



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ



ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Χ. ΣΩΤΗΡΗΣ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ
ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΕΚΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΓΑΛΛΙΚΟΥ
ΠΟΤΑΜΟΥ, ΜΕΣΩ GIS ΚΑΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2020



Αφιερώνεται στην οικογένειά μου που με στήριξε
καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Χ. ΣΩΤΗΡΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5512

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΕΚΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ, ΜΕΣΩ GIS ΚΑΙ
ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας

Επιβλέπων

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΜΟΥΡΑΤΙΔΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής



© Ευάγγελος Χ. Σωτήρης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΕΚΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ, ΜΕΣΩ GIS ΚΑΙ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ– *Διπλωματική Εργασία*

© Evangelos Ch. Sotiris, School of Geology, Dept. of Physical and Environmental Geography, 2020

All rights reserved.

FLOOD HAZARD ASSESSMENT IN THE WIDER AREA OF GALLIKOS RIVER MOUTH, VIA GIS AND GEODETICIC TECHNIQUES – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Κοίτη του Γαλλικού ποταμού ανάντη της γέφυρας της Εθνικής Οδού Γιαννιτσών-Θεσσαλονίκης (Ευάγγελος Σωτήρης ®)

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Εισαγωγικές έννοιες.....	9
1.1.1 Φυσικές καταστροφές.....	9
1.1.2 Υδρολογικά στοιχεία.....	9
1.1.3 Βασικά στοιχεία για τις πλημμύρες.....	10
1.2 Σκοπός εργασίας.....	13
1.3 Βασικά στοιχεία μεθοδολογιών.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ	14
2.1 Γεωγραφικά στοιχεία περιοχής μελέτης.....	14
2.1.1 Κάλυψη γης (Corine Land Cover 2012).....	15
2.2 Γεωμορφολογία λεκάνης απορροής.....	17
2.2.1 Γενικά στοιχεία.....	17
2.2.2 Μορφομετρικά στοιχεία λεκάνης απορροής.....	20
2.2.3 Χάρτης μορφοαναγλύφου.....	23
2.2.4 Χάρτης κλίσεων αναγλύφου.....	25
2.3 Γεωλογία.....	27
2.3.1 Γεωλογία λεκάνης απορροής.....	28
2.3.2 Γεωλογία περιοχής μελέτης.....	31
2.3.2 Τεκτονική.....	32
2.4 Φαινόμενα πλημμυρών και καθίζησης.....	33
2.5 Γεωδαιτικές τεχνικές.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	39
3.1 Χαρτογραφικά δεδομένα.....	39
3.2 Λογισμικά.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ.....	41
4.1 Περιγραφή βημάτων.....	41
4.2 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	46
5.1 Υψομετρικός χάρτης.....	46
5.2 Χάρτης κλίσεων.....	47
5.3 Υδρολιθολογικός χάρτης.....	48
5.4 Χάρτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας.....	49



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	51

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.). Ο στόχος της είναι η εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας των περιοχών που βρίσκονται ευρύτερα των εκβολών του Γαλλικού ποταμού, στην Κεντρική Μακεδονία. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δύο λογισμικά Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΠΣ) για την παραγωγή χαρτών, τα οποία είναι το QGIS και το ArcGIS. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι για την προσέγγιση που είναι, κυρίως, η πολυκριτηριακή ανάλυση με τη βοήθεια της Διαδικασίας της Αναλυτικής Ιεραρχίας και συμπληρωματικά μια γεωδαιτική μέθοδος.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται εισαγωγικές έννοιες σχετικές με τις φυσικές καταστροφές, τις πλημμύρες και ορισμένα υδρολογικά χαρακτηριστικά των ποταμών. Ακόμη, παρατίθενται κάποια βασικά στοιχεία των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν και ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας. Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά την περιοχή μελέτης και την λεκάνη απορροής. Για την περιοχή μελέτης περιγράφονται βασικά γεωγραφικά, τοπογραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της. Επιπρόσθετα, αναλύεται η γεωμορφολογία και η γεωλογία της λεκάνης απορροής του Γαλλικού, καθώς και της περιοχής μελέτης. Περιγράφονται στο παρόν κεφάλαιο τα φαινόμενα πλημμυρών και καθίζησης που αντιμετωπίζει η ευρύτερη περιοχή των εκβολών του Γαλλικού ποταμού καθώς και οι γεωδαιτικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν. Στο τρίτο κεφάλαιο απαριθμούνται τα δεδομένα που χρειάστηκαν για την ολοκλήρωση της εργασίας και τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η σειρά των βημάτων που ακολουθήθηκε για την παραγωγή των αποτελεσμάτων και περιγράφεται εκτενώς η σύνθεση του χάρτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας με τη βοήθεια της Διαδικασίας της Αναλυτικής Ιεραρχίας. Στο πέμπτο κεφάλαιο, υπάρχουν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των επιπέδων (layers) στα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS), που είναι οι χάρτες επιδεκτικότητας για κάθε παράμετρο της εργασίας. Εν τέλει, στο έκτο κεφάλαιο υπάρχουν τα συμπεράσματα της παραπάνω επεξεργασίας.



ABSTRACT

This thesis was devised in the context of the undergraduate program of Geology School at Aristotle University of Thessaloniki (A.U.Th.). The target of current thesis, is the assessment of flood susceptibility of regions which are located in the wider area of Gallikos mouth, in Central Macedonia. More specifically, it was utilized two software of Geographical Information Systems (GIS) in order to produce relative maps, which are QGIS and ArcGIS. Also, it was used two methods for this assessment which are: mainly the Analytical Hierarchy Process (AHP) and supplementarily one geodetic technique.

In first chapter, introductory notions are presented which are related to natural disasters, floods, and specific hydrological characteristics of rivers. Furthermore, there are mentioned some basic elements of thesis's methodology as well as the main target of it. The second chapter is related to area of interest (Gallikos mouth) and the whole river basin. As for the area of interest, there are described some elementary geographic, topographical and geomorphological features. Moreover, there is an analysis of geomorphology and geology of drainage basin and area of interest. In this chapter are also mentioned the flooding and subsidence phenomena which appear in the wider area of Gallikos mouth and the geodetic techniques. In third chapter, data and software of this thesis are enumerated. In fourth chapter, is analyzed the methodology that used to produce expectant results and the Analytical Hierarchy Process (AHP) is extensively described. In fifth chapter, there are the results of layers' processing on Geographical Information Systems (GIS), which are susceptibility maps for each factor of thesis's. Lastly, in sixth chapter, there are conclusions of the aforementioned processing.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Ελλάδα αποτελεί μια κατεξοχήν ορεινή χώρα από την οποία πηγάζουν πολλοί ποταμοί ποικίλης παροχής. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό πολλών από αυτών είναι ότι δεν έχουν συνεχή ροή καθόλη τη διάρκεια του υδρολογικού έτους, με αποτέλεσμα να έχουν χαρακτηριστικά χειμάρρου. Τέτοιου είδους ποταμοί ονομάζονται είτε χειμαρροπόταμοι είτε χείμαρροι. Αυτό συμβαίνει διότι η παροχή πολλών ελληνικών ποταμών εξαρτάται από τα κατακρημνίσματα κατά τη διάρκεια ενός έτους. Κατά αυτόν τον τρόπο, οι ποταμοί της Ελλάδας παρουσιάζουν, γενικά, μεγάλες παροχές κατά την υγρή περίοδο του υδρολογικού έτους και μικρότερες έως και μηδενικές κατά την ξηρή περίοδο. Οι χείμαρροι έχουν μια χαρακτηριστική ιδιότητα, η οποία είναι η εμφάνιση ξαφνικών πλημμυρών μικρής διάρκειας (Κουργιαλάς, 2010). Ο Γαλλικός ποταμός στην Κεντρική Μακεδονία αποτελεί παράδειγμα χειμαρροποταμού στον οποίο εμφανίζονται συχνά πλημμύρες. Ωστόσο η εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων εξαρτάται και από άλλους γεωμορφολογικούς, όπως θα αναφερθεί σε ξεχωριστό κεφάλαιο, καθώς επίσης και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Επομένως, καθίσταται χρήσιμη η μελέτη και η πρόβλεψη των πλημμυρικών φαινομένων με διεπιστημονικές μεθόδους, διότι οι πλημμύρες πέρα από την φυσική τους υπόσταση επηρεάζουν άμεσα τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως επίσης και την υγεία του ανθρώπου. Για αυτόν τον λόγο, έγινε μια προσπάθεια μέσω της παρούσας διπλωματικής εργασίας να εκτιμηθεί η πλημμυρική επιδεκτικότητα των περιοχών στην λεκάνη απορροής του Γαλλικού ποταμού, με απώτερο σκοπό την εκτίμηση της επιδεκτικότητας στην περιοχή του δέλτα Γαλλικού.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Αντώνιο Μουρατίδη για την ανάθεση καθώς και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Διδάκτορα του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.), Χρήστο Δομακίνη για την άμεση και πολύ χρήσιμη υποστήριξη στο τεχνικό κομμάτι αυτής της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγικές έννοιες

1.1.1 Φυσικές καταστροφές

Οι φυσικές καταστροφές αποτελούν φαινόμενα που είναι αναπόσπαστο κομμάτι της γεωλογικής ιστορίας. Συμβαίνουν καθόλη τη διάρκεια του έτους και εξαρτώνται κυρίως από ισχυρά φυσικά φαινόμενα όπως οι βροχοπτώσεις, οι σεισμοί, οι πυρκαγιές κ.α. Ωστόσο τα φαινόμενα αυτά επηρεάζονται και από ανθρωπογενείς παράγοντες οι οποίοι συχνά εντείνουν την καταστροφικότητα και τις επιπτώσεις τους στις κοινωνίες.

Πέραν της αρνητικής πλευράς των προγραφεμένων φαινομένων, υπάρχει και η θετική πλευρά που ευνοεί κυρίως το περιβάλλον. Οι φυσικές καταστροφές αποτελούν κομμάτι του αέναου κύκλου των φυσικών φαινομένων που συμβαίνουν στην Γη και βοηθούν στη συνεχή αναζωογόνηση του ανάγλυφου. Επομένως οι πλημμύρες, ως ένα συχνό καταστροφικό φαινόμενο για τους ανθρώπους, βοηθούν και αυτές στην ανανέωση της επιφάνειας της Γης.

1.1.2 Υδρολογικά στοιχεία

Ο υδρολογικός κύκλος αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανακύκλωση του νερού στην Γη. Το υδρολογικό ισοζύγιο είναι η μαθηματική έκφραση του υδρολογικού κύκλου και αποτελείται από τις εξής παραμέτρους: κατακρημνίσματα, επιφανειακή απορροή, υπόγεια απορροή και η εξατμισοδιαπνοή.

Από αυτούς τους παράγοντες η επιφανειακή απορροή είναι αυτή που εκφράζεται από την ροή των ποταμών και των ρεμάτων. Οι ποταμοί με την σειρά τους διαχωρίζονται, ανάλογα με την ροή τους, σε ορισμένες κατηγορίες. Έτσι υπάρχουν οι εξής τύποι σύμφωνα με τον Κουργιαλά (2010):

1. *Συνεχείς ποταμοί*: είναι αυτοί που ρέουν καθόλη τη διάρκεια του έτους
2. *Ποταμοί διαλείπουσας ροής*: είναι αυτοί που ρέουν κατά το μεγαλύτερο μέρος του έτους.
3. *Εφήμεροι ποταμοί*: οι οποίοι ρέουν κατά το μικρότερο μέρος του έτους ή έχουν νερό ύστερα από έντονες βροχοπτώσεις. Σε αυτή την κατηγορία κατατάσσονται και οι χείμαρροι.

Ο Γαλλικός ποταμός εμπίπτει στην τελευταία κατηγορία καθώς η ροή του χαρακτηρίζεται ως χειμαρρώδης και η επιφανειακή του απορροή εξαρτάται από την ποσότητα των βροχοπτώσεων που δέχεται κατά τη διάρκεια του εκάστοτε υδρολογικού έτους (Μάττας, 2009). Η μέση ετήσια παροχή του ποταμού είναι $39,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Poulos et al. 2000).

1.1.3 Βασικά στοιχεία για τις πλημμύρες

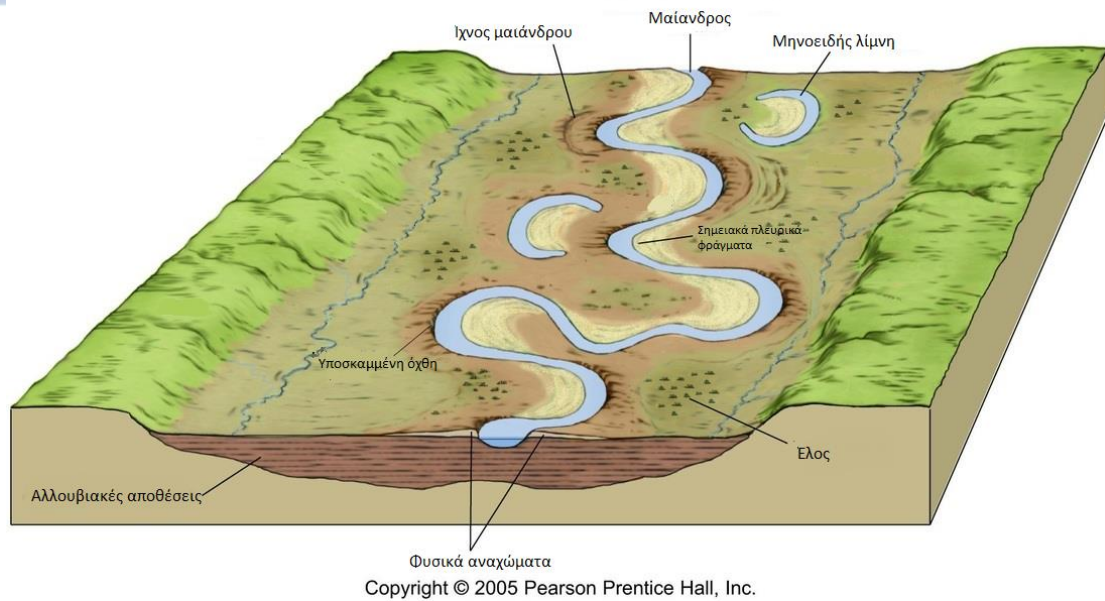
Η πλημμύρα ή αλλιώς πλημμυρικό γεγονός ορίζεται ως η πρόσκαιρη κάλυψη του εδάφους από νερό. Συμπληρώνεται ότι το κομμάτι αυτού του εδάφους δεν καλύπτεται από νερό σε φυσιολογικές συνθήκες. Η ποσότητα αυτού του ύδατος μπορεί να προέρχεται είτε από ποταμούς, είτε από ορεινούς χείμαρρους, είτε από εφήμερα ρεύματα, καθώς και από την θάλασσα σε περιοχές που είναι παράκτιες (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Οδηγία 2007/60/EK). Έτσι τα πλημμυρικά φαινόμενα επηρεάζονται κυρίως από τρεις φυσικούς παράγοντες οι οποίοι είναι, σύμφωνα με Λέκκα (2000):

- i. Η ποσότητα και η χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων σε μια περιοχή
- ii. Η υδροπερατότητα των πετρωμάτων και των εδαφικών σχηματισμών της λεκάνης απορροής
- iii. Η τοπογραφία της εκάστοτε περιοχής

Ο **πλημμυρικός κίνδυνος ή επικινδυνότητα πλημμύρας** αποτελεί συνδυασμό δύο παραγόντων. Ο πρώτος αφορά την πιθανότητα να συμβεί μια πλημμύρα, ενώ ο δεύτερος αφορά τις αρνητικές συνέπειες που θα έχει για τον άνθρωπο και το περιβάλλον (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας [ΥΠΕΝ], 2007). Επομένως γίνεται αντιληπτό πως οι παράγοντες που επηρεάζουν την επικινδυνότητα μιας πλημμύρας οφείλονται τόσο σε ανθρωπογενείς αιτίες όσο και σε φυσικές αιτίες. Οι ανθρωπογενείς αφορούν την χρήση της γης πέριξ των ποταμών καθώς και στην ετοιμότητα των ανθρώπων και οι φυσικοί αναφέρονται κυρίως στο μέγεθος και τη συχνότητα μιας πλημμύρας (Λέκκας, 2000)

Ως **πλημμυρικό πεδίο ή λεκάνη κατάκλυσης** ορίζεται μια σχετικά επίπεδη έκταση που αποτελείται κυρίως από ασυμπίεστα ποτάμια αποθετικά υλικά (ιζήματα) και δημιουργείται ως αποτέλεσμα των περιοδικών πλημμυρών που δέχεται από έναν ποταμό (Schmudde, 1968). Ενναλλακτικά, η λεκάνη κατάκλυσης μπορεί να ορισθεί ως η φυσική λεκάνη-έκταση που δημιουργείται από την πλάγια μετανάστευση ενός ποτάμιου ρεύματος και η οποία πλημμυρίζεται συχνά με ποτάμιο φορτίο δηλαδή νερό και ιζήματα (εικ. 1.1) (Λέκκας, 2000). Η λεκάνη κατάκλυσης είναι μια δυναμικά μεταβαλλόμενη έκταση Γης, λόγω της χωρικά ανισοκατανεμημένης ποσότητας υδάτων και ιζημάτων που αποτίθενται κατά τη διάρκεια ενός πλημμυρικού φαινομένου (εικ. 1.2). Έτσι οι ανθρώπινες υποδομές θα πρέπει να κτίζονται έπειτα από προσεκτική μελέτη στις περιοχές που αποτελούν πλημμυρικό πεδίο ενός ποταμού. Επομένως κρίνεται αναγκαία η χαρτογράφηση των περιοχών αυτών, ιδιαίτερα στους ποταμούς

που υφίστανται έντονη αστικοποίηση. Κατάλληλο παράδειγμα αποτελεί ο Γαλλικός ποταμός στην ευρύτερη περιοχή των εκβολών του, όπως θα αναφερθεί παρακάτω.

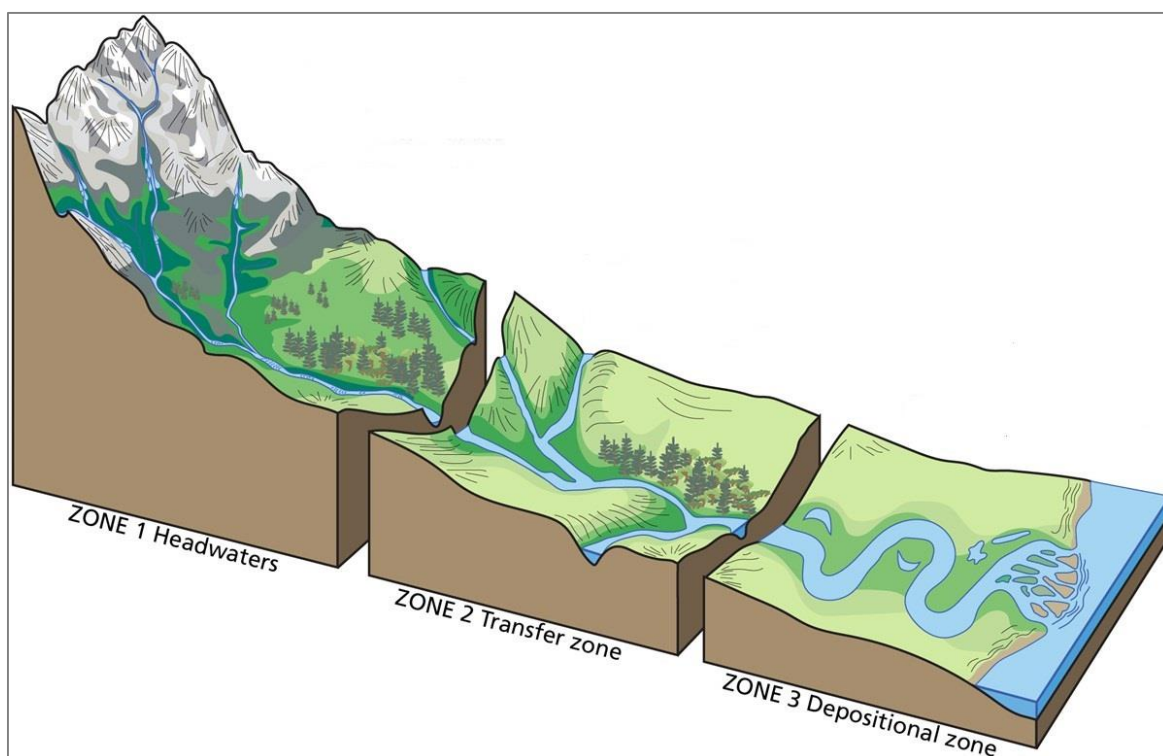


Εικόνα 1.1 Απεικονίζεται η έκταση του πλημμυρικού πεδίου ενός ποταμού.
(<http://thebritishgeographer.weebly.com/river-landforms.html> , με τροποποίηση)



Εικόνα 1.2 Δορυφορική εικόνα στην οποία φαίνεται οριοθετημένο ένα κομμάτι του πλημμυρικού πεδίου στον Γαλλικό ποταμό. (Πηγή: Google Earth)

Οι πλημμύρες διαχωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με την προέλευση των υδάτων και την τοποθεσία τους εντός της λεκάνης απορροής του εκάστοτε ποταμού. Όσον αφορά την τοποθεσία που συμβαίνουν οι πλημμύρες μπορούν να χωριστούν σε αυτές που συμβαίνουν στα **ανάντη** και αυτές στα **κατάντη** (εικ. 1.3). Οι πρώτες συμβαίνουν στα ψηλότερα τμήματα μιας λεκάνης απορροής και είναι αποτέλεσμα των έντονων βροχοπτώσεων που δέχονται τα βουνά σε μικρό χρονικό διάστημα, ενώ οι δεύτερες προκύπτουν από τις έντονες καταιγίδες σε μία πεδινή περιοχή (Λέκκας, 2000). Επιπρόσθετα, οι πλημμύρες μπορούν να διαιρεθούν με βάση την προέλευση των υδάτων, όπως αυτά που προέρχονται από ποταμούς, χειμάρρους, από την θάλασσα, από την υψηλή στάθμη των υπόγειων υδάτων, καθώς και από λίμνες (ΥΠΕΝ, 2007). Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι ποτάμιες πλημμύρες, που εκδηλώνει ο Γαλλικός ποταμός (Κεντρική Μακεδονία) ανά περιόδους.



Εικόνα 1.3 Παρουσιάζονται τα στάδια ανάπτυξης ενός ποταμού. Στην ζώνη 1 (Zone 1) κυριαρχούν οι πηγές του ποταμού και η γρήγορη διάβρωση, στην ζώνη μεταφοράς (Zone 2) κυριαρχεί η μεταφορά των ιζημάτων που διαβρώθηκαν στα ανάντη και η αποθετική ζώνη (Zone 3) είναι αυτή στην οποία αποτίθενται τα ιζήματα των ποταμών στα δέλτα. Οι ανάντη πλημμύρες συναντώνται στην ζώνη μεταφοράς, ενώ οι κατάντη πλημμύρες στην ζώνη απόθεσης. (<https://www.nps.gov/subjects/geology/fluvial-landforms.htm> , με τροποποίηση)

Η παρούσα εργασία σκοπεύει να υποδείξει περιοχές στην ευρύτερη περιοχή των εκβολών του Γαλλικού ποταμού που είναι ευάλωτες σε πλημμυρικά φαινόμενα και να εκτιμηθεί ο βαθμός επιδεκτικότητάς τους ως προς τα φαινόμενα αυτά. Ο σκοπός αυτός επετεύχθη μέσα από μία σειρά βημάτων με την βοήθεια ειδικών λογισμικών όπως το QGIS, ArcGIS και το Google Earth. Τα παραπάνω λογισμικά βοήθησαν αρχικά στην επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων της περιοχής μελέτης. Επιπρόσθετα τα λογισμικά αυτά συνέβαλαν στην αποτελεσματική απεικόνιση του ανάγλυφου της περιοχής μελέτης μέσω χαρτών, αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων και τελικά στην απεικόνιση των επιθυμητών αποτελεσμάτων που θα περιγραφούν σε ξεχωριστό κεφάλαιο παρακάτω.

1.3 Βασικά στοιχεία μεθοδολογιών

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για να πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία περιλάμβαναν τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) ή Geographical Information Systems (GIS) και Γεωδαιτικές τεχνικές, σχετικές με την μεταβολή του ανάγλυφου.

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) [Geographical Information Systems (GIS)] αποτελούν μια εφαρμογή που απαρτίζεται από μια πληθώρα γεωχωρικών πληροφοριών και εργαλείων. Με βάση αυτά, δύναται να επεξεργαστούν και να απεικονιστούν γεωχωρικά δεδομένα. Επιπρόσθετα, η κυριότερη χρησιμότητά τους συνίσταται στην συμβολή τους στην λήψη αποφάσεων, καθώς και στην δημιουργία μοντέλων και την πρόβλεψη φυσικών φαινομένων (Μουρατίδης, 2009). Επομένως, γίνεται φανερό ότι τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών βοηθούν αποτελεσματικά στην χρήση μοντέλων για την απεικόνιση της πλημμυρικής κάλυψης. Ιδιαίτερα για τις πλημμυρικές απορροές που εκδηλώνει ο Γαλλικός ποταμός.

Οι γεωδαιτικές τεχνικές που αξιοποιήθηκαν αφορούν δορυφορικές τεχνικές που ανιχνεύουν πολύ μικρές κατακόρυφες μεταβολές του ανάγλυφου. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης ή Global Navigation Satellite Systems (GNSS) και τα παγκόσμια συστήματα πλοήγησης (GPS) (Μουρατίδης, 2009). Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από έναν «αστερισμό» δορυφόρων που είναι οι πομποί και οι οποίοι βρίσκονται σε κατάλληλη τροχιά γύρω από τη Γη. Ακόμη συμπληρώνονται από τους δέκτες οι οποίοι είναι οι σταθμοί λήψης του σήματος, καθώς και οι χρήστες που λαμβάνουν τα δεδομένα μέσω συγκεκριμένων δεκτών (Μουρατίδης, 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΑΛΛΙΚΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

2.1 Γεωγραφικά στοιχεία περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης που αφορά την εργασία είναι οι ευρύτερη περιοχή των εκβολών του Γαλλικού Ποταμού δυτικά της Θεσσαλονίκης στην Κεντρική Μακεδονία (εικ 2.1). Πιο συγκεκριμένα η περιοχή αυτή εντοπίζεται πέριξ των οικισμών Σίνδου και Καλοχωρίου της Περιφερειακής Ενότητας Θεσσαλονίκης. Η περιοχή είναι έντονα αστικοποιημένη, καθώς υπάρχουν οικισμοί με μεγάλο και αυξανόμενο πληθυσμό όπως η Σίνδος, το Καλοχώρι και η Νέα Μαγνησία (Πίνακας 1). Ακόμη, υπάρχουν η Βιομηχανική Περιοχή Θεσσαλονίκης (ΒΙΠΕΘ) και η Βιομηχανική Περιοχή του Καλοχωρίου. Επιπρόσθετα υπάρχουν αγροτικές περιοχές νότια της Νέας Μαγνησίας, καθώς και δυτικά του Δέλτα του Γαλλικού στις οποίες υπάρχουν καλλιεργούμενες εκτάσεις. Οπότε διαφαίνεται η αναγκαιότητα της εκτίμησης των περιοχών του Γαλλικού ποταμού που είναι ευάλωτες σε πλημμυρικά φαινόμενα. Αυτό συμβαίνει διότι σε περίπτωση πλημμυρικής απορροής του ποταμού, θα επηρεαστούν αρνητικά ημιαστικοποιημένες κατοικημένες περιοχές, βιομηχανικές εγκαταστάσεις της ΒΙΠΕΘ, καθώς και ένα μεγάλο ποσοστό καλλιεργούμενων εκτάσεων (εικ. 2.2).

Πίνακας 1 Πληθυσμός των κωμοπόλεων που βρίσκονται γύρω από την περιοχή των εκβολών του Γαλλικού (Απογραφή Μόνιμων Κατοίκων ΕΛΣΤΑΤ, 2001 & 2011)

ΟΙΚΙΣΜΟΣ	ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ		ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ (%)
	2001	2011	
Καλοχώρι	4010	4672	+ 16,51
Νέα Μαγνησία	4035	4266	+ 5,72
Σίνδος	7657	9289	+ 21,31
ΣΥΝΟΛΟ	15702	18277	+16,4

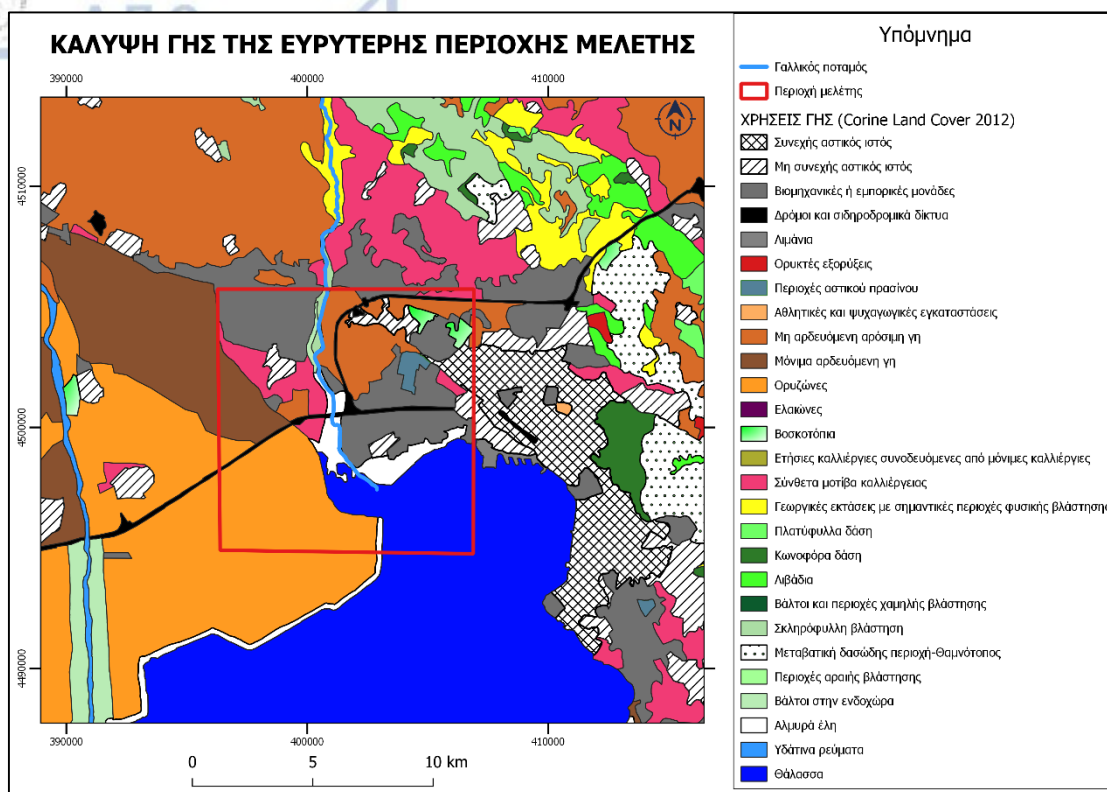


Εικόνα 2.1 Απεικονίζεται η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας.

2.1.1 Κάλυψη γης (Corine Land Cover 2012)

Η χρήση της γης στην περιοχή μελέτης είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις ανθρώπινες δραστηριότητες που έχουν αναπτυχθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Η ευρύτερη περιοχή του Καλοχωρίου και της Σίνδου αποτελούν σημαντικές βιομηχανικές περιοχές που εκτείνονται δυτικά της Θεσσαλονίκης και φαίνονται με γκρίζο χρώμα στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 2.2). Επιπρόσθετα γύρω και ενδιάμεσα από αυτές τις περιοχές υπάρχουν καλλιεργούμενες εκτάσεις.

Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης καλύπτεται κυρίως από καλλιεργούμενες εκτάσεις σε ποσοστό 44.34 %, από βιομηχανικές περιοχές σε ποσοστό 23.29 % , καθώς επίσης και από την θάλασσα σε ποσοστό 16.22 %. Δευτερευόντως η περιοχή καλύπτεται από οικισμούς, αλμυρά έλη και άλλες φυσικές επιφάνειες όπως περιγράφονται στον πίνακα 2. Επιπρόσθετα, οι ανθρωπογενείς κατασκευές στην περιοχή οδηγούν στην μείωση της κατείδυσης των υδάτων που προέρχονται είτε από την βροχή είτε από την ανάντη ροή του Γαλλικού ποταμού. Επομένως αυξάνεται η επιφανειακή απορροή νερού έναντι της κατείδυσής του στο υπέδαφος και αντίστοιχα ο πλημμυρικός κίνδυνος στην περιοχή μελέτης.



Εικόνα 2.2. Οι χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής του δέλτα Γαλλικού, που είναι αποτέλεσμα επεξεργασίας στο GIS (Πηγή: Corine Land Cover 2012)

Πίνακας 2. Κατηγοριοποιημένη καταγραφή των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης. (*) Στη κατηγορία αυτή χρησιμοποιείται η αρίθμηση από το υπόμνημα χρήσης γης του προγράμματος Corine Land Cover 2012.

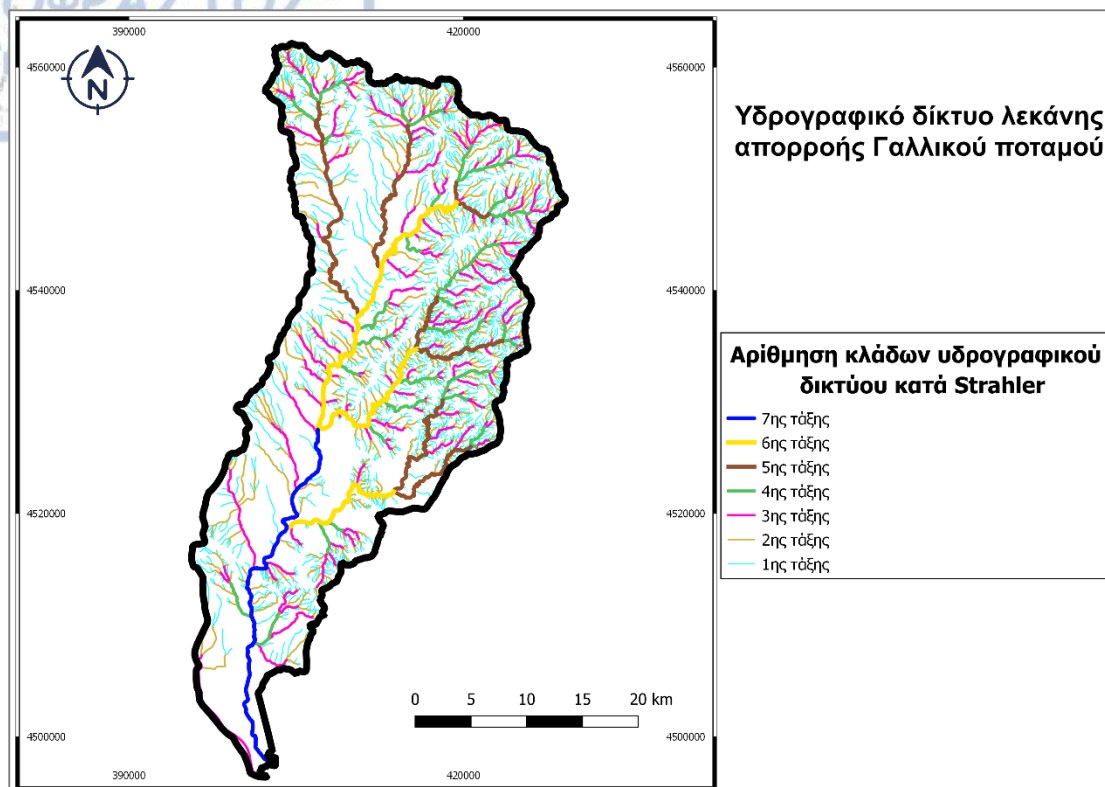
ΚΩΔΙΚΟΣ*	ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Ανθρωπογενείς κατασκευές		
111	Συνεχής αστικός ιστός	1,69
112	Μη συνεχής αστικός ιστός	4,04
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες	23,29
122	Δρόμοι και σιδηροδρομικά δίκτυα	2,5
141	Περιοχές αστικού πρασίνου	1,1
	<i>ΣΥΝΟΛΟ</i>	32,62

Καλλιεργούμενες εκτάσεις		
211	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	11,13
212	Μόνιμα αρδευόμενη γη	5,49
213	Ορυζώνες	20,57
231	Βοσκοτόπια	1,11
242	Σύνθετα μοτίβα καλλιέργειας	6,04
	ΣΥΝΟΛΟ	44,34
Κάλυψη Γης		
323	Σκληρόφυλλη βλάστηση	0,65
411	Βάλτοι στην ενδοχώρα	0,46
421	Αλμυρά έλη	5,71
523	Θάλασσα, ωκεανός	16,22
	ΣΥΝΟΛΟ	23,04
ΣΥΝΟΛΟ		100,00

2.2 Γεωμορφολογία λεκάνης απορροής

2.2.1 Γενικά στοιχεία

Ο Γαλλικός ποταμός είναι ποταμός της Κεντρικής Μακεδονίας και πηγάζει από τα Κρούσια όρη της Περιφερειακής Ενότητας (Π.Ε.) Κιλκίς. Διαρρέει το ανατολικό κομμάτι της Π.Ε. και καταλήγει στο δυτικό κομμάτι της Π.Ε. Θεσσαλονίκης όπου κυλά παραπλήσια του όρους Σιβρί για να καταλήξει στην ανατολική περιοχή των Δέλτα Αξιού-Αλιάκμονα-Γαλλικού, όπου εκβάλλει στον Θερμαϊκό κόλπο. Έχει μήκος περίπου 65 km και έχει ως παραπόταμους τον Σπανό, το Μπαζί ρέμα, το Κοτζά ρέμα το Μεγάλο ποτάμι, και τον Ξηροπόταμο. Η λεκάνη απορροής του Γαλλικού έχει αψιδοειδές σχήμα (Μάττας, 2009) και η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι σύνθετη. Πιο συγκεκριμένα, στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής η μορφή είναι δενδριτική ενώ στο νότιο η μορφή του είναι παράλληλη-υποπαράλληλη (Ασάρας, (1997) από Howard, (1967)). Η δενδριτική μορφή συνδέεται με περιοχές που έχουν ομαλό ανάγλυφο είτε μικρής είτε μεγάλης μορφολογικής κλίσης, όπου υπάρχει ομοιόμορφη διάβρωση των γεωλογικών σχηματισμών. Η παράλληλη μορφή συνδέεται με ανάγλυφο στο οποίο επικρατεί η επιφανειακή απορροή λόγω της τοπογραφικής κλίσης (Τρανός, 2011).



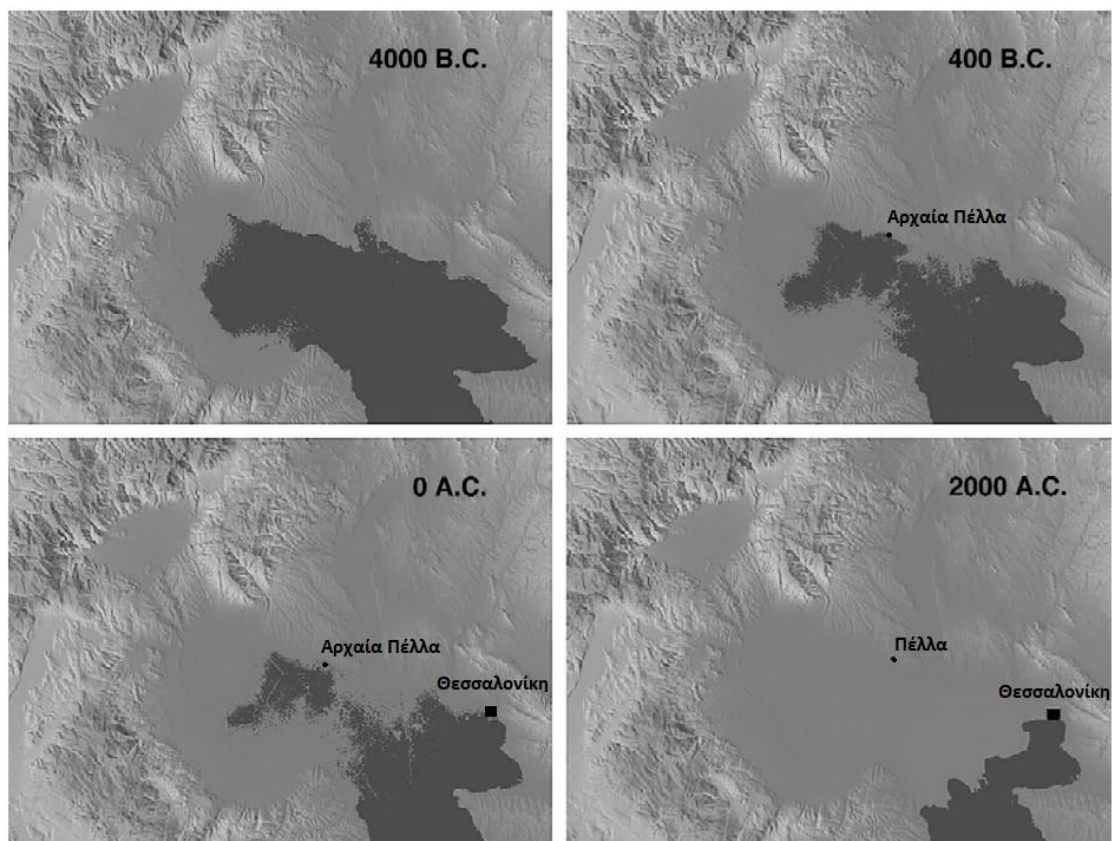
Εικόνα 2.3 Ο χάρτης παρουσιάζει το φυσικό υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού. Η ψηφιοποίηση των κλάδων έγινε στο QGIS, βάσει των τοπογραφικών χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ).

Ο Γαλλικός ποταμός δεν έχει μόνιμη ροή και η παροχή του εξαρτάται άμεσα από τις μετεωρολογικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην λεκάνη απορροής. Αυτό σημαίνει ότι τις περιόδους του υδρολογικού έτους που επικρατεί ξηρασία, δεν παρατηρείται επιφανειακή ροή σε ορισμένες τοποθεσίες κατά μήκος της κοίτης (Μάττας, 2009). Αντιθέτως, τις περιόδους που τα κατακρημνίσματα είναι ιδιαίτερα αυξημένα τότε ο Γαλλικός παρουσιάζει πλημμυρική απορροή στα σημεία που ευνοούν την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Οι βροχοπτώσεις στην λεκάνη απορροής ποικίλουν λόγω της έντονης μεταβολής του ανάγλυφου από πεδινό σε ορεινό. Το μέσο ύψος των βροχοπτώσεων έχει υπολογιστεί σε 472.92 mm ετησίως (Μάττας, 2009) για το ανάντι κομμάτι της λεκάνης απορροής που έχει ως στόμιο την περιοχή της Νέας Φιλαδέλφειας στα όρια των περιφερειακών ενοτήτων Θεσσαλονίκης-Κιλκίς.

Ιστορικά, υπάρχουν στοιχεία που χαρακτηρίζουν τις πλημμυρικές απορροές του Γαλλικού ποταμού. Αρχικά είναι γνωστό από την αρχαιότητα, καθώς χαρακτηρίζεται από τον Ηρόδοτο και άλλους αρχαίους συγγραφείς, ότι υπάρχουν ψήγματα προσχωματικού χρυσού του ποταμού. Το γεγονός αυτό μαρτυράται από την μακρόχρονη εκμετάλλευσή του ως κοίτασμα χρυσού, όπως επίσης και από το παλαιό του όνομα που ήταν το: «Εχέδωρος», δηλαδή ο έχων δώρα (http://www.ekby.gr/ekby/el/amphivion_el/issue63.pdf). Έπειτα, ο Γαλλικός είναι γνωστός για τις ξαφνικές πλημμύρες που εκδήλωνε. Αυτό επιβεβαιώνεται από μια

διαφορετική ονομασία του η οποία ήταν «Γομαροπνίχτης», που υποδηλώνει την ξαφνικότητα των πλημμυρών (<http://www.minagric.gr/index.php/el/eservicesmenu-2/450-greek-content/eggeiesbeltioseis/sxedismowee/potamia/3538-galikos>).

Η ευρύτερη περιοχή των εκβολών του Γαλλικού ανήκει στις ανατολικές παρυφές της πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών, η οποία καταλαμβάνει μια έκταση περίπου 2000 km², καθιστώντας την ως την μεγαλύτερη πεδιάδα της Ελλάδας. Γύρω της υπάρχουν βουνά που την οριοθετούν όπως είναι στα δυτικά το Βέρμιο (2065 m), βορειοδυτικά το Πάικο (1660 m), νότια τα Πιέρια όρη (2188 m), καθώς και ο Χορτιάτης (1201 m), στα ανατολικά. Επίσης, διαρρέεται από τέσσερις ποταμούς, που είναι ο Αλιάκμονας, ο Λουδίας, ο Αξιός και ο Γαλλικός και οι οποίοι συνέβαλαν στην οριστική της δημιουργία κατά την Ολόκαινο εποχή (11700 έτη – σήμερα). Επομένως υποδηλώνεται ότι η πεδιάδα Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών δεν είχε πάντοτε την ίδια μορφή. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από παλαιογεωμορφολογικές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στην ευρύτερη περιοχή και υποδεικνύουν την ύπαρξη της θάλασσας βαθύτερα μέσα στην πεδιάδα τις προηγούμενες χιλιετίες, έως και 50 km βορειοανατολικά των δέλτα (Ghilardi et al., 2008). Πιο συγκεκριμένα, έχει βρεθεί, πως ορισμένοι οικισμοί όπως η Πέλλα ήταν παραθαλάσσιοι από αρχαιοτάτων χρόνων (εικ. 2.4)



Εικόνα 2.4 Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης. Είναι ορατή η διεύδυση της θάλασσας τα τελευταία 4000 έτη, με την αρχαία Πέλλα να αποτελεί παράκτιο οικισμό (Πηγή: τροποποιημένο από Psimoulis et al. 2007)

Το ανατολικό τμήμα της πεδιάδας αποτελείται από μια τυπική λοφώδη λεκάνη στα βόρεια με υψόμετρα που κυμαίνονται από 50m έως 150m και στο κεντρικό της κομμάτι διαρρέεται από τον Γαλλικό ποταμό. Στο νοτιότερο τμήμα, που αποτελεί την περιοχή μελέτης, η πεδιάδα είναι ομαλή με πολύ χαμηλά υψόμετρα (εώς και αρνητικά) και πλήρως καλυμμένη από αλλουβιακές αποθέσεις. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται διότι κοντά στις εκβολές οι ποταμοί έχουν αποκτήσει πλήρως το προφίλ ισορροπίας τους, που υποδεικνύεται από την ύπαρξη πλημμυρικών πεδίων. Γεωμορφολογικά, η περιοχή συνίσταται από εδαφικούς σχηματισμούς νεογενή και τεταρτογενή κλαστικά ιζήματα. Οι νεογενείς σχηματισμοί βρίσκονται περισσότερο βόρεια της περιοχής μελέτης και με οι τεταρτογενείς αποθέσεις βρίσκονται κυρίως εκατέρωθεν της κοίτης του ποταμού και σε μεγάλες εμφανίσεις εντός της περιοχή μελέτης (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας [ΥΠΕΝ], 2018).

2.2.2 Μορφομετρικά στοιχεία λεκάνης απορροής

Η λεκάνη του Γαλλικού ποταμού σύμφωνα με τη μορφομετρική ανάλυση του υδρογραφικού της δικτύου έχει τις ακόλουθες μορφομετρικές παραμέτρους σύμφωνα με τον πίνακα 3. Η λεκάνη απορροής έχει έκταση 1045.69 km², όπως υπολογίστηκε μέσω του QGIS.

Πίνακας 3. Συγκεντρωτική απεικόνιση των βασικότερων μορφομετρικών παραμέτρων της λεκάνης .

Μορφομετρική παράμετρος	Τιμή
Συντελεστής διακλάδωσης (R_b)	3.820
Υδρογραφική πυκνότητα (D)	2.149 km ⁻¹
Υδρογραφική συχνότητα (F)	3.467 km ⁻²

Ο συντελεστής ή λόγος διακλάδωσης (R_b) περιγράφει τον βαθμό διαμελισμού της λεκάνης απορροής και εκφράζει την πολυπλοκότητα του υδρογραφικού της δικτύου. Οι τιμές που λαμβάνει η παράμετρος για τα φυσικά υδρογραφικά δίκτυα ποικίλουν από 2 έως 5 (Βουδούρης, 2013). Η μέση τιμή του συντελεστή διακλάδωσης υπολογίστηκε ως $R_b = 3.82$, από τον τύπο $R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$ όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 4. Σύμφωνα με Domakinis (2020) (από Das, 2016), οι χαμηλές τιμές του λόγου διακλάδωσης υποδεικνύουν μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας.

Πίνακας 4. Υπολογισμός αριθμού κλάδων για την εύρεση του λόγου διακλάδωσης.

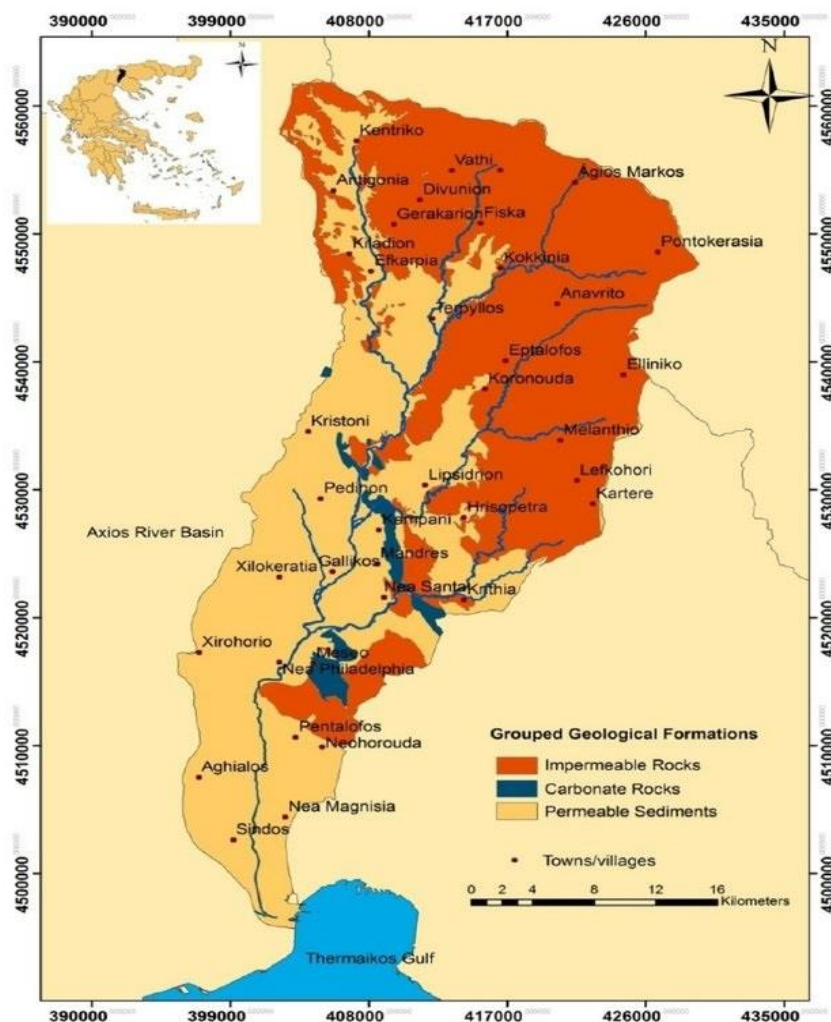
Τάξη κλάδου – u	Αριθμός κλάδων – N _u	R _b
1	2726	3.872159
2	704	4.662252
3	151	4.71875
4	32	4
5	8	2.666667
6	3	3
7	1	
ΣΥΝΟΛΟ	3625	Μέσος όρος: 3.819971

Η υδρογραφική πυκνότητα (D) δίνεται από τον τύπο $D = \frac{\Sigma L_u}{E}$, όπου L_u: το συνολικό μήκος των κλάδων κάθε τάξης και E: το εμβαδόν της λεκάνης απορροής, το οποίο ισούται E=1045.69 km². Η παράμετρος εκφράζει την εγγύτητα των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και εξαρτάται από την λιθολογία, την βλάστηση και την τοπογραφία της λεκάνης απορροής. Οι υψηλές τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας αναφέρονται σε περιοχές που κυριαρχούνται από μη διαπερατά πετρώματα, λίγη βλάστηση και ορεινό ανάγλυφο. Αντιθέτως, οι χαμηλές τιμές της υδρογραφικής πυκνότητας αναφέρονται σε περιοχές που κυριαρχούν πετρώματα με υψηλή περατότητα, πυκνή βλάστηση, και ομαλότερο ανάγλυφο. (Βουδούρης, 2013). Στην περίπτωση της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού η παράμετρος παίρνει τιμή D= 2.149 km⁻¹ (Πίν. 3), το οποίο δικαιολογείται κυρίως στα τμήματα της λεκάνης όπου υπάρχει ημιορεινό ανάγλυφο και επικρατούν περατοί γεωλογικοί σχηματισμοί. (εικ. 2.5).

Η υδρογραφική συχνότητα (F) δίνεται από τον τύπο $F = \frac{\Sigma N_u}{E}$, όπου N_u: ο αριθμός των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και E: το εμβαδόν της λεκάνης απορροής, που ισούται με E=1045.69 km². Η παράμετρος εκφράζει τον αριθμό των ρεμάτων σε ένα υδρογραφικό δίκτυο ανά μονάδα έκτασης και εξαρτάται κυρίως από τις λιθολογικές ιδιότητες των πετρωμάτων της λεκάνης. Η υψηλή υδρογραφική συχνότητα φανερώνει την μικρή υδροπερατότητα των σχηματισμών και την δημιουργία πλημμυρών στα κατάντη της λεκάνης όπου είναι ομαλότερο το ανάγλυφο (Βουδούρης, 2013). Στην παρούσα περίπτωση, η υδρογραφική συχνότητα έχει τιμή F= 3.467 km⁻² (Πίν. 3).

Πίνακας 5. Υπολογισμός των βασικών μορφομετρικών παραμέτρων για την εύρεση τιμής της υδρογραφικής πυκνότητας και συχνότητας

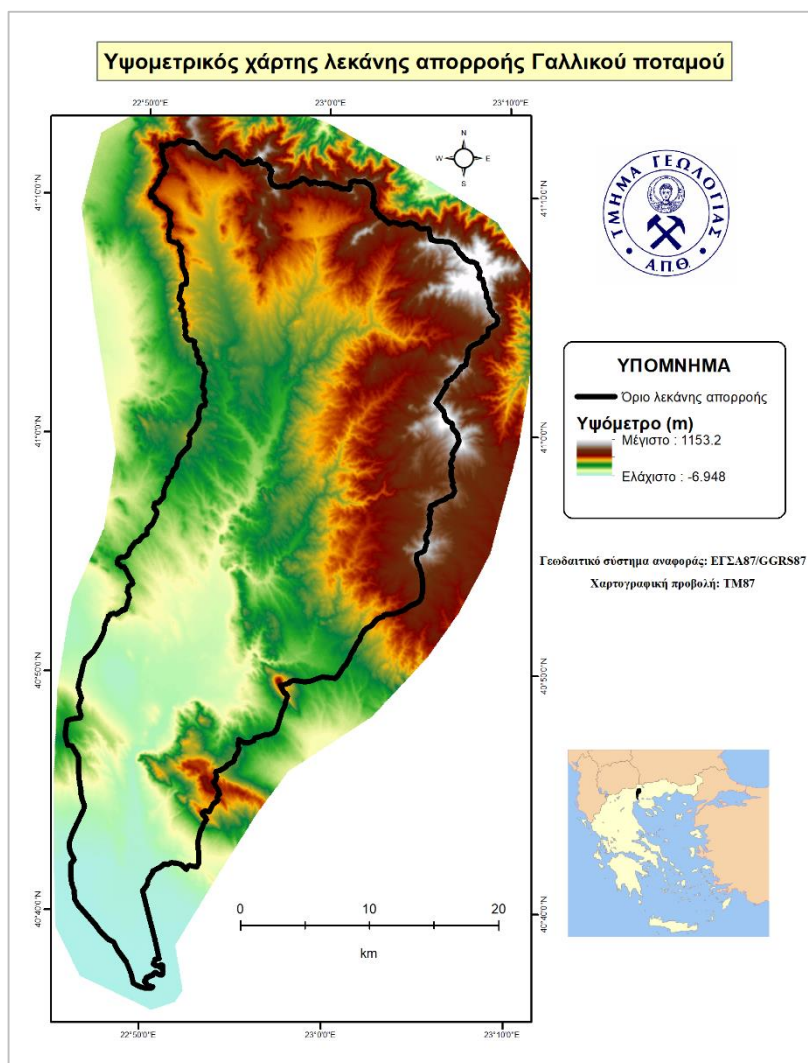
Τάξη κλάδων u	Αριθμός κλάδων N_u	Μήκος κλάδων L_u (Km)
1	2726	1,125.816
2	704	547.815
3	151	267.742
4	32	101.838
5	8	104.953
6	3	61.950
7	1	37.490
ΣΥΝΟΛΟ	$\Sigma N_u = 3625$	$\Sigma L_u = 2,247.604$



Εικόνα 2.5 Κατηγοριοποιημένοι γεωολογικοί σχηματισμοί. Με πορτοκαλί χρώμα συμβολίζονται οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί, με μπλέ τα ανθρακικά πετρώματα, που είναι υδροπερατά και με μπεζ τα περατά ιζήματα. Είναι φανερό ότι η λεκάνη απορροής καλύπτεται από μεγάλο ποσοστό αδιαπέρατων πετρωμάτων στα βόρεια, βορειοδυτικά και δυτικά αυτής, με τροποποίηση (Mattas et al, 2014) .

2.2.3 Χάρτης μορφοαναγλύφου

Οι σύγχρονοι χάρτες που απεικονίζουν το ανάγλυφο μιας περιοχής παράγονται συνήθως από ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου (Digital Elevation Models/DEM). Τα DEM είναι μαθηματικές συναρτήσεις που αναπαριστούν το γήινο ανάγλυφο και δημιουργούνται είτε από τετραγωνικό κάναβο (Grid-elevation matrix), είτε από ακανόνιστα τριγωνικά δίκτυα (Triangulated Irregular Networks-TINs) (Αστάρας Θ., 2011). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το European DEM (EUDEM) του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (European Environment Agency). Το συγκεκριμένο DEM έχει χωρική ανάλυση 1 arc second που αντιστοιχεί σε μέγεθος pixel 25x25 m περίπου και το προβολικό σύστημα συντεταγμένων του είναι το ETRS_1989_LAEA και το οποίο δημιουργήθηκε από τετραγωνικό κάναβο. Κατά αυτόν τον τρόπο, ανακτήθηκε το αρχείο με προέκταση .tif στο οποίο περιέχεται η λεκάνη απορροής και παράχθηκε το ανάγλυφό της, το οποίο παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 2.6):

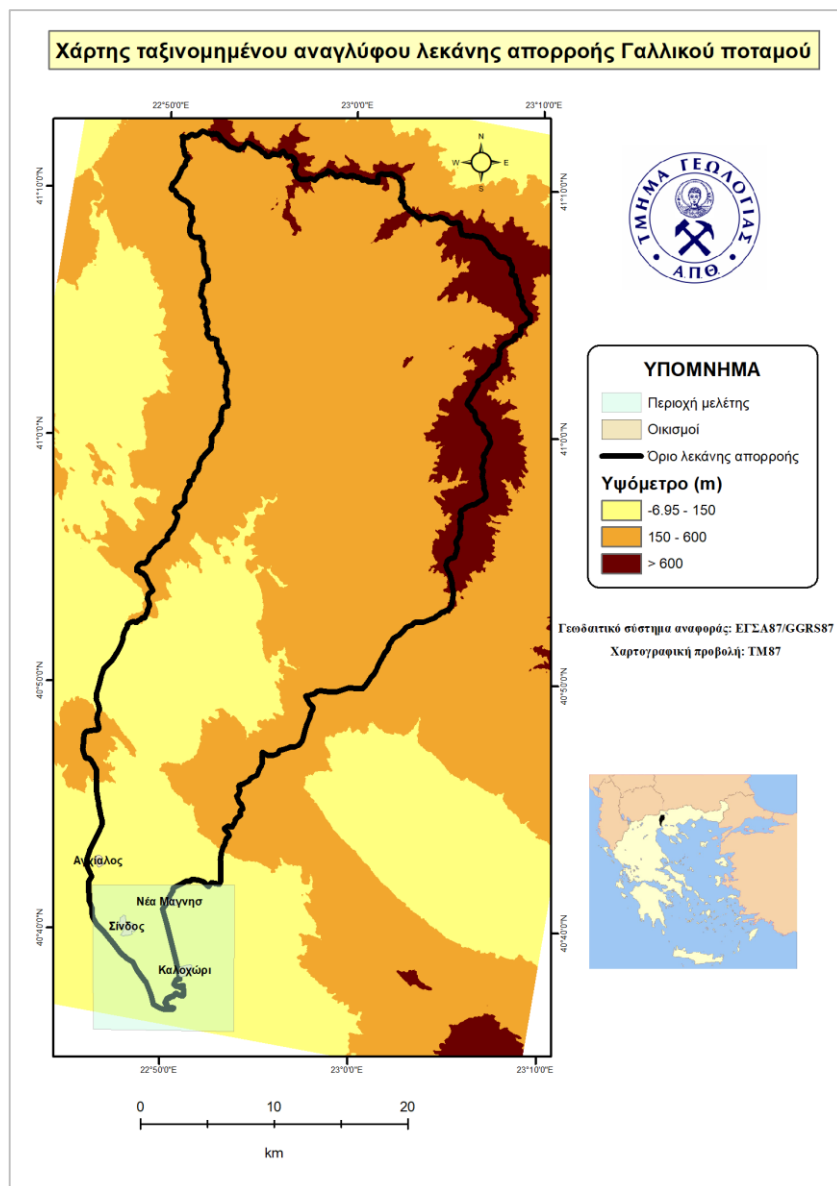


Εικόνα 2.6 Ο χάρτης απεικονίζει το μορφολογικό ανάγλυφο της λεκάνης απορροής.

Το μορφολογικό ανάγλυφο ταξινομήθηκε κατά Dikau (1989) για την ανάγκη υπολογισμού ορισμένων παραμέτρων για την διαδικασία της αναλυτικής ιεραρχίας που θα αναφερθεί παρακάτω. Έτσι παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα τα υψόμετρα της λεκάνης απορροής, ομαδοποιημένα όπως φαίνεται και στον πίνακα (Πιν. 6):

Πίνακας 6. Ταξινόμηση υψομέτρων κατά Dikau (1989), με τροποποίηση.

Υψόμετρο (m)	Χαρακτηρισμός
< 150	Πεδινές περιοχές
150-600	Λοφώδεις περιοχές
> 600	Ημιορεινές και ορεινές περιοχές



Εικόνα 2.7 Χάρτης ταξινομημένου αναγλύφου κατά Dikau (1989).

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο στόμιο της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού και ανήκει στην κατηγορία των πεδινών περιοχών της λεκάνης, διότι τα υψόμετρα δεν ξεπερνούν τα 150 m (εικ. 2.7). Μάλιστα, σε ορισμένα τμήματα εντός της περιοχής μελέτης αναφέρονται αρνητικά υψόμετρα, που οφείλονται σε φαινόμενα καθίζησης όπως θα αναφερθεί σε ξεχωριστή παράγραφο.

2.2.4 Χάρτης κλίσεων αναγλύφου

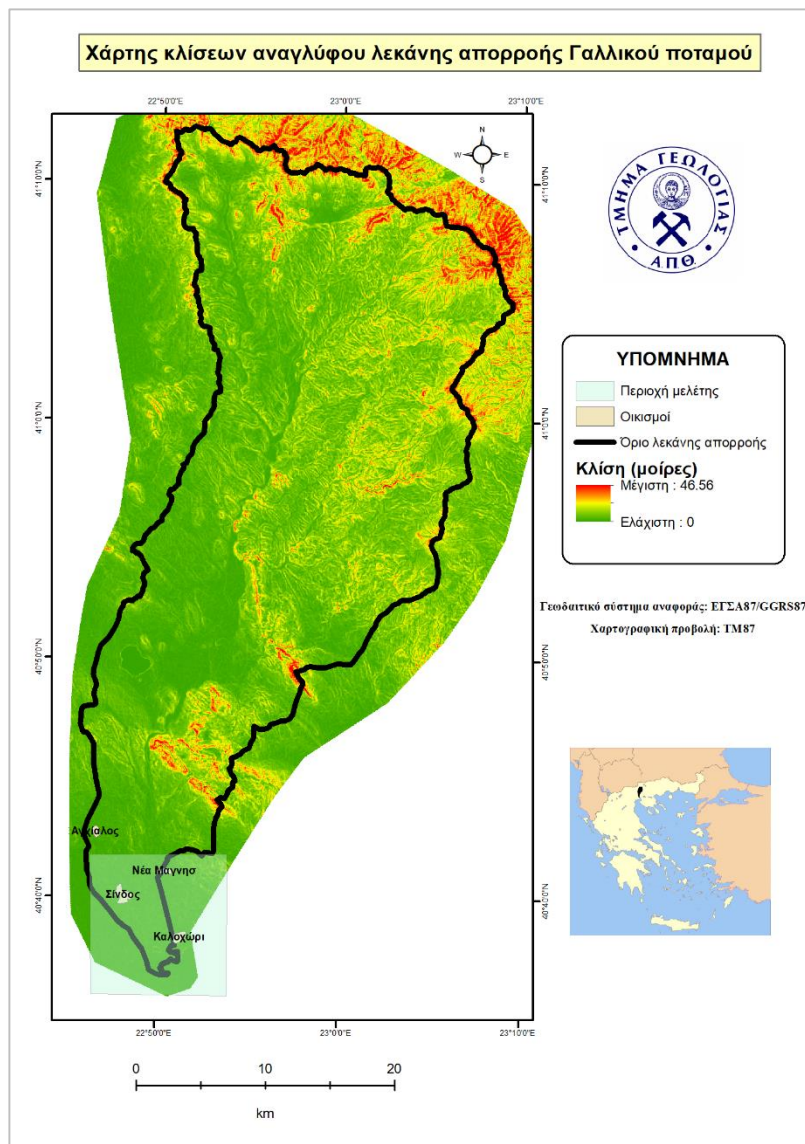
Η κλίση των γεωλογικών σχηματισμών, είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που λήφθηκε υπόψη για την πλημμυρική επιδεκτικότητα στην λεκάνη απορροής του Γαλλικού. Πιο συγκεκριμένα, η κλίση του αναγλύφου είναι αυτή που καθορίζει την ευκολία του νερού να ρέει ή να μένει στάσιμο σε περιοχές που έχουν μεγάλη ή μικρή κλίση αντίστοιχα.

Για την ταξινόμηση των κλίσεων του αναγλύφου μιας περιοχής υιοθετήθηκε η ταξινόμηση του Demek (1972). Η ταξινόμηση αυτή χωρίζει τις τοπογραφικές κλίσεις σε εύρη που σχετίζονται με τις φυσικές διεργασίες και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες σε μία περιοχή. Οι κατηγορίες αυτές είναι (τροποποιημένο από Μουρατίδη, 2010):

- Κλίση από 0° - 2° (0% - 3.5%): Επίπεδο έως ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Σε τέτοιου είδους περιοχές συναντώνται πλημμυρικά πεδία ποταμών, αναβαθμίδες και επιφάνειες επιπέδωσης. Σε αυτές τις κλίσεις ξεκινά η διάβρωση τύπου καλύμματος και δεν δημιουργούνται προβλήματα στις ανθρώπινες δραστηριότητες (οικοδόμηση, μεταφορές, υλοτομία, γεωργία)
- Κλίση από 2° - 5° (3.5% - 8.7%): Ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Οι περιοχές που συναντώνται τέτοιες κλίσεις είναι οι πρόποδες κοιλάδων, περιοχές τελικών μοραίνων και οι πλαγιές θινών. Ο τύπος της διάβρωσης είναι διάβρωση καλύμματος και ξεκινά η αυλακωτή διάβρωση σε αυτό το εύρος. Σε αυτές τις περιοχές υπάρχει μικρή δυσκολία στην μετακίνηση οχημάτων. Η κατοίκηση και η λειτουργία βιομηχανιών είναι δυνατή καθώς και η γεωργία με την χρήση μηχανημάτων.
- Κλίση από 5° - 15° (8,7% - 26.8%). Ισχυρώς κεκλιμένο ανάγλυφο. Οι περιοχές που συναντώνται αυτές οι κλίσεις είναι οι κλιτύς κοιλάδων και και οι τεκτονικές αναβαθμίδες.
- Κλίση από 15° - 35° (26.8% - 70%). Απότομο έως εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο. Συναντάται κυρίως σε κλιτύς κοιλάδων που βρίσκονται σε μεσαία όρη. Επικρατούν έντονες διεργασίες απογύμνωσης του αναγλύφου, ερπυσμοί εδαφών, λασπορροές, έντονη αυλακωτή και γραμμική διάβρωση των σχηματισμών. Οι περιοχές αυτές βρίσκονται σε ορεινά τμήματα των λεκανών, όπως είναι τα δάση και οι βοσκότοποι. Δεν ευνοούνται οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

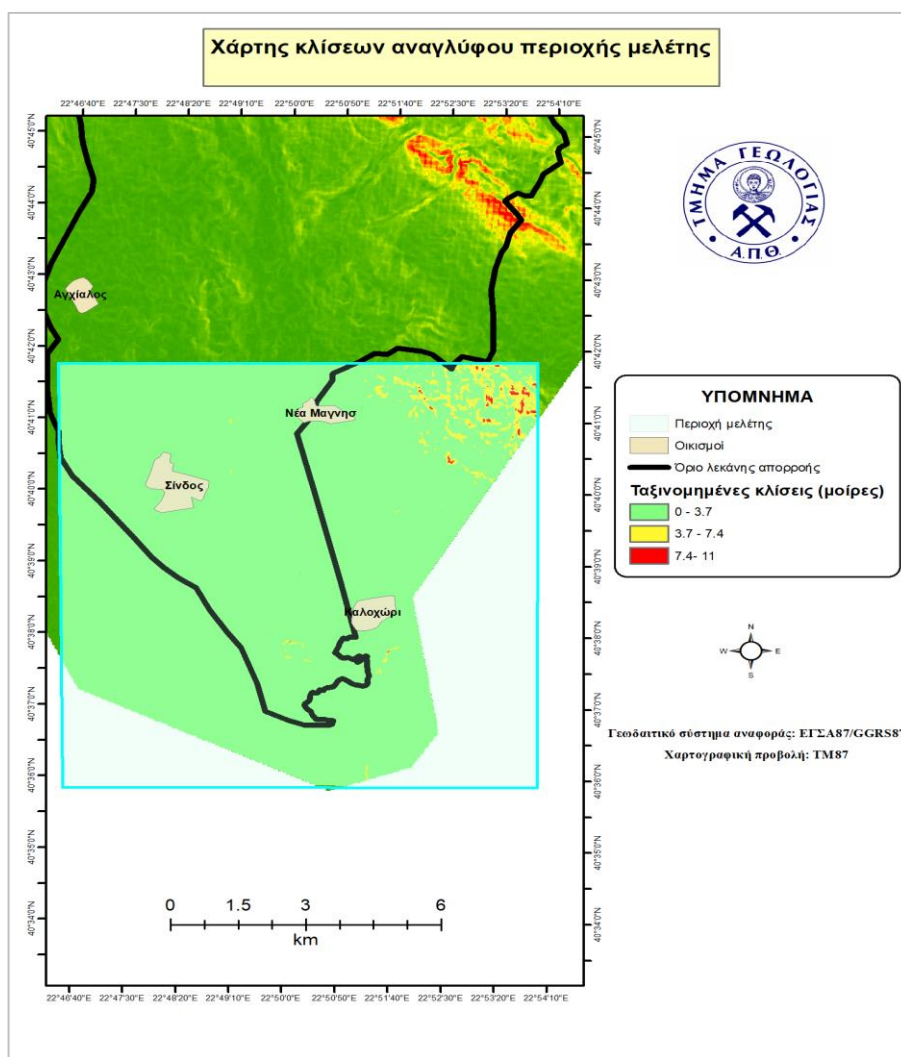
- Κλίση από 35° - 55° (70% - 135%). Απόκρημνο ανάγλυφο. Συναντάται σε περιοχές όπως: απότομες κλιτύες υψηλών ορέων και κλιτύες ασβεστολιθικών βράχων. Στις περιοχές αυτές επικρατούν πολύ λεπτοί εδαφικοί ορίζοντες καθώς είναι πολύ έντονη η διάβρωση των γεωλογικών σχηματισμών.
- Κλίση $> 55^{\circ}$ ($>135\%$). Κάθετο ανάγλυφο. Συναντάται σε περιοχές όπου υπάρχουν κάθετες κλιτύες ασβεστολιθικών και ψαμμιτικών ορέων. Στις περιοχές αυτές απουσιάζει στο εδαφικό στρώμα και είναι ευάλωτες σε καταπτώσεις βράχων.

Στην παρούσα εργασία έγινε ομαδοποίηση των κλίσεων σε τρεις ομάδες για να υλοποιηθεί η πολυκριτηριακή ανάλυση με την μέθοδο της αναλυτικής ιεράρχησης, όπως θα αναφερθεί παρακάτω (Κεφ. 4). Έτσι μέσω της εργαλειοθήκης του ArcGIS (ArcToolbox) δημιουργήθηκε ο χάρτης κλίσεων της λεκάνης απορροής που φαίνεται στην εικόνα 2.8.



Εικόνα 2.8 Ο χάρτης παρουσιάζει τις μορφολογικές κλίσεις της λεκάνης απορροής.

Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης παρουσιάζει επίπεδο εώς ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο καθώς οι κλίσεις κυμαίνονται κυρίως από 0° εώς 3.7° , όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικ. 2.9). Η κλίσεις αυτές αντιστοιχούν στην πρώτη και την δεύτερη κλάση της ταξινόμησης του Demek (1972). Από τον χάρτη της εικόνας 2.9 διακρίνεται ότι οι κλίσεις παρατηρούνται στο στόμιο της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού στο οποίο εμφανίζεται και το πλημμυρικό πεδίο του ποταμού. Ωστόσο, υπάρχουν μεγαλύτερες κλίσεις που συναντώνται στα βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης, οι οποίες δεν συμβάλλουν ουσιαστικά στην πλημμυρική απορροή καθώς βρίσκονται εκτός της λεκάνης απορροής.

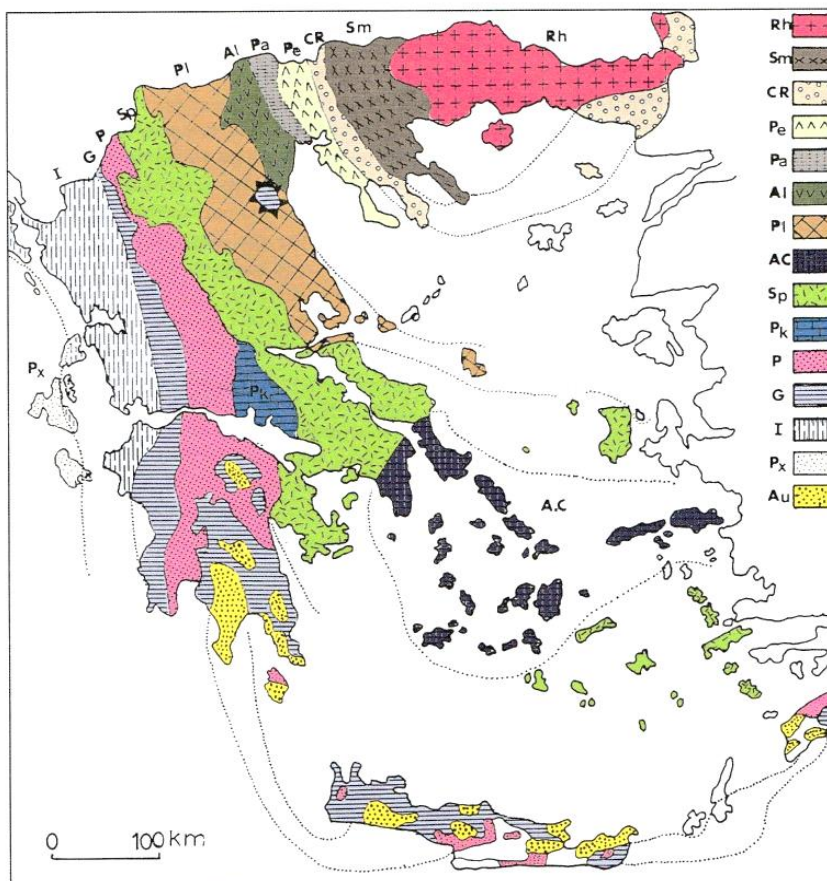


Εικόνα 2.9 Ο χάρτης παρουσιάζει τις κλίσεις που επικρατούν στην περιοχή μελέτης, κατηγοριοποιημένες σε τρεις (3) κλάσεις.

2.3 Γεωλογία

2.3.1 Γεωλογία λεκάνης απορροής

Ο Γαλλικός ποταμός κατέχει μια επιμηκυμένη λεκάνη απορροής, η οποία βρίσκεται εντός τριών γεωτεκτονικών ζωνών του Ελληνικού ορογενούς. Οι ζώνες αυτές από τα ανατολικά προς τα δυτικά είναι η Σερβομακεδονική μάζα, η Περιοδοπική ζώνη και ζώνη Αξιού (εικ 2.10). Πιο συγκεκριμένα οι προηγούμενες ζώνες αποτελούνται από επιμέρους υποζώνες κ.αι ενότητες για την πληρέστερη γεωλογική τους προσέγγιση. Κατά αυτή την διάκριση η ζώνη Αξιού χωρίζεται στις υποζώνες Αλμωπίας, Πάϊκου, Παιονίας, η Περιοδοπική ζώνη στις υποζώνες Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, Μελισσοχωρίου-Χολομώντα, Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη και τέλος η Σερβομακεδονική μάζα χωρίζεται στις υποζώνες του Βερτίσκου και των Κερδυλλίων. Συμπληρώνεται ακόμη ότι η λεκάνη απορροής του Γαλλικού βρίσκεται κατά το μεγαλύτερο μέρος της έκτασής της στην Περιοδοπική ζώνη και την Σερβομακεδονική μάζα και κατά ένα μικρότερο ποσοστό στην ζώνη Αξιού. Όπως προαναφέρθηκε η λεκάνη απορροής του ποταμού Γαλλικού εμπεριέχεται στις ζώνες Αξιού, Περιοδοπικής και στην Σερβομακεδονική μάζα.



Εικόνα 2.10 Απεικόνιση των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελληνικού ορογενούς. Οι συντομογραφίες αναφέρονται στα ονόματα των ζωνών και είναι: Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική μάζα, Pe: υποζώνη Παιονίας, Pa: υποζώνη Πάϊκου, Al: υποζώνη Αλμωπίας, Pl: Πελαγονική ζώνη, AC: Αττικοκυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: ζώνη Παρνασσού-Γκιόνας, P: ζώνη Πίνδου, G: ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: ζώνη Παζών, Au: Ενότητα 'Τάλεα όρη-Πλακωδών Ασβεστόλιθων (Πηγή: Μουντράκης, 2010)

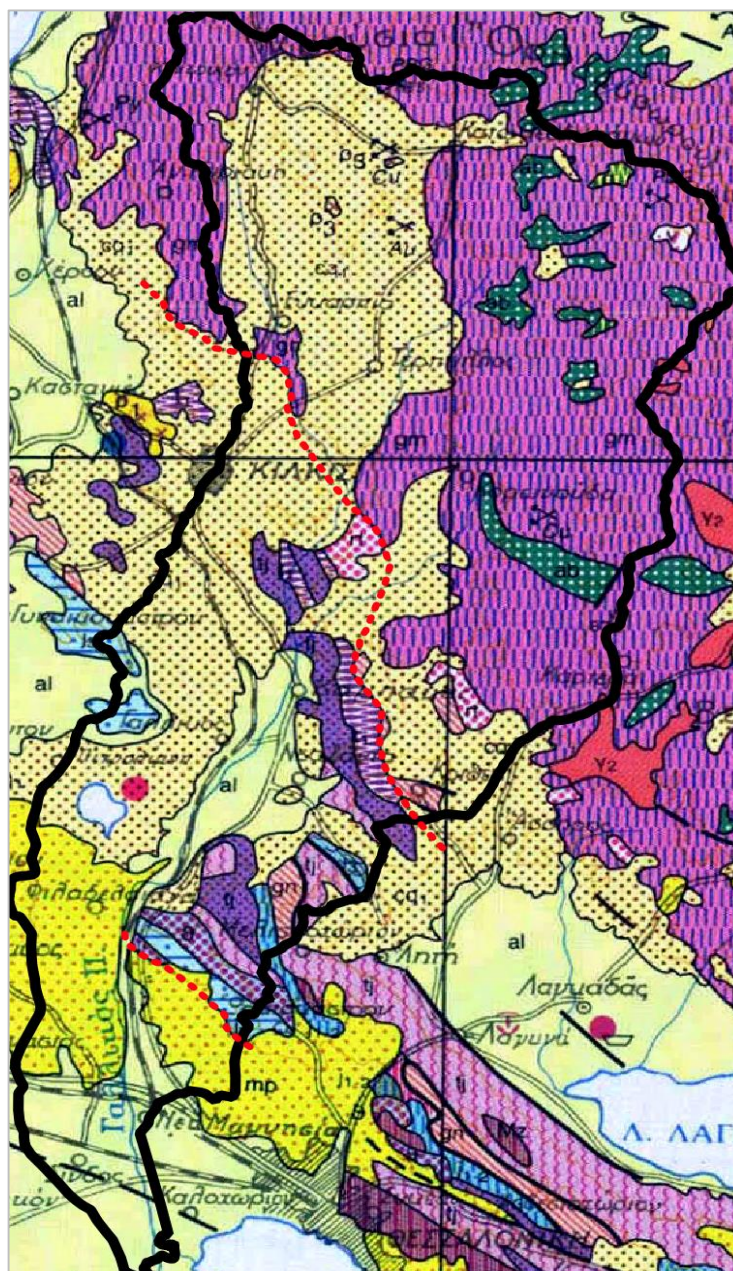
Η Σερβομακεδονική μάζα συναντάται στο βόρειο-βορειοανατολικό κομμάτι της λεκάνης και τα πετρώματα που εμφανίζονται σε αυτή ανήκουν στην ενότητα Βερτίσκου. Τα πετρώματα αποτελούνται από μεταγάββρους-μεταδιαβάσες, (ορθο)αμφιβολίτες (άνωτερα), μιγματιτικοί, οφθαλμοειδείς γνεύσιοι, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων (κατώτερα). Επίσης παρεμβάλλονται πλουτωνίτες, ηφαιστείτες και σερπεντινικά σώματα μέσα στους γνεύσιους (Μουντράκης, 2010). Πιο συγκεκριμένα στην ΒΑ περιοχή της λεκάνης τα πετρώματα που κυριαρχούν είναι οι γνεύσιοι (μαρμαρυγιακοί, μιγματιτικοί) μέσα στους οποίους εμπεριέχονται αμφιβολίτες, σχιστόλιθοι, καθώς επίσης γρανιτικές και πορφυριτικές διεισδύσεις σε μικρή έκταση (Μουντράκης, 2010).

Η Περιοδοπική ζώνη συναντάται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και ο Γαλλικός ρέει σε όλες τις ενότητές της. Επομένως η περιγραφή της κάθε μιας ενότητας καθίσταται αναγκαία. Ξεκινώντας από τα ανατολικά προς τα δυτικά, κυριαρχεί η ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά. Η στρωματογραφία της ενότητας αυτής αποτελείται από μια σειρά κατώτερη μετακλαστικών ιζημάτων, μία ενδιάμεση ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, καθώς και από μια ανώτερη ανθρακική σειρά. Η μετακλαστική σειρά αποτελείται από μεταψαμμίτες, χαλαζιακούς σχιστόλιθους, χαλαζίτες, μετα-κροκαλοπαγή ηλικίας Πέρμιου που είναι γνωστή ως «σχηματισμός Εξαμιλίου». Η ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά αποτελείται από ημιμεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα όπως χαλαζίτες, φυλλίτες, χαλαζιακούς σχιστόλιθους, ασβεστιτικούς σχιστόλιθους και ηφαιστειακά πετρώματα όπως πυροκλαστικά υλικά και εμφανίσεις ρυόλιθων, βασαλτών και ανδεσιτών. Η ηλικία της είναι Πέρμιο – Μέσο Τριαδικό. Η ανθρακική σειρά αποτελείται από νηριτικούς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και ψαμμιτικούς-μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, με ηλικία Μέσου Τριαδικού – Μέσου Ιουρασικού. (Μουντράκης, 2010).

Η ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα αποτελείται από μία κατώτερη ανθρακική σειρά και έναν ανώτερο σχηματισμό φλύσχη. Η ανθρακική σειρά συνίσταται από μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους στα οποία παρεμβάλλονται σχιστολιθικές ενστρώσεις. Η ηλικία του σχηματισμού είναι Μέσου – Άνω Τριαδικού. Ο φλύσχος σχηματισμός αποτελείται από ημιμεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα με μεταψαμμίτες, φυλλίτες που εναλλάσσονται με ασβεστολιθικές, σχιστολιθικές και μαργαϊκές ενστρώσεις. Ο σχηματισμός είναι γνωστός με το όνομα «φλύσχος Σβούλας» και είναι ηλικίας Κάτω – Μέσου Ιουρασικού (Μουντράκης, 2010).

Η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη αποτελείται από μια κατώτερη ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, μία ενδιάμεση ανθρακική και μια ανώτερη σχιστολιθική-κερατολιθική. Η ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά αποτελείται από μια ακολουθία μετακλαστικών και ηφαιστειακών πετρωμάτων όμοια με αυτά της ενότητας Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά. Η ανθρακική σειρά αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα που είναι ανάλογα με αυτά της ενότητας Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά. Ο τελευταίος σχηματισμός συνίσταται από ιζηματογενή πετρώματα βαθείας θάλασσας όπως κερατόλιθοι, αργιλίτες, φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι. Επίσης συναντώνται μεταμορφωμένα πετρώματα όπως πρασινοσχιστόλιθοι και γνεύσιοι της λεγόμενης «Μαγματικής Σειράς Χορτιάτη», καθώς και οφειολιθικά πετρώματα με γάββρους, διορίτες, σερπεντινίτες και δολερίτες (Μουντράκης, 2010).

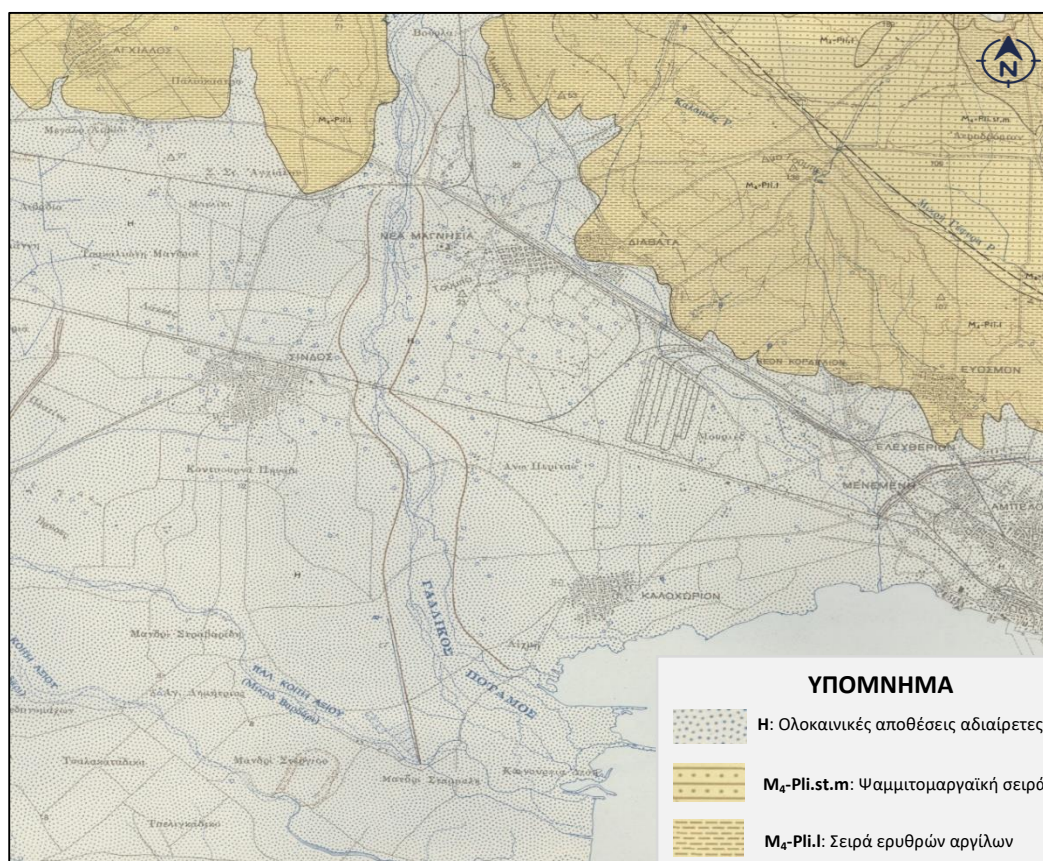
Η υπόλοιπη έκταση της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ανήκει στην ζώνη Αξιού και συγκεκριμένα στην υποζώνη Παιονίας. Η υποζώνη Παιονίας είναι εκείνο το κομμάτι της ζώνης Αξιού που θεωρήθηκε ως η αύλακα του ωκεανού της Τηθύος. Πιο συγκεκριμένα, κυριαρχεί η άποψη ότι η υποζώνη αυτή αντιπροσώπευε τα ιζήματα που είχαν αποθεθεί στην βαθιά θάλασσα, καθώς αποτελείται από οφειόλιθους με τα συνοδά σχιστοκερατολιθικά ιζήματα (Μουντράκης, 2010). Επιπρόσθετα, η περιοχή μελέτης ανήκει σε αυτήν την γεωτεκτονική ζώνη, οπότε και θα περιγραφεί αναλυτικά η γεωλογική της δομή. Οι γεωτεκτονικές ζώνες που περιεγράφηκαν απεικονίζεται στην εικόνα 2.11.



Εικόνα 2.11 Διακρίνεται η γεωλογία της λεκάνης απορροής διαιρεμένη στις γεωτεκτονικές ζώνες που την απαρτίζουν. Σημειώνονται τα όρια (διακεκομμένη γραμμή) των γεωτεκτονικών ζωνών βάσει της διαφοροποίησης της λιθολογίας, όπως περιγράφηκε. Το όριο μεταξύ των ζωνών Αξιού και Περιροδοπικής δεν είναι ορατό και άρα χαρτογραφήσιμο, διότι καλύπτεται από τις Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις της λεκάνης.

2.3.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής μελέτης

Το κύριο χαρακτηριστικό της ζώνης Αξιού είναι οι οφειολιθικές μάζες που βρίσκονται σε εξαπλωμένοι σε όλη τη ζώνη. Πιο συγκεκριμένα η υποζώνη Παιονίας συγκροτείται από ελαφρώς μεταμορφωμένα πετρώματα όπως είναι οι φυλλιτικοί σχιστόλιθοι Ανώτερου Ιουρασικού-Κατώτερου Κρητιδικού και κροκαλοπαγή Ανώτερου Ιουρασικού. Οι σχηματισμοί αυτοί συναντώνται κυρίως βορειοανατολικά της ευρύτερης περιοχής στην περιοχή του Ωραιοκάστρου και της Νεοχωρούδας και δεν υπάρχουν εμφανίσεις τους μέσα στην περιοχή μελέτης. Ωστόσο σήμερα τα πετρώματα αυτά καλύπτονται από μεταλπικά ιζήματα που αποτέθηκαν κατά το Νεογενές και το Τεταρτογενές (εικ. 2.12). Πιο συγκεκριμένα κατά το Ανώτερο Μειόκαινο έως το Ανώτερο Πλειόκαινο αποτέθηκαν δύο ιζηματογενείς σειρές, η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά και η σειρά ερυθρών αργίλων. Η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά αποτελείται από εύθρυπτους έως πολύ συμπαγείς ψαμμίτες, μικροκροκαλοπαγή με διασταυρωμένη στρώση και κατά θέσεις στρώσεις με μάργες. Η σειρά ερυθρών αργίλων αποτελείται από ερυθρές έως κεραμόχρωμες ιλυώδεις αργίλους με μαρμαρυγία και ασβεστιτικά συγκρίματα. Οι δύο αυτοί σχηματισμοί βρίσκονται περιφερειακά της περιοχής μελέτης και δεν αποτελούν τους κυριότερους λιθολογικούς σχηματισμούς. Ο κυριότερος σχηματισμός που αφορά την περιοχή μελέτης είναι οι ολοκαινικές αποθέσεις. Κατά το Ολόκαινο αποτέθηκαν στην περιοχή ποτάμιες προσχώσεις, κυρίως από τον Αξιό και τον Γαλλικό.

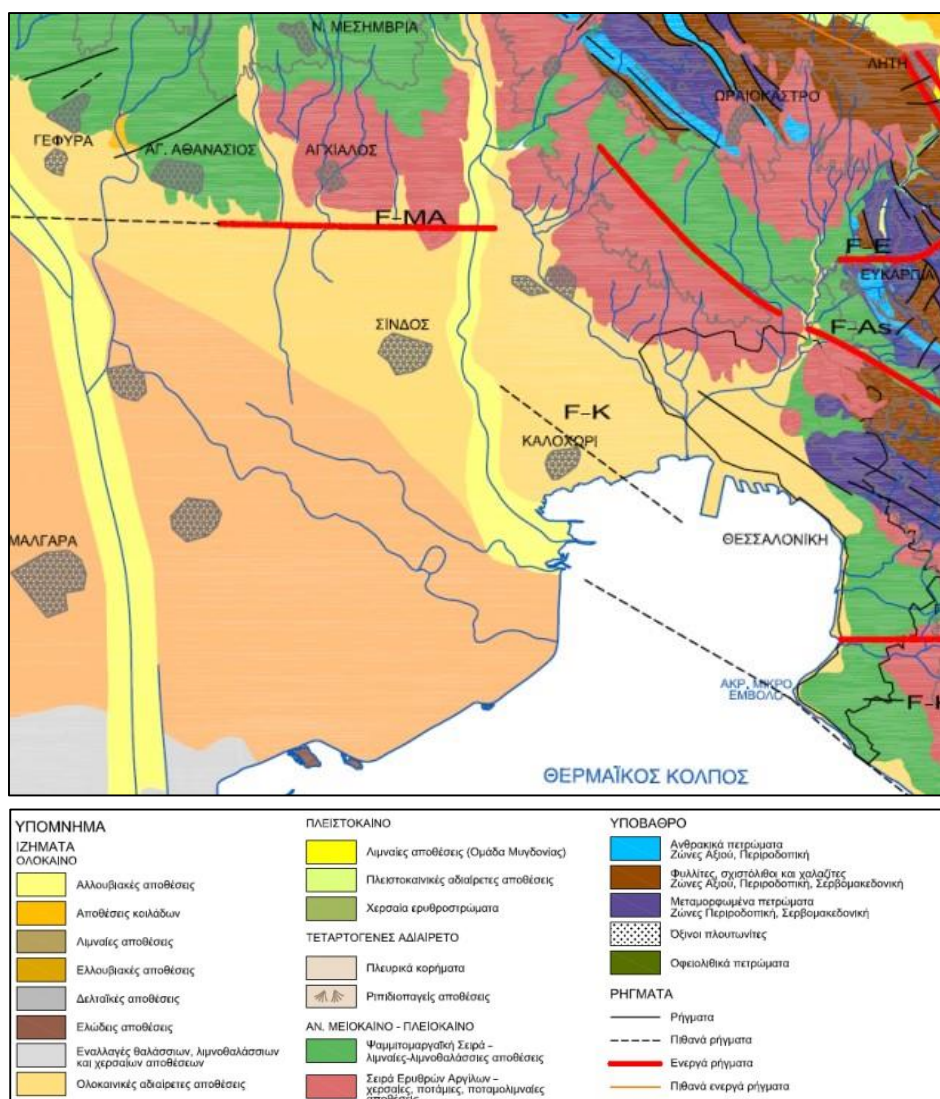


Εικόνα 2.12 Η εικόνα αποτελεί απόκομμα του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε (Φύλλο χάρτη: Θεσσαλονίκη). Φαίνονται οι λιθολογικοί σχηματισμοί που επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Η περιοχή καλύπτεται σχεδόν αποκλειστικά από ολοκαινικές αποθέσεις (Η), οι οποίες αποτελούνται από παράκτιες αποθέσεις, άμμους, προσχώσεις πεδιάδων, ερυθρές αργίλους με ασβεστιτικά συγκρίματα. Στην βάση του σχηματισμού παρατηρούνται κροκαλοπαγή (Πηγή: Φύλλο χάρτη: «Θεσσαλονίκη» (1978), τροποποιημένο)

Οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται από παράκτιες άμμους, προσχώσεις πεδιάδων, ερυθρές αργίλους με ασβεστιτικά συγκρίματα και κροκαλοπαγή (εικ. 2.11)

2.3.2 Τεκτονική

Γενικότερα, οι τεκτονικές διεργασίες που έχουν επηρεάσει την ζώνη Αξιού είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία τεκτονικών λεπίων, λόγω της σύγκρουσης της ηπειρωτικής πλάκας της Απούλιας με την Ευρασιατική κατά το Τριτογενές. Η σύγκρουση είχε ως αποτέλεσμα την εφίπνευση των ελληνίδων ζωνών από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Τα τεκτονικά λείπια στην ζώνη Αξιού έχουν παράταξη ΒΔ-ΝΑ και η εφίπνευση του ενός πάνω στο άλλο έχει κατεύθυνση προς τα δυτικά. Επομένως το προαλπικό υπόβαθρο αποτελείται από συνεχή ανάστροφα ρήγματα που έχουν την προαναφερθείσα διεύθυνση (ΒΔ-ΝΑ) και εντοπίζονται στα πετρώματα του υποβάθρου. Παρόλα αυτά το σύγχρονο σεισμοτεκτονικό καθεστώς επηρεάζει τους Νεογενείς και τους Τεταρτογενείς σχηματισμούς, έχοντας δημιουργήσει νεοτεκτονικά ρήγματα ποικίλων διευθύνσεων, όπως φαίνονται στην εικόνα 2.13.



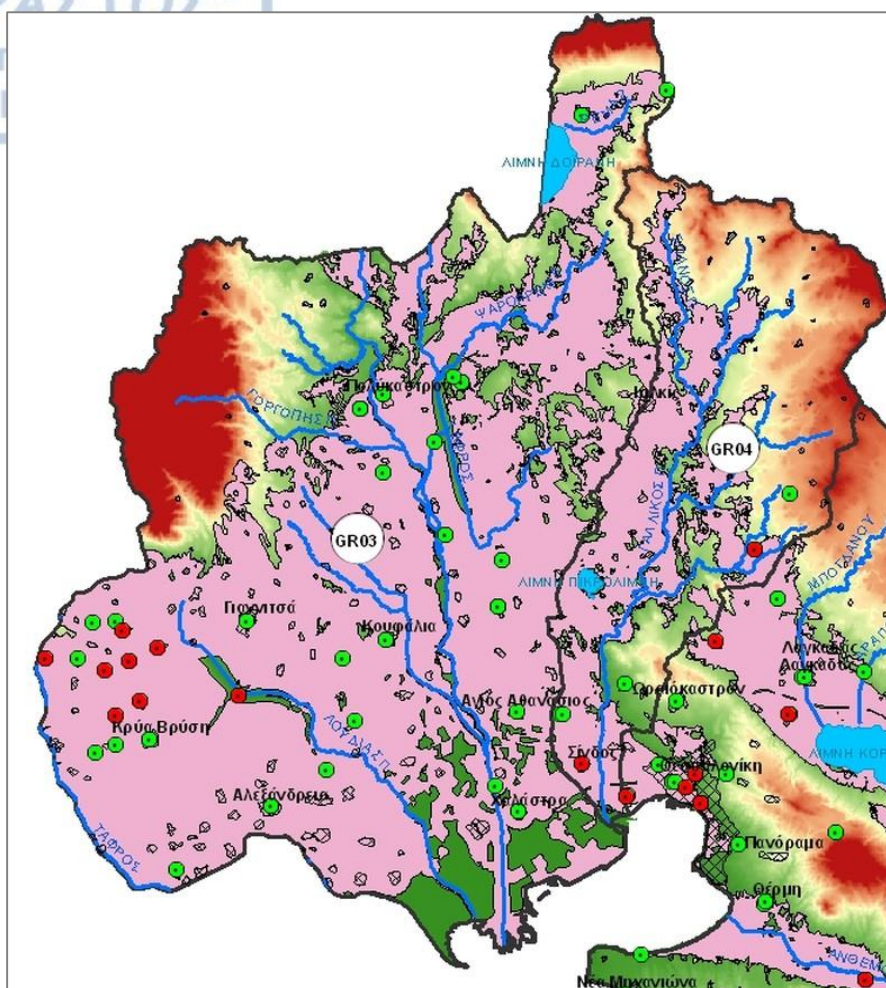
Εικόνα 2.13 Απόσπασμα από αναλυτικό γεωλογικό χάρτη της τεκτονικής της ευρύτερης περιοχής μελέτης συνοδευόμενο από το αντίστοιχο υπόμνημα. (Τροποποιημένο από Ζερβοπούλου 2010).

Έτσι στο Νεογενές ενεργοποιείται το νεοτεκτονικό καθεστώς με τη δημιουργία κανονικών και πλαγκιοκανονικών ρηγμάτων κυρίως στις ιζηματογενείς αποθέσεις. Κατά την περίοδο αυτή, δημιουργούνται εκτεταμένα τεκτονικά βυθίσματα, ένα εκ των οποίων είναι και η λεκάνη του Αξιού (Ζερβοπούλου, 2010). Έτσι, μέσα σε αυτές τις λεκάνες ξεκινά η απόθεση ιζημάτων με αντιπροσωπευτική λιθολογία όμοια με αυτή της σειράς ερυθρών αργίλων και της ψαμμιτομαργαϊκής σειράς. Από την μέσο-Ολόκαινο εποχή ξεκίνησε η πρόσχωση του τεκτονικού βυθίσματος με αλλουβιακές αποθέσεις (κυρίως άμμοι και ιλύες), η οποία οφείλονταν κυρίως στις αποθέσεις των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα και δευτερευόντως στους ποταμούς Γαλλικό και Λουδία, λόγω της σημαντικά μικρότερης παροχής τους (Psimoulis et al, 2007).

2.4 Φαινόμενα πλημμυρών και καθίζησης

Η ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών, πλήττεται συχνά από πλημμύρες καθώς είναι πεδινές περιοχές ευάλωτες στα φαινόμενα αυτά. Παράλληλα με τα πλημμυρικά φαινόμενα παρατηρήθηκαν μεταβολές στην επιφάνεια του εδάφους, η οποία υπόκειται σε καθίζηση για πολλές δεκαετίες. Έτσι η περιοχή απειλείται και από την διείσδυση της θάλασσας στην ξηρά.

Η ευρύτερη περιοχή των δέλτα των ποταμών Αξιού, Γαλλικού, Αλιάκμονα και Λουδία στην Κεντρική Μακεδονία, είναι μια περιοχή που είναι ευάλωτη σε πλημμυρικά φαινόμενα. Η τρωτότητα της περιοχής οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελεί μια αλλουβιακή πεδιάδα που διαρρέεται από τους τέσσερις ποταμούς και ταυτόχρονα αποτελεί πεδίο απόθεσης των ιζημάτων τους. Τέτοιες περιοχές, είναι εκείνες που πληρούν τουλάχιστον μια από τις παρακάτω προϋποθέσεις. Η πρώτη αφορά τις περιοχές που εντοπίζονται σε θέσεις όπου υπάρχουν προσχωματικές αποθέσεις ποταμών και αναφέρεται στις λεκάνες κατάκλυσης των ποταμών. Η δεύτερη αφορά τις θέσεις εκείνες όπου η εδαφική κλίση είναι μικρότερη από 2% (ΥΠΕΝ, 2018). Αυτό απεικονίζεται στην εικόνα (εικ. 2.14) όπου φαίνεται η χωρική κατανομή των καταγεγραμμένων πλημμυρών που έχουν πλήξει τις τελευταίες δεκαετίες την Κεντρική Μακεδονία και ιδιαίτερα την πεδιάδα Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών.



Εικόνα 2.14 Ο χάρτης απεικονίζει τις εύαλστες περιοχές σε πλημμυρικά φαινόμενα (ροζ χρώμα) στην Κεντρική Μακεδονία. Με πράσινους και κόκκινους κύκλους συμβολίζονται τα μη σημαντικά και σημαντικά, αντίστοιχα, πλημμυρικά φαινόμενα που έχουν συμβεί σε οικισμούς (τροποποιημένο από ΥΠΕΝ 2018).

Εντούτοις, όπως έχει προαναφερθεί οι πλημμύρες αποτελούν φυσικά φαινόμενα τα οποία βοηθούν στην αναζωογόνηση του γήινου ανάγλυφου και συμβαίνουν αέναα για αρκετές χιλιάδες έτη. Επομένως για να προστατευθούν οι οικισμοί, οι αγροτικές εκτάσεις και οι βιομηχανικές περιοχές που βρίσκονται κοντά στους ποταμούς Αξιό και Γαλλικό, κατασκευάστηκαν αντιπλημμυρικά αναχώματα. Πιο συγκεκριμένα, για τον Γαλλικό ποταμό επιχειρήθηκε η αντιπλημμυρική θωράκισή του με την κατασκευή δύο πλευρικών αναχωμάτων εκατέρωθεν της κοίτης του, κατά τα έτη 1928-1934 (ΥΠΕΚΑ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2018). Το αποτέλεσμα ήταν η προστασία των οικισμών Σίνδου, Νέας Μαγνησίας και Καλοχωρίου, καθώς επίσης των αγροτικών και των βιομηχανικών περιοχών τους, από πλημμυρικά φαινόμενα. Οι πλημμύρες αποτελούν φυσικό φαινόμενο η δημιουργία των οποίων οφείλεται σε φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες, οι οποίοι περιγράφονται στον Πίνακα 7.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τις ποτάμιες πλημμύρες λόγω πιθανής υπερχειλίσης του Γαλλικού ποταμού, η οποία θα πρέπει να συνοδεύεται και από την υπέρβαση των αναχωμάτων που έχουν κατασκευαστεί για τον εγκιβωτισμό του ποταμού, ώστε να υπάρξει κίνδυνος για τις ανθρώπινες περιουσίες. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία μελετάται η χωρική κατανομή της πλημμυρικής ροής του Γαλλικού ποταμού, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των αντιπλημμυρικών αναχωμάτων (πίν. 8).

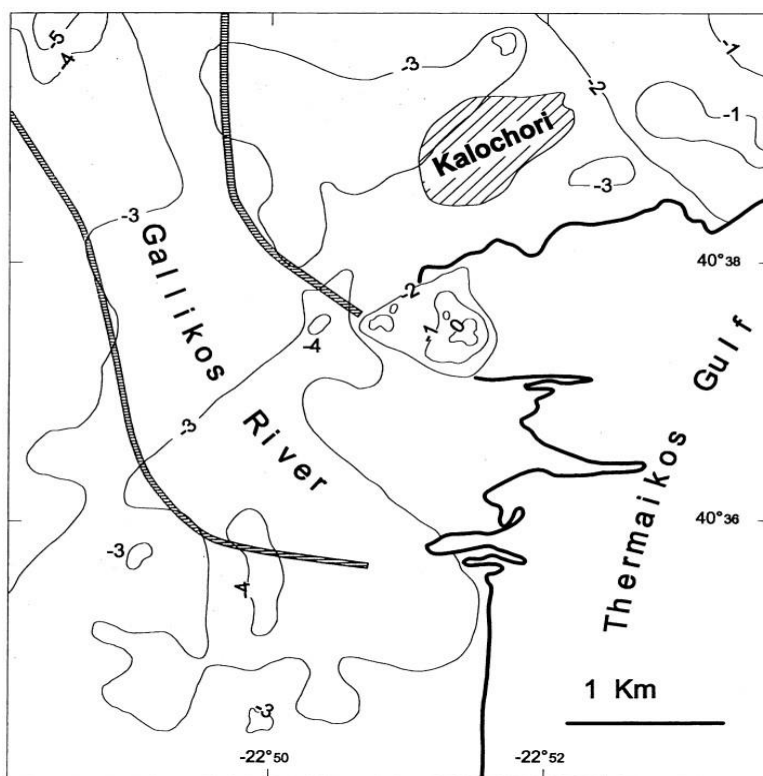
Πίνακας 7. Αναφορά των αιτίων που προκαλούν τις ποτάμιες πλημμύρες (τροποποιημένος από ΥΠΕΝ 2018).

Αίτιο πλημμύρας	Περιγραφή πλημμύρας
Υπερχείλιση ποταμού	Τα νερά προέρχονται από ένα μέρος ενός φυσικού δικτύου αποστράγγισης. Σε αυτό περιλαμβάνονται ποταμοί, ρέματα, ορεινοί χείμαρροι και εφήμερα ρέματα, λίμνες, καθώς και πλημμύρες από το λιώσιμο του χιονιού
Τοπική καταιγίδα	Τα νερά της προέρχονται αποκλειστικά από τη βροχόπτωση, είτε στην περιοχή μελέτης είτε σε περιοχή στα ανάντη της λεκάνης. Εδώ περιλαμβάνονται η απορροή από αγροτικές περιοχές και η περίσσεια υδάτων.
Υπόγεια νερά	Τα νερά της προέρχονται από τα υπόγεια ύδατα, όταν η στάθμη τους ξεπερνά την επιφάνεια του εδάφους και κατακλύζει μια περιοχή.
Ανύψωση στάθμης θάλασσας	Ανύψωση στάθμης θάλασσας
Θραύση-αστοχία τεχνικού έργου	Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι αστοχίες σε τεχνητές υδραυλικές υποδομές όπως συστήματα ύδρευσης και αποχέτευσης και συστήματα επεξεργασίας λυμάτων.

Πίνακας 8. Περιγραφή των μηχανισμών που πραγματοποιούνται οι πλημμύρες (τροποποιημένος από ΥΠΙΕΝ 2018).

Μηχανισμός πλημμύρας	Περιγραφή πλημμύρας
Φυσική υπερχειλίση	Αναφέρεται στην κατάκλυση μιας περιοχής με νερό, λόγω της υπέρβασης του μέγιστου φορτίου που μπορεί να δεχθεί το έδαφος.
Υπέρβαση αναχωμάτων	Το νερό σε αυτή την περίπτωση υπερβαίνει το ύψος των αναχωμάτων με αποτέλεσμα την πλημμύρα.
Αστοχία αναχωμάτων ή υποδομών προστασίας	Αναφέρεται στην αστοχία φυσικών ή τεχνητών αναχωμάτων και άλλων υποδομών προστασίας. Προκαλείται είτε μερική είτε ολική καταστροφή στα αντιπλημμυρικά έργα.
Παραμπόδιση ροής	Ο μηχανισμός αναφέρεται στην φυσική ή τεχνητή παρεμπόδιση μιας κοίτης ή ενός αγωγού. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται ως εμπόδια ορισμένα τεχνικά έργα (έμφραξη αποχέτευσης και υπόγειων οχετών, γέφυρες) και φυσικά εμπόδια όπως οι κατολισθήσεις ή το ποτάμιο φορτίο.
Υπέρβαση στάθμης ταμιευτήρων	Ο μηχανισμός οφείλεται στην άνοδο της στάθμης φυσικών και τεχνητών ταμιευτήρων.

Ένα ακόμη φυσικό φαινόμενο που παρατηρείται στο νοτιοανατολικό κομμάτι της περιοχής μελέτης, γύρω από το Καλοχώρι, είναι η καθίζηση του εδάφους (εικ. 2.15). Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960 και βρέθηκε ότι οφείλονταν τόσο σε φυσικές όσο και σε ανθρωπογενείς αιτίες. Για αυτόν τον λόγο η περιοχή αυτή μελετήθηκε εκτενώς από πολλές επιστημονικές ομάδες για την εκτίμηση του φαινομένου. Οι κυριότερες αιτίες είναι η υπέρμετρη εκμετάλλευση των υπόγειων υδροφορέων (Loupasakis & Rozos, 2017) καθώς και μια συνολική καθίζηση που

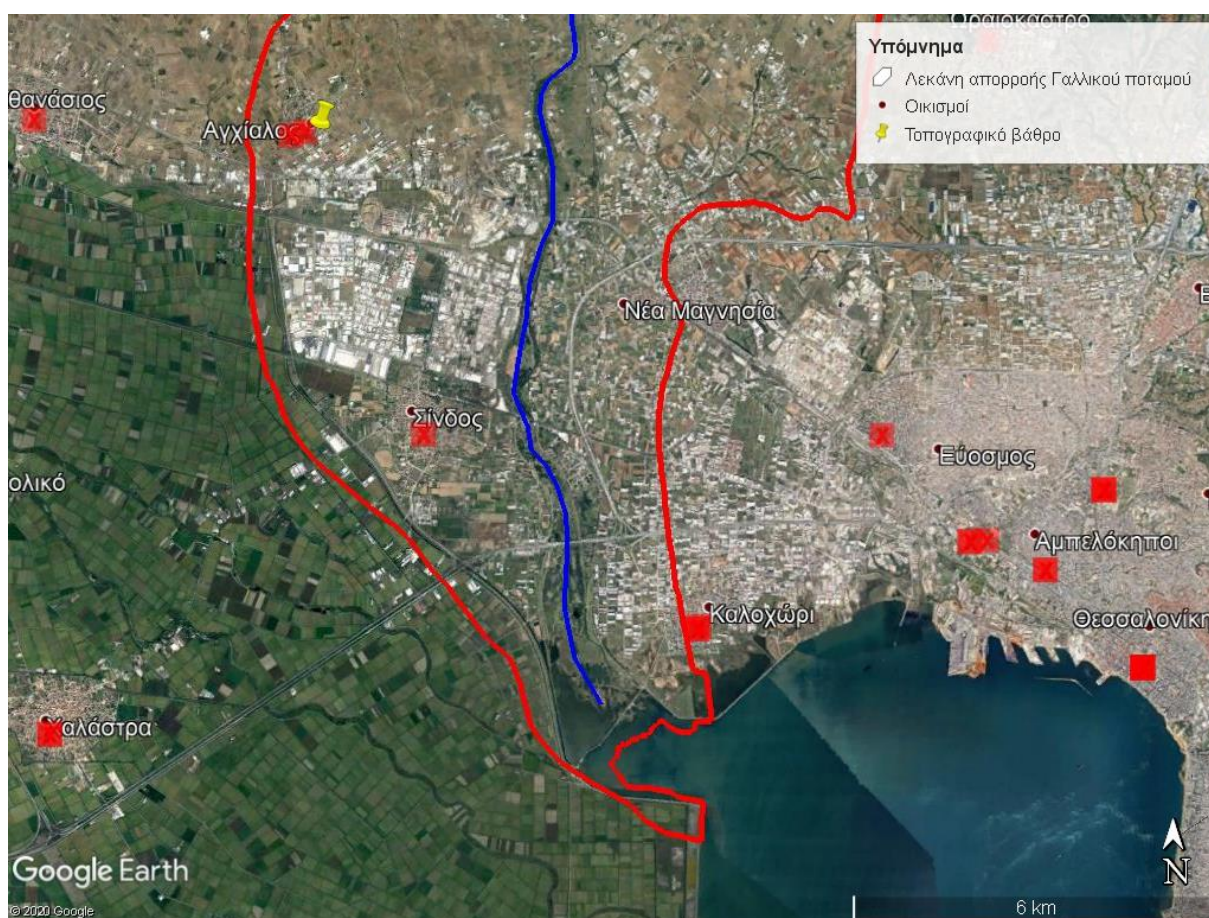


Εικόνα 2.15 Στην εικόνα φαίνονται οι ισοΰψεις για την περίοδο 1955-1980 στο δέλτα του Γαλλικού ποταμού. Τα μεγάλα βάθη (-4 έως -5 m) υποδεικνύουν περιοχές όπου έγινε η εκσκαφή υλικού για την κατασκευή αναχωμάτων, ενώ διακρίνεται το Καλοχώρι που βρίσκεται σε υψόμετρο από -2 έως -3 m κάτω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (Stiros, 2001).

συμβαίνει σε συγκεκριμένες περιοχές στην πεδιάδα Θεσσαλονίκης-Γιαννιτσών (Stiros, 2001). Η εκμετάλλευση των υδροφορέων ήταν αποτέλεσμα της έντονης βιομηχανοποίησης που υπέστη η ευρύτερη περιοχή του Καλοχωρίου την δεκαετία του 1960 και λόγω της ανάγκης της για ύδρευση. Συνεπώς ανορύχθηκε μια πληθώρα παραγωγικών υδρευτικών γεωτρήσεων για την επίτευξη του σκοπού αυτού (Loupasakis & Rozos, 2010). Από την άλλη πλευρά υποστηρίζεται ότι η καθίζηση που παρατηρείται στην περιοχή του Καλοχωρίου είναι αποτέλεσμα μιας περίπλοκης φυσικής διεργασίας. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζεται σε διαφορετικό βαθμό από επιμέρους διεργασίες με σημαντικότερες την συμπαγοποίηση των επιφανειακών ιζημάτων λόγω της υπεράντλησης υπόγειου νερού, υδραυλικά τεχνικά έργα που έχουν γίνει για την αποξήρανση ελών και για τον εγκιβωτισμό ποταμών (Psimoulis et al, 2007), καθώς ακόμη την αποσύνθεση οργανικής ύλης και την συναποθετική παραμόρφωση των ιζημάτων (Stiros, 2001).

2.5 Γεωδαιτικές τεχνικές

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει την χρήση δορυφορικών μετρήσεων GPS σε συγκεκριμένο τοπογραφικό βάθρο, με σκοπό την σύγκριση και την συμβολή τους στην παρακολούθηση της καθίζησης στην ευρύτερη περιοχή της Σίνδου και του Καλοχωρίου. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε τοπογραφικό βάθρο το οποίο βρίσκεται στην είσοδο του οικισμού Αγχιάλος, που βρίσκεται περίπου 10 km βορειοδυτικά του δέλτα Γαλλικού. Οι συντεταγμένες καθώς και το υψόμετρό του αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 9) όπως επίσης και στην δορυφορική εικόνα του οικισμού (εικ. 2.16). Η τοποθεσία της μέτρησης επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο βάθρο θεωρώντας το ως ένα σταθερό σημείο εκτός της προαναφερθείσας περιοχής, που υφίσταται φαινόμενα καθίζησης.



Εικόνα 2.16 Απεικονίζεται στον παραπάνω χάρτη η θέση του τοπογραφικού βάθρου, τα όρια της λεκάνης απορροής (κόκκινη γραμμή) και τις περιπτώσεις των σημαντικότερων πλημμύρων στην ευρύτερη περιοχή του Γαλλικού (κόκκινα τετράγωνα).

Πίνακας 9. Σε αυτόν τον πίνακα καταγράφονται τα επεξεργασμένα αποτελέσματα από την υπαίθρια μέτρηση.

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ GPS	Τιμή
Συντεταγμένες τοπογραφικού βάθρου	φ: 40.71204247°
	λ: 22.78263323°
Υψόμετρο (ορθομετρικό)	H: 17.290 m

Ως όργανο μέτρησης χρησιμοποιήθηκαν δύο φορητοί δέκτες GPS της σειράς “Hiper” της εταιρίας Topcon. Το σύστημα των δύο αυτών δεκτών είτε για στατικό είτε για κινηματικό σχετικό προσδιορισμό της θέσης, καθώς επίσης και με επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων εκ των υστέρων (Αστάρας Θ., Οικονομίδης Δ., Μουρατίδης Α., 2011). Στην συγκεκριμένη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε το τοπογραφικό βάθρο ώστε να γίνει μια στατική μέτρηση και ύστερα με κατάλληλη επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε από τον επιβλέποντα της διπλωματικής, κ. Αντώνιο Μουρατίδη, αποκτήθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα (Πιν. 9). Οι συγκεκριμένοι δέκτες επιτυγχάνουν μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας και είναι της τάξης των 3mm + 1.5 ppm για στατική μέτρηση που υφίσταται περαιτέρω επεξεργασία.

Ο σκοπός της μέτρησης είναι διττός, καθώς η δορυφορική μέτρηση αξιοποιήθηκε για την μέτρηση πιθανής καθίζησης στην περιοχή της Αγχιάλου και άρα πιθανή συσχέτιση της περιοχής αυτής με τυχόν πλημμυρικά γεγονότα που δύναται να συμβούν στην περιοχή. Η Αγχίαλος ανήκει στην λεκάνη απορροής του Γαλλικού και έχουν προκληθεί δύο ιστορικές πλημμύρες σε αυτή όπως φαίνεται στην εικόνα 2.16.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

3.1 Χαρτογραφικά δεδομένα

Η συγγραφή της παρούσας εργασίας έγινε με την χρήση χαρτογραφικών δεδομένων και ορισμένων λογισμικών. Πιο συγκεκριμένα, τα χαρτογραφικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν:

- Τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50000, από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.). Τα φύλλα χάρτη που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:



Θεσσαλονίκη, Κερκίνη, Κιλκίς, Λαχανάς και Χερσόν.
(<https://elearning.auth.gr>)

- Γεωλογικούς χάρτες κλίμακας 1:50000, από την Ελληνική Αρχή Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (Ε.Α.Γ.Μ.Ε.) ή πρώην Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.). Τα φύλλα χάρτη που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής: Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Λαχανάς και Χερσόν.
(<https://elearning.auth.gr>)
- Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:200000.
- Υδρολιθολογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:1000000, μαζί με τα κατάλληλα αρχεία shapefile που απεικονίζουν ψηφιοποιημένους τους λιθολογικούς σχηματισμούς.
- Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (Digital Elevation Model ή DEM), το οποίο αποκτήθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (European Environment Agency) και είναι γνωστό ως EU-DEM. Η χωρική του ανάλυση είναι 25m x 25m. Το αρχείο που χρησιμοποιήθηκε είναι το **EUD_CP-DEMS_5500025000-AA.tif** και ανακτήθηκε από την παρακάτω ιστοσελίδα:
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem>
- Αρχεία shapefile (.shp) για τους χάρτες υψομέτρου και κλίσεων, που ήταν επεξεργασμένοι με την εντολή Reclassify.
- Στοιχεία για την κάλυψη γης της ευρύτερης περιοχής μελέτης από το πρόγραμμα Corine Land Cover 2012 (CLC2012)
- Ορθοφωτογραφίες της εταιρίας ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ
- Ελληνική και Διεθνής βιβλιογραφία, που αναφέρεται στο τέλος της παρούσας εργασίας.

3.2 Λογισμικά

Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη του σκοπού της εργασίας είναι τα εξής:

- QGIS (εκδόσεις 3.2.3 και 2.18.28)
- ArcGIS (έκδοση 10.5) με τις επιμέρους λειτουργίες και επεκτάσεις όπως είναι το ArcMap και το ArcCatalog.

- Google Earth, για την καλύτερη απεικόνιση αρχείων με συγκεκριμένη επέκταση (.kml & .kmz) από τις διαδικτυακές σελίδες που αξιοποιήθηκαν και από την επεξεργασία που έγινε στο λογισμικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ

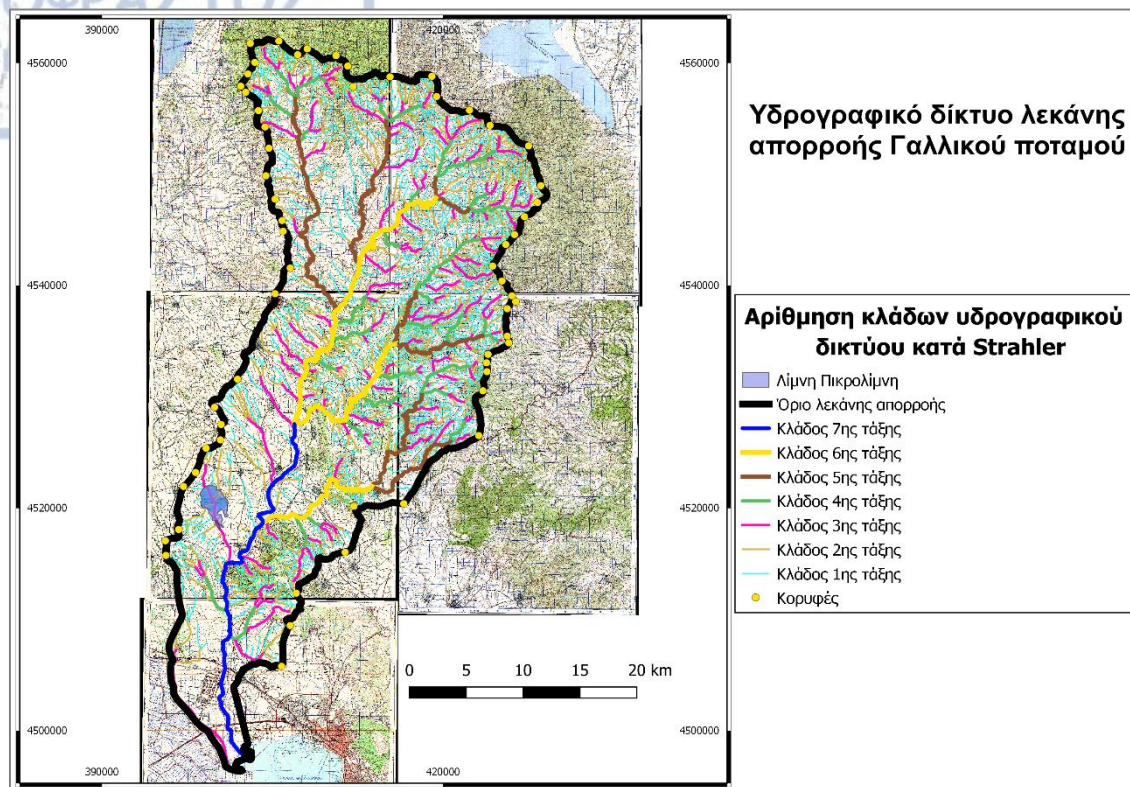
4.1 Περιγραφή βημάτων

Η εκτέλεση της παρούσας πτυχιακής εργασίας ολοκληρώθηκε με την χρήση και των δύο διαφορετικών λογισμικών Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών για διαφορετικούς σκοπούς, τα οποία είναι: QGIS και ArcGIS.

Η διπλωματική εργασία ξεκίνησε με την χρήση του QGIS. Αρχικά συγκεντρώθηκαν οι τοπογραφικοί και γεωλογικοί χάρτες που προαναφέρθηκαν στην παράγραφο 4 και πραγματοποιήθηκε η ψηφιοποίηση του καθενός από αυτούς στο Ελληνικό Προβολικό Σύστημα Συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 (EPSG: 2100). Η διαδικασία έγινε τυποποιημένα με την μέθοδο των επίγειων σημείων ελέγχου (Ground Control Points). Συνολικά ψηφιοποιήθηκαν πέντε (5) γεωλογικοί και πέντε (5) τοπογραφικοί χάρτες, τα ονόματα των οποίων αναφέρονται στο κεφάλαιο των δεδομένων (Κεφ. 3).

Ακολούθησε η αναλυτική ψηφιοποίηση όλων των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου του Γαλλικού ποταμού από τα κατάντη προς τα ανάντη της λεκάνης απορροής. Αυτό έγινε με σκοπό να βρεθούν τα όρια της λεκάνης και άρα ο σχεδιασμός της υδροκρίτη. Έπειτα ακολούθησε η ψηφιοποίηση του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού. Για τον στόχο αυτό, δημιουργήθηκαν τα απαραίτητα αρχεία shapefile (.shp) στα οποία αποθηκεύτηκαν τα δεδομένα από την ψηφιοποίηση πολυγώνων (λεκάνη απορροής), γραμμών (ρέματα) και σημείων (κορυφές βουνών), όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικ 4.1).

Έπειτα, η ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας έγινε με το λογισμικό ArcGIS. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το κατάλληλο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model ή DEM) που είναι στην παρούσα εργασία το EUDEM. Στην συνέχεια, ανακτήθηκε ο υδρολιθολογικός χάρτης της Ελλάδας μαζί με τα κατάλληλα shapefile που είχαν ψηφιοποιημένους τους λιθολογικούς σχηματισμούς και πληροφορίες όπως η έκταση, η κατηγοριοποιημένη ονομασία του κάθε σχηματισμού, η υδροπερατότητά του κ.α.



Εικόνα 4.1 Ο χάρτης απεικονίζει τις ψηφιοποιήσεις στην λεκάνη απορροής με υπόβαθρο τους χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), όπως επεξεργάστηκαν στο λογισμικό QGIS.

Μέσω του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου, παρήχθησαν ο χάρτης υψομέτρων της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ποταμού και ο χάρτης κλίσεων της λεκάνης. Στην συνέχεια, ομαδοποιήθηκαν τα υψόμετρα του χάρτη σε τρεις ομάδες κατά Dikau (1989) (Μουρατίδης, 2010), οι οποίες είναι από 0-150 m, 150-600 m, και άνω των 600 m. Οι ομάδες αυτές χαρακτηρίζουν τα πεδινά, τα λοφώδη και τα ημιορεινά-ορεινά υψόμετρα αντίστοιχα. Έπειτα ακολούθησε η ταξινόμηση (reclassify) των υψομέτρων με σκοπό να τους δοθούν οι τιμές 3, 2 και 1 αντίστοιχα στα παραπάνω ομαδοποιημένα υψόμετρα. Οι τιμές αυτές εκφράζουν, κωδικοποιημένα, την πλημμυρική επιδεκτικότητα περιοχών στην λεκάνη απορροή, με βάση το υψόμετρο. Ομοίως, ομαδοποιήθηκαν σε τρεις ομάδες οι κλίσεις του εδάφους στην λεκάνη απορροής, με βάση την ταξινόμηση κατά Demek (1972) (Μουρατίδης, 2010). Πιο συγκεκριμένα, διαιρέθηκαν οι εξής ομάδες: από 0° - 2° , που αντιστοιχούν σε επίπεδα-ελαφρά κεκλιμένα εδάφη, από 2° - 5° , που αντιστοιχούν σε ελαφρώς κεκλιμένο ανάγλυφο και $>5^{\circ}$ που αντιστοιχούν σε ισχυρά κεκλιμένα, απότομα και απόκρημνα εδάφη. Έπειτα, ακολούθησε και για αυτόν τον παράγοντα η ταξινόμηση (reclassify) των κλίσεων έτσι ώστε να τους δοθούν οι τιμές 3, 2 και 1 αντίστοιχα για τις παραπάνω ομάδες. Παρομοίως, οι τιμές αυτές εκφράζουν την πλημμυρική επιδεκτικότητα περιοχών της λεκάνης απορροής, με βάση τις κλίσεις του αναγλύφου. Τέλος, με παρόμοιο τρόπο, ομαδοποιήθηκαν οι λιθολογικοί σχηματισμοί με βάση τη υδροπερατότητά τους. Οι κατηγορίες που επιλέχθηκαν είναι οι εξής: αδιαπέρατοι, ημιπερατοί και περατοί. Ακολούθησε και σε αυτόν τον χάρτη ταξινόμηση (reclassify) με σκοπό να δοθούν οι τιμές 3, 2 και 1 που αντιστοιχούν στις παραπάνω κατηγορίες.

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός βαρών για τους ταξινομημένους παράγοντες (χάρτες υψομέτρου, κλίσεων, υδρολιθολογικός) με την διαδικασία της Αναλυτικής Ιεραρχίας, όπως περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο.

4.2 Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας (Analytical Hierarchy Process/AHP) είναι μια γεωστατιστική μέθοδος πολυκριτηριακής ανάλυσης δεδομένων που αξιοποιείται από διάφορα επιστημονικά πεδία και βέβαια χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των επιπτώσεων φυσικών καταστροφών. Η μέθοδος εισήχθη από τον Saaty (1980) και βασίζεται στην απόδοση βαρών στους παράγοντες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία. Τα βάρη είναι συντελεστές που δίνονται στους παράγοντες με βάση την σημαντικότητά τους και η μέθοδος επίλυσης που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος ιδιοτιμής-ιδιοδιανύσματος. Η σειρά σημαντικότητας των παραγόντων φαίνεται στους πίνακες 10 & 11. Σύμφωνα με τους Xiao et al. (2018) και Domakinis (2020) οι τοπογραφικοί-γεωμορφολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την πλημμυρική επιδεκτικότητα, επικρατούν σε λεκάνες απορροής έναντι των υδρολογικών (λιθολογία, χρήσεις γης κτλ) και μετεωρολογικών (κατακρημνίσματα) παραγόντων. Ειδικότερα ο παράγοντας του υψομέτρου σε λεκάνες απορροής με έκταση περίπου όσο του Γαλλικού, επικρατεί του παράγοντα των κλίσεων (Domakinis, 2020). Έτσι, περιοχές με χαμηλά υψόμετρα είναι πιο ευάλωτες σε πλημμύρες συγκριτικά με περιοχές σε υψηλά υψόμετρα. Παρομοίως, περιοχές με απότομες κλίσεις ευνοούν την γρήγορη ροή του νερού, ενώ περιοχές με ήπιες κλίσεις ευνοούν την συγκέντρωση νερού κι άρα την εμφάνιση πλημμύρας (Xiao Y., et al. 2018).

Για να επιτευχθεί η διαδικασία, προηγήθηκε η ταξινόμηση των αντίστοιχων επιπέδων στο ArcGIS, όπως προαναφέρθηκε, σε τρεις τάξεις ανάλογα με την επιδεκτικότητα του κάθε παράγοντα σε πλημμύρα. Έτσι οι τάξεις με τον αριθμό τρία (3), αναφέρονται στις περιοχές που έχουν υψηλή πλημμυρική επιδεκτικότητα, αυτές με τον αριθμό δύο (2) έχουν μέτρια, ενώ αυτές με τον αριθμό ένα (1) έχουν χαμηλή επιδεκτικότητα (Domakinis C., 2020). Έπειτα, οι παράγοντες τοποθετούνται σε πίνακα με την σειρά προτεραιότητάς τους έτσι ώστε να δημιουργούν ζεύγη, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 10. Αναγράφονται οι παράγοντες τοποθετημένοι ανά ζεύγη.

	Υψόμετρο	Κλίση	Λιθολογία
Υψόμετρο	1	2	3
Κλίση	1/2	1	2
Λιθολογία	1/3	1/2	1
ΣΥΝΟΛΟ	1.833	3.5	6

Εν συνεχεία, δίνονται τιμές στα ζεύγη παραγόντων από το 1 έως το 3 ανάλογα με την σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου παράγοντα. Έτσι η τιμή 1 δείχνει ότι ένας παράγοντας είναι εξίσου σημαντικός με έναν άλλον, η τιμή 2 δείχνει ότι είναι πιο σημαντικός και η τιμή 3 ακόμη πιο σημαντικός από έναν άλλο παράγοντα (Παππά Μ., 2012). Επομένως προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα κελιά στην διαγώνιο θα έχουν την τιμή 1, καθώς συγκρίνονται οι ίδιοι παράγοντες. Επίσης ο πίνακας κάτω από την διαγώνιο παίρνει κλασματικές τιμές, που είναι αντίστροφες από τις αντίστοιχες που είναι επάνω από τη διαγώνιο.

Το επόμενο βήμα είναι η άθροιση των αριθμών κατά στήλη και η διαίρεση του κάθε κελιού με το αντίστοιχο σύνολο όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πιν. 11). Τα αποτελέσματα των διαιρέσεων προστίθενται κατά γραμμή και διαιρούνται δια το πλήθος έτσι ώστε να βρεθεί ο αριθμητικός μέσος. Ο μέσος όρος αυτών είναι τα ζητούμενα βάρη w_1 , w_2 και w_3 των παραγόντων του πίνακα 12. Ο έλεγχος της συνοχής των σταθμισμένων βαρών υλοποιήθηκε με τη βοήθεια της αναλογίας συνοχής (Consistency Ratio) CR, η οποία ισούται με τον λόγο του δείκτη συνοχής (Consistency Index) CI προς τον δείκτη τυχαιότητας (Random Index) RI:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Ο δείκτης συνοχής CI υπολογίζεται από τον τύπο:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

όπου $\lambda_{\max}$ είναι η μέγιστη ιδιοτιμή (maximum eigenvalue) του πίνακα σύγκρισης (πιν. 11) και n είναι το πλήθος των παραγόντων. Το $\lambda_{\max}$ υπολογίζεται ως $\lambda_{\max} = 1.833 \cdot 0.539 + 0.297 \cdot 3.5 + 0.164 \cdot 6 = 3.011$ και το πλήθος των παραγόντων είναι $n=3$. Επομένως ο δείκτης συνοχής είναι $CI=0,006$. Ο δείκτης τυχαιότητας RI υπολογίζεται με βάση τον πίνακα (Saaty, 1980):

Πίνακας 11. Ο πίνακας δίνει τιμές του δείκτη τυχαιότητας RI με βάση το πλήθος παραγόντων n (Πηγή: Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Από τον πίνακα 11, συμπεραίνεται ότι ο δείκτης τυχαιότητας για $n=3$ είναι $RI= 0.58$. Συνεπώς, η αναλογία συνοχής παίρνει την τιμή $CR= 0.0103$. Σύμφωνα με τον Saaty (1980), εάν ισχύει $CR < 0.1$ τότε συνάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχει συνοχή μεταξύ των βαρών που έχουν υπολογιστεί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, επειδή η αναλογία συνοχής είναι $CR=0.0103 < 0.1$, ισχύει ότι τα βάρη έχουν συνοχή.

Πίνακας 12. Ο πίνακας υποδεικνύει τον τρόπο υπολογισμού των βαρών.

	Υψόμετρο	Κλίση	Λιθολογία	M.O.
Υψόμετρο	$1/1.833 = 0.545554$	$2/3.5 = 0.571429$	$3/6 = 0.5$	0.539 (w_1)
Κλίση	$(1/2)/1.,833 = 0.272777$	$1/3.5 = 0.285714$	$2/6 = 0.333333$	0.297 (w_2)
Λιθολογία	$(1/3)/1.833 = 0.181851$	$(1/2)/3.5 = 0.142857$	$1/6 = 0.166667$	0.164 (w_3)

Η Διαδικασία της Αναλυτικής Ιεραρχίας ολοκληρώνεται με τον υπολογισμό της επιδεκτικότητας του κάθε εικονοστοιχείου με βάση τον τύπο κατά Παππά Μ., 2012:

$$M = x_1 * w_1 + x_2 * w_2 + x_3 * w_3$$

όπου x_1, x_2, x_3 : οι τιμές 1-3 για το κάθε επίπεδο και w_1, w_2, w_3 : τα υπολογισμένα βάρη για τον κάθε παράγοντα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο τύπος πήρε την μορφή

$$M = (w_1 * gal_eudem_rc) + (w_2 * gal_slp_rc) + w_3 * (Ydrolith_sal_Clip1_PolygonTo5)$$

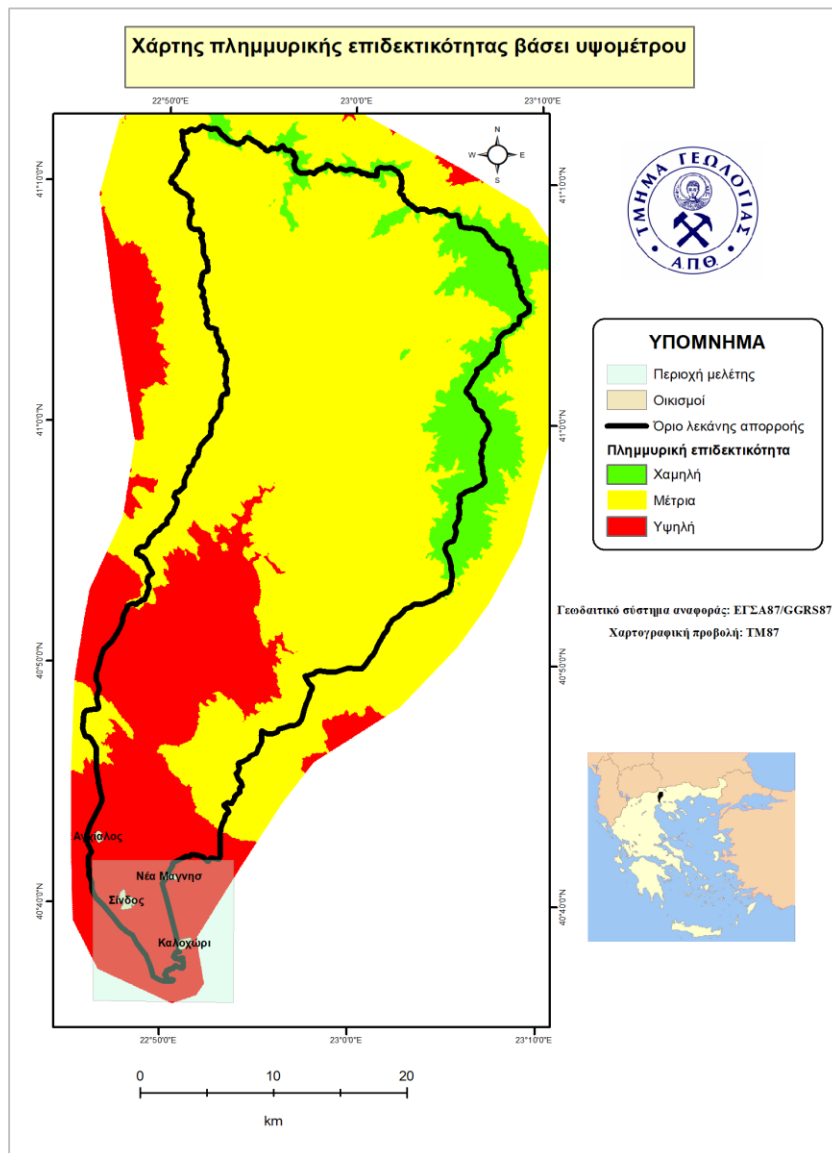
όπου gal_eudem_rc: το ταξινομημένο επίπεδο με τα υψόμετρα, gal_slp_rc: το ταξινομημένο επίπεδο με τις κλίσεις και Ydrolith_sal_Clip1_PolygonTo5: το ταξινομημένο επίπεδο με τους υδρολιθολογικούς σχηματισμούς.

Ο υπολογισμός του παραπάνω τύπου γίνεται με την βοήθεια του εργαλείου Raster Calculator, που βρίσκεται στην εργαλειοθήκη (ArcToolbox). Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας είναι ένας θεματικός χάρτης που θα απεικονίζει την χωρική κατανομή της πλημμυρικής επιδεκτικότητας στην λεκάνη απορροής του Γαλλικού (υψηλή, μέτρια, χαμηλή) όπως θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Υψομετρικός χάρτης

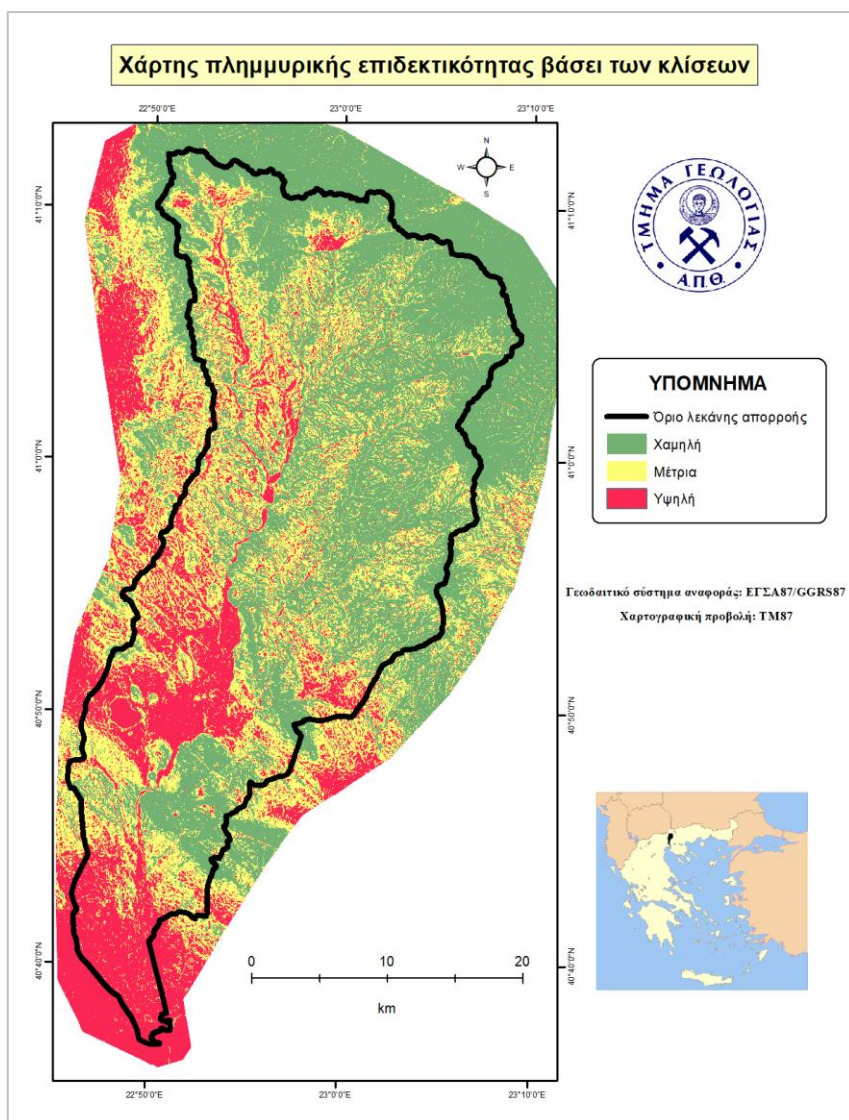
Ο υψομετρικός χάρτης της λεκάνης απορροής ταξινομήθηκε στις προαναφερθείσες τρεις προαναφερθείσες (3) κατηγορίες πλημμυρικής επιδεκτικότητας (Εικ. 5.1).



Εικόνα 5.1 Κατηγοριοποίηση υψομέτρων ανάλογα με την πλημμυρική επιδεκτικότητα.

5.2 Χάρτης κλίσεων

Ο χάρτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας των κλίσεων αναγλύφου είναι πολύ σημαντικό χαρτογραφικό αποτέλεσμα. Έπειτα προέκυψε μετά από την ταξινόμηση του χάρτη κλίσεων της λεκάνης απορροής του Γαλλικού ο ταξινομημένος χάρτης κλίσεων με τις ανάλογες κατηγορίες (Εικ. 5.2) ώστε να εκτιμηθεί η βαρύτητα αυτού του παράγοντα στην εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Ο σκοπός του τελικού χάρτη κλίσεων είναι η συσχέτιση των μορφολογικών κλίσεων με την πλημμυρική επιδεκτικότητα ορισμένων περιοχών. Επομένως, περιοχές με μεγάλες κλίσεις ($>5^\circ$) δεν ευνοούν την συγκέντρωση του νερού, αλλά την γρήγορη απορροή του. Έτσι αυτές οι περιοχές θεωρήθηκαν χαμηλά επιδεκτικές ως προς την πλημμύρα. Αντιθέτως, οι περιοχές με μικρές κλίσεις ($0^\circ - 2^\circ$), ευνοούν την συγκέντρωση νερού σε μία περιοχή και έτσι χαρακτηρίστηκαν ως υψηλά επιδεκτικές. Κατά παρόμοιο τρόπο, οι περιοχές με ενδιάμεσες τοπογραφικές κλίσεις ($2^\circ - 5^\circ$) χαρακτηρίστηκαν ως μέτρια επιδεκτικές.



Εικόνα 5.2 Κατηγοριοποίηση κλίσεων αναγλύφου ανάλογα με την πλημμυρική επιδεκτικότητα.

Χάρτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας βάσει λιθολογίας

22°50'0"E 23°0'0"E 23°10'0"E

41°10'0"N 41°0'0"N 40°50'0"N 40°40'0"N

Αγκίαλος
Νέα Μάνη
Σίνδος
Καλοχώρι

0 10 20
km

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Περιοχή μελέτης
- Οικισμοί
- Όριο λεκάνης απορροής
- Πλημμυρική επιδεκτικότητα
 - Χαμηλή
 - Μέτρια
 - Υψηλή

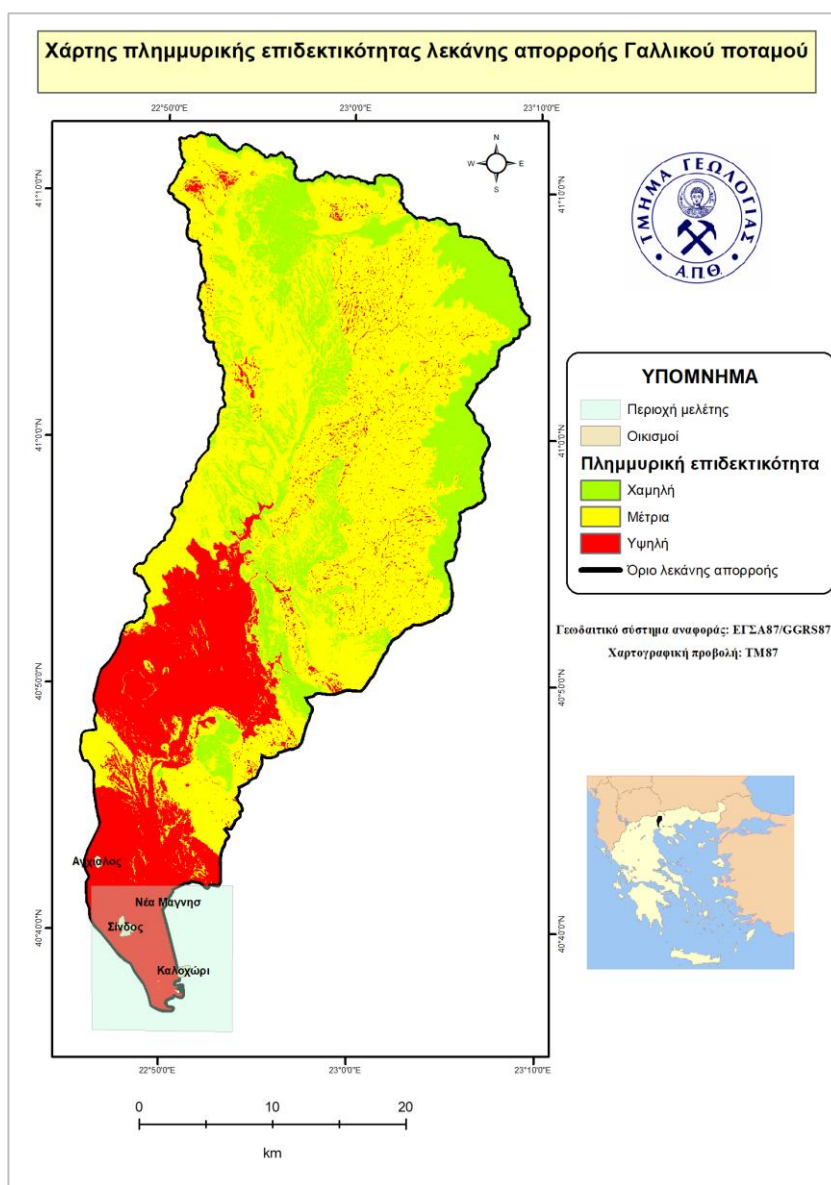
Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς: ΕΓΣΑ87/GGRS87
Χαρτογραφική προβολή: TM87

Αυτή η αντιστοίχιση έγινε διότι οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί ευνοούν την επιφανειακή απορροή έναντι της κατείδυσης, το οποίο σημαίνει ότι ευνοείται η εμφάνιση πλημμυρών. Αντιθέτως, οι περατοί σχηματισμοί, που καλύπτουν ένα μεγάλο

κομμάτι της λεκάνης απορροής, θεωρήθηκαν ως χαμηλά επιδεκτικοί στις πλημμύρες. Η αντιστοίχιση έγινε επειδή οι σχηματισμοί αυτοί ευνοούν την κατείσδυση των υδάτων και άρα συμβάλλουν λιγότερο στην εμφάνιση πλημμυρών. Τέλος, οι ημιπερατοί σχηματισμοί, που καλύπτουν την μικρότερη έκταση στη λεκάνη, θεωρήθηκε ότι αποτελούν μια ενδιάμεση κατηγορία υδρολιθολογικών σχηματισμών και αντιστοιχήθηκαν ως μέτρια επιδεκτικοί σχηματισμοί στις πλημμύρες.

5.4 Χάρτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας

Ο τελικός χάρτης της πλημμυρικής επιδεκτικότητας στην λεκάνη απορροής προέκυψε από την επεξεργασία των παραπάνω χαρτών (υψομετρικός, κλίσεων και υδρολιθολογικός) με την υπο-ρουτίνα Raster Calculator του ArcGIS.



Εικόνα 5.4 Ο χάρτης αποτελεί τον τελικό χάρτη της πλημμυρικής επιδεκτικότητας για την λεκάνη απορροής του Γαλλικού ποταμού.

Η επεξεργασία έγινε με μαθηματικές πράξεις ανάμεσα στα επίπεδα που αναφέρονται στα κωδικοποιημένα επίπεδα και το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή ενός θεματικού χάρτη, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικ. 5.4). Ο χάρτης περιέχει πράσινες, κίτρινες, και κόκκινες αποχρώσεις. Οι πράσινες αντιστοιχούν σε περιοχές με χαμηλή πλημμυρική επιδεκτικότητα, οι κίτρινες αντιστοιχούν σε μέτρια επιδεκτικότητα, ενώ οι κόκκινες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε υψηλή επιδεκτικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η λεκάνη απορροής του Γαλλικού ποταμού παρουσιάζει πολλές περιοχές οι οποίες είναι επιδεκτικές σε πλημμυρικά φαινόμενα. Οι περιοχές αυτές που είναι ευάλωτες σε τέτοιου είδους φαινόμενα βρίσκονται κυρίως στις κατάντη περιοχές και στο νοτιότερο τμήμα των ανάντη περιοχών στην λεκάνη απορροής. Πιο συγκεκριμένα, οι περιοχές που αντιστοιχούν στο κόκκινο χρώμα είναι αυτές που κινδυνεύουν περισσότερο από πλημμύρες. Τέτοιες περιοχές συναντώνται κεντρικά και κυρίως νότια στην λεκάνη απορροής, βόρεια και βορειοδυτικά της Αγχιάλου, δυτικά και βόρεια της Νέας Μαγνησίας, καθώς και στην περιοχή γύρω από τον οικισμό της Σίνδου (εικ 5.4). Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας τοποθετείται στο στόμιο της λεκάνης απορροής (εικ. 5.4) όπου η πλημμυρική επιδεκτικότητα είναι γενικά υψηλή. Επομένως, συμπεραίνεται πως η περιοχή ευρύτερα του δέλτα Γαλλικού είναι περιοχή όπου η πλημμυρική επικινδυνότητα είναι μεγάλη, όπως προέκυψε από την επεξεργασία των χαρτογραφικών δεδομένων.

Η επιδεκτικότητα της περιοχής σε πλημμυρικά φαινόμενα προέκυψε από την επεξεργασία τριών παραγόντων, οι οποίοι είναι το υψόμετρο, οι τοπογραφικές κλίσεις και η λιθολογία. Παρόλο που οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν σημαντικά την εμφάνιση πλημμυρών, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η έντονη αστικοποίηση στην περιοχή μελέτης, που συμβάλλει στο φαινόμενο αυτό. Επομένως, είναι φανερό ότι χρειάζεται περαιτέρω έρευνα σε αυτή τη περιοχή με τον συνδυασμό διάφορων μεθοδολογιών και παραγόντων για την συνολική εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Με αυτόν τον τρόπο, θα παραχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα που ανταποκρίνονται καλύτερα στην πραγματικότητα.



Διεθνής Βιβλιογραφία

Das, L.M., 2016. Morphometric Analysis of Jiya Dhol River Basin. International Journal of Science and Research, 5 (3), 1482-1486

Demek, J., (1972): Manual of detailed geomorphological mapping. Academia, Prague, 344 p

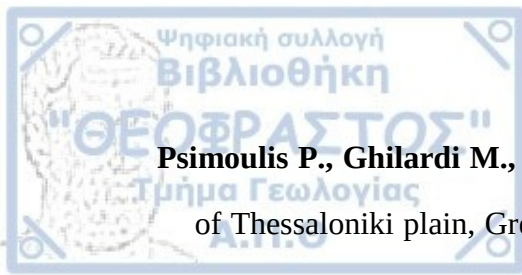
Domakinis C., (2020). Use of Remote Sensing and Geographic Information Systems in mapping flood extent and assessing flood hazard. Application example: Evros's tributary, Erythrotamos river. Doctoral Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, Annex Number of Scientific Annals of the School of Geology No____, 216 pp.

Ghilardi M., Fouache E., Queyrel F., Syrides G., Vouvalidis K., Kunesch S., Styllas M., Stiros S., (2008). Human occupation and geomorphological evolution of the Thessaloniki Plain (Greece) since mid Holocene. Journal of Archaeological Science, 2008. DOI:10.1016/j.jas.2007.02.017

Loupasakis C., Rozos D., (2010). Land subsidence induced by the overexploitation of the aquifers in Kalochori village – New approach by means of the computational Geotechnical Engineering. 12th International Congress of Geological Society of Greece, Patras, May 2010.

Mattas C., Voudouris K., Panagopoulos A., (2014). Intergrated Groundwater Resources Management Using the DPSIR Approach in a GIS Environment: A Case Study from the Gallikos River Basin, North Greece. Water 2014, 6(4), 1043-1068 <https://doi.org/10.3390/w6041043>

Poulos S.E., Chronis G. Th., Collins M.B., Lykousis V., (2000) Thermaikos Gulf Coastal System, NW Aegean Sea: an overview of water/sediment fluxes in relation to air-land-ocean interactions and human activities. Journal of Marine Systems 25 2000 47–76. DOI: 10.1016/S0924-7963(00)00008-7



Psimoulis P., Ghilardi M., Fouache E., Stiros S., (2007). Subsidence and evolution of Thessaloniki plain, Greece, based on historical leveling and GPS data. *Elsevier, Engineering Geology* 90, 55-70.

Saaty, T.L., (1980): The Analytical Hierarchy Process, NY, McGraw Hill

Schmudde, T.H. "Floodplain" in R.W. Fairbridge, The Encyclopedia of Geomorphology (New York: Reinhold, 1968), pp. 359-362.

Stiros S. (2001). Subsidence of the Thessaloniki (northern Greece) coastal plain 1960-1999. Elsevier, *Engineering Geology* 61, 243-256

Xiao, Y., Yi, S. and Tang, Z., (2017). Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference. *Science of the Total Environment*, 599-600, 1034–1046
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.218>

Ελληνική Βιβλιογραφία

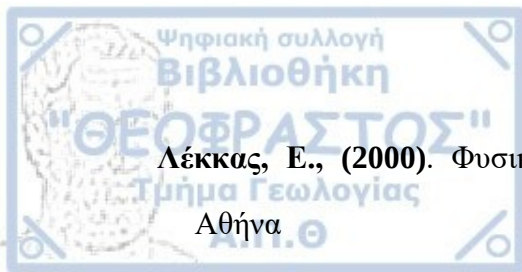
Αστάρας Θ., Οικονομίδης Α., Μουρατίδης Α., (2011). Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Εκδόσεις ΔΙΣΙΓΜΑ, Θεσσαλονίκη. σελίδες 48-51 και 102-104

Αστάρας Θ., (1997). Φωτοερμηνεία (Τηλεπισκόπηση) στις Γεωεπιστήμες. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.) Εκδόσεις, Θεσσαλονίκη.

Βουδούρης Κ., (2013). Τεχνική Υδρογεωλογία. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη. Σελίδες 34-37.

Ζερβοπούλου Α., (2010). Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Κουργιάλας Ν., (2010). Ολοκληρωμένη διαχείριση - πρόβλεψη και αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων σε σύνθετες γεωμορφολογικά περιοχές με χρήση μαθηματικών μοντέλων και GIS. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης.



Λέκκας, Ε., (2000). Φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές. Έκδοση ACCESS, Αθήνα

Μάττας Χ., (2009). Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γαλλικού ποταμού. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης.

Μουντράκης Δ., (2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη

Μουρατίδης Α., (2010). Συμβολή της υποστηριζόμενης από GPS και GIS Διαστημικής Τηλεπισκόπησης στην μορφοτεκτονική έρευνα της Κεντρικής Μακεδονίας. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης.

Παπά Μ., (2012). Καταγραφή πλημμυρών και εκτίμηση πλημμυρικής επιδεκτικότητας με τη βοήθεια τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ-GIS). Ένα παράδειγμα από τη ΒΑ Χαλκιδική. Διατριβή Ειδίκευσης. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Τρανός Μ., (2011). Γεωλογικές Χαρτογραφήσεις. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Διαδικτυακές Πηγές

Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ). Απογραφή Μόνιμου Πληθυσμού 2001 & 2011. <https://www.statistics.gr/2011-census-pop-hous>

Ελληνικό Κτηματολόγιο. Θέαση ορθοφωτογραφιών περιόδου λήψης 2007-2009. <http://forestry-gis-rs.blogspot.com/2010/07/blog-post.html>

Υπηρεσία ηλεκτρονικών μαθημάτων Α.Π.Θ.. Τμήμα Γεωλογίας, προπτυχιακά μαθήματα, Ψηφιακή Χαρτογραφία και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). <https://elearning.auth.gr>



Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ), 2018. Σχέδιο Διαχείριση Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας. Αθήνα, Ελλάδα.

https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=280&Itemid=635

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ), 2007. Οδηγία 2007/60/EK για την αξιολόγηση και την διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.

[https://eur-](https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0060&from=EL)
[lex.europa.eu/legalcontent/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0060&from=EL](https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0060&from=EL)

Ιστότοποι

The British Geographer

<http://thebritishgeographer.weebly.com/river-landforms.html>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας-Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας
https://floods.ypeka.gr/egyFloods/prokatarktiki_axiologisi/B_Prokatarktiki_Axiologisi_Kindynon_Plimmyras_Xartes/GR10.jpg

National Park Service-River Systems and Fluvial Landforms

<https://www.nps.gov/subjects/geology/fluvial-landforms.htm>

Ένθετος χάρτης της Ελλάδας

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/Greece_map_blank.svg

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων-Ψηφιακές Υπηρεσίες

<http://www.minagric.gr/index.php/el/eservisesmenu-2/450-greekcontent/eggeiesbeltioseis/sxedismowee/potamia/3538-galikos>

Ελληνικό Κέντρο Βιότοπων Υγρότοπων- Περιοδικό Αμφίβιον

http://www.ekby.gr/ekby/el/amphivion_el/issue63.pdf