η υποδομή θα λειτουργεί σε συνθήκες πλημμύρας.

- Εάν απαιτούνται εκτιμήσεις κινδύνου πλημμύρας σε πολλά σημεία σε μια μεγάλη λεκάνη απορροής, θα είναι απαραίτητο να εκτελεστεί πολλαπλές προσομοιώσεις με διαφορετικές ιδιότητες βροχόπτωσης (δηλ. Διαφορετικές χρονικές βροχοπτώσεις και εντάσεις). Αυτό συμβαίνει, επειδή η διάρκεια και η ένταση της βροχόπτωσης που προκαλεί πλημμύρες στον κύριο ποταμό θα είναι διαφορετική, από τη διάρκεια και την ένταση της βροχόπτωσης που προκαλεί πλημμύρες στα μικρότερα παραπόταμοι (Wright, Smith, & Baeck, 2014).

Οι προκλήσεις που συνδέονται με τη μοντελοποίηση απορροής βροχής δείχνουν την αναγκαιότητα των εκπαιδευμένων υδρολόγων, κατά προτίμηση με την προηγούμενη εμπειρία στην περιοχή και με το επιλεγμένο συγκεκριμένο μοντέλο απορροής βροχόπτωσης.

Μόλις εκτιμηθεί μια εκφόρτιση σχεδιασμού (είτε μια τιμή εκκένωσης αιχμής είτε μια υδρογραφία), μετατρέπεται σε εκτίμηση της ανύψωσης του νερού πλημμύρας, γνωστή ως στάδιο πλημμύρας, και μια εκτίμηση της ταχύτητας χρησιμοποιώντας ένα υδραυλικό μοντέλο (ονομάζεται επίσης υδροδυναμικό μοντέλο). Στο παρελθόν, αυτά τα μοντέλα ήταν συχνά φυσικά μικρής κλίμακας, αλλά τώρα είναι σχεδόν πάντα λογισμικό προσομοίωσης που βασίζεται σε υπολογιστή. Υπάρχουν πολλά υδραυλικά πρότυπα που διαφέρουν σημαντικά στην πολυπλοκότητα και στις απαιτήσεις δεδομένων. Μπορείτε να βρείτε μια λίστα μοντέλων που χρησιμοποιούνται συνήθως. Ένας έμπειρος διαμορφωτής μπορεί να επιλέξει το καταλληλότερο μοντέλο με βάση την τοποθεσία, τις ανάγκες της εκτίμησης κινδύνου και τα διαθέσιμα δεδομένα. Οι δύο πιο κοινές κατηγορίες υδραυλικών μοντέλων είναι:

- 1-Dimensional (1D): Τα μοντέλα 1D είναι απλοποιημένα μοντέλα που χαρακτηρίζουν το έδαφος χρησιμοποιώντας μια σειρά διατομών. Σε κάθε διατομή, το βάθος ροής και η ταχύτητα κάθετα προς τη διατομή είναι υπολογισμένο. Αυτά τα μοντέλα είναι κατάλληλα για περιοχές όπου η κατεύθυνση ροής είναι καλά καθορισμένη. Το πιο γνωστό μοντέλο 1D είναι το HEC-RAS από το Στρατό Μηχανικών των ΗΠΑ. Το HEC-RAS είναι δωρεάν για λήψη στο <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>.

- 2-Dimensional (2D): 2D μοντέλα υπολογίζουν τη ροή παράλληλη και μη παράλληλη με την κύρια ροή. Είναι χρήσιμα για τη μοντελοποίηση περιοχών σύνθετης τοπογραφίας, όπως ευρύτερες περιοχές πλημμύρας ή ευρείες εκβολές, αλλά απαιτούν δεδομένα υψηλής ποιότητας και μπορεί να απαιτούν μεγάλους χρόνους υπολογισμού. Παραδείγματα μοντέλων 2D περιλαμβάνουν TELEMAC 2D, SOBEK 1D2D και Flo2D. Λόγω της μεγαλύτερης πολυπλοκότητάς τους, τα περισσότερα μοντέλα 2D δεν διατίθενται ελεύθερα.

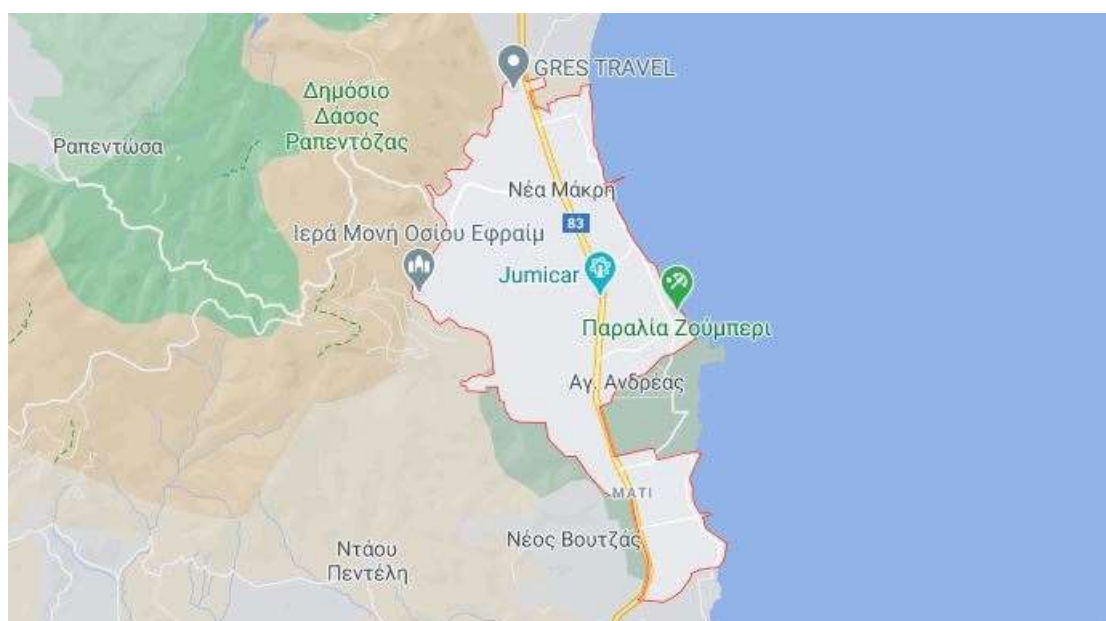
Ορισμένα μοντέλα, όπως το LISFLOOD-FP, ονομάζονται quasi-2D και συνδυάζουν μερικά από τα οφέλη των μοντέλων 2D με μερικές από τις απλότητες των μοντέλων 1D. Υπάρχουν επίσης τρισδιάστατα (3D) μοντέλα, τα οποία σπάνια χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας στο παρελθόν λόγω της πολυπλοκότητας και του κόστους τους. Ωστόσο, η χρήση τρισδιάστατων μοντέλων όπως το Delft3D είναι όλο και πιο συχνή, ειδικά για την προσομοίωση των παράκτιων πλημμυρών λόγω της καταιγίδας. Τα υδραυλικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με δύο διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με την εφαρμογή και τη φύση της εκκένωσης σχεδιασμού εισόδου. Εάν η εκφόρτιση σχεδιασμού είναι εκτίμηση μέγιστης εκφόρτισης, τότε τα μοντέλα πρέπει να λειτουργούν σε κατάσταση σταθερής ροής. Αυτή είναι η λιγότερο εντατική λειτουργία από άποψη υπολογισμού. Ενώ η λειτουργία σταθερής ροής χρησιμοποιείται συχνά στην εκτίμηση επικινδυνότητας πλημμύρας, ενδέχεται να μην καταγράφει την περίπλοκη δυναμική ροής σε πολύπλοκα εδάφη όπως οι αστικές περιοχές πλημμύρας. Εάν η εκφόρτιση του σχεδιασμού είναι μια πλήρης υδρογραφία, τότε τα μοντέλα μπορεί να λειτουργούν σε ασταθή λειτουργία, στην οποία οι ρυθμοί εκφόρτισης και τα επίπεδα νερού σε όλη την περιοχή του μοντέλου μπορεί να ποικίλλουν με την

πάροδο του χρόνου. Οι σταθερές προσομοιώσεις μπορεί να απαιτούν σημαντικούς υπολογιστικούς πόρους σε ορισμένες περιπτώσεις, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται μοντέλα 2D ή 3D. Η ακριβής υδραυλική μοντελοποίηση απαιτεί λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το κανάλι του ποταμού και την πεδιάδα πλημμύρας. Ορισμένα υδραυλικά μοντέλα, όπως το οιονεί 2D LISFLOOD-FP, βασίζονται σε ένα μονό μοντέλο ψηφιακού εδάφους (DTM) που αποτελείται από τετραγωνικά πλέγματα κανονικού μεγέθους «κυψέλες» στο οποίο αντιπροσωπεύονται το κανάλι και η πεδιάδα πλημμύρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή της Νέας Μάκρης και Ανατολής που μελετάται, ανήκει γεωλογικά στην ευρύτερη ενότητα της Αττικής. Η ενότητα αυτή είναι η σχετικά αυτόχθονη, κατώτερη τεκτονική ενότητα της Αττικής πάνω στην οποία βρίσκονται επωθημένες άλλες τεκτονικές ενότητες, όπως της Ανατολικής Ελλάδας, του Λαυρίου και του Αλμυροποτάμου. Η Νέα Μάκρη συνορεύει βόρεια με τον Μαραθώνα, νότια με τη Ραφήνα, δυτικά με τον ορεινό όγκο του Πεντελικού και τον Διόνυσο, ενώ βρέχεται ανατολικά από το Νότιο Ευβοϊκό σε μήκος ακτών 10 χλμ. περίπου. Απέχει από το κέντρο της Αθήνας 32 χλμ. μέσω των Λεωφόρων Μεσογείων και Μαραθώνος. Από το Αεροδρόμιο «Ελευθέριος Βενιζέλος» απέχει 12 χλμ. μέσω της Λεωφόρου Μαραθώνος και Αττικής Οδού. Προσβάσεις έχει ακόμα από την Παλαιά Πεντέλη μέσω της Λεωφόρου Πεντέλης και από Κηφισιά και Εκάλη μέσω της Λεωφόρου Διονύσου (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1.: Η περιοχή της Νέας Μάκρης (<https://www.google.com/maps>)

Η ενότητα της Αττικής είναι μεταμορφωμένη και έντονα παραμορφωμένη, με αρχικές δομές σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (Mariolakos, 1971, Μαριολάκος & Παπανικολάου, 1973) και αποτελείται από μια μεγάλη μάζα μαρμάρων, συχνά δολομιτικών, και από σχιστόλιθους μαρμαρυγιακούς, αμφιβολιτικούς κτλ., με λεπτούς οριζόντες ενδιάμεσων μαρμάρων. Μέσα στους σχιστόλιθους υπάρχουν επίσης βασικά – υπερβασικά μεταμορφωμένα πετρώματα. Η στρωματογραφική στήλη παραμένει περίπου όπως την καθόρισε ο Lepsius (1893), στην περιοχή του Υμηττού με (Σχήμα2.1):

Α) Σχιστόλιθους της Βάρης στη βάση

Β) Δολομίτες Πιρναρής

Γ) Κατώτερο Μάρμαρο

Δ) Σχιστόλιθους Καισαριανής

Ε) Ανώτερο Μάρμαρο

Η ηλικία των μαρμάρων είναι κατά ένα μέρος άνω τριαδική – κάτω ιουρασική (Marinos & Petrascheck, 1956), με βάση φήκη, κοράλλια και ελασματοβράγχια. Σημειώνεται ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τρεις κύριες εμφανίσεις σε Υμηττό, Πεντελικό Όρος και Λαυρεωτική. Νεότερα στοιχεία έχουν πιστοποιήσει την παρουσία μετα-ηφαισθητών του Μέσου Τριαδικού στην Πεντέλη (Liati et al., 2013; Prinios, 2008) ενώ στον Υμηττό έχει προταθεί η διάκριση δύο υπο-ενοτήτων με ανθρακική ιζηματογένεση (Lekkas & Lozios, 2000) (Σχήμα2.3).

Αναφορικά με την τεκτονική της περιοχής, οι νεοαλπικές ορογενετικές κινήσεις αρχίζουν προς το τέλος του ανω κρητιδικού, μέσω των οποίων πτυχώνονται οι παλαιοζωικοί και μεσοζωικοί σχηματισμοί, με συνέπεια την μετατόπιση των βαρίσκων και προαλπικών δομών (Τζιανίνη, 2014, 30 -36). Η επίδραση της νεοτεκτονικής αυτής παραμόρφωσης παρουσιάζεται ως η κύρια υπεύθυνη για τη διαμόρφωση των περιθωρίων των μεταμορφωμένων σχηματισμών της ΒΑ Αττικής, όπως αυτοί καθορίζονται και οριοθετούνται από τα μεταλλικά

ιζήματα της λεκάνης. Αυτή αναπτύσσεται ανάμεσα στους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας και του Πεντελικού από τη μια μεριά και από το θαλάσσιο χώρο του Νότιου Ευβοϊκού από την άλλη (Χατζηελευθερίου 2008, 59).

Η συγκεκριμένη τεκτονική γραμμή διακρίνει δύο εντελώς ανόμοιες περιοχές από μορφολογική οπτική. Το πιο νότιο τμήμα αποτελείται από το Πεντελικό όρος, το οποίο διακρίνεται για την μεγαλύτερη υψομετρική διακύμανση – υψομετρικά ανέρχονται στα 1.108 m. Τα δύο αυτά περιθώρια, το βορειοδυτικό με τη λεκάνη Πάρνηθας / Πεντέλης και το βορειοανατολικό με το Νότιο Ευβοϊκό κόλπο, δεν παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά, αλλά σημαντικές διαφορές, που εστιάζονται τόσο στα εμφανιζόμενα ή όχι ρήγματα, όσο και στη μορφή του αναγλύφου, τη γεωμετρία των λεκανών αλλά και τις φάσεις ή την ηλικία των μεταλλικών ιζημάτων που οριοθετούν (Τζανίνη, 2014, 30 -36). Το βορειοδυτικό περιθώριο των μεταμορφωμένων παρουσιάζει μία διεύθυνση NE-SW, αντίστοιχη με αυτή της λεκάνης Πάρνηθας / Πεντέλης, χαρακτηρίζεται από ήπιο μορφολογικό ανάγλυφο, ενώ ρηξιγενείς επιφάνειες αποκαλύπτονται πολύ σπάνια, κυρίως στην περιοχή του δυτικού Πεντελικού αλλά και βορειότερα στην περιοχή των Αγίων Αποστόλων, όπου στην περιοχή αυτή εκτός των άλλων εντοπίζονται και από την απότομη, σχεδόν κατακόρυφη επαφή του μεταμορφωμένου υποβάθρου με τα χερσαία ως επί το πλείστον μεσο (?) - ανω μειοκαινικής ηλικίας μεταλλικά ιζήματα (Λόζιος, 2003).

Η ρηξιγενής ζώνη του Βόρειου Πεντελικού με διαφορετική διεύθυνση NWSE, χαρακτηρίζεται από σχετικά πιο έντονο μορφολογικό ανάγλυφο, το οποίο διαμορφώνεται κυρίως από τις απότομες κλιτύς του Β. Πεντελικού, στη βάση των οποίων διέρχεται και το ίχνος της ρηξιγενούς επιφάνειας. Πάνω στις κατοπτρικές επιφάνειες, όπως άλλωστε προαναφέρθηκε, παρατηρούνται συχνά κρούστες και πολύ συνεκτικά τεκτονικά μικρολατυποπαγή, όπως και οριζόντιες ή κατά κλίση γραμμές προστριβής (Τζανίνη, 2014, 30 -36). Τα παρακάτω στοιχεία, όπως:

α) οι μεγαλύτερες μορφολογικές κλίσεις και οι έντονες μορφολογικές ασυνέχειες με την έντονη κατά βάθος διάβρωση της βόρειας πλευράς του Πεντελικού σε σχέση με τη νότια, που παρουσιάζει πολύ ηπιότερες κλίσεις

β) η ασυμμετρία της ανάπτυξης των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου εκατέρωθεν του υδροκρίτη του Πεντελικού και

γ) η προς τα SW κλίση των επιφανειών επιπέδωσης φανερώνουν μια περιστροφική προς τα SW κίνηση του ρηξιτεμάχου του Πεντελικού, με οριζόντιο άξονα περιστροφής NW-SE διεύθυνσης, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της ρηξιγενούς επιφάνειας του Β. Πεντελικού ως κανονικού ρήγματος. Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, το οποίο αποτελεί και την περιοχή μελέτης της εν λόγω εργασίας, χαρακτηρίζεται από:

α) ήπιο λοφώδες ανάγλυφο χωρίς ιδιαίτερα έντονες μορφολογικές μεταβολές,

β) ομαλή σχετικά ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου και

γ) οριζόντιες ή περίπου οριζόντιες επιφάνειες επιπέδωσης, δεν εντοπίζονται παρά μόνο από τις αεροφωτογραφίες και τις δορυφορικές εικόνες ορισμένες μεγάλης κλίμακας τεκτονικές γραμμές NW-SE διεύθυνσης όπως αυτή που διασχίζει τις βόρειες κλιτύς του λόφου Λύκαινα της Ανατολικής Πάρνηθας, διέρχεται περίπου από το ύψος της λίμνης του Μαραθώνα για να καταλήξει στην παραλιακή ζώνη της Νέας Μάκρης, αλλά και αυτή βορειότερα, που οριοθετεί το ΒΑ τμήμα της Πάρνηθας στο ύψος του όρους Φελλεύς (Μπελέτσι), για να χαθεί ανατολικότερα προς το Γραμματικό. Οι ζώνες αυτές αποτελούν στην ουσία την ανατολική προέκταση της μεγάλης "Ρηξιγενούς Ζώνης της Αυλώνας", όπως αυτή περιγράφηκε από τους Παπανικολάου κ.α. (1988α). Είναι επίσης εντυπωσιακό, ότι μόνο κατά μήκος των γραμμών αυτών εντοπίζονται κάποιες μορφολογικές ανωμαλίες, όπως απότομες αλλαγές της διεύθυνσης μικρής τάξης κλάδων, έντονη κατά βάθος διάβρωση (π.χ. Χάραδρος ποταμός από το ύψος του φράγματος της λίμνης του Μαραθώνα και μέχρι την ομώνυμη κωμόπολη), κ.λπ., όπως και μεταβολές είτε στην εμφάνιση ορισμένων χαρακτηριστικών οριζόντων είτε στη γεωμετρία των αλπικών δομών. Με την πολύπλοκη αυτή κινηματική δραστηριότητα, που συνοδεύεται από περιστροφές των επί μέρους ρηξιτεμαχών, που οριοθετούν οι παραπάνω ζώνες, φαίνεται ότι συνδέεται και η παρατηρούμενη μεταβολή του προσανατολισμού των τεκτονικών στοιχείων (εκφράζεται κυρίως με την αλλαγή της διεύθυνσης της κυρίαρχης

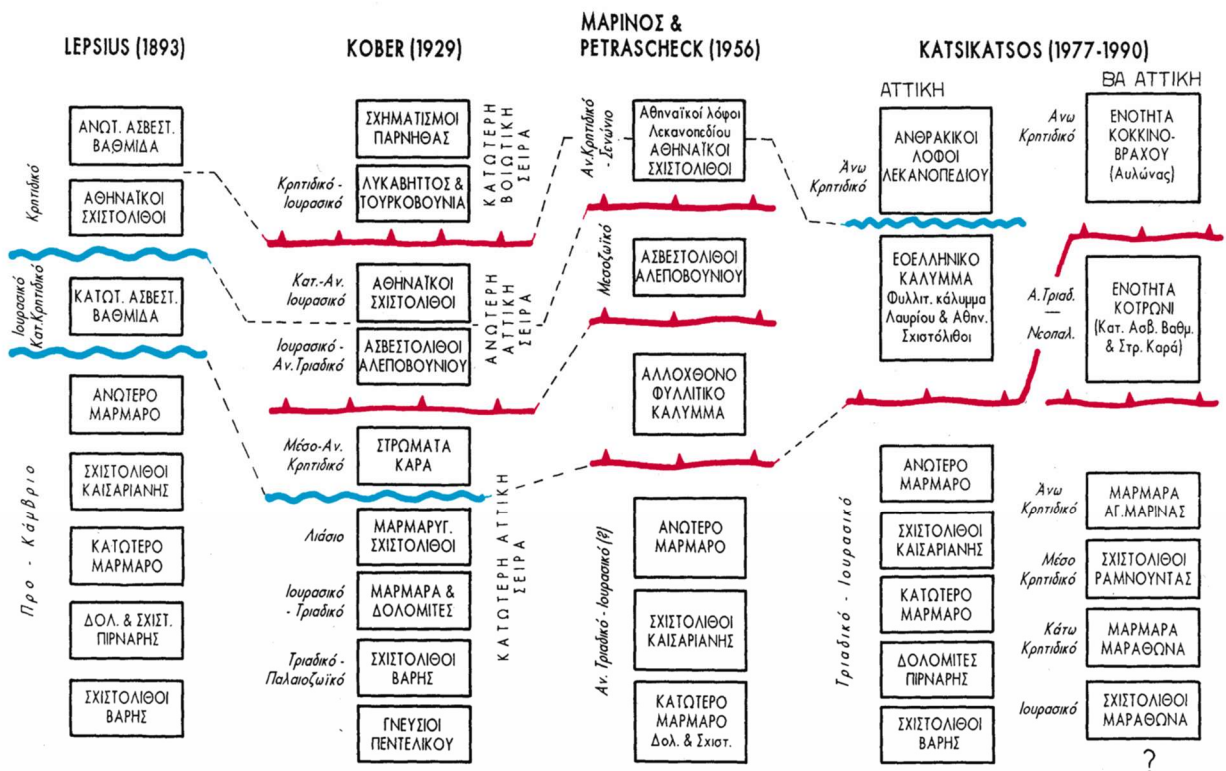
εφελκυστικής γράμμωσης) στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης νοτιοανατολικά της λίμνης του Μαραθώνα. Μικρότερης κλίμακας ρηξιγενείς ζώνες στην περιοχή αυτή παρατηρούνται είτε στην ύπαιθρο, είτε από αεροφωτογραφίες, παρουσιάζουν διάφορες διευθύνσεις, όπως N-S (Αγριλίκι - Παλαιό Μοναστήρι), E-W (Αγριλίκι - Άγιος Λουκάς), αλλά και NE-SW (περιοχή ανάμεσα Γραμματικό - Όρμο Μαραθώνα), και εντοπίζονται κυρίως από τις έντονες μορφολογικές ασυνέχειες και τα πλευρικά κορήματα που αναπτύσσονται παράλληλα με αυτές (π.χ. Αγριλίκι, Βουνοκορυφή, Στράτη, κ.λπ.) (Τζανίνη, 2014, 30 -36).

Το βόρειο περιθώριο της περιοχής, που αναπτύσσεται παράλληλα με τη NW-SE διεύθυνσης παραλιακή ζώνη του Ν. Ευβοϊκού και εκτείνεται από την Αγία Μαρίνα μέχρι τους Αγίους Αποστόλους, αντιπροσωπεύει το πιο ενεργό από νεοτεκτονική άποψη τμήμα και χαρακτηρίζεται από την παρουσία μεγάλων ρηξιγενών ζωνών ίδιας NW-SE διεύθυνσης. Αυτά διατάσσονται κλιμακωτά δημιουργώντας το βύθισμα και τις απότομες ακτές του Νότιου Ευβοϊκού μέσα από μια απότομη μορφολογικά ζώνη, όπου από το υψόμετρο των 650 m περίπου πέφτουμε απότομα στο επίπεδο της θάλασσας. Η ζώνη αυτή αποτελεί συνέχεια των αντίστοιχων ρηξιγενών ζωνών Μαλακάσσας - Ωρωπού και Αγίων Αποστόλων που αναπτύσσονται δυτικότερα και έχουν περιγραφεί παλαιότερα από τους Παπανικολάου και συν. (1988a). Τα NW-SE διεύθυνσης ρήγματα συνήθως παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των λιστρωτών ρηγμάτων, ενώ οι ρηξιγενείς επιφάνειες και οι μορφολογικές ασυνέχειες είναι πιο καλά εκπεφρασμένες, όταν στους λιθολογικούς τύπους συμμετέχουν σε μεγάλο ποσοστό και μάρμαρα σε αντίθεση με την περίπτωση, όπου επικρατούν οι σχιστόλιθοι, όπου η συνέχεια των ρηξιγενών ζωνών εντοπίζεται κυρίως από τις αεροφωτογραφίες (Τζανίνη, 2014, 30 - 36). Τα υδρογραφικά δίκτυα των επί μέρους λεκανών χαρακτηρίζονται:

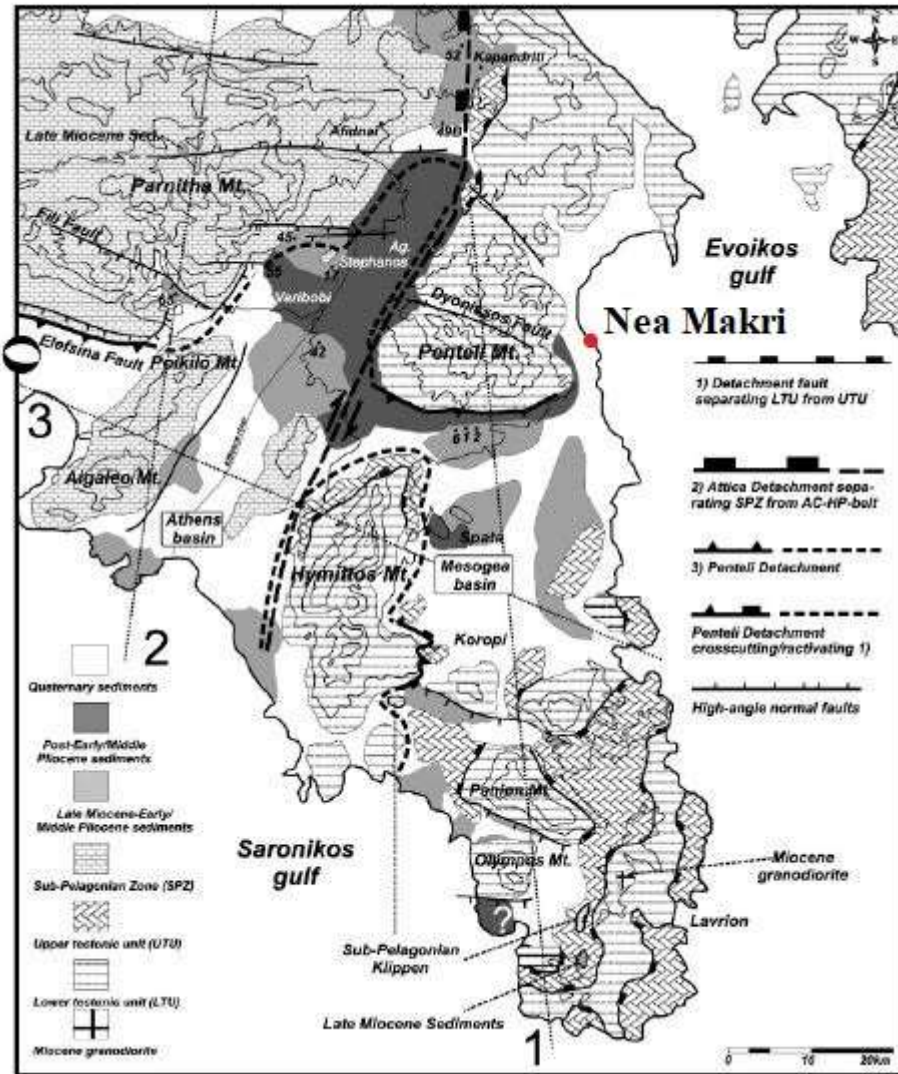
- Από ασύμμετρη ανάπτυξη των κλάδων τους,
- Από απότομες αλλαγές στη διεύθυνση των κλάδων,
- Από επιλεγμένες κατευθύνσεις κλάδων σε ορισμένες μόνο διευθύνσεις, (iv) από υπέρμετρη ανάπτυξη συγκεκριμένων κλάδων και

- Συμβολή σε συγκεκριμένα σημεία ή ζώνες περισσότερων παραποτάμων (Τζανίνη, 2014, 30 -36) .

Όλα τα παραπάνω φανερώνουν έντονη επίδραση από τη νεοτεκτονική ρηξιγενή δραστηριότητα, που συνοδεύεται, όπως φαίνεται και από τις παρατηρούμενες ασυμμετρίες - με ταυτόχρονη περιστροφή των επί μέρους ρηξιτεμαχών τόσο περί οριζόντιο άξονα NW-SE διεύθυνσης και φοράς κυρίως προς τα NW και σπανιότερα προς NE, όσο και περί κατακόρυφο άξονα με δεξιόστροφη ως επί το πλείστον περιστροφή, που πρέπει εν μέρει να συνδέεται και με την αρχική οριζόντια ολίσθηση (Τζανίνη, 2014, 30 -36).



Σχήμα 2.2. Σχηματική απεικόνιση των απόψεων των κυριότερων ερευνητών για τη λιθοστρωματογραφική δομή των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Αττικής (Λόζιος, 1993)



Σχήμα 2.3: Γεωτεκτονικός χάρτης περιοχής μελέτης (Krohe et al., 2010)

2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

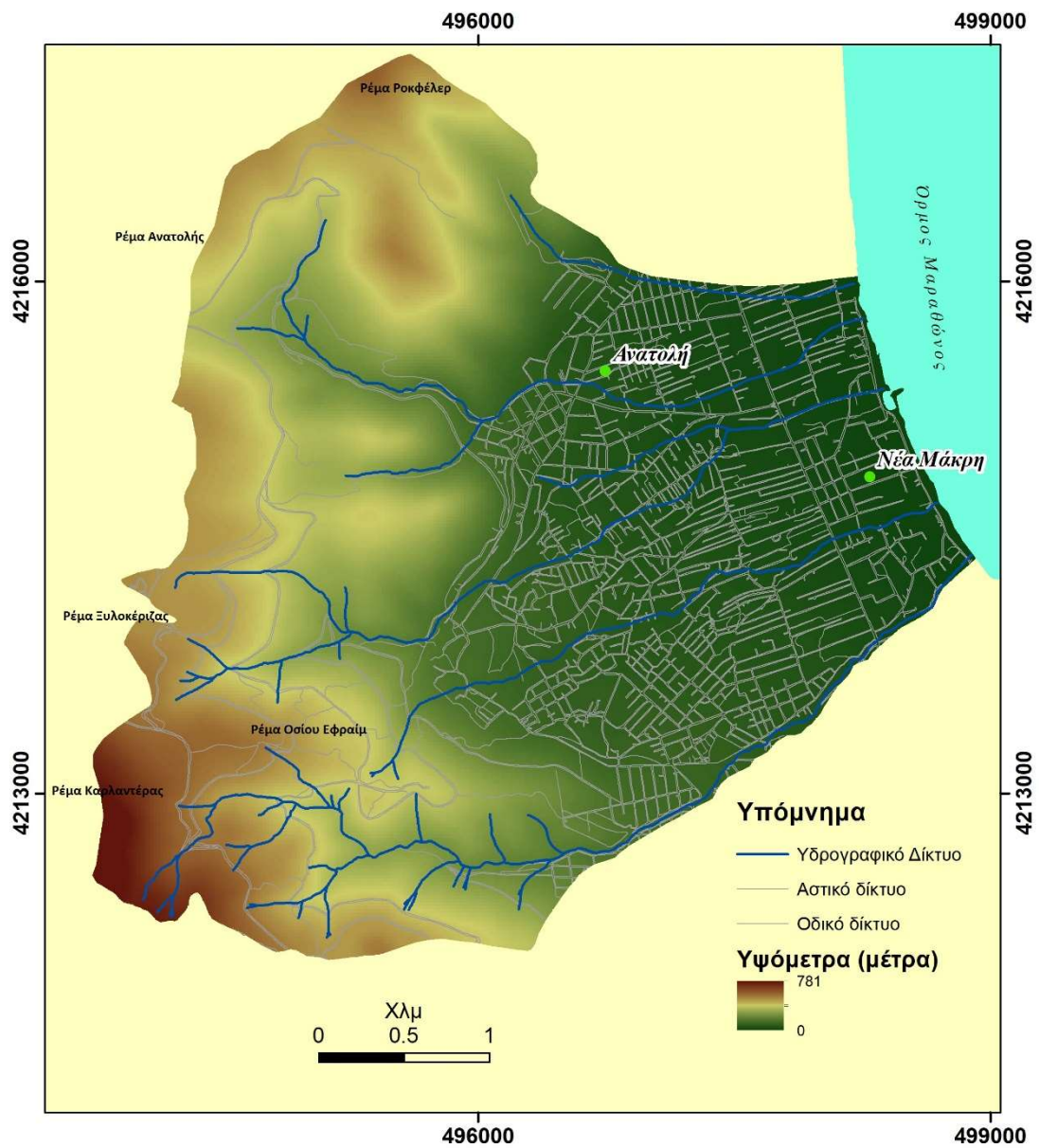
Η περιοχή της Νέας Μάκρης – Ανατολής ανήκει στο βορειοανατολικό τμήμα του νομού Αττικής. Συνορεύει βόρεια με τον Μαραθώνα, νότια με την Ραφήνα, δυτικά με το Πεντελικό Όρος (Σχήμα 2.3). Ανατολικά βρέχεται από τον Νότιο Ευβοϊκό. Διακρίνεται το πεδινό τμήμα της Νέας Μάκρης που παρουσιάζει αρκετά μεγάλη ανάπτυξη οικισμών σε σχεδόν όλο το τμήμα του, καθώς και η λοφώδης – ημιορεινή ζώνη, που ανήκει στην Πεντέλη με μέγιστο υψόμετρο τα 781 m. Η έκταση της περιοχής μελέτης είναι περίπου 17 km² (Σχήμα 2.1, 2.4). Η Νέα Μάκρη έχει υψόμετρο 10 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας, σε γεωγραφικό πλάτος 38,0808609041 και γεωγραφικό μήκος 23,9777845621.



Σχήμα 2.4. Τα ρέματα της Αττικής. Περιοχές Νέου Βουτσα – Νέας Μάκρης (Θεοδωσόπουλος Δ., 2017)

Υδρογραφικά η περιοχή ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα της Αττικής (ΥΔ 06), το οποίο έχει έκταση 3186 km² και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Περιφέρειας Αττικής, τα νησιά Αίγινα, Σαλαμίνα και Μακρόνησο, ένα μικρό τμήμα των Περιφερειών Στερεάς Ελλάδας και Πελοποννήσου. Σε αυτό ανήκει η Λεκάνη Απορροής του Λεκανοπεδίου Αττικής (GR06), συμπεριλαμβανομένων και των νήσων Αίγινας και Αγκιστρίου, σύμφωνα με την υπ' αριθμ. οικ. 706/16.07.10 απόφαση (ΦΕΚ 1383/Β'/02.09.2010) της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, έτσι όπως διορθώθηκε και ισχύει. Οι κύριοι ποταμοί του ΥΔ 06 είναι ο ποταμός Κηφισός, που διασχίζει το λεκανοπέδιο Αττικής στο βόρειο και δυτικό τμήμα μέσω πολλών μικρών χειμάρρων, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι τα ρέματα της Χελιδονούς, του Κοκκιναρά, της Λαμπρινής και του Χαλανδρίου. Το ανατολικό τμήμα που ορίζεται από τη λοφοσειρά Τουρκοβούνια - Στρέφη - Λυκαβηττός - Ακρόπολη – Φιλοπάππου και από τον Υμηττό απορρέει στον Ιλισό. Ο Σαρανταπόταμος διασχίζει την κοιλάδα της Οινόης και το Θριάσιο Πεδίο και εκβάλλει στον Κόλπο της Ελευσίνας. Ο Χάραδρος πηγάζει από τις ανατολικές απολήξεις της Πάρνηθας, διασχίζει την πεδιάδα και εκβάλλει στον όρμο του Μαραθώνα. Η λεκάνη απορροής του ορίζεται από τα όρη Πάρνηθα και Πεντέλη και έχει έκταση 185 km². Στο ΥΔ 06 υπάρχουν οι φυσικές λίμνες Βουλιαγμένης και Κουμουνδούρου, οι οποίες αποτελούν φυσικές εκφορτίσεις των υδροφορέων του Υμηττού και της νότιας Πάρνηθας αντίστοιχα ενώ στα ανατολικά η τεχνητή λίμνη του Μαραθώνα ωφέλιμης χωρητικότητας 32.2 hm³ και έκτασης λεκάνης απορροής ανάντη του φράγματος 120 km² περίπου.

Τα ρέματα της περιοχής μελέτης απορρέουν ανατολικά του Πεντελικού Όρους (Σχήμα 2.5.) με κατεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά. Τους χειμερινούς μήνες κάποια από αυτά πλημμυρίζουν και καταλήγουν στην θάλασσα, εν αντιθέσει με τους καλοκαιρινούς μήνες που παρουσιάζουν μηδενική ροή. Επιπροσθέτως τα περισσότερα από αυτά είναι τελείως καλυμμένα και εξαφανίζονται μέσα στον αστικό ιστό. Τα ρέματα αυτά είναι: το �έμα Ροκφέλλερ (θέση πρώην Αμερικανικής Βάσης), το �έμα της Ανατολής, το ςμα της Ξυλοκέρizas (που καταλήγει στο λιμάνι της Νέας Μάκρης), το ςμα στο Μοναστήρι του Οσίου Εφραίμ και το ςμα της Καρλαντέρας.



Σχήμα 2.5. Τα ρέματα της περιοχής μελέτης

2.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής αναπτύσσονται τρία είδη υδροφόρων συστημάτων (Lekkas et. al, 2018), το πρώτο μέσα στις τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις (κοκκώδες σύστημα), το δεύτερο μέσα στα υδροπερατά μάρμαρα και στους ασβεστόλιθους (καρσικό σύστημα) και το τρίτο, τοπικά στην μάζα τεκτονισμένων πυριγενών πετρωμάτων, όπου αναπτύσσεται ρωγματικού τύπου υδροφορία μικρής δυναμικότητας. Τα κοκκώδη υδροφόρα συστήματα αναπτύσσονται στις ιζηματογενείς λεκάνες του ΥΔ Αττικής (Λεκάνη Κηφισού, πεδινές περιοχές Μαραθώνα, Μεσογείων, Μεγάρων, Λουτρακίου και παράκτιες περιοχές Αττικής) εντός των τεταρτογενών και νεογενών αποθέσεων οι οποίες δημιουργούν αλληπάλληλους υδροφόρους ορίζοντες, ελεύθερους ή μερικώς υπό πίεση εντός των αμμοχαλικωδών ενστρώσεων. Τα νεογενή ιζήματα παρουσιάζουν λιθοστρωματογραφικές εναλλαγές υδροπερατών και ημιπερατών έως υδροστεγανών πετρωμάτων με αποτέλεσμα να αναπτύσσουν υπόγεια υδροφορία με τη μορφή επάλληλων υπό πίεση ή μερικώς υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων. Η τροφοδοσία αυτών των συστημάτων προέρχεται από τις βροχοπτώσεις, τις επιφανειακές απορροές και από πλευρικές μεταγγίσεις υπόγειων υδάτων.

2.4 ΚΛΙΜΑ

Η Αττική αποτελεί ιστορική περιοχή της Ελλάδας, που περικλείει μεταξύ άλλων την πόλη της Αθήνας, η οποία είναι και πρωτεύουσα της χώρας, καθώς και την πόλη του Πειραιά. Η ιστορική περιοχή επικεντρώνεται στην Αττική χερσόνησο, η οποία προεκτείνεται στο δυτικό τμήμα του Αιγαίου Πελάγους. Σήμερα αποτελεί τμήμα μίας από τις 13 περιφέρειες της Ελλάδας. Έχει έκταση 3.808 χλμ² και καλύπτει το 2,9% της συνολικής έκτασης της χώρας.

Το κλίμα του Υδατικού Διαμερίσματος της Αττικής είναι Μεσογειακό με εξαίρεση τα υψηλά σημεία, όπου το κλίμα είναι ορεινό. Κύριο χαρακτηριστικό του Μεσογειακού κλίματος είναι τα ξηρά, ζεστά καλοκαίρια και οι χειμώνες ήπιοι και σχετικά βροχεροί. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 411 mm και κυμαίνεται από 350 mm στο λεκανοπέδιο Αττικής μέχρι 1.000 mm στα ορεινά τμήματα (Πάρνηθα). Η μέση ετήσια θερμοκρασία έχει τιμές από 16°C μέχρι 18°C, ανάλογα με το υψόμετρο και την απόσταση από τη θάλασσα. Τα παράλια παρουσιάζουν μικρότερες θερινές θερμοκρασίες και μεγαλύτερες χειμερινές. Ο Ιούλιος θεωρείται ο θερμότερος και ξηρότερος μήνας ενώ ο Ιανουάριος ο πιο ψυχρός και ο Φεβρουάριος ο πιο υγρός. Κλιματολογικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης προέρχονται από τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Ραφήνας. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 387 mm, με μέγιστο των βροχοπτώσεων τους χειμερινούς μήνες. Οι άνεμοι που κυριαρχούν στην περιοχή είναι βόρειοι και τους καλοκαιρινούς μήνες βορειοανατολικοί. Από τα μέσα Ιουλίου μέχρι τέλος Οκτωβρίου οι άνεμοι είναι πιο ασταθείς, πιο συχνοί και περισσότερο ισχυροί (Μαραθώνας: Φυσικό Περιβάλλον Μορφολογία Κλίμα, n.d.).

Τέλος, η Αθήνα φημίζεται για τα ιδιαίτερα θερμά καλοκαίρια της και μάλιστα η υψηλότερη θερμοκρασία που έχει ποτέ καταγραφεί σε αυτήν αλλά και την Ευρώπη, είναι εκείνη των 48,0 βαθμών Κελσίου στις 10 Ιουλίου του 1977. Οι χιονοπτώσεις το χειμώνα εντός της Αθήνας είναι σπάνιες και όποτε συμβαίνουν, τα χιόνια λιώνουν συνήθως μετά από μερικές ώρες. Βροχοπτώσεις καταγράφονται από τα τέλη Σεπτεμβρίου έως και τα μέσα Απριλίου. Την υπόλοιπη διάρκεια του έτους οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες. Οι νότιες περιοχές της Αττικής έχουν θερμό ημίξηρο

κλίμα κατά την κλιματική ταξινόμηση "Köppen". Χαρακτηριστικό παράδειγμα οι κλιματικές τιμές του νότιου προαστίου της Αθήνας, του Ελληνικού.

2.5 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο Δήμος Νέας Μάκρης ήταν δήμος της Ανατολικής Αττικής, ο οποίος λειτούργησε στο διάστημα 1990-2010, οπότε καταργήθηκε με την εφαρμογή του αυτοδιοικητικού Προγράμματος Καλλικράτης. Βρισκόταν στις ανατολικές ακτές της Αττικής, ανάμεσα στους Δήμους Μαραθώνα και Ραφήνας. Αποτελείτο από ένα δημοτικό διαμέρισμα, καταλάμβανε έκταση 36,662 τ.χλμ. και ο πληθυσμός του, σύμφωνα με την Απογραφή του 2001, ανερχόταν σε 14.809 κατοίκους. Ο Δήμος Νέας Μάκρης δημιουργήθηκε το 1990, όταν η μέχρι τότε κοινότητα Νέας Μάκρης αναγνωρίστηκε ως δήμος, και διατηρήθηκε αμετάβλητος μετά την εφαρμογή του αυτοδιοικητικού Σχεδίου Καποδίστριας, το 1997. Η αντίστοιχη κοινότητα είχε συσταθεί για πρώτη φορά το 1926, λίγο μετά την ίδρυση της Νέας Μάκρης από πρόσφυγες που προέρχονταν από τη Μάκρη και το Λεβίσι της νοτιοδυτικής Μικράς Ασίας. Μέχρι τότε, η περιοχή ανήκε στην κοινότητα Μαραθώνος. Στην κοινότητα Νέας Μάκρης εντάχθηκαν και οι οικισμοί Μάτι, Αγία Μαρίνα (πρώην Γεροσακούλι), Ανατολή (πρώην Ραπεντόσα), Άγιος Ανδρέας, Ζούμπερι, Ξυλοκέριζα και Βάλτος. Οι παραπάνω οικισμοί σταδιακά καταργήθηκαν, καθώς ενώθηκαν με το πολεοδομικό συγκρότημα της συνεχώς επεκτεινόμενης Νέας Μάκρης. Το 1981 προσαρτήθηκε στην κοινότητα και ο παραθεριστικός οικισμός Νέος Βουτζάς (ΦΕΚ - 05/04/1981). Ο Δήμος Νέας Μάκρης καταργήθηκε το 2010, καθώς με την εφαρμογή του Προγράμματος Καλλικράτης συνενώθηκε με τον νέο Δήμο Μαραθώνος. Ο Δήμος Νέας Μάκρης περιελάμβανε τους παρακάτω οικισμούς (σε παρένθεση ο πληθυσμός, βάσει της Απογραφής του 2001): α. η Νέα Μάκρη (13.986) και β. ο Νέος Βουτζάς (823).

Η Νέα Μάκρη υπήρξε λιμάνι υποδοχής ενός μέρους του μεγάλου προσφυγικού κύματος που έχει συμβεί στη νεότερη Ελληνική Ιστορία τα έτη 1922-1923, από τις ιωνικές πόλεις Μάκρη και Λίβισι της Μικράς Ασίας. Σήμερα αποτελεί κωμόπολη της Βορειοανατολικής Αττικής και ο πληθυσμός της, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ανέρχεται σε 15.554 κατοίκους. Το καλοκαίρι ως παραθεριστικό κέντρο οι κάτοικοί της φτάνουν τους 55.000-60.000 κατοίκους. Η πλειοψηφία των κατοίκων 51,55% είναι έως 39 ετών ενώ το 21,65% πάνω από 60 ετών. Η μέση ηλικία των κατοίκων είναι περίπου 40 έτη (Νέα Μάκρη, 2020).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

Για την δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας στην περιοχή μελέτης τα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

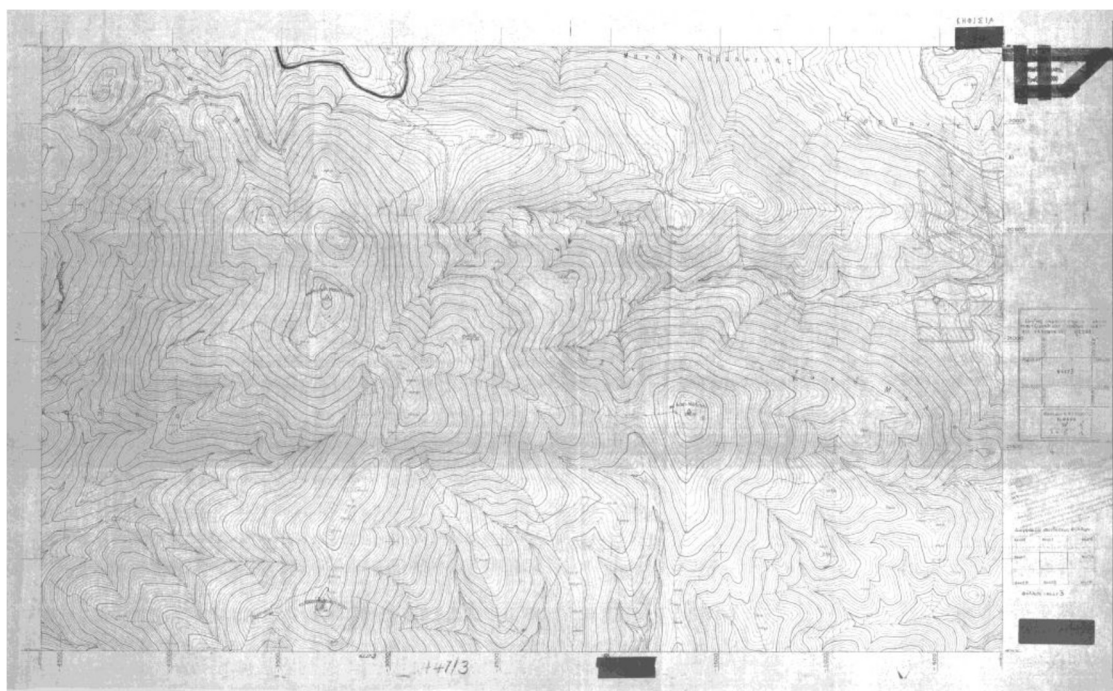
- Βιβλιογραφικά δεδομένα.
- Τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:5000, Έκδοσης Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), 1973. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα τοπογραφικά διαγράμματα 6447/1(Σχήμα 3.1) , 6447/2 (Σχήμα 3.2), 6447/3 (Σχήμα 3.3), 6447/4 (Σχήμα 4.4).
- Τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:25000, Φύλλο Νέα Μάκρη ΓΥΣ, 2009.
- Γεωλογικός χάρτης 1:50000, Φύλλο Κηφισιά, Έκδοσης ΙΓΜΕ, 2002.
- Η βάση δεδομένων της Corine Land Cover 2012 για την εύρεση των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης.
- Τοπογραφικό χάρτη από Google Map.
- Δορυφορική εικόνα από Google Earth, από δορυφόρο Lansat 8, λήψη 2019.



Σχήμα 3.1: Τοπογραφικός Χάρτης ΓΥΣ, Φύλλο 6447/1, ΒΔ κομμάτι περιοχής μελέτης



Σχήμα 3.2: Τοπογραφικός Χάρτης ΓΥΣ, Φύλλο 6447/2, ΒΑ κομμάτι περιοχής μελέτης



Σχήμα 3.3: Τοπογραφικός Χάρτης ΓΥΣ, Φύλλο 6447/3, ΝΔ κομμάτι περιοχής μελέτης



Σχήμα 3.4: Τοπογραφικός Χάρτης ΓΥΣ, Φύλλο 6447/4, ΝΑ κομμάτι περιοχής μελέτης,

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων ήταν:

- Το ArcMap 10.5 του ArcGIS της εταιρείας ESRI, για τη δημιουργία των χαρτών που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο
- Το πρόγραμμα λογιστικών φύλλων Microsoft Excel για τη δημιουργία των πινάκων που παρουσιάζονται παρακάτω

3.2 ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΔΙΟΥ

Κατά την εργασία στο πεδίο, η οποία πραγματοποιήθηκε κατά τους μήνες Νοέμβριο (2019) και Ιανουάριο (2020), κατά τη διάρκεια των οποίων συναντάται έντονη βροχόπτωση, χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:5000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.), οι οποίοι βοήθησαν στην καλύτερη και λεπτομερέστερη αποτύπωση της περιοχής μελέτης. Οι μήνες αυτοί επιλέχθηκαν με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης της περιοχής μελέτης, τα οποία δείχνουν έντονη βροχόπτωση κατά αυτό το χρονικό διάστημα και επομένως είναι πιθανό να εκδηλωθούν πλημμύρες. Το υδρογραφικό δίκτυο που μελετάται είναι εποχιακής ροής.

Αρχικά, έγινε μια έρευνα κατά μήκος της ακτογραμμής της περιοχής μελέτης με σκοπό τον εντοπισμό των εκβολών ρεμάτων, σύμφωνα πάντα με τους τοπογραφικούς χάρτες. Όπου αυτό δεν κατέστη δυνατόν, ζητήθηκαν περαιτέρω πληροφορίες από μόνιμους κάτοικους της περιοχής.

Τα ρέματα που μελετήθηκαν, κατέληγαν στη θάλασσα μέσω αγωγών αποστράγγισης, ή ήταν πλήρως καλυμμένα. Οι εκτάσεις των ρεμάτων που ήταν καλυμμένες, πιθανολογήθηκαν με βάση την μορφή των ισοϋψών καμπυλών των τοπογραφικών χαρτών, η οποία οφείλει να ακολουθεί ένα σχήμα περίπου V, όταν συναντάει ρέματα (Joubert, 2018 & Sjöberg, 2016).

Στη χαρτογράφηση του κάθε ρέματος, ακολουθήθηκε μια πορεία από τα κατάντη προς τα ανάντη με οδηγό τους συμβολισμούς των τοπογραφικών χαρτών όπου υπήρχαν, καθώς και την μορφή των ισοϋψών καμπυλών (Joubert, 2018 & Sjöberg, 2016). Κατά τη διαδικασία της χαρτογράφησης, σημαντικό ρόλο είχαν και φυσικά χαρακτηριστικά, όπως η εμφάνιση καλαμιών. Οι καλαμιές που εμφανίζονται κατά την εργασία πεδίου, ήταν σε άλλες περιπτώσεις πυκνές και ψηλές, ενώ σε άλλες χαμηλές και μαραμμένες. Στην πρώτη περίπτωση, αυτό υποδεικνύει πως τα υπόγεια ύδατα είναι συνεχή, πλούσια και σε βάθος. Στην περίπτωση των μαραμμένων καλαμιών, η ροή του νερού δεν είναι συνεχής και βρίσκεται πιο κοντά στην επιφάνεια. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε στα υψηλότερα σημεία πρόσβασης,

πέραν των οποίων δεν ήταν δυνατή η προσέγγιση, λόγω πυκνής βλάστησης και απότομων κλίσεων του εδάφους.

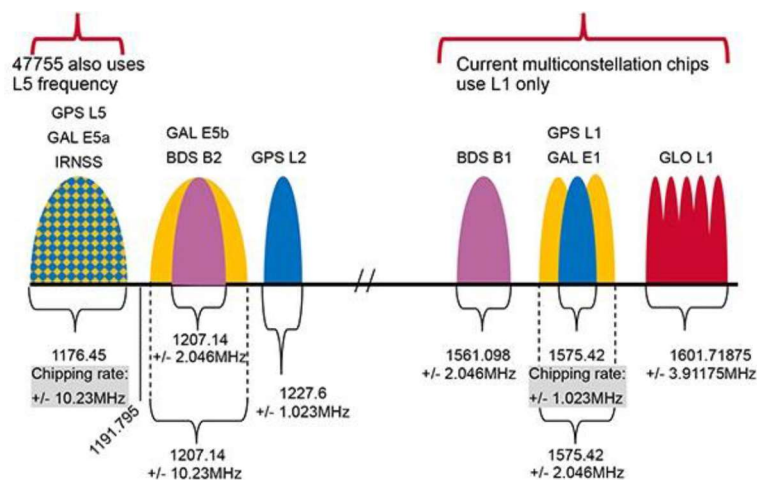
Τέλος, με σκοπό την καλύτερη κατανόηση και μελέτη του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής, χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή επαγγελματική κάμερα μονοοπτικού τύπου. Με αυτήν λήφθηκαν φωτογραφίες στα σημεία παρατήρησης όπου έγιναν στάσεις. Επίσης, λήφθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων παρατήρησης με GPS (Global Positioning System – Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας) διπλής συχνότητας.

3.3 GPS ΔΙΠΛΗΣ ΣΥΧΝΌΤΗΤΑΣ (Dual-frequency GPS)

Το GPS Διπλής Συχνότητας είναι μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε στα έξυπνα τηλέφωνα (smartphones) τα τελευταία 3 χρόνια και χρησιμοποιεί κυρίως δύο μπάντες συχνότητας, τις L1 και L5. Τα κινητά τηλέφωνα που χρησιμοποιούν μονής συχνότητας GPS, μπορούν μόνο να λάβουν δορυφορικό σήμα που εκπέμπεται από την μπάντα L1, ενώ τα κινητά τηλέφωνα με διπλής συχνότητας GPS, μπορούν να λαμβάνουν δορυφορικό σήμα τόσο από την μπάντα L1, όσο και από την L5. Προς το παρόν, τα συστήματα GPS Galileo και QZSS εκπέμπουν αστικά σήματα στην μπάντα L5, τα οποία είναι τα GPS L5C, Galileo E5a και QZSS. Εκτιμάται ότι όλοι οι δορυφόροι που βρίσκονται σε τροχιά, θα υποστηρίζουν διπλής συχνότητας σήματα μέχρι το τέλος του 2020, με το συνολικό αριθμό των διαθέσιμων δορυφόρων να ξεπερνά τους 60 (Introduction to dual-frequency GPS, n.d.).

3.3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ GPS ΔΙΠΛΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Η θέση πλοήγησης είναι περισσότερο ακριβής. Το εύρος του σήματος των GPS L5C και Galileo E5a είναι 10 φορές καλύτερο από αυτό των σημάτων της L1 μπάντας. Επιπροσθέτως, η μπάντα L5 έχει μεγάλο συχνοτικό εύρος φασματικής περιοχής (υψηλή ικανότητα μεταφοράς δεδομένων) και μεγάλη ικανότητα εκπομπής, τα οποία οδηγούν σε βελτιωμένες ικανότητες αντι-παρεμβολής και διαχείρισης θορύβων (Chaturvedi, 2019)



Σχήμα 3.5: Παρουσίαση λειτουργίας των GPS διπλής συχνότητας (Chaturvedi, 2019)

3.4 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ)

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, συγκεντρώθηκαν σε μια χωρική βάση δεδομένων στο ArcMap 10.5 από όπου έγινε η επεξεργασία τους. Αρχικά, σαρώθηκαν και ψηφιοποιήθηκαν οι τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:5000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, εισήχθησαν στο περιβάλλον του ArcMap 10.5 και γεωαναφέρθηκαν με βάση το σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87. Το σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ' 87 είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς που ορίστηκε το 1987. Είναι μία προβολή του εδάφους στο επίπεδο (του καμπύλου εδάφους της γης στο επίπεδο χαρτί). Στο δίκτυο αυτό αναφέρονται πλέον όλες οι πληροφορίες που αφορούν τον τεχνικό κόσμο. Έτσι, σε αυτό αναφέρεται το Εθνικό Κτηματολόγιο, καθώς και όλες οι ιδιοκτησίες που είναι καταχωρημένες στη βάση του. Σε κάθε τοπογραφικό που συντάσσεται είναι απαραίτητη η εξάρτησή του στο δίκτυο αυτό. Τόσο για τα διαγράμματα που είναι απαραίτητα για το δασαρχείο και τις πράξεις χαρακτηρισμού, όσο και για τις πολεοδομίες για την έκδοση αδειάς (σύμφωνα με τον πρόσφατο Νόμο 4030 ΦΕΚ 249/25-11-2011), είναι προϋπόθεση η αναφορά λίστας συντεταγμένων στο σύστημα ΕΓΣΑ' 87. Επίσης, τα διαγράμματα που συνοδεύουν τα συμβόλαια αγοραπωλησιών και άλλων δικαιπραξιών, αλλά και τα διαγράμματα που συντάσσονται για την τακτοποίηση αυθαίρετων κατασκευών εξαρτώνται από το ίδιο δίκτυο. Η παλαιά μέθοδος σύνδεσης των τοπογραφικών εργασιών στο εθνικό δίκτυο συντεταγμένων ήταν ο τριγωνισμός. Η σύνδεση γινόταν είτε με εμπροσθοτομία, είτε με οπισθοτομία από τα τριγωνομετρικά σημεία της Γ.Υ.Σ. Τώρα πλέον η σύνδεση γίνεται με γεωδαιτικούς δέκτες δορυφορικού εντοπισμού θέσης, δηλαδή GPS.XYZ είναι οι τρεις διαστάσεις του χώρου. Συγκεκριμένα είναι οι συντεταγμένες του κάθε σημείου σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Κάθε χώρα έχει και ένα σύστημα συντεταγμένων για να μπορούν να συνεννοούνται καλύτερα τόσο οι υπηρεσίες μεταξύ τους, όσο και ο κάθε ένας να εντοπίζει εύκολα το κάθε τι σε ένα κοινό σύστημα. Έτσι, κάθε χάρτης, κάθε σχέδιο, κάθε πληροφορία, μπορεί να τοποθετηθεί στο χώρο και να χρησιμοποιηθεί από περισσότερους από έναν. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι από καθαρά τεχνικά θέματα, όπως οι χρήσεις γης, οι όροι δόμησης, η θέση ιδιοκτησιών έως πολύ κοινά, όπως ο καιρός, πληροφορίες για καταστήματα, μουσεία ή οτιδήποτε (ΕΓΣΑ 87, 2013).

Τα Ψηφιακά υδρολογικά δίκτυα απεικονίζουν οδούς επιφανειακών υδάτων και τις συναφείς λεκάνες απορροής τους παρέχουν βασικό συστατικό για την υδρολογική ανάλυση και μοντελοποίηση. Συλλογικά, σχηματίζουν κοινές χωρικές μονάδες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν τις περιγραφές υδάτινων και λεκανών απορροής. Επιπλέον, παρέχουν τη δυνατότητα προσομοίωσης και δρομολόγησης της κίνησης του νερού και των σχετικών συστατικών σε όλο το τοπίο. Τα ψηφιακά υδρολογικά δίκτυα έχουν εξελιχθεί από παράγωγα προϊόντων χαρτογράφησης σε λεπτομερή, διασυνδεδεμένα, χωρικά αναφερόμενα δίκτυα υδάτινων οδών, αποχετευτικών περιοχών και χαρακτηριστικών ρευμάτων και λεκανών απορροής. Αυτές οι ιδιότητες είναι σημαντικές διότι ενισχύουν την ικανότητα αξιολόγησης χωρικών παραγόντων που επηρεάζουν τις πηγές και τη μεταφορά συστατικών ποιότητας νερού σε διάφορες κλίμακες.

Αρχικά δημιουργήθηκε ο υδροκρίτης της λεκάνης που μελετάται με βάση τις κορυφές και τις ισοϋψείς καμπύλες των τοπογραφικών χαρτών (Joubert, 2018), ο οποίος αποτελεί παράλληλα και το όριο της περιοχής μελέτης. Είναι απαραίτητο να σημειωθεί, ότι πρώτα δημιουργείται ο υδροκρίτης και η περιοχή μελέτης και έπειτα συμπεριλαμβάνουμε τους υπόλοιπους παράγοντες. Ο υδροκρίτης είναι η γραμμή που καταδεικνύει τα όρια μιας λεκάνης απορροής που την χωρίζουν από μια γειτονική λεκάνη απορροής, ουσιαστικά το νοητό όριο μεταξύ δύο γειτονικών λεκανών απορροής (Joubert, 2018).

Στη συνέχεια, σχεδιάστηκαν τα 5 ρέματα που μελετήθηκαν με βάση την εργασία πεδίου, τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν με βάση την κατάσταση της κοίτης τους σε κάθε σημείο σε ελεύθερα, ημικαλυμμένα και καλυμμένα και δημιουργήθηκαν ζώνες επιρροής γύρω τους.

Μέσω των ΓΣΠ δημιουργήθηκαν οι χάρτες των παραγόντων που επιδρούν στην εκδήλωση των πλημμυρών καθώς και οι χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας.

3.5 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Κατόπιν προσδιορίστηκαν οι παράγοντες που επιδρούν στην πλημμυρική επικινδυνότητα και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Αυτοί προσδιορίστηκαν με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Bathrellos et al, 2016). Οι παράγοντες αυτοί είναι: το υψόμετρο, οι μορφολογικές κλίσεις, οι χρήσεις γης, η διαπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών και οι ζώνες επιρροής στις κοίτες των ρεμάτων. Στη συνέχεια εξετάζεται ξεχωριστά ο κάθε παράγοντας.

Το υψόμετρο είναι σημαντικός παράγοντας στην επίδραση πλημμυρών διότι στα χαμηλά υψόμετρα εκδηλώνονται πλημμυρικά φαινόμενα. Αυτό προέκυψε από την ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών των τοπογραφικών χαρτών 1:25000 της Γ.Υ.Σ. ανά 10 m (με μέγεθος κελιού 10 x 10 m) δημιουργώντας έτσι το Ψηφιακό Μοντέλο Ανάγλυφου (DEM – Digital Elevation Model).

Οι μορφολογικές κλίσεις επηρεάζουν την εκδήλωση των πλημμυρών εξίσου σημαντικά, αφού στις χαμηλές μορφολογικές κλίσεις αυτές εκδηλώνονται. Οι κλίσεις προέκυψαν από την επεξεργασία του DEM και υπολογίστηκαν αυτόματα μέσω του περιβάλλον του ArcMap.

Η αστικοποίηση ευνοεί την εκδήλωση πλημμυρών, ενώ η βλάστηση ενισχύει την αποτελεσματική εδαφολογική συνοχή και επομένως την κατείσδυση του ρέοντος νερού. Για τον σκοπό αυτό μελετήθηκαν οι χρήσεις γης της περιοχής μελέτης. Οι χρήσεις γης αποτυπώθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος Corine.

Η φύση των πετρωμάτων αυξάνει ή μειώνει την επιφανειακή απορροή με αποτέλεσμα να επιδρά στις πλημμύρες. Για αυτό το λόγο επιλέχθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί και ελέγχθηκε η διαπερατότητά τους από βιβλιογραφία (Lekkas et. al, 2018 και Παπανικολάου Δ.Ι., Γεωλογία Ελλάδος)

Οι κοίτες των ρεμάτων και η απόσταση επιδρούν άμεσα στην εκδήλωση των πλημμυρών. Για αυτό υπολογίστηκαν οι ζώνες επιρροής γύρω από τις κοίτες των ρεμάτων, τόσο στα καλυμμένα, ημικαλυμμένα όσο και στα ελεύθερα ρέματα.

3.5.1 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ

Οι κάθε παράγοντας χωρίστηκε σε επιμέρους κατηγορίες. Για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου απαιτείται βαθμονόμηση των κατηγοριών της κάθε μία παραμέτρου. Η βαθμονόμηση που έγινε είναι ενιαία και βασίστηκε σε μια πενταβάθμια αριθμητική κλίμακα (Μπαθρέλλος,2014)

Οι αριθμητικές τιμές οι οποίες δίνονται σε κάθε κατηγορία είναι μεταξύ 0 και 4. Όπου η τιμή 4, είναι το μέγιστο και αντιπροσωπεύει το μέγιστο (μεγάλο κίνδυνο πλημμύρας), δηλαδή τη ευνοϊκότερη και καταλληλότερη συνθήκη εκδήλωσης πλημμυρών και η τιμή 0 αντίθετα το ελάχιστο (μικρός κίνδυνος πλημμύρας) Η βαθμονόμηση των κατηγοριών αυτών βασίστηκε σε βιβλιογραφικές αναφορές (Μπαθρέλλος, 2008, Bathrellos et al., 2009).

Οι θεματικοί χάρτες των παραμέτρων με τα αντίστοιχα βάρη τους συσχετίστηκαν έτσι ώστε να υπολογισθεί ο συνολικός δείκτης εκτίμησης πλημμυρικής επικινδυνότητας και να προσδιοριστεί η τελική κατάταξη των εξεταζόμενων περιοχών. Η αλληλοσυσχέτιση των παραγόντων πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο του αθροίσματος (Voogd, 1983; Malczewski, 1999; Marinoni, 2004) η οποία είναι η συνηθέστερη χρησιμοποιούμενη τεχνική για τον υπολογισμό χωρικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην λήψη αποφάσεων και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$F = \sum_{i=1}^n Xi \quad (1)$$

Όπου F είναι ο βαθμός επικινδυνότητας, n ο αριθμός των παραγόντων και Xi είναι η βαθμονόμηση των κατηγοριών του κάθε παράγοντα i. Η εξίσωση (1) εφαρμόστηκε για να υπολογισθεί και να δημιουργηθεί ο χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας. Ο χάρτης διαχωρίστηκε σε ζώνες με διαβαθμισμένα επίπεδα κινδύνου (Μπαθρέλλος, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

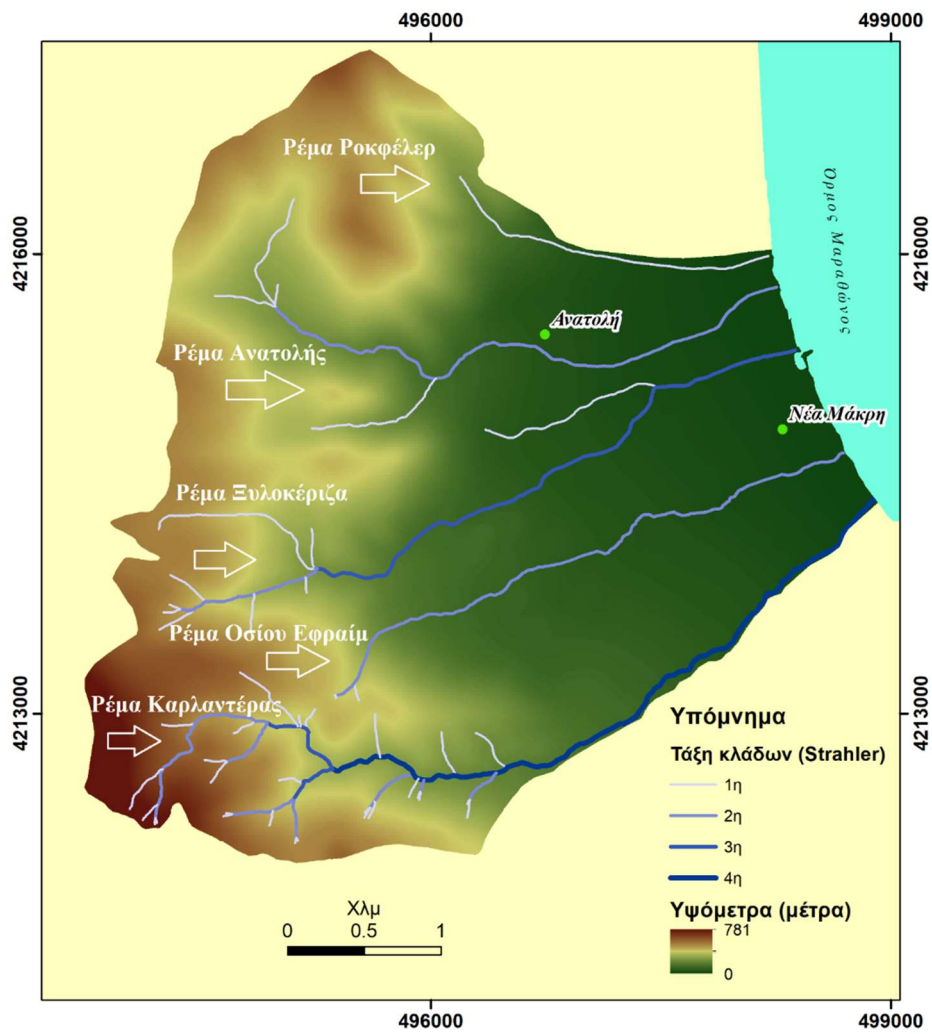
4.1 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης που μελετάται εκτείνεται σε μια περιοχή 17 km², περικλείοντας 5 ρέματα, είναι ανεπτυγμένο κυρίως στα ΝΔ και τα ρέματά του απορρέουν από το Πεντελικό Όρος (Σχήμα 4.1) και εκβάλλουν στον Όρμο του Μαραθώνα. Στα ρέματα αυτά πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση κατά Strahler (Strahler, 1952) με σκοπό την ποσοτική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου (Σχήμα 4.1). Με διεύθυνση από Νότο προς Βορρά, τα ρέματα που χαρτογραφήθηκαν, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Ρέμα	Αριθμός Κλάδων				Μήκος Κύριου Κλάδου (Km)
	1ης τάξης	2ης τάξης	3ης τάξης	4ης τάξης	
Καρλαντέρα	28	7	2	1	4,06
Οσίου Εφραίμ	3	1	-	-	2,44
Ξυλοκέριζα	9	2	1	-	3,72
Ανατολή	4	1	-	-	3,76
Ροκφέλερ	1	-	-	-	1,94

Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση ρεμάτων κατά Strahler και μήκος κύριων κλάδων

Τα μήκη των κύριων κλάδων, υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του εργαλείου Geometry του ArcMap και αναφέρονται στους κλάδους οι οποίοι καταλήγουν στον Όρμο του Μαραθώνα (Σχήμα 4.1).

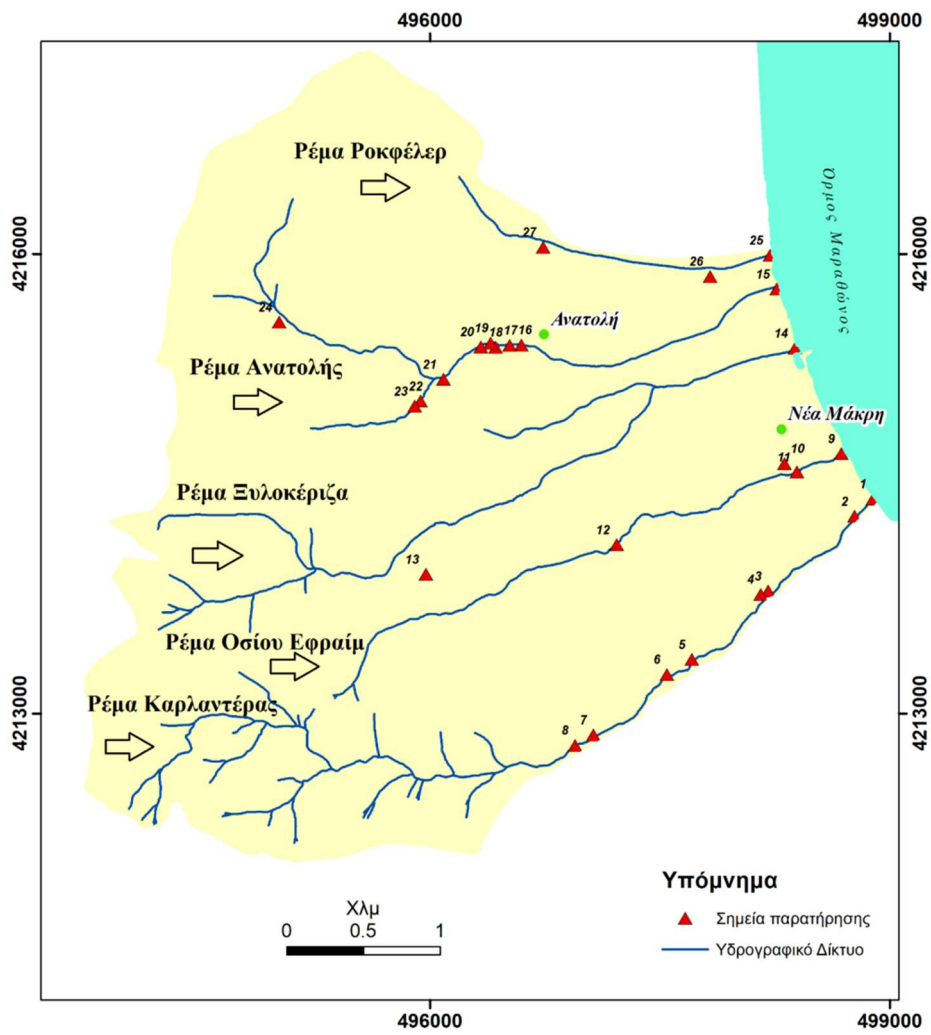


Σχήμα 4.1: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου. Ταξινόμηση κατά Strahler (1952)

4.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Στην χαρτογράφηση του κάθε ρέματος, ακολουθήθηκε μια πορεία από τα κατάντη προς τα ανάντη με οδηγό τους συμβολισμούς των τοπογραφικών χαρτών όπου υπήρχαν, καθώς και την μορφή των ισοϋψών καμπυλών (Joubert, 2018; Schultz et al., 2010). Η διαδικασία ολοκληρώθηκε στα υψηλότερα σημεία πρόσβασης, πέρα των οποίων δεν ήταν δυνατή η προσέγγιση, λόγω πυκνής βλάστησης και απότομων κλίσεων του εδάφους. Κατά τη διάρκεια της χαρτογράφησης, δεν παρατηρήθηκε ροή νερού σε κανένα από τα ρέματα που μελετώνται.

Τα σημεία παρατήρησης αριθμήθηκαν χρονολογικά με βάση τη σειρά μελέτης τους στην ύπαιθρο, ξεκινώντας από το νοτιότερο ρέμα της Καρλαντέρας και καταλήγοντας στο βορειότερο αυτό του Ροκφέλερ. Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται χάρτης της περιοχής με τα σημεία αυτά, καθώς και οι μετρήσεις γεωγραφικού μήκους (λ) και γεωγραφικού πλάτους (ϕ) που λήφθηκαν με το GPS διπλής συχνότητας (Πίνακας 4.2).



Σχήμα 4.2: Χάρτης θέσεων παρατήρησης

Σημεία Παρατήρησης	Γεωγραφικό Πλάτος (Φ)	Γεωγραφικό Μήκος (Λ)
1	38°04'47,9"N	23°59'20,6"E
2	38°04'44,2"N	23°59'15,7"E
3	38°04'28,4"N	23°59'52,5"E
4	38°04'27,7"N	23°58'50,8"E
5	38°04'13,9"N	23°58'32,4"E
6	38°04'10,7"N	23°58'25,4"E
7	38°03'56,8"N	23°58'03,6"E
8	38°03'55,7"N	23°58'00,8"E
9	38°04'57,5"N	23°59'12,1"E
10	38°04'55,4"N	23°59'04,4"E
11	38°04'53,6"N	23°59'00,2"E
12	38°04'38,2"N	23°58'12,0"E
13	38°04'31,9"N	23°57'20,9"E
14	38°05'19,8"N	23°58'59,7"E
15	38°05'32,4"N	23°58'54,8"E
16	38°05'20,5"N	23°57'46,4"E
17	38°05'20,4"N	23°57'43,3"E
18	38°05'20,0"N	23°57'39,5"E
19	38°05'20,9"N	23°57'38,2"E
20	38°05'20,1"N	23°57'35,6"E
21	38°05'13,2"N	23°57'25,6"E
22	38°05'08,6"N	23°57'19,4"E
23	38°05'07,5"N	23°57'17,9"E
24	38°05'25,3"N	23°56'41,6"E
25	38°05'39,5"N	23°58'53,0"E
26	38°05'35,0"N	23°50'37,0"E
27	38°05'41,2"N	23°57'52,2"E

Πίνακας 4.2: Μετρήσεις γεωγραφικών συντεταγμένων σε μοίρες (°)

4.3 ΡΕΜΑ ΚΑΡΛΑΝΤΕΡΑΣ

Το ρέμα της Καρλαντέρας, εμφανίζεται στη μεγαλύτερη έκτασή του ελεύθερο (Πίνακας 4.3). Παρατηρούμε στην εκβολή του ρέματος υπόγειο αγωγό αποστράγγισης του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. (Σχήμα 4.3, Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.3: Πλαινή άποψη του αγωγού αποστράγγισης στο σημείο παρατήρησης 1



Σχήμα 4.4: Έργο της Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. στο σημείο παρατήρησης 1

Όσο ανεβαίνουμε στα ανάντη το ρέμα είναι ημικαλυμμένο, η κοίτη καλύπτεται από πυκνή βλάστηση και παρατηρώντας προς τα ανάντη, στο αριστερό μέρος εμφανίζεται τοίχος αντιστήριξης των οικισμών παράπλευρα (Σημεία Παρατήρησης 3 έως 6, Σχήμα 4.2). Ο τοίχος αυτός προστατεύει τους οικισμούς από πιθανό πλημμυρικό γεγονός. (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Άποψη του ρέματος προς τα κατόντη στο σημείο παρατήρησης 6

Η κοίτη είναι στη φυσική της μορφή, στα σημεία παρατήρησης 7 και 8 (Σχήμα 4.2), και καλύπτεται από πυκνή βλάστηση. Στο Σημείο Παρατήρησης 8 παρατηρείται αγωγός αποστράγγισης που πιθανολογείται ότι έρχεται κάτω από το δρόμο και από μεγαλύτερα υψόμετρα. (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.6: Άποψη αγωγού αποστράγγισης προς τα ανάντη

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα μήκη και τα ποσοστά (%) της καλυμμένης, ημικαλυμμένης και ελεύθερης κοίτης του ρέματος που υπολογίστηκαν με την βοήθεια του ArcMap.

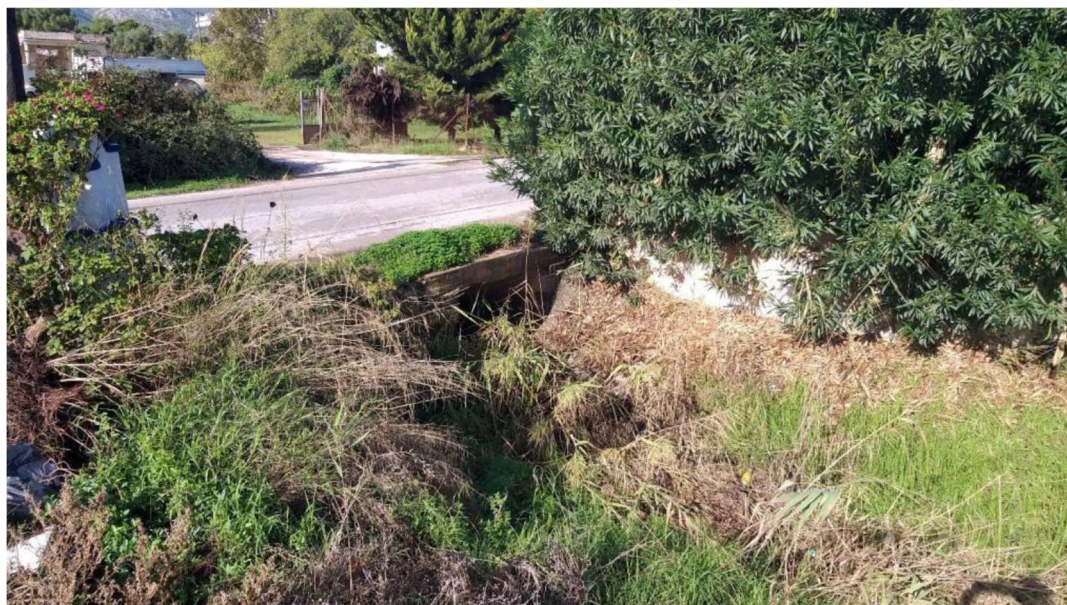
ΡΕΜΑ ΚΑΡΛΑΝΤΕΡΑΣ	Καλυμμένη κοίτη	Ημικαλυμμένη κοίτη	Ελεύθερη κοίτη	Σύνολο
Μήκος (μέτρα)	565	788	11092	12445
Ποσοστό (%)	5	6	89	100

Πίνακας 4.3: Μετρήσεις κοίτης σε μέτρα και τα αντίστοιχα ποσοστά τους (%)

Παρατηρείται ότι στο ρέμα της Καρλαντέρας τα ποσοστά της καλυμμένης και ημικαλυμμένης κοίτης είναι ίσα με 5% και 6% αντίστοιχα, έναντι του αρκετά μεγάλου ποσοστού της ελεύθερης κοίτης που είναι ίσο με 89%. Το ρέμα είναι ως επί των πλείστων στην φυσική του μορφή, χωρίς ανθρώπινες παρεμβάσεις.

4.4 ΡΕΜΑ ΟΣΙΟΥ ΕΦΡΑΙΜ

Το ρέμα της Μονής του Οσίου Εφραίμ, κυλά μέσω αποστραγγιστικού υπόγειου αγωγού και εκβάλλει στον Όρμο του Μαραθώνα, υποσκάπτοντας την ακτή στο σημείο παρατήρησης 9 (Σχήμα 4.2, Σχήμα 4.7, Σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.7: Ανάντη του αγωγού αποστράγγισης στο ρέμα της Μονής του Οσίου Εφραίμ



Σχήμα 4.8: Υποσκαφή της ακτής στις εκβολές του ρέματος της Μονής του Οσίου Εφραίμ

Ανεβαίνοντας προς τα ανάντη το ρέμα είναι πλήρως καλυμμένο και ο μόνος τρόπος για την αναγνώριση της πορείας του είναι η σποραδική εμφάνιση καλαμιών και η χρήση των ισοϋψών καμπυλών των τοπογραφικών χαρτών της Γ.Υ.Σ. (Joubert, 2018). Στα ορεινά εμφανίζεται ελεύθερο (Πίνακας 4.4).

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα μήκη και τα ποσοστά (%) της καλυμμένης, ημικαλυμμένης και ελεύθερης κοίτης του ρέματος που υπολογίστηκαν με την βοήθεια του ArcMap.

ΡΕΜΑ ΟΣΙΟΥ ΕΦΡΑΙΜ	Καλυμμένη κοίτη	Ημικαλυμμένη κοίτη	Ελεύθερη κοίτη	Σύνολο
Μήκος (Μέτρα)	1507	25	2573	4105
Ποσοστό (%)	37	1	62	100

Πίνακας 4.4: Μετρήσεις κοίτης σε μέτρα και τα αντίστοιχα ποσοστά τους (%)

Παρατηρείται ότι στο ρέμα του Οσίου Εφραίμ τα ποσοστά της καλυμμένης και ημικαλυμμένης κοίτης είναι 37% και 1% αντίστοιχα, έναντι της ελεύθερης κοίτης που είναι 62%. Το μήκος της καλυμμένης και ημικαλυμμένης κοίτης είναι τέτοιο που αναδεικνύει την αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου.

4.5 ΡΕΜΑ ΞΥΛΟΚΕΡΙΖΑΣ

Το ρέμα της Ξυλοκέρizas, έχει δύο κύριους κλάδους, οι οποίοι είναι πλήρως καλυμμένοι. Το ρέμα έχει επιχωματωθεί και βρίσκεται σήμερα κάτω από τον οικισμό της Νέας Μάκρης και καταλήγει μέσω αγωγού αποστράγγισης στη θάλασσα, δίπλα στο λιμάνι του οικισμού. Το σημείο της εκβολής του ρέματος (Σχήμα 4.9) είναι το μόνο σημείο που εμφανίζεται. Καθώς το ρέμα είναι πλήρως καλυμμένο, χαρτογραφήθηκε με τη βοήθεια των ισοϋψών καμπυλών.



Σχήμα 4.9: Αγωγός αποστράγγισης στα ανάντη του σημείου παρατήρησης 14 στο ρέμα της Ξυλοκέρizas

Ακολουθώντας την πορεία των συμβολισμών προς τα μεγαλύτερα υψόμετρα, καθώς και των ισοϋψών καμπυλών, αναγνωρίζουμε τις δύο βουνοκορφές από τις οποίες ενδιάμεσα περνά το ρέμα της Ξυλοκέρizas (Σχήμα 4.10). Το σημείο αυτό, διαφαίνεται και από το Σημείο Παρατήρησης 14 στο λιμάνι της Νέας Μάκρης (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.10: Ρέμα της Ξυλοκέρizas στη φυσική του μορφή, όπως φαίνεται μεταξύ των δύο βουνοκορφών στο σημείο παρατήρησης 13

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα μήκη και τα ποσοστά (%) της καλυμμένης, ημικαλυμμένης και ελεύθερης κοίτης του ρέματος που υπολογίστηκαν με την βοήθεια του ArcMap.

ΡΕΜΑ ΞΥΛΟΚΕΡΙΖΑΣ	Καλυμμένη κοίτη	Ημικαλυμμένη κοίτη	Ελεύθερη κοίτη	Σύνολο
Μήκος (Μέτρα)	4422	31	4107	8560
Ποσοστό (%)	51	1	48	100

Πίνακας 4.5: Μετρήσεις κοίτης σε μέτρα και τα αντίστοιχα ποσοστά τους (%)

Παρατηρείται ότι στο ρέμα της Ξυλοκέρizas το ποσοστό της καλυμμένης και ημικαλυμμένης κοίτης είναι 51% και 1% αντίστοιχα, έναντι της ελεύθερης κοίτης που είναι 48%. Το μήκος της καλυμμένης κοίτης ξεπερνά το ήμισυ του ολικού μήκους της κοίτης αναδεικνύοντας έτσι σημαντική πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου.

4.6 ΡΕΜΑ ΑΝΑΤΟΛΗΣ

Το ρέμα της Ανατολής, είναι πλήρως καλυμμένο από οικισμούς στα πεδινά και χαμηλότερα και δεν εμφανίζεται η εκβολή του, καθώς εκεί που θα έπρεπε θεωρητικά να εμφανίζεται, το σημείο είναι μπαζωμένο. Το ρέμα εμφανίζεται ημικαλυμμένο και περνά μέσα από αγωγούς αποστράγγισης μικρής και μεγάλης διατομής (Σχήμα 4.11, Σχήμα 4.12) στα σημεία παρατήρησης 16 έως 20 (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.11: Αγωγός αποστράγγισης στο σημείο παρατήρησης 17



Σχήμα 4.12: Αγωγός αποστράγγισης μεγάλης διατομής στο σημείο παρατήρησης 19

Στο σημείο παρατήρησης 20 αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει σήμανση απαγόρευσης ρίψης μπάζων λόγω ροής νερού. Σε πλαϊνή όψη του σημείου αυτού παρατηρούνται ογκόλιθοι που στηρίζουν κολώνα της ΔΕΗ. Μια ενδεχόμενη πλημμύρα είναι πιθανόν να παρασύρει τους ογκόλιθους που συγκρατούν την κολώνα και να δημιουργήσει προβλήματα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης (Σχήμα 4.13, Σχήμα 4.14). Στην απόσταση μεταξύ των σημείων 21 έως 22 το ρέμα εμφανίζεται πάλι στη φυσική του μορφή, μέσα σε έντονη βλάστηση (Σχήμα 4.2, Σχήμα 4.15).



Σχήμα 4.13: Άποψη του ρέματος προς τα ανάντη στο σημείο παρατήρησης 20



Σχήμα 4.14: Πλαϊνή άποψη του σημείου παρατήρησης 20.



Σχήμα4.15: Άποψη του ρέματος προς τα ανάντη στο σημείο παρατήρησης 21

Εμφανίζονται αγωγοί αποστράγγισης στο σημείο παρατήρησης 22, εκ των οποίων ο ένας φαίνεται να έχει μπλοκαριστεί από φερτά υλικά (Σχήμα 4.2, Σχήμα 4.16)

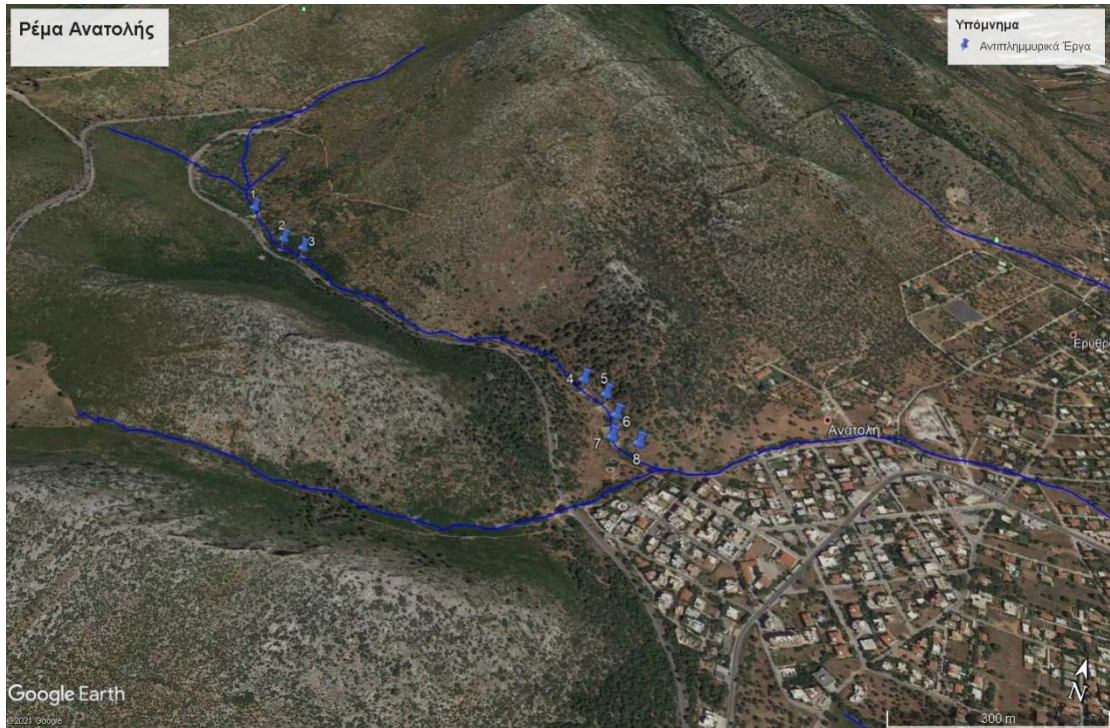


Σχήμα 4.16: Εμφάνιση αγωγών αποστράγγισης στο σημείο παρατήρησης 22

Το ξαναβλέπουμε στη φυσική του μορφή σε λίγο μεγαλύτερο υψόμετρο, όπου συναντάμε και το πρώτο αντιπλημμυρικό έργο (Σχήμα 4.17). Ο κλάδος 2ης τάξης του ρέματος ο οποίος συνεχίζει προς τα ΒΔ και βρίσκεται στη φυσική του μορφή, παρουσιάζει μια σειρά οχτώ αντιπλημμυρικών έργων στην πορεία του, τα οποία δεν ήταν δυνατόν να παρατηρηθούν από κοντινή απόσταση και επομένως παρατίθενται μέσω δορυφορικής φωτογραφίας Google Earth (Σχήμα 4.18).



Σχήμα 4.17: Αντιπλημμυρικό έργο (φράγμα) στο σημείο παρατήρησης 23.



Σχήμα 4.18: Αντιπλημμυρικά Έργα στο ρέμα της Ανατολής

Το πρώτο αντιπλημμυρικό έργο στην πορεία του ρέματος της Ανατολής (Σχήμα 4.19) ήταν δυνατό να παρατηρηθεί σε κοντινή απόσταση και φαίνεται στο σημείο παρατήρησης 24 (Σχήμα 4.2) που η κοίτη βρίσκεται σε ελεύθερη κατάσταση.



Σχήμα 4.19: Αντιπλημμυρικό έργο (φράγμα) στο σημείο παρατήρησης 24

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα μήκη και τα ποσοστά (%) της καλυμμένης, ημικαλυμμένης και ελεύθερης κοίτης του ρέματος που υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του ArcMap.

ΡΕΜΑ ΑΝΑΤΟΛΗΣ	Καλυμμένη κοίτη	Ημικαλυμμένη κοίτη	Ελεύθερη κοίτη	Σύνολο
Μήκος (Μέτρα)	1781	1118	3189	6088
Ποσοστό (%)	30	18	52	100

Πίνακας 4.6: Μετρήσεις κοίτης σε μέτρα και τα αντίστοιχα ποσοστά τους (%)

Παρατηρείται ότι στο ρέμα της Ανατολής το ποσοστό της καλυμμένης και ημικαλυμμένης κοίτης είναι 30% και 18% αντίστοιχα, έναντι της ελεύθερης κοίτης που είναι 52%. Το μήκος της καλυμμένης και ημικαλυμμένης κοίτης είναι αρκετό έτσι ώστε να αυξάνει τον κίνδυνο πλημμυρικής επικινδυνότητας.

4.7 ΡΕΜΑ ΡΟΚΦΕΛΕΡ

Το ρέμα Ροκφέλερ, αναδεικνύεται μόνο μέσω αγωγών αποστράγγισης που καταλήγουν στη θάλασσα (Σχήμα 4.20) στο σημείο παρατήρησης 25 (Σχήμα 4.2), καθώς είναι καλυμμένο από οικισμούς και δεν εμφανίζεται στη φυσική του μορφή. Στη συνέχεια εντοπίζεται σημείο παρατήρησης 27 (Σχήμα 4.2) μέσω της βοήθειας της μορφής των ισοϋψών καμπυλών και την ύπαρξη καλαμιών σε ασυνήθιστο υψόμετρο κοντά σε αραιή βλάστηση και υποθέτουμε πως το ρέμα περνάει και από το συγκεκριμένο σημείο παρατήρησης.



Σχήμα 4.20: Ρέμα Ροκφέλερ προς τα ανάντη στην εκβολή του

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα μήκη και τα ποσοστά (%) της καλυμμένης και ελεύθερης κοίτης του ρέματος που υπολογίστηκαν με την βοήθεια του ArcMap.

ΡΕΜΑ ΡΟΚΦΕΛΕΡ	Καλυμμένη κοίτη	Ημικαλυμμένη κοίτη	Ελεύθερη κοίτη	Σύνολο
Μήκος (Μέτρα)	1478	0	763	2241
Ποσοστό (%)	66	0	34	100

Πίνακας 4.7: Μετρήσεις κοίτης σε μέτρα και τα αντίστοιχα ποσοστά τους (%)

Παρατηρείται ότι στο ρέμα του Ροκφέλερ το ποσοστό της καλυμμένης κοίτης είναι ίσο με 66% έναντι της ελεύθερης κοίτης που είναι μόλις 34%. Το μήκος της καλυμμένης κοίτης είναι αρκετά μεγάλο και ικανό να προκαλέσει πλημμύρα σε ενδεχόμενο έντονης βροχόπτωσης.

Παρακάτω παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας με τα ρέματα και τα μήκη τους. Υπολογίζεται το σύνολο σε μέτρα των καλυμμένων, ημικαλυμμένων και ελεύθερων κοιτών και τα αντίστοιχα ποσοστά τους.

Ρέμα	Μήκος Κοίτης (μέτρα)			
	Καλυμμένη	Ημικαλυμμένη	Ελεύθερη	Σύνολο
Καρλαντέρα	565	788	11092	12445
Οσίου Εφραίμ	1507	25	2573	4105
Ξυλοκέριζα	4422	31	4107	8560
Ανατολή	1781	1118	3189	6151
Ροκφέλερ	1478	0	763	2241
Σύνολο	9753	1962	21724	33439
Ποσοστά (%)	29	6	65	100

Πίνακας 4.8: Μετρήσεις των κοιτών όλων των ρεμάτων σε μέτρα και τα αντίστοιχα ποσοστά τους

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.8 το σύνολο των καλυμμένων κοιτών καταλαμβάνει ποσοστό 29%, των ημικαλυμμένων κοιτών ποσοστό 6% και των ελεύθερων κοιτών 65%. Τη μεγαλύτερη καλυμμένη κοίτη έχει το ρέμα Ροκφέλερ με ποσοστό 66% (Πίνακας 4.7) και ακολουθεί με εξίσου μεγάλο ποσοστό το ρέμα Ξυλοκέριζας με ποσοστό 51% (Πίνακας 4.5). Τη μικρότερη καλυμμένη κοίτη έχει το ρέμα της Καρλαντέρας με ποσοστό 5% (Πίνακας 4.3). Έτσι με βάση τα παραπάνω, είναι πιο πιθανό να εκδηλωθούν πλημμύρες στα ρέματα Ροκφέλερ και Ξυλοκέριζας, χωρίς ωστόσο να αναιρείται η εκδήλωση πλημμύρας και στα ρέματα Καρλαντέρας, Οσίου Εφραίμ και Ανατολής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

5.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ

Οι παράγοντες της πλημμυρικής επικινδυνότητας προσδιορίστηκαν με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Bathrellos et al, 2016). Οι παράγοντες αυτοί είναι: το υψόμετρο, οι μορφολογικές κλίσεις, οι χρήσεις γης, η διαπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών και οι ζώνες επιρροής στις κοίτες των ρεμάτων.

Στη συνέχεια ο κάθε παράγοντας χωρίστηκε σε επιμέρους κατηγορίες. Για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου απαιτείται βαθμονόμηση των κατηγοριών της κάθε μία παραμέτρου. Η βαθμονόμηση που έγινε είναι ενιαία και βασίστηκε σε μια πενταβάθμια αριθμητική κλίμακα (Μπαθρέλλος, 2014)

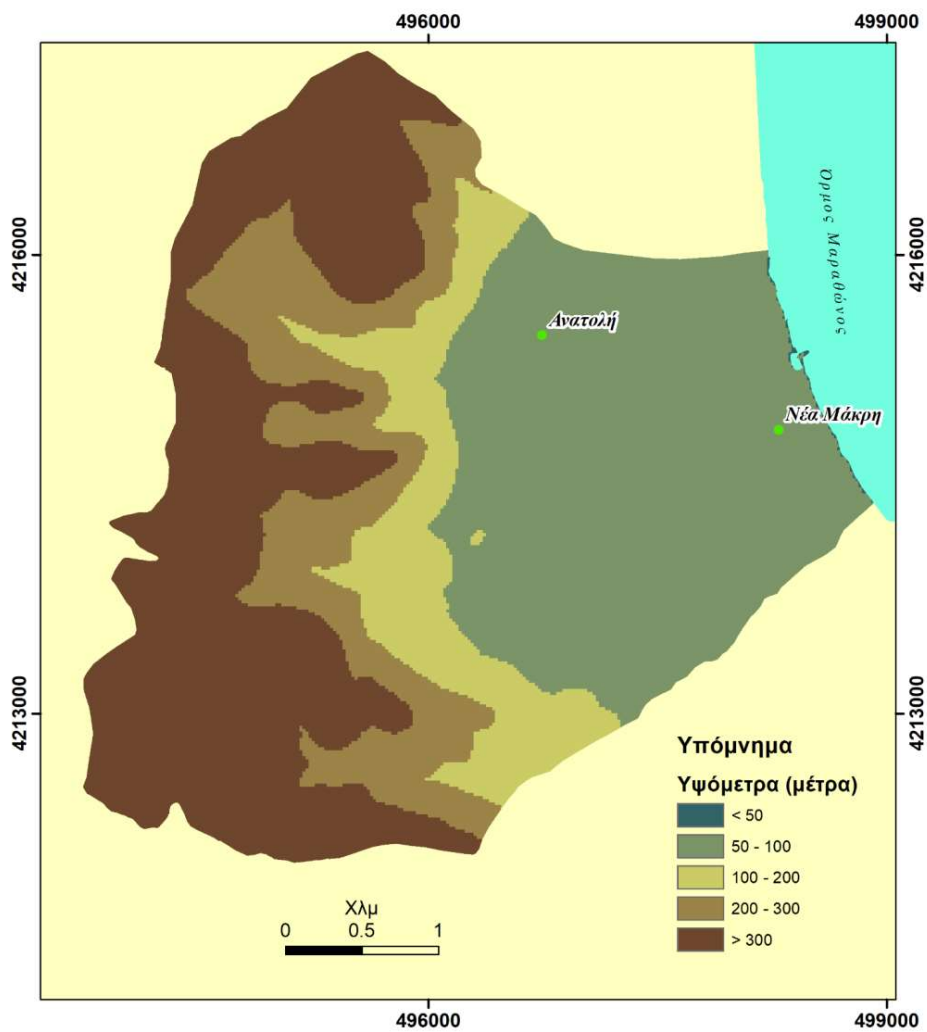
Οι αριθμητικές τιμές οι οποίες δίνονται σε κάθε κατηγορία είναι μεταξύ 0 και 4. Όπου η τιμή 4, είναι το μέγιστο και αντιπροσωπεύει το μέγιστο (μεγάλο κίνδυνο πλημμύρας), δηλαδή τη ευνοϊκότερη και καταλληλότερη συνθήκη εκδήλωσης πλημμυρών και η τιμή 0 αντίθετα το ελάχιστο (μικρός κίνδυνος πλημμύρας). Η βαθμονόμηση των κατηγοριών αυτών βασίστηκε σε βιβλιογραφικές αναφορές (Μπαθρέλλος, 2008, Bathrellos et al., 2009).

Παρακάτω εξετάζεται ο κάθε παράγοντας ξεχωριστά:

Τα υψόμετρα χωρίστηκαν σε 5 κατηγορίες οι οποίες είναι: <50 μέτρα, 50-100 μέτρα, 100-200 μέτρα, 200-300 μέτρα, >300 μέτρα. Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζεται η βαθμονόμηση της κάθε κατηγορίας των υψομέτρων και στο σχήμα 5.1 η χωρική κατανομή τους.

Υψόμετρα (μέτρα)	Βαθμός Επικινδυνότητας
< 50	4
50 – 100	3
100 – 200	2
200 – 300	1
> 300	0

Πίνακας 5.1: Αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών των υψομέτρων

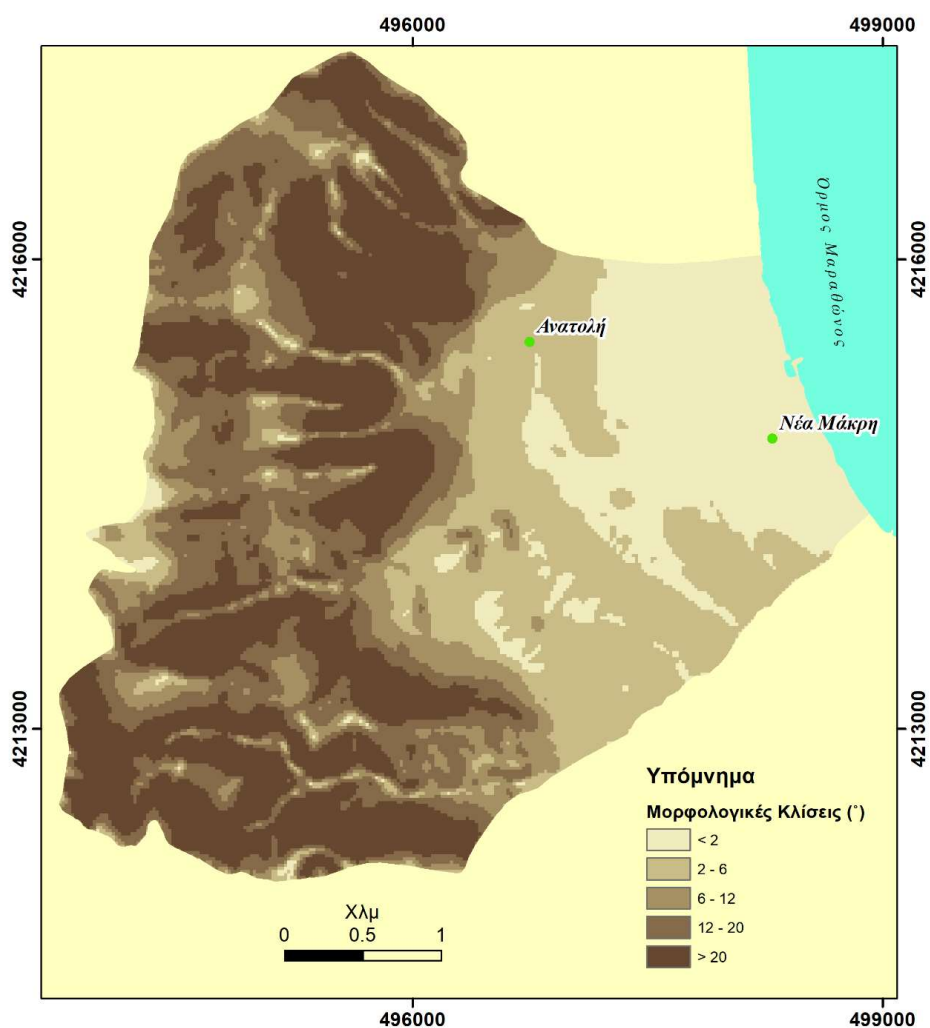


Σχήμα 5.1: Χωρική κατανομή των υψομέτρων στην περιοχή μελέτης

Οι μορφολογικές κλίσεις χωρίστηκαν σε 5 κατηγορίες οι οποίες είναι: <math><2^\circ</math>, $2-6^\circ$, $6-12^\circ$, $12-20^\circ$ και $>20^\circ$. Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζεται η βαθμονόμηση της κάθε κατηγορίας των μορφολογικών κλίσεων και στο σχήμα 5.2 η χωρική κατανομή τους.

Μορφολογικές κλίσεις ($^\circ$)	Βαθμός Επικινδυνότητας
< 2	4
2 – 6	3
6 – 12	2
12 – 20	1
> 20	0

Πίνακας 5.2: Αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών των μορφολογικών κλίσεων

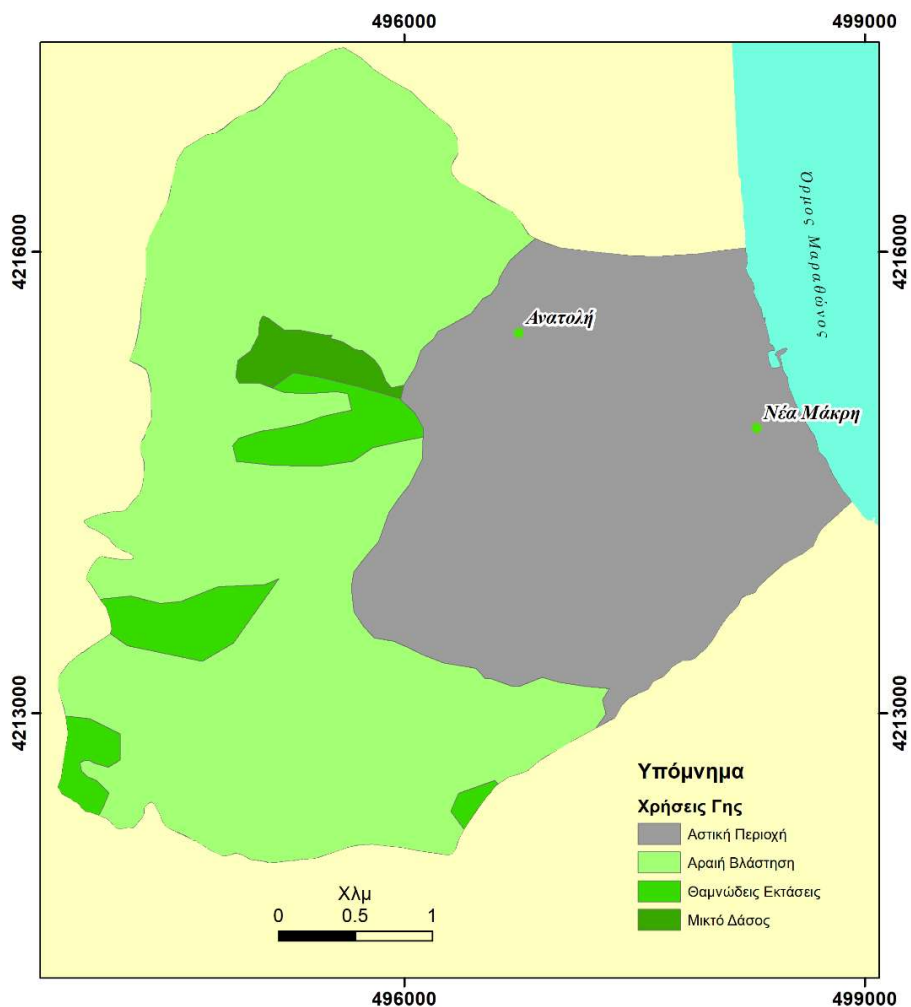


Σχήμα 5.2: Χωρική κατανομή των μορφολογικών κλίσεων στην περιοχή μελέτης

Οι χρήσεις γης χωρίστηκαν σε 4 κατηγορίες οι οποίες είναι: Αστική περιοχή, Αραιή βλάστηση, Θαμνώδεις εκτάσεις, Μικτό δάσος. Στον πίνακα 5.3 παρουσιάζεται η βαθμονόμηση κάθε κατηγορίας των χρήσεων γης και στο σχήμα 5.3 η χωρική κατανομή τους.

Χρήσεις Γης	Βαθμός Επικινδυνότητας
Αστική Περιοχή	4
Αραιή Βλάστηση	3
Θαμνώδεις Εκτάσεις	2
Μικτό Δάσος	1

Πίνακας 5.3: Αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών των χρήσεων γης

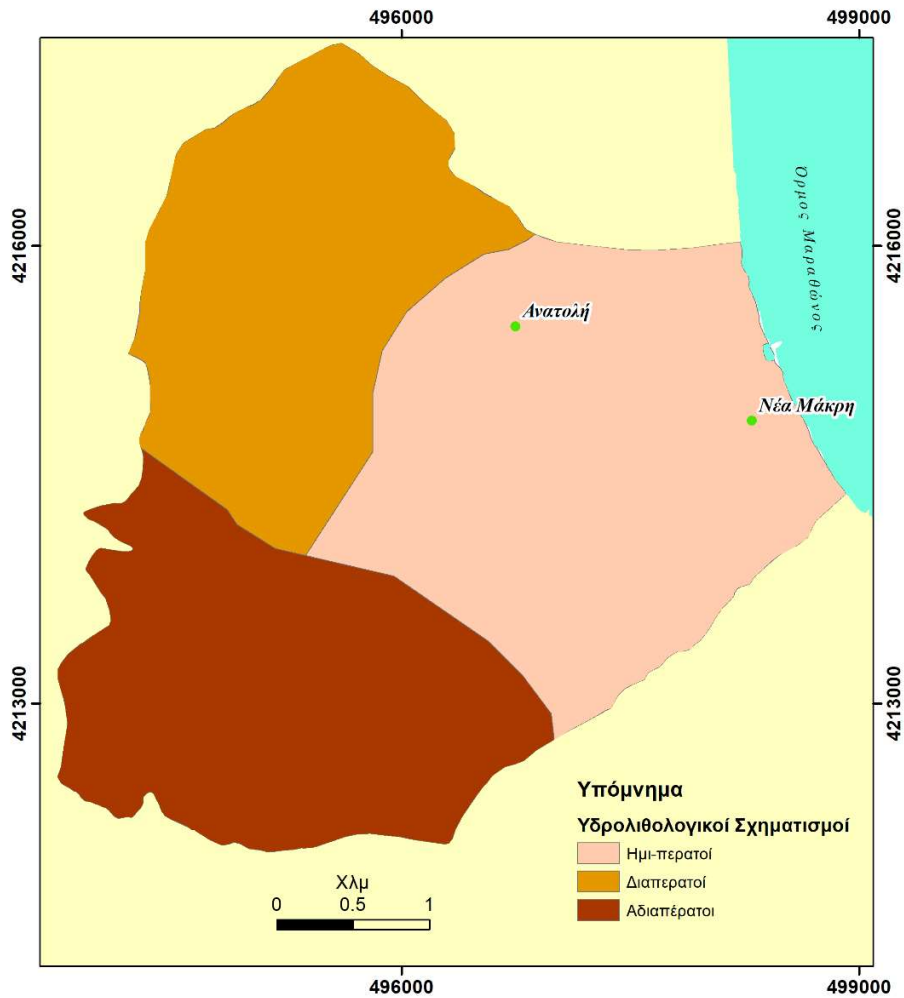


Σχήμα 5.3: Χωρική κατανομή των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης

Οι διαπερατότητες των γεωλογικών σχηματισμών χωρίστηκαν σε 3 κατηγορίες οι οποίες είναι: Αδιαπέρατοι σχηματισμοί, Ημιπερατοί σχηματισμοί, Διαπερατοί σχηματισμοί. Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζεται η βαθμονόμηση της κάθε κατηγορίας διαπερατότητας και στο σχήμα 5.4 η χωρική κατανομή τους.

Διαπερατότητα	Βαθμός Επικινδυνότητας
Αδιαπέρατοι Σχηματισμοί	3
Ημιπερατοί Σχηματισμοί	2
Διαπερατοί Σχηματισμοί	1

Πίνακας 5.4: Αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών της διαπερατότητας

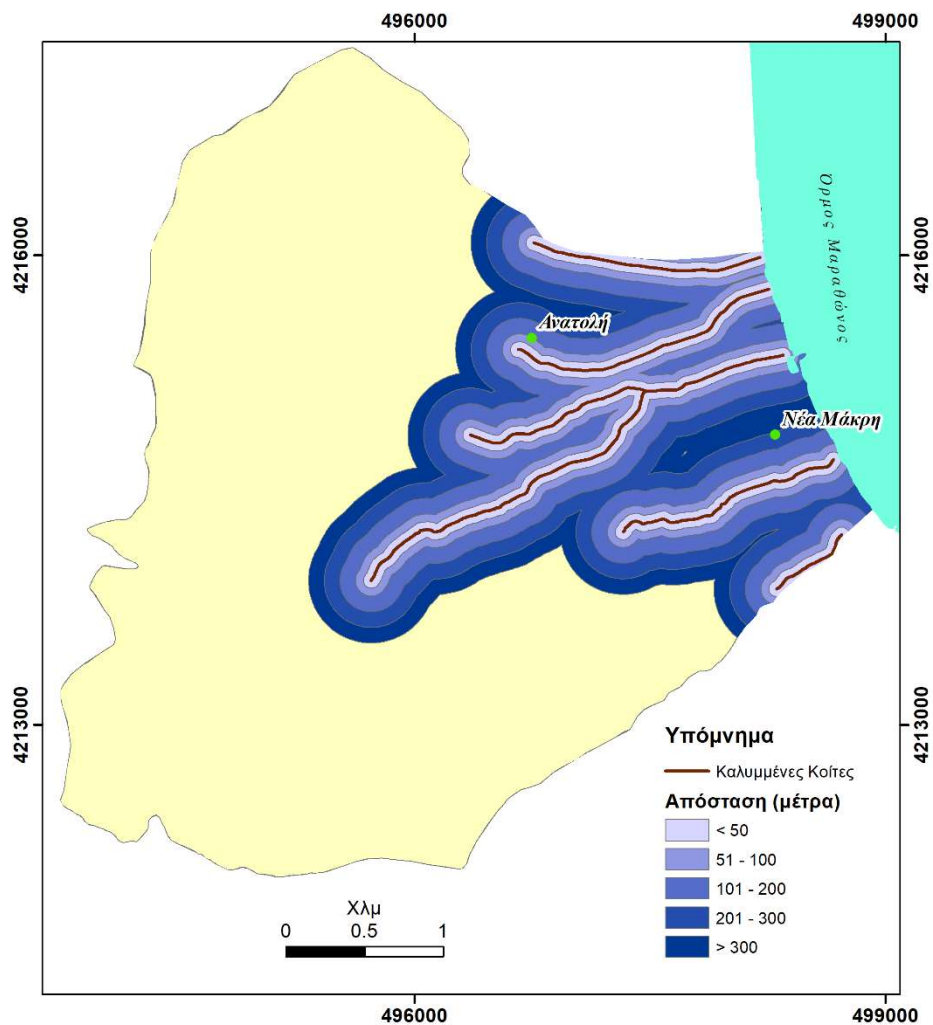


Σχήμα 5.4: Χωρική κατανομή της διαπερατότητας στην περιοχή μελέτης

Οι ζώνες επιρροής γύρω από τις καλυμμένες κοίτες χωρίστηκαν σε 5 κατηγορίες οι οποίες είναι: <50 μέτρα, 51-100 μέτρα, 101-200 μέτρα, 201-300 μέτρα, >300 μέτρα. Στον πίνακα 5.5 παρουσιάζεται η βαθμονόμηση της κάθε κατηγορίας των ζωνών επιρροής στις καλυμμένες κοίτες των ρεμάτων και στο σχήμα 5.5 η χωρική κατανομή τους.

Ζώνες Επιρροής Καλυμμένες Κοίτες (Μέτρα)	Βαθμός Επικινδυνότητας
< 50	4
51 – 100	3
101 – 200	2
201 – 300	1
> 300	0

Πίνακας 5.5: Αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών των ζωνών επιρροής στις καλυμμένες κοίτες των ρεμάτων

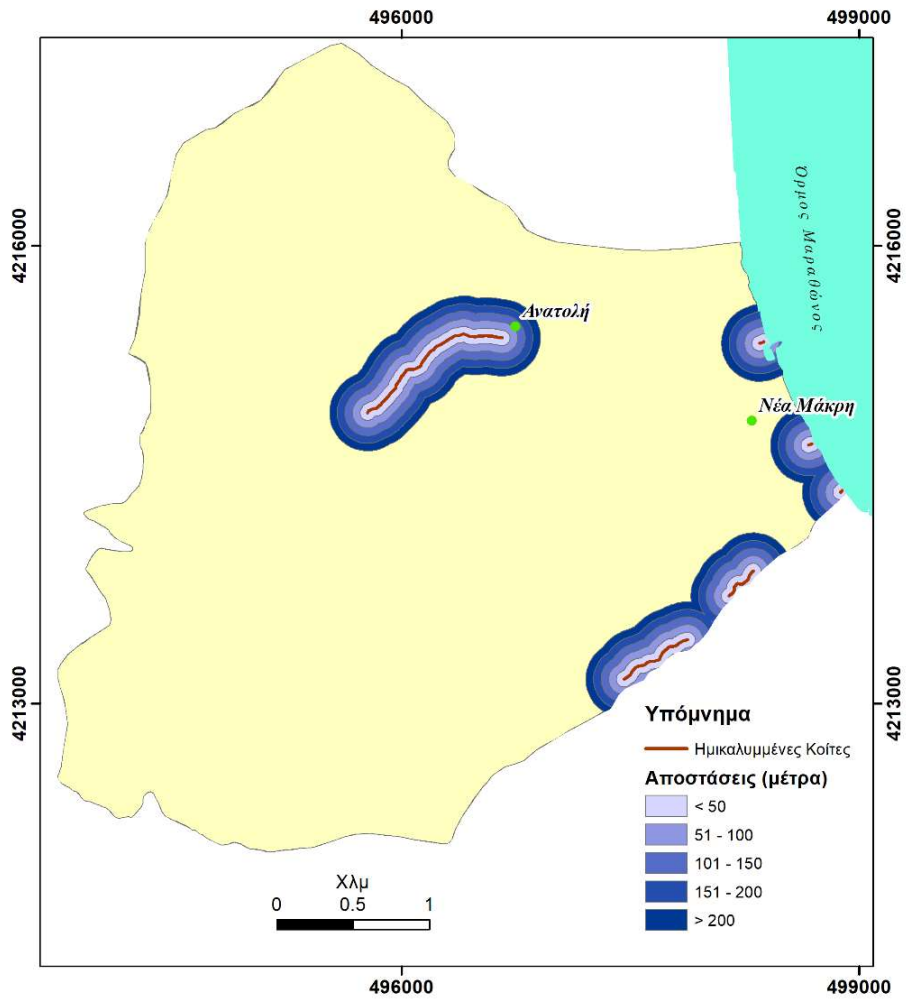


Σχήμα 5.5: Χωρική κατανομή των ζωνών επιρροής των καλυμμένων κοιτών στην περιοχή μελέτης

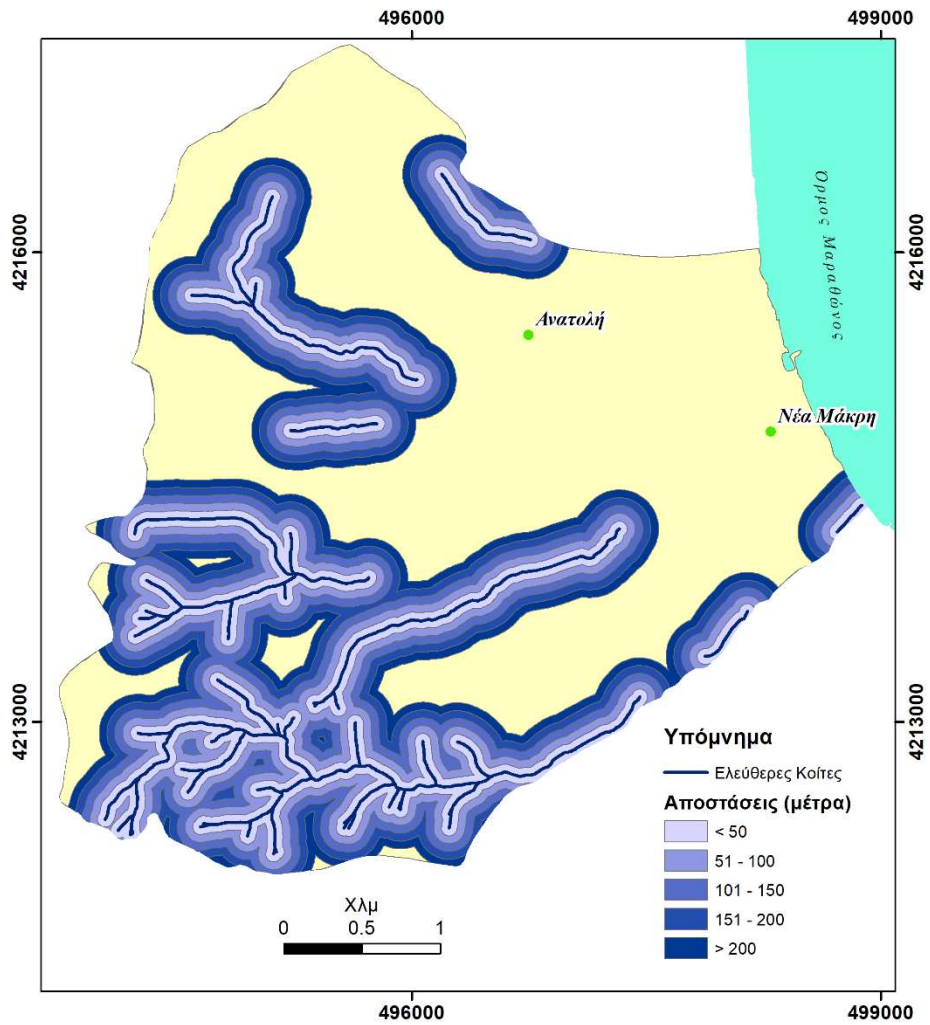
Οι ζώνες επιρροής γύρω από τις ημικαλυμμένες και ελεύθερες κοίτες χωρίστηκαν σε 5 κατηγορίες οι οποίες είναι: <50 μέτρα, 51-100 μέτρα, 101-150 μέτρα, 151-200 μέτρα, >200 μέτρα. οποίες είναι: <50 μέτρα, 51-100 μέτρα, 101-200 μέτρα, 201-300 μέτρα, >300 μέτρα. Στον πίνακα 5.6 παρουσιάζεται η βαθμονόμηση της κάθε κατηγορίας των ζωνών επιρροής στις ημικαλυμμένες και ελεύθερες κοίτες των ρεμάτων και στα σχήματα 5.6 και 5.7 αντίστοιχα, η χωρική κατανομή τους.

Ζώνες Επιρροής (Ημικαλυμμένες & Ελεύθερες Κοίτες) (Μέτρα)	Βαθμός Επικινδυνότητας
< 50	4
51 – 100	3
101 – 150	2
151 – 200	1
> 200	0

Πίνακας 5.6: Αριθμητικές τιμές βαθμονόμησης των κατηγοριών των ζωνών επιρροής στις ημικαλυμμένες και ελεύθερες κοίτες των ρεμάτων



Σχήμα 5.6: Χωρική κατανομή των ζωνών επιρροής των ημικαλυμμένων κοιτών στην περιοχή μελέτης



Σχήμα 5.7: Χωρική κατανομή των ζωνών επιρροής των ελεύθερων κοιτών στην περιοχή μελέτης

5.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΤΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ

Με βάση το χάρτη των χρήσεων γης που προέρχεται από το πρόγραμμα Corine Land Cover (2012), το ανατολικό και κεντρικό τμήμα της περιοχής μελέτης, είναι αστική περιοχή. Τα υψόμετρα κυμαίνονται μεταξύ 0 και 100 m (Σχήμα 5.1, Σχήμα 5.3). Στην αστική περιοχή επίσης παρατηρούνται σχετικά μικρές γεωμορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου της τάξεως λιγότερων των 2 μοιρών ή/και μεταξύ 2 με 6 μοιρών (Σχήμα 5.2), κάτι που ευνοεί την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Ακόμη, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην αστική περιοχή είναι ημιπερατοί (Σχήμα 5.4) το οποίο σημαίνει ότι σε περίπτωση μιας πλημμύρας, δεν δύνανται να συγκρατήσουν μεγάλες ποσότητες νερού.

Στις ορεινές και λοφώδεις περιοχές στο κεντρικό και δυτικό τμήμα επικρατεί αραιή βλάστηση. Επίσης εμφανίζονται και θαμνώδεις εκτάσεις σε ποσοστ, διάσπαρτες κοντά σε περιοχές αραιής βλάστησης, μαζί με ένα μικρό τμήμα μικτού δάσους σε ημιλοφώδη περιοχή του Πεντελικού Όρους (Σχήμα 5.3). Τα υψόμετρα εδώ είναι μεγαλύτερα από 100 έως και >300 m (Σχήμα 5.1). Οι μορφολογικές κλίσεις είναι πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με την αστική περιοχή, με τιμές μεγαλύτερες των 20 μοιρών (Σχήμα 5.2), οπότε γίνεται κατανοητό ότι σε ενδεχόμενο πλημμυρικό γεγονός, η συγκεκριμένη έκταση δεν κινδυνεύει να αλλοιωθεί. Στο νοτιοδυτικό κομμάτι της περιοχής επικρατούν αδιαπέρατοι σχηματισμοί (Σχήμα 5.4), οι οποίοι καλύπτονται από αραιή βλάστηση και θαμνώδεις εκτάσεις (Σχήμα 5.3), κάτι το οποίο ενισχύει επίσης την ορμητικότητα των νερών κατά την εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου, αφού το νερό διαπερνά εύκολα την αραιά βλάστηση και δεν απορροφάται σχεδόν καθόλου από τους περιβάλλοντες γεωλογικούς σχηματισμούς. Στο βορειοδυτικό κομμάτι της περιοχής μελέτης έχουμε διαπερατούς σχηματισμούς (Σχήμα 5.4) που καλύπτονται από αραιή βλάστηση, θαμνώδεις εκτάσεις και ένα μικρό ποσοστό 1,6% μικτού δάσους (Σχήμα 5.3).

5.3 ΧΑΡΤΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Η χαρτογράφηση πλημμυρικής επικινδυνότητας είναι μια διαδικασία που αποσκοπεί στον προσδιορισμό των παράκτιων περιοχών που κινδυνεύουν να πλημμυρίσουν υπό ακραίες συνθήκες. Ως εκ τούτου, πρωταρχικός στόχος του είναι να μειώσει τον αντίκτυπο των παράκτιων πλημμυρών. Ωστόσο, η χαρτογράφηση περιοχών με κίνδυνο διάβρωσης μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κινδύνου διάβρωσης.

Η εκτίμηση επικινδυνότητας πλημμύρας και η χαρτογράφηση χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό περιοχών που κινδυνεύουν από πλημμύρες και κατά συνέπεια, για τη βελτίωση της διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας και της ετοιμότητας για καταστροφές. Οι αξιολογήσεις και οι χάρτες των κινδύνων πλημμύρας συνήθως εξετάζουν την αναμενόμενη έκταση και το βάθος των πλημμυρών σε μια δεδομένη τοποθεσία, με βάση διάφορα σενάρια (π.χ. 100-ετή συμβάντα, 50-ετή συμβάντα, κ.λπ.).

Τα μέτρα για τη βελτίωση της ετοιμότητας μπορούν να περιλαμβάνουν αλλαγές στον σχεδιασμό χρήσης γης, την εφαρμογή ειδικών μέτρων προστασίας από τις πλημμύρες, τη δημιουργία σχεδίων αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης κ.λπ. βιομηχανικές δραστηριότητες, πυκνότητα πληθυσμού. Η χαρτογράφηση κινδύνων πλημμύρας είναι ζωτικής σημασίας στοιχείο, για τον κατάλληλο σχεδιασμό χρήσης γης σε περιοχές που πλήττονται από πλημμύρες. Δημιουργεί ευανάγνωστα, γρήγορα προσβάσιμα διαγράμματα και χάρτες που διευκολύνουν τον εντοπισμό περιοχών που κινδυνεύουν από πλημμύρες. Επίσης, βοηθά να δοθεί προτεραιότητα στις προσπάθειες μετριασμού και αντίδρασης (Barulu & Sinha, 2005; Salvati et al., 2010).

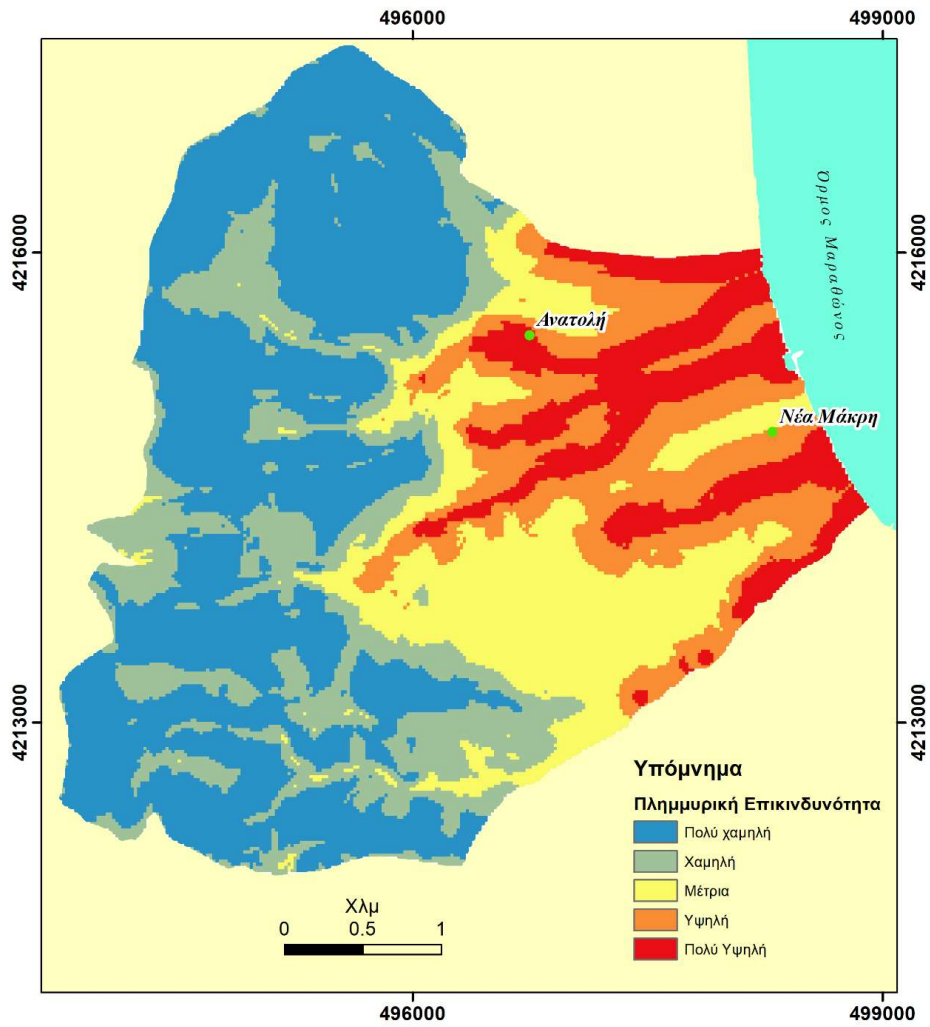
Οι χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας έχουν σχεδιαστεί για να αυξήσουν την ευαισθητοποίηση, σχετικά με την πιθανότητα πλημμύρας μεταξύ του κοινού, των τοπικών αρχών και άλλων οργανισμών. Ενθαρρύνουν επίσης τους ανθρώπους που ζουν και εργάζονται σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες, να μάθουν περισσότερα για τον τοπικό κίνδυνο πλημμύρας και να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα (Barulu & Sinha, 2005). Αξίζει να σημειωθεί, ότι η αλλαγή του

κλίματος πρέπει να ληφθεί προσεκτικά υπόψη κατά την εφαρμογή χαρτογράφησης κινδύνων πλημμύρας. Η χαρτογράφηση κινδύνου πλημμύρας παρέχει συνήθως ένα «στιγμιότυπο» κινδύνου πλημμύρας σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Ωστόσο, κατά την εξέταση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η δυναμική φύση των κινδύνων πλημμύρας. Παραδείγματος χάρη, η SLR και οι αλλαγές στην ένταση της καταιγίδας που συμβαίνουν ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, θα προκαλέσουν αλλαγές στις περιοχές που είναι ευάλωτες σε πλημμύρες.

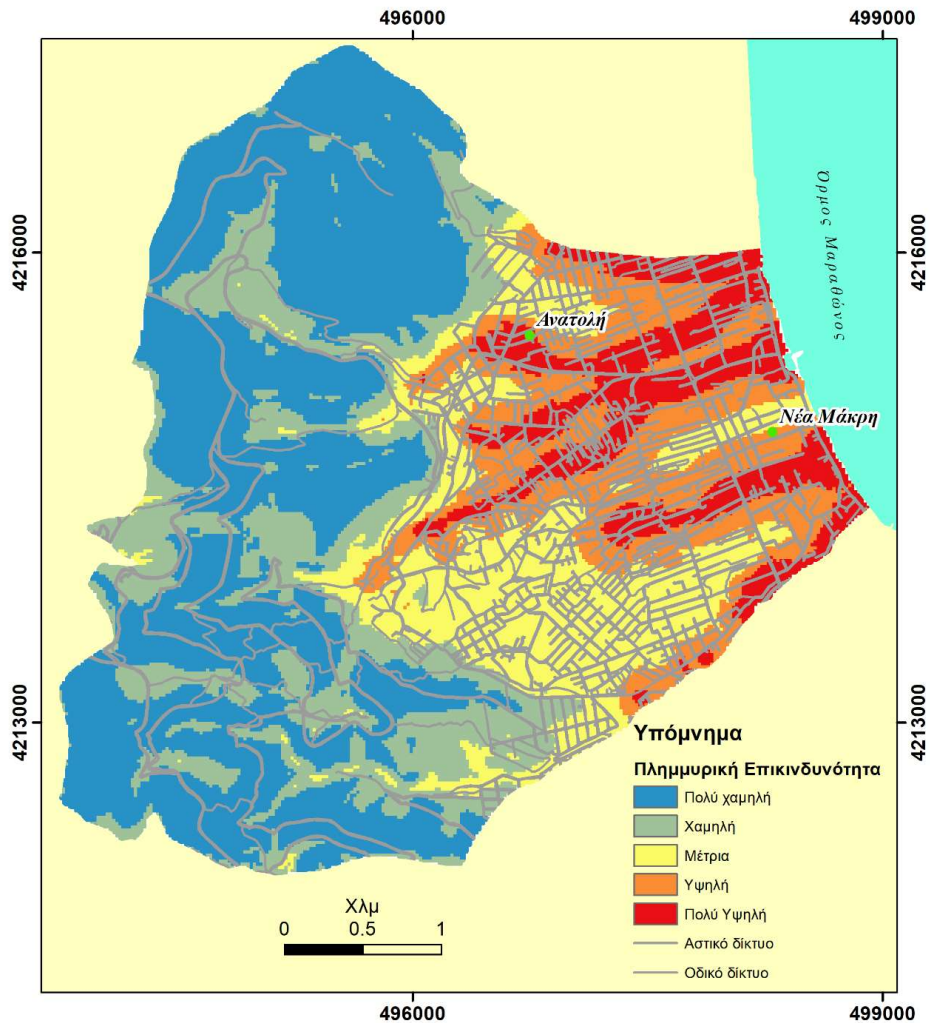
Οι χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν από προγραμματιστές για να προσδιορίσουν εάν μια περιοχή κινδυνεύει από πλημμύρες, και από ασφαλιστές για να καθορίσουν ασφάλιστρα πλημμύρας σε περιοχές όπου υπάρχει ασφάλιση πλημμύρας. Λόγω των αραιών εμπειρικών αρχείων και της στατιστικής σπανιότητας των ακραίων παράκτιων γεγονότων, η πρόβλεψη των παράκτιων πλημμυρών βασίζεται συχνά σε πολύπλοκα αριθμητικά μοντέλα που προσεγγίζουν τις διαδικασίες και τα φαινόμενα που οδηγούν σε παράκτιες πλημμύρες (Water Science and Technology Board, 2009). Οι κίνδυνοι παράκτιας πλημμύρας καθορίζονται από την αλληλεπίδραση των κυμάτων και των κυμάτων με την βαθυμετρία του βυθού και την παράκτια κάλυψη της γης. Αυτοί οι παράγοντες καθορίζουν την έκταση των πλημμυρών στην ενδοχώρα. Επομένως, τα μοντέλα παράκτιων πλημμυρών πρέπει να λαμβάνουν υπόψη αυτά τα χαρακτηριστικά, καθώς και τις διαδικασίες που σχετίζονται με τα κύματα και τα κύματα (Water Science and Technology Board, 2009).

Η εφαρμογή της σειράς ArcGIS των εργαλείων γεωγραφικής ανάλυσης και ανάλυσης δικτύου κάνει τη ζωή της επιστήμης των επιφανειακών υδάτων. Το GIS για επιφανειακό νερό δείχνει έντονα πώς οι τεράστιες δυνατότητες του ArcGIS μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα στο σύνολο δεδομένων εθνικής υδρογραφίας και σε συνοδευτικό σύνολο δεδομένων Watershed Boundary Dataset για να αποκαλύψουν τις περίπλοκες ιδιότητες των σύνθετων δικτύων νερού. Μια ποικιλία λειτουργιών GIS γίνεται απλούστερη χρησιμοποιώντας το ArcGIS.

Στη συγκεκριμένη μελέτη της περιοχής της Νέας Μάκρης, οι χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας προέκυψαν μέσω του αθροίσματος των παραγόντων των υψομέτρων, των μορφολογικών κλίσεων, των ζωνών επιρροής, των χρήσεων γης και της διαπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών στο περιβάλλον του ArcMap. Απεικονίζουν τι είναι πιθανόν να συμβεί σε περίπτωση έντονων καιρικών φαινομένων και υπερχείλισης των κοιτών των ρεμάτων. Παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης χωρισμένη σε μια κλίμακα 5 βαθμίδων, ξεκινώντας με την «Πολύ χαμηλή» και καταλήγοντας στην «Πολύ υψηλή» επικινδυνότητα μιας ενδεχόμενης πλημμύρας (Σχήμα 5.8, Σχήμα 5.9).



Σχήμα 5.8: Χωρική κατανομή της πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής μελέτης



Σχήμα 5.9: Χωρική κατανομή της πλημμυρικής επικινδυνότητας και του αστικού και οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης

Ξεκινώντας από το χάρτη των υψομέτρων (Σχήμα 5.1), ο μεγαλύτερος κίνδυνος μιας πλημμύρας παρουσιάζεται στα χαμηλά υψόμετρα (έως περίπου 50 m), κατά μήκος, παράπλευρα και στις εκβολές των ρεμάτων που εξετάζονται. Στις περιοχές αυτές είναι και συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο μέρος του αστικού ιστού (Σχήμα 5.3). Στο τμήμα αυτό του αστικού ιστού, εμφανίζονται κυρίως ημι-περατοί γεωλογικοί σχηματισμοί (Σχήμα 5.4), γεγονός το οποίο σημαίνει πως δεν συγκρατούν μεγάλες ποσότητες νερού, καθώς και μικρές μορφολογικές κλίσεις (Χάρτης 9) που ευνοούν την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Αντίθετα, προς το δυτικό τμήμα του χάρτη, στο οποίο εμφανίζονται απότομες μορφολογικές κλίσεις (Σχήμα 5.2), παρατηρείται πως ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι πολύ χαμηλός έως χαμηλός (Σχήμα 5.8).

Σημειώνεται επίσης ότι η κοίτη των ρεμάτων εμφανίζεται στη φυσική της μορφή στις περιοχές των απότομων μορφολογικών κλίσεων και των μεγαλύτερων υψομέτρων (Σχήμα 5.7 και Σχήμα 5.8).

Επιπροσθέτως, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί και στους χάρτες ζωνών επιρροής των κοιτών (Σχήμα 5.5, Σχήμα 5.6 και Σχήμα 5.7), καθώς το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως γύρω από τις περιοχές στις οποίες οι κοίτες των ρεμάτων είναι πλήρως καλυμμένες. Στην περίπτωση μιας ξαφνικής καταιγίδας μεγάλης έντασης, τα νερά είναι πιθανό να πλημμυρίσουν δρόμους και κατοικίες που βρίσκονται εντός των ζωνών «Υψηλής» και «Πολύ υψηλής» πλημμυρικής επικινδυνότητας, οι οποίες αποτελούν το 24% της περιοχής μελέτης (Πίνακας 5.7). Πιο συγκεκριμένα, μελετώντας αναλυτικά τους χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας (Σχήμα 5.8 και Σχήμα 5.9) διαφαίνεται ότι οι οικισμοί της Νέας Μάκρης και της Ανατολής πλήττονται σημαντικά σε περίπτωση ξαφνικού πλημμυρικού γεγονότος, καθώς και τμήματα βασικών οδικών αξόνων της περιοχής (Σχήμα 5.9).

Οι ζώνες «Υψηλής» και «Πολύ υψηλής» πλημμυρικής επικινδυνότητας που καταλαμβάνουν το 24% της έκτασης της περιοχής μελέτης και βρίσκονται γύρω από τις κοίτες των ρεμάτων, σχετίζονται άμεσα με το ολικό ποσοστό των καλυμμένων κοιτών που είναι 29% (Πίνακας 4.8, Σχήμα 5.8). Οι αριθμητικές τιμές των ποσοστών αυτών είναι σχετικά κοντινές, γεγονός που υποδεικνύει την αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου στις περιοχές αυτές. Αντίθετα στις περιοχές «Μέτριου», «Χαμηλού» και «Πολύ χαμηλού» πλημμυρικού κινδύνου που καταλαμβάνουν το 76% της έκτασης της περιοχής μελέτης (Πίνακας 5.7) οι κοίτες των ρεμάτων είναι είτε ημικαλυμμένες είτε ελεύθερες, με ολικά ποσοστά 6% και 65% αντίστοιχα. Οι περιοχές αυτές η πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικού κινδύνου είναι μικρή.

Στην αύξηση του πλημμυρικού κινδύνου έχει συμβάλει και ο ταχύς ρυθμός αστικοποίησης της περιοχής, καθώς παρατηρείται ότι υπάρχουν πολλές κατοικίες επάνω από επιχωματωμένες κοίτες ρεμάτων, ιδίως στην περίπτωση της Νέας Μάκρης. Ακόμη, οι επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές στις δασικές εκτάσεις στη διάρκεια των ετών, έχουν υποβαθμίσει την απορροφητική ικανότητα του εδάφους

και έχουν αυξήσει την ορμητικότητα με την οποία κινείται το νερό από τα μεγαλύτερα υψόμετρα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά η έκταση σε τετραγωνικά μέτρα (τ.μ.) και τα αντίστοιχα ποσοστά επί τοις εκατό (%) για κάθε βαθμό πλημμυρικής επικινδυνότητας ξεχωριστά:

Βαθμός Επικινδυνότητας	Έκταση (τ.μ.)	Ποσοστό (%)
Πολύ χαμηλός	6.867.200	40
Χαμηλός	3.306.400	19
Μέτριος	2.983.600	17
Υψηλός	2.361.600	14
Πολύ Υψηλός	1.700.000	10
Σύνολο	17.218.800	100

Πίνακας 5.7: Κατανομή βαθμών πλημμυρικής επικινδυνότητας σε έκταση (τ.μ.) και τα αντίστοιχα ποσοστά τους (%)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει δύο επιμέρους σκοπούς: την αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου στην ύπαιθρο με τη χρήση τοπογραφικών χαρτών της ΓΥΣ και την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή μελέτης, με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Η περιοχή μελέτης είναι η ευρύτερη περιοχή της Νέας Μάκρης και Ανατολής. Τα ρέματα που μελετήθηκαν είναι εποχιακής ροής και είναι τα ακόλουθα: το ρέμα της Καρλαντέρας, το ρέμα του Οσίου Εφραίμ, το ρέμα της Ξυλοκέριζας, το ρέμα της Ανατολής και το ρέμα του Ροκφέλερ.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι όλα τα ρέματα εκβάλλουν μέσω αγωγού αποστράγγισης, εκτός από το ρέμα της Ανατολής που η εκβολή του είναι πλήρως καλυμμένη από τον αστικό ιστό. Το ρέμα της Καρλαντέρας έχει το μικρότερο ποσοστό καλυμμένης και ημικαλυμμένης κοίτης με οικισμούς και οδικά δίκτυα που είναι 11%. Ακολουθεί το ρέμα του Οσίου Εφραίμ με ποσοστό καλυμμένης και ημικαλυμμένης κοίτης 38%, το ρέμα της Ξυλοκέριζας με 52%, το ρέμα της Ανατολής με 48% και το ρέμα του Ροκφέλερ με 66% που έχει το μεγαλύτερο ποσοστό καλυμμένης κοίτης.

Σε ένα σύνολο 33,5 περίπου χιλιομέτρων κοιτών το 35% είναι καλυμμένες και ημικαλυμμένες ιδιαίτερα προς τα χαμηλότερα υψόμετρα και κοντά στις ακτές που εκβάλλουν τα ρέματα. Το χαμηλό υψόμετρο και οι μικρές μορφολογικές κλίσεις ευνοούν την εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου, το οποίο επιβεβαιώνεται και από τους χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας.

Η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε πέντε επίπεδα διαβαθμισμένου κινδύνου ξεκινώντας με την «Πολύ χαμηλή» και καταλήγοντας στην «Πολύ υψηλή» επικινδυνότητα μιας ενδεχόμενης πλημμύρας. Οι ζώνες «Υψηλής» και «Πολύ υψηλής» πλημμυρικής επικινδυνότητας εμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης με αντίστοιχα ποσοστά έκτασης 10% και 14%, γύρω από τις κοίτες των ρεμάτων, στις εκβολές και στα χαμηλότερα υψόμετρα .

Από την μελέτη που πραγματοποιήθηκε, εξάγεται το συμπέρασμα πως η περιοχή της Νέας Μάκρης στη μελέτη περίπτωσης είναι ευάλωτη σε πλημμυρικά φαινόμενα. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στο ότι είναι καλυμμένη με δρόμους και κατοικίες ιδιαίτερα προς τα χαμηλότερα υψόμετρα και κοντά στις εκβολές των ρεμάτων. Λαμβάνοντας υπόψιν, λοιπόν, πόσο καθοριστικό ρόλο παίζουν τα υψόμετρα και οι κοίτες των ρεμάτων οι οποίες είναι καλυμμένες, εύκολα συμπεραίνει κανείς πως στην εκδήλωση ενός πλημμυρικού φαινομένου, είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα κινδυνεύσουν ζώνες «Υψηλής» και «Πολύ υψηλής» πλημμυρικής επικινδυνότητας. Εν τέλει, κάτι τέτοιο ενισχύεται και από τον

παράγοντα ανθρώπινης παρέμβασης, καθώς μέσω των υποδομών που έχουν ανοικοδομηθεί, παρεμποδίζεται η φυσική ροή των ρεμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Μπαθρέλλος Δ. Γ.(2014): Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία: “Μηχανισμοί εμφάνισης κατολισθήσεων στο φλύσχη της γεωτεκτονικής ζώνης της Πίνδου και μέτρα αντιμετώπισης: περιοχή Ροπωτό – Κοτρώνι – Βατσουινιά Τρικάλων (ανατολικά πρηνή ορεινού όγκου Καραβούλα, οροσειρά Πίνδου, Κεντρική Ελλάδα)”, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, ΠΜΣ Γενικού Τμήματος «Θετικές Επιστήμες στη Γεωπονία», Κλάδος ΙΙ: Γεωλογικό και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον για το Σχεδιασμό Έργων Υποδομής, Εργαστήριο Ορυκτολογίας και Γεωλογίας
- Λέκκας, Ε. (2018). Επιχειρησιακός Σχεδιασμός για την Μείωση των Επιπτώσεων από Πλημμυρικά Φαινόμενα στους Δήμους της Περιφερειακής Ένωσης Δήμων Αττικής (ΠΕΔΑ). Η Περίπτωση της Μάνδρας ως Οδηγός Αναφοράς και Βελτίωσης της Απόκρισης σε Έκτατες Ανάγκες. Α. Ανάλυση Πλημμυρικού Κινδύνου Δήμων Αττικής. Περιφερειακή Ένωση Δήμων Αττικής και Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Λόζιος, Σ. (1993). Τεκτονική ανάλυση μεταμορφωμένων σχηματισμών ΒΑ Αττικής. (Διδακτορική διατριβή), Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Μήλα, Μ. (2009). Αστική διάχυση και αυθαίρετη δόμηση στον παράκτιο χώρο. Προς τη διαμόρφωση μιας χωρικής πολιτικής για τις περιαστικές περιοχές. Το παράδειγμα του Δήμου Νέας Μάκρης. (Διπλωματική Εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μπαθρέλλος, Γ.Δ., Σκυλοδήμου Χ.Δ. (2008). Διερεύνηση κατολισθητικών κινδύνων στις τεχνικές κατασκευές. Περιοχή μελέτης: ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων (Δυτική Θεσσαλία). Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, τ. 42 (1), σ.119-128. Αθήνα.
- Παπανικολάου, Δ. (2015). Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα: Πατάκη.
- Τζιανίνη, Α. (2014). Χαρτογράφηση Γεωπεριβαλλοντικών Προβλημάτων Και Εκτίμηση Επικινδυνότητας Και Τρωτότητας Στην Ευρύτερη Παραλιακή Ζώνη Νέας Μάκρης-Σχοινιά-Μαραθώνα. (Μεταπτυχιακή Εργασία), Εθνικό και

Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα. Ανακτήθηκε από <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/1320730/theFile/1320731>.

- Χατζηελευθερίου, Ε. (2008). Διάβρωση ακτών Ανατολικής Αττικής από Σκάλα Ωροπού μέχρι Λαύριο. (Μεταπτυχιακή διατριβή), Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Διεθνής Βιβλιογραφία

- Allen, G. H., & Pavelsky, T. M. (2018). Global extent of rivers and streams. *Science*, 361(6402), 585– 588.
- Alexander D., 2001, *Natural Disasters*, Routledge, NY, 120-143.
- Bathrellos, G.D., Karymbalis, E., Skilodimou, H.D., Gaki-Papanastassiou, K. & Baltas, E.A. (2016). Urban flood hazard assessment in the basin of Athens Metropolitan city, Greece. *Springer, Environ Earth Sci*, 75:319
- Bathrellos, G.D., Kalivas D.P., Skilodimou H.D. (2009). GIS-based landslide susceptibility mapping models applied to natural and urban planning in Trikala, Central Greece. *Estudios Geologicos v. 65 (1)*, p. 49-65.
- Bapulu, G.V. & Sinha, R. (2005) *GIS in Flood Hazard Mapping: a case study of Kosi River Basin, India*. Noida: GIS Development.
- Buchanan, T. J., and W. P. Somers (1969), Discharge measurements at gaging stations, *U. S. Geol. Surv. Techniques Water Resour. Invest.*, 3(A8).
- Cuesta, M.J.D., Sanchez, M.J. & Garcia, A.R. (1999). Press archives as temporal records of landslides in the North of Spain: relationships between rainfall and instability slope events. *Geomorphol*, (30), 125–132.
- Diakakis, M. (2010). Flood history analysis and its contribution to flood hazard assessment: the case of Marathonas, Greece. *Bull Geol Soc Greece*, (43), 1323–1334.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.
- Gouldby, B., & Samuels, P. (2005). *Language of Risk-Project Definitions*. HR Wallingford.
- Guzzetti, F. & Tonelli, G. (2004). Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 4, 213–232.
- Haklay, M., Singleton, A., & Parker, C. (2008). Web mapping 2.0: The neogeography of the GeoWeb. *Geography Compass*, 2(6), 2011–2039.

- Howard, M.J., Brillman, M.D. & Burkle, F.M. (1996). Infectious disease emergencies in disasters. *Emerg Med Clin North Am*, (14), 413–428.
- Joubert, L. (2018). *How to Read Topography Maps and Delineate Watershed Boundaries*. The University of Rhode Island Cooperative Extension.
- Karagiorgos, K., Thaler, T., Heiser, M., Hübl, J. & Fuchs, S. (2016). Integrated flash flood vulnerability assessment: Insights from East Attica, Greece. *Journal of Hydrology*, (541), 553–562.
- Krieger, G., Moreira, A., Fiedler, H., Hajnsek, I., Werner, M., Younis, M., & Zink, M. (2007). TanDEM-X: A satellite formation for high-resolution SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(11), 3317–3341.
- Krohe, A., Mposkos, E., Diamantopoulos, A. & Kaouras, G. (2010). Formation of basins and Mountain ranges in Attica (Greece): the role of Miocene to recent low-angle normal detachment faults. *Earth-Science Reviews*, 98 (1–2), 81–104.
- Liati A., Skarpelis N., Fanning C.M. (2013). Late Permian–Early Triassic igneous activity in the Attic Cycladic Belt (Attica): New geochronological data and geodynamic implications. *Tectonophysics* 595–596, 140–147.
- Lehner, B., Verdin, K., & Jarvis, A. (2008). New global hydrography derived from spaceborne elevation data. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 89(10), 93–94.
- Lehner, B., Verdin, K., & Jarvis, A. (2006). *HydroSHEDS Technical Documentation*. Washington, DC.
- Linham, M. and Nicholls, R.J. (2010) *Technologies for Climate Change Adaptation: Coastal erosion and flooding*. TNA Guidebook Series: UNEP/GEF.
- MARIOLAKOS, I. (1971): Tectonic analysis of the joints occurring at N. Hymettos Mt. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 23, pp. 323-379, Athens.
- McCuen, R. (2005). *Hydrologic Analysis and Design*, Pearson Prentice Hall.
- Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Hodnett, M., Rennó, C. D., Rodrigues, G., Silveira, A., Waterloo, W., & Saleska, S. (2011). Height Above the Nearest Drainage—a

hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*, 404(1-2), 13– 29.

- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422.
- Prinos, P. (2008). Review of Flood Hazard Mapping. European Community Sixth Framework Programme for European Research and Technological Development. FLOODsite.
- Raymond, P. A., Hartmann, J., Lauerwald, R., Sobek, S., McDonald, C., Hoover, M., Butman, D., Striegl, R., Mayorga, E., Humborg, C., Kortelainen, P., Dürr, H., Maybeck, M., Ciais, P., & Kortelainen, P. (2013). Global carbon dioxide emissions from inland waters. *Nature*, 503(7476), 355– 359.
- Riggs, H.C. (1985). *Streamflow Characteristics*. New York: Elsevier.
- Rogelis, M. (2012). *Advances in Probabilistic Flood Hazard Assessment*. CAPRA. Washington D.C.: The World Bank.
- Sanyal, J. & Lu, X.X. (2003) Application of GIS in flood hazard mapping: a case study of Gangetic West Bengal, India. Map Asia 2003, Poster Session.
- Salvati, P., Bianchi, C., Rossi, M. & Guzzetti, F. (2010). Societal landslide and flood risk in Italy. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, (10), 465–483.
- Schilling, W. (1991). Rainfall data for urban hydrology: what do we need? *Atmospheric Research*, 27 (1–3), 5–21.
- Schultz, M. T., Goulby, B. P., Simm, J. D., & Wibowo, J. L. (2010). *Beyond the Factor of Safety: Developing Fragility Curves to Characterize System Reliability*. Engineer Research and Development Center. Washington, D.C.: US Army Corps of Engineers.
- Sjöberg, O. (2016). *The Origin of Streams – Stream cartography in Swiss pre alpine headwater*. Uppsala University.
- Strahler, A. (1952) *Dynamic Basis of Geomorphology*. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 923-938.
- Tadono, T., Nagai, H., Ishida, H., Oda, F., Naito, S., Minakawa, K., & Iwamoto, H. (2016). Generation of the 30 M-MESH global digital surface model by ALOS

PRISM. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, XLI-B4, 157–162.

- Tarboton, D. G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33(2), 309–319.
- Turner W.R., Brandon K., Brooks T., Gascon C., Gibbs H., Lawrence K., Mittermeier R., Selig E. (2012). Global Biodiversity Conservation and the Alleviation of Poverty. *BioScience*, January 2012. Vol. 62. No. 1: 85-92.
- Tschoegl, L., Below R. & Guha-Sapir, D. (2006). An analytical review of selected data sets on natural disasters and impacts. UNDP/ CRED Workshop on Improving Compilation of Reliable Data on Disaster Occurrence and Impact, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, Universite catholique de Louvain : Belgium.
- Turcotte, R., Fortin, J. P., Rousseau, A. N., Massicotte, S., & Villeneuve, J. P. (2001). Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. *Journal of Hydrology*, 240(3-4), 225–242.
- Yamazaki, D., O'Loughlin, F., Trigg, M. A., Miller, Z. F., Pavelsky, T. M., & Bates, P. D. (2014). Development of the Global Width Database for Large Rivers. *Water Resources Research*, 50, 3467–3480.
- Yamazaki, D., Sato, T., Kanae, S., Hirabayashi, Y., & Bates, P. D. (2014). Regional flood dynamics in a bifurcating mega delta simulated in a global river model. *Geophysical Research Letters*, 41, 3127–3135.
- Yamazaki, D., Trigg, M. A., & Ikeshima, D. (2015). Development of a global~90 m water body map using multi-temporal Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 171, 337–351.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). (2004). *Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives*. 429 p.
- Villarini, G., Smith, J. A., Baeck, M. L., Sturdevant-Rees, P., & Krajewski, W. F. (2010). Radar analyses of extreme rainfall and flooding in urban drainage basins. *Journal of Hydrology*, 381 (3–4), 266–286.

- Water Science and Technology Board (2009). Mapping the Zone: Improving Flood Map Accuracy. Washington DC: National Academies Press.
- Wright, D. B., Smith, J. A., & Baeck, M. L. (2014). Flood Frequency Analysis Using Radar Rainfall Fields and Stochastic Storm Transposition. Water Resources Research.

Διαδικτυακοί Ιστότοποι

- «Βούλιαξε» η Αττική από την Νεροποντή. (2014 24 Οκτωβρίου). Ανακτήθηκε από <https://www.newsbeast.gr/greece/arthro/747342/vouliaxe-i-attiki-aporin-neropodi>.
- Βιοποικιλότητα. (n.d.). Αναρτήθηκε από <http://kpe-kastor.kas.sch.gr>.
- ΕΓΣΑ 87 (2013). Αναρτήθηκε από <https://www.xyz.gr/>.
- Δίκη για φονική πλημμύρα στη Μάνδρα - Λέκκας: Άναρχη η δόμηση και πρωτόγνωρη η βροχόπτωση. (2020, Ιούνιος 23). Ανακτήθηκε από https://www.reportaznet.gr/2020/06/blog-post_488.html.
- Εικόνες καταστροφής από την κακοκαιρία στη Δυτική Αττική. (2014, Οκτώβριος 24). Ανακτήθηκε από <https://www.naftemporiki.gr/slideshows/872654/eikones-katastrofis-aporin-kakokairia-sti-dutiki-attiki/all>.
- Καλλιαντέρης, Κ. Οι μεγαλύτερες καιρικές καταστροφές στην Ελλάδα. (2017, Νοέμβριος 16). Ανακτήθηκε από <https://www.pagenews.gr/2017/11/16/ellada/oi-megalyteres-kairikes-katastrofes-stin-ellada/>.
- Μαραθώνας: Φυσικό Περιβάλλον Μορφολογία Κλίμα. (n.d.). Ανακτήθηκε από <http://kalokeri.blogspot.com/>.
- Νέα Μάκρη. (2020, Ιούλιος 25). Ανακτήθηκε από <https://marathon.gr/>.
- Νέα Μάκρη. (2020, Ιούλιος 25). Ανακτήθηκε από <https://el.wikipedia.org>.
- Κίνδυνοι πλημμύρας και το σχέδιο διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας για το Δήμο μας σε ΦΕΚ του 2018. (2018, Νοέμβριος 4). Ανακτήθηκε από <http://el-vima.blogspot.com/2018/11/2018.html>.
- Τα ρέματα της Αττικής // Μέρος Δ': Ανατολική και Βόρεια Αττική // Γνωριμία με τις υδάτινες διαδρομές της Αττικής, παρέα με μια σταγόνα νερού. (2017, Ιουνίου 29). Ανακτήθηκε από https://geomythiki.blogspot.com/2017/06/blog-post_29.html.
- Οδηγίες Σχετικά με τις Πλημμύρες και την Αντιμετώπισή τους. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://www.patt.gov.gr>.

- Ποιες περιοχές κινδυνεύουν στην Αττική από τις πλημμύρες και τη λάσπη Σήμα κινδύνου από το υπουργείο Περιβάλλοντος. (2017, Νοέμβριος 19). <https://www.newsbeast.gr/greece/arthro/3013236/pies-perioches-kindinevoun-stin-attiki-apo-tis-plimmires-ke-ti-laspi>.
- Πλημμύρες. (2017). Ανακτήθηκε από <http://www.dyopp.gr/>.
- Υδρογραφικά δίκτυα – Λεκάνες απορροής. Αναρτήθηκε από <http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge427γ/pdf/askisi1.pdf>.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Ειδική Γραμματεία Υδάτων. Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ, κατ' εφαρμογή της Κ.Υ.Α. Η.Π. 31822/1542/Ε103. (2012). Ανακτήθηκε από http://www.wrcplc.co.uk/floods/SupplementaryInformation/EL/GR_PFRA_REPORT.pdf.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Ειδική Γραμματεία Υδάτων. Αττική (EL06). (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://floods.ypeka.gr/>.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (n.d.). Υδατορεύματα, Άρθρο 01: Ορισμοί. Ανακτήθηκε από <http://www.opengov.gr/minenv/?p=5056#nogo>.
- Φυτά που δείχνουν ύπαρξη νερού. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://www.geotriseis.com/>.
- Chaturvedi, A. (2019, Αύγουστος 11). Advantages of dual-frequency GNSS in smartphones. Ανακτήθηκε από <https://www.geospatialworld.net/>.
- Introduction to dual-frequency GPS. (n.d.). Ανακτήθηκε από <https://consumer.huawei.com/>.