



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας
και Γεωπληροφορικής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΝΑΛΜΠΑΝΤΙΔΟΥ Ι. ΑΓΓΕΛΙΚΗ

(Αριθμός Μητρώου 14049)

Τίτλος:

«ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ - ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟ
ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ
ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΕΥΑΛΩΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ»

Επιβλέπουσα: Φελώνη Ελισσάβητ, Διδάσκουσα ΠΑΔΑ

Αθήνα, Ιούλιος 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
**Department of Surveying and
Geoinformatics Engineering**

DIPLOMA THESIS

by

NALMPANTIDOY I. ANGELIKI

(Student ID 14049)

Title:

**«GEOMORPHOLOGICAL - HYDROLOGICAL ANALYSIS
IN THE CONTEXT OF FLOOD RISK ASSESSMENT IN
VULNERABLE AREAS»**

Supervisor: Dr Feloni Elissavet, Teaching Assistant UNIWA

Athens, July 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής

Τίτλος εργασίας: «Γεωμορφολογική - υδρολογική ανάλυση στο πλαίσιο της εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου σε ευάλωτες περιοχές»

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Φελώνη Ελισσάβητ	Επιβλέπουσα, Διδάσκουσα ΠαΔΑ	
2	Καραλής Σωτήρης - Θεοφάνης	Μέλος τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, Λέκτορας Εφαρμογών ΠαΔΑ	
3	Κρασανάκης Βασίλειος	Μέλος τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, Επίκουρος Καθηγητής ΠαΔΑ	

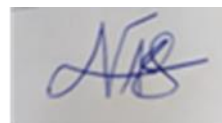
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΝΑΛΜΠΑΝΤΙΔΟΥ του ΙΩΑΝΝΗ με αριθμό μητρώου 14049 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



Ναλμπαντίδου Αγγελική

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Φελώνη Ελισσάβετ, Διδάσκουσα ΠαΔΑ, για την επιστημονική της καθοδήγηση, την συνεχή υποστήριξή της όπως επίσης και το ενδιαφέρον που έδειξε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης.

Ευχαριστώ θερμά τον κο Καραλή Σωτήρη – Θεοφάνη, Λέκτορα Εφαρμογών ΠαΔΑ, και τον κο Κρασανάκη Βασίλειο, Επίκουρο Καθηγητή ΠαΔΑ, οι οποίοι δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής και συνέβαλαν καθοριστικά για το παρόν αποτέλεσμα.

Θέλω να ευχαριστήσω ακόμα τους φορείς από τους οποίους άντλησα δεδομένα και πληροφορίες για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, και συγκεκριμένα ευχαριστώ το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), το Ελληνικό Κτηματολόγιο, την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) και την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) για την δωρεάν παροχή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης ευχαριστώ όλους τους ερευνητές, καθηγητές και αρθρογράφους που μελέτησα και διάβασα τα κείμενά τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα όλους εκείνους τους ανθρώπους που με στήριξαν και παραμένουν δίπλα μου σε κάθε βήμα. Την οικογένειά μου, που με υποστηρίζει καθημερινώς, τους φίλους μου, για την ατελείωτη κατανόησή τους, και τον συνάδελφο/σύντροφο ζωής Καρακώστα Γεώργιο για όλες τις συμβουλές του.

Αγγελική Ναλμπαντίδου

Ιούλιος, 2022

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	10
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 Γενικά Στοιχεία – Τοποθέτηση του προβλήματος	12
1.2 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας	15
1.3 Διάρθρωση τεύχους	16
2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ	18
2.1 Μάνδρα Αττικής	18
2.1.1 Γενικά.....	18
2.1.2 Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά	20
2.1.3 Υδρογραφικό Δίκτυο της περιοχής Μάνδρας	22
2.1.4 Ιστορικές πλημμύρες.....	23
2.2 Κρεμαστή Ρόδου	25
2.2.1 Γενικά.....	25
2.2.2 Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά	26
2.2.3 Υδρογραφικό Δίκτυο της Νήσου Ρόδου-υπό μελέτη λεκάνη απορροής.....	30
2.2.4 Ιστορικές πλημμύρες.....	30
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	33
3.1 Υδρολογική Ανάλυση.....	33
3.1.1 Συλλογή - Προεπεξεργασία δεδομένων.....	33
3.1.2 Εκτίμηση Παροχής Αιχμής.....	36
3.1.3 Υδρογράφημα απορροής	41
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	52

4.1	Υδρολογικά Μεγέθη για την Μάνδρα Αττικής - Λεκάνες Απορροής ρ. Σούρες και Αγία Αικατερίνη.....	52
4.1.1	Παροχή Αιχμής	53
4.1.2	Ορθολογική Μέθοδος.....	54
4.1.3	Λείο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS.....	56
4.1.4	Μοναδιαίο Υδρογράφημα μέσω Ισόχρονων Καμπύλων	59
4.1.5	Υετογράφημα Σχεδιασμού	64
4.1.6	Υδρολογικές απώλειες	65
4.1.7	Πλημμυρογραφήματα.....	66
4.2	Υδρολογικά Μεγέθη Λεκάνης Απορροής Κρεμαστής Κρεμαστής Ρόδου	69
4.2.1	Παροχή Αιχμής	69
4.2.2	Ορθολογική Μέθοδος.....	70
4.2.3	Λείο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS.....	72
4.2.4	Μοναδιαίο Υδρογράφημα μέσω Ισόχρονων Καμπύλων	73
4.2.5	Υετογράφημα Σχεδιασμού	77
4.2.6	Υδρολογικές Απώλειες	79
4.2.7	Πλημμυρογράφημα.....	79
4.3	Συνολικός σχολιασμός.....	81
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	84
5.1	Σύνοψη	84
5.2	Γενικά συμπεράσματα	85
5.3	Ειδικά συμπεράσματα.....	86
5.4	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	88
6	Βιβλιογραφικές Αναφορές	89
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	94
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	105

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το θέμα της εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου σε ευάλωτες περιοχές χρησιμοποιώντας διάφορες μεθοδολογίες γεωμορφολογικής και υδρολογικής ανάλυσης. Εξετάζονται δύο περιοχές στον Ελληνικό Χώρο που έχουν σημειωθεί πλημμυρικά επεισόδια λόγω αιφνίδιας βροχόπτωσης. Η πρώτη καταγράφηκε κατά τις 14 και 15 Νοεμβρίου του 2017 στην περιοχή Μάνδρα Αττικής και η δεύτερη καταγράφηκε στις 22 και 23 Νοεμβρίου του 2013 στη Ρόδο στον οικισμό Κρεμαστή. Από κοινού οι δύο καταιγίδες υψηλής έντασης προκάλεσαν πλημμύρες, υλικές ζημίες και ανθρώπινες απώλειες. Για την πρώτη περιοχή, μελετώνται τμήμα των ρεμάτων Σούρες και Αγίας Αικατερίνης της λεκάνης του ποταμού Σαραντοπόταμου (ανάντη του οικισμού Μάνδρα) και για την δεύτερη περιοχή τμήμα της λεκάνη απορροής του ρέματος Κρεμαστής (ανάντη της ομώνυμης γέφυρας).

Στο πρώτο στάδιο πραγματοποιήθηκε η γεωμορφολογική ανάλυση των περιοχών σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ/GIS). Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν ένα σύνολο δεδομένων, όπως τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DEM) για τις δύο περιοχές, οι χρήσεις γης καθώς και άλλα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά των περιοχών μελέτης (εδάφη, κλπ.). Στο δεύτερο στάδιο της εργασίας περιλαμβάνεται η υδρολογική ανάλυση. Στόχος της ανάλυσης είναι η προσομοίωση συγκεκριμένων επεισοδίων από υδρολογικής άποψης, λαμβάνοντας υπόψη και τα διαθέσιμα δεδομένα μετρήσεων βροχής (καταγραφές των γειτονικών βροχομετρικών σταθμών Ελευσίνας και Αεροδρομίου Ρόδου, για τις δύο περιοχές μελέτης, αντίστοιχα). Αρχικά, συλλέχθηκε ένα σύνολο από υδρολογικά μεγέθη, όπως οι όμβριες καμπύλες από τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας, ενώ υπολογίστηκαν και μεγέθη όπως, ο χρόνος συγκέντρωσης σύμφωνα με διάφορες μεθόδους (Giandotti, Kirpich, Passini, NRCS), ο συντελεστής απορροής σε επίπεδο λεκάνης απορροής, ο αριθμός καμπύλης CN. Με τα παραπάνω δεδομένα υπολογίστηκε η μέγιστη (πλημμυρική) παροχή μέσω της Ορθολογικής Μεθόδου. Στην συνέχεια προσδιορίστηκε η παροχή αιχμής και μέσω του υπολογισμού του αντίστοιχου πλημμυρογραφήματος. Για τον προσδιορισμό του τελευταίου, αρχικά

εκτιμήθηκαν δύο μοναδιαία υδρογραφήματα ανά λεκάνη, αξιοποιώντας διαφορετικές μεθόδους (Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά NRSCS, και Μοναδιαίο Υδρογράφημα με την μέθοδο ισόχρονων καμπυλών). Σημαντική ήταν η αξιοποίηση τεχνικών GIS για τον καθορισμό των επιμέρους παραμέτρων. Ακολουθώντας, για την εξαγωγή των πλημμυρογραφημάτων δημιουργήθηκαν δύο σενάρια βροχογραφήματων: το πρώτο σενάριο αντιστοιχεί σε καταιγίδα σχεδιασμού περιόδου αναφοράς 100 ετών και το υετόγραμμα προκύπτει χρησιμοποιώντας την μέθοδο εναλλασσόμενων υψών βροχής, ενώ για το δεύτερο σενάριο χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα βροχής των μετεωρολογικών σταθμών (παρατηρημένο επεισόδιο που οδήγησε σε πλημμύρα). Τέλος το σύνολο των αποτελεσμάτων αναφορικά με τις επιμέρους παροχές αιχμής συγκρίνονται, και αξιολογούνται τα ευρήματα για κάθε περιοχή.

Λέξεις- κλειδιά: πλημμύρα, ΣΓΠ, Μάνδρα, Κρεμαστή Ρόδου, υδρολογική ανάλυση

ABSTRACT

This thesis deals with the issue of flood risk assessment in vulnerable areas based on geomorphological and hydrological analysis. Two areas in the Greek Territory that have experienced flooding due to severe rainfall are examined. The first was recorded on November 14 and 15, 2017 in the settlement of Mandra (West Attica) and the second was recorded on November 22 and 23, 2013 in Rhodes, in the village of Kremasti. Both storms of high rainfall intensity caused extensive flooding, damages on properties and infrastructure and human losses. For the first area, the subbasins of Soures and Agia Ekaterini streams (Sarandopotamos river basin) that located upstream the Mandra settlement were analyzed, while, for the second area, part of the Kremasti stream catchment area (upstream of the homonymous bridge) was studied.

In the first stage, the geomorphological analysis of the areas was carried out in a Geographical Information Systems (GIS) environment. Several datasets were used for the analysis, such as the digital elevation models (DEM) for the two areas, land use distribution, as well as, other physiographic characteristics of the study areas (soil types, etc.). The second stage of the work includes the hydrological analysis. The aim of the analysis is to simulate specific rainfall-runoff events from a hydrological perspective, taking into account the available rainfall measurements (i.e., records of the neighboring rain gauges in Elefsina and Rhodes Airport, for the two study areas, respectively). Initially, a set of hydrological parameters was considered, such as the IDF (intensity-duration-frequency) curves that were determined in the frame of Floods Directive (2007/60/EC) implementation. Additionally, several parameters were calculated considering various methods, such as the time of concentration (using Giandotti, Kirpich, Passini, NRCS equations), the runoff coefficient (lumped per catchment), and the curve number (CN).

Using the above-mentioned data, the peak discharge was calculated using the Rational Method. This value was also determined by calculating the corresponding flood hydrograph. To determine the latter, two unit hydrographs per basin were initially estimated, using different methods (The standard SCS dimensionless unit hydrograph/

NRCS, and the Unit Hydrograph using the method of isochronous curves/time-area diagram). The incorporation of GIS techniques was decisive for calculations. Subsequently, for the extraction of the hydrographs, two rainfall scenarios were created: the first one corresponds to a 100-y return period and the design hyetogram is determined using the alternating block method, while for the second scenario the rainfall records of the flood event for the available meteorological stations were considered. Finally, results regarding peak flow are discussed, compared, and evaluated for each study area.

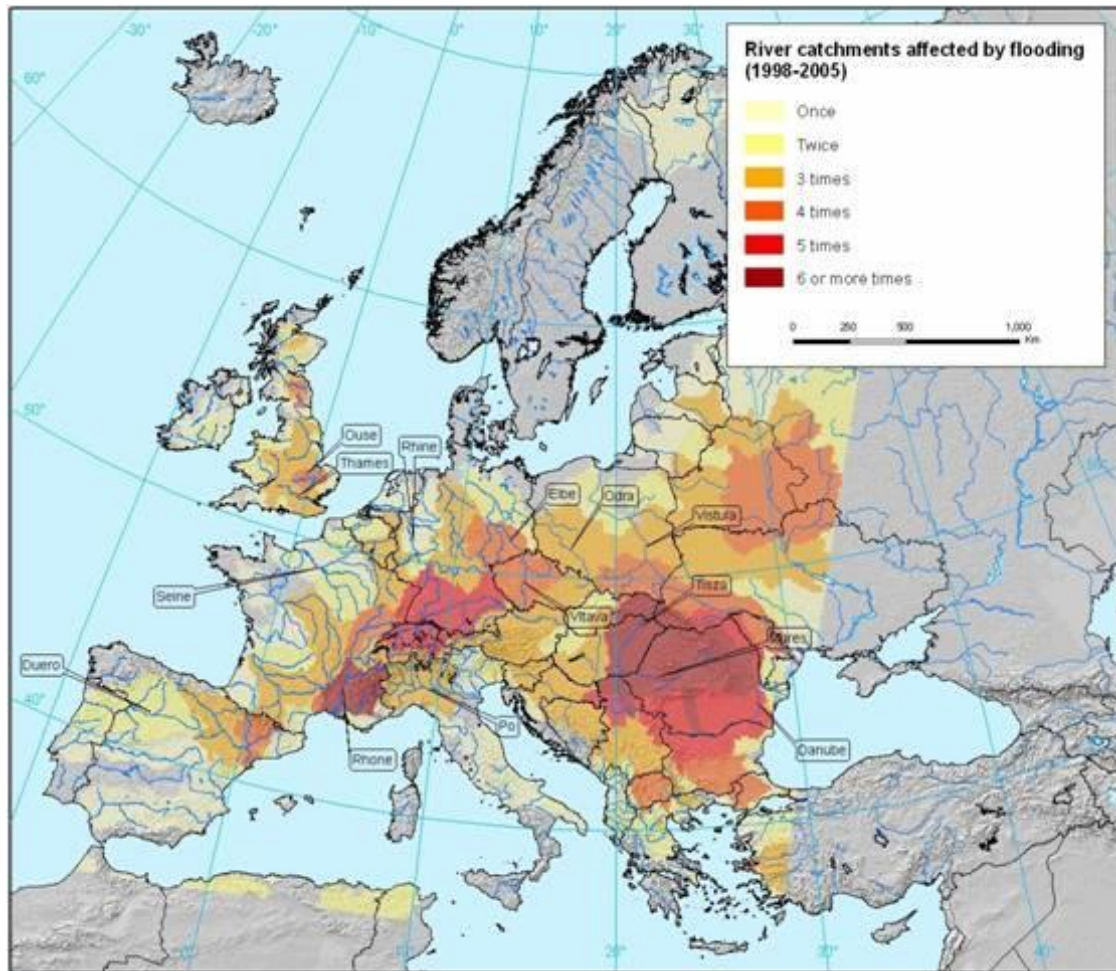
Key words: flood, GIS, Mandra, Kremasti Rhodes, hydrological analysis

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά Στοιχεία – Τοποθέτηση του προβλήματος

Οι φυσικές καταστροφές αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα ακραία φαινόμενα που αντιμετώπισε ο πλανήτης στην γεωλογική ιστορία του. Οι επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες καθώς και το φυσικό περιβάλλον. Οι κύριες κατηγορίες των φυσικών καταστροφών είναι οι εξής: σεισμοί, τσουνάμι, κατολισθήσεις, εκρήξεις ηφαιστείων, λιμός, τροπικές καταιγίδες, έντονη βροχόπτωση και πλημμύρες. Οι πλημμύρες αποτελούν μία από τις σημαντικότερες και συχνότερες φυσικές καταστροφές, επειδή κατά την διάρκειά τους μπορούν να προκαλέσουν υλικές ζημιές, τον θάνατο ζωντανών οργανισμών, να μεταφέρουν αρρώστιες και να καταστρέψουν γεωργικές καλλιέργειες. Οι μεγάλες πλημμύρες προκαλούνται κυρίως από φυσικά και μετεωρολογικά φαινόμενα, όπως σποραδικές καταιγίδες και τυφώνες. Στις παραθαλάσσιες περιοχές δημιουργούνται από παλίρροιες και μεγάλους κυματισμούς.

Τα τελευταία χρόνια, λόγω της κλιματικής αλλαγής, που οφείλεται κυρίως στην αύξηση θερμοκρασίας του πλανήτη Γη, προβλέπονται ακραία υδρολογικά φαινόμενα, τα οποία θα είναι συχνότερα και πιο καταστροφικά. Υδρολογικές έρευνες για την Ευρώπη, δείχνουν ότι δεν υπάρχει τάση σε ολόκληρη την ήπειρο σχετικά με περιστατικά πλημμυρών, βροχοπτώσεων ή ετήσια μέγιστα απορροής (Parrotny, et al., 29 May 2018). Κατά την χρονική περίοδο 2000 έως 2006, η Ευρώπη έχει υποστεί πάνω από 100 πλημμύρες. Ορισμένες περιοχές έχουν πληγεί περισσότερο από άλλες. Η βορειοδυτική Ρουμανία, η νοτιοανατολική Γαλλία, η κεντρική και νότια Γερμανία, η βόρεια Ιταλία και η ανατολική Αγγλία παρουσίασαν την υψηλότερη συγκέντρωση επαναλαμβανομένων πλημμυρών μεταξύ των χρονολογιών 1998 και 2005 (Σχήμα 1.1) (European Environment Agency, 2018).



Σχήμα 1.1 Επανάληψη πλημμυρών στην Ευρώπη μεταξύ 1998 και 2005, Ευρωπαϊκή Επιτροπή

Η ανάγκη για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων που προκαλούν οι πλημμύρες, η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε στην θεσμοθέτηση της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ. Η Ευρωπαϊκή Οδηγία δημοσιεύθηκε στις 23 Οκτωβρίου 2007 από Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Το κύριο θέμα της Οδηγίας είναι η αξιολόγηση και η διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Σύμφωνα με το Άρθρο 1, κύριος σκοπός είναι: «η θέσπιση πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, με στόχο τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομία και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με τις πλημμύρες στην Κοινότητα».

Η δομή της Οδηγίας αποτελείται από 8 κεφάλαια 19 άρθρων και 1 παράρτημα. Το κεφάλαιο I αναφέρεται σε γενικές διατάξεις και τους επιπλέον ορισμούς «πλημμύρας» - «κίνδυνος πλημμύρας». Το κεφάλαιο II αναφέρεται στο στάδιο της προκαταρκτικής αξιολόγησης των κινδύνων πλημμύρας το οποίο περιλαμβάνει χάρτες περιοχής λεκάνης ποταμού, περιγραφή ιστορικών πλημμυρών οι οποίες είχαν

σοβαρές επιπτώσεις (ανθρώπινες ζωές, οικονομικές δραστηριότητες, περιβάλλον), περιγραφή ιστορικών πλημμυρών οι οποίες θα μπορούσαν να είχαν προβλεφθεί και αναλόγως περιλαμβάνεται αξιολόγηση αρνητικών συνεπειών διάφορων παραγόντων μελλοντικών πλημμυρών. Στο κεφάλαιο III περιγράφονται οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και χάρτες κινδύνου πλημμύρας. Το κεφάλαιο IV αναφέρει τα σχέδια διαχείρισης κινδύνου πλημμύρας. Το κεφάλαιο V περιγράφει τον συντονισμό με την οδηγία 2000/60/EK και την ενημέρωση του κοινού. Το κεφάλαιο VI αναφέρεται σε μέτρα εφαρμογής και τροποποιήσεις. Στο κεφάλαιο VII περιγράφονται μεταβατικά μέτρα. Και τέλος στο κεφάλαιο VIII αναφέρονται επανεξετάσεις εκθέσεις και τελικές διατάξεις.

Όπως αναφέρεται στην Οδηγία (2007, σ. L 288/28), «στην Κοινότητα καταγράφονται διάφοροι τύποι πλημμύρας, όπως πλημμύρες ποταμών, αστραπιαίες πλημμύρες, πλημμύρες στα αστικά κέντρα και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές. [...] Οι κίνδυνοι πλημμύρας αξιολογούνται σε κάθε περιοχή ή μονάδα διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού.[...] Προκειμένου να εξασφαλιστεί το αποτελεσματικό μέσο ενημέρωσης για την λήψη περαιτέρω τεχνικών οικονομικών και πολιτικών αποφάσεων, είναι απαραίτητο να προβλεφθεί η καθιέρωση χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας.» Οι χάρτες κινδύνου πλημμύρας εμφανίζουν τις δυνητικά αρνητικές συνέπειες που συνδέονται με διαφορετικά σενάρια πλημμύρας καθώς και πληροφορίες σχετικά με ενδεχόμενες πηγές περιβαλλοντικής ρύπανσης (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο, 2007). «Στο πλαίσιο αυτό, πρέπει τα κράτη – μέλη να επανεκτιμήσουν τις δραστηριότητες που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των κινδύνων πλημμύρας» (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο, 2007).

Προκειμένου να μειωθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις που απορρέουν από πλημμύρες στην εκάστοτε περιοχή, καθιερώθηκαν τα σχέδια διαχείρισης πλημμύρας. (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο, 2007). «Τα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας εστιάζονται στην πρόληψη, στην προστασία και στην ετοιμότητα. Τα στοιχεία των σχεδίων διαχείρισης πλημμύρας πρέπει να επανεξετάζονται και να επικαιροποιούνται ανά τακτά χρονικά περιόδους, προκειμένου να λαμβάνονται υπόψιν πιθανές επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος στην εμφάνιση των πλημμυρών» (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο, 2007).

Εφαρμογή Οδηγία 2007/60/ΕΚ, Κατάρτιση Όμβριων Καμπυλών σε Επίπεδο Χώρας

Η Οδηγία 2007/60/ΕΚ ενσωματώθηκε στο Ελληνικό Δίκαιο με την Κ.Υ.Α Η.Π. 31822/1542/Ε103/20102 (ΦΕΚ Β' 1108/21.07.2010). Στο πλαίσιο της Οδηγίας αυτής εκπονήθηκαν μελέτες «Σχέδιων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών» στα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της Χώρας από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΓΥ). «Σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές στην 1^η Φάση του 1^{ου} Σταδίου των συμβάσεων καταρτίστηκαν εξισώσεις όμβριων καμπυλών στις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών σε κάθε Υδατικό διαμέρισμα». Οι όμβριες καμπύλες που καταρτίστηκαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της έντασης βροχόπτωσης σχεδιασμού, για επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς σε οποιαδήποτε θέση ή λεκάνη απορροής της χώρας (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2016).

Τα παραδοτέα των μελετών ήταν χάρτες θέσης βροχομετρικών σταθμών και πίνακες παραμέτρων όμβριας καμπύλης ανά Υδατικό Διαμέρισμα ολόκληρης της χώρας. Ο κάθε πίνακας περιέχει συντεταγμένες ΕΓΣΑ '87, παράμετρο σχήματος κ, παράμετρος κλίμακας λ', παράμετρος θέσης της συνάρτησης κατανομής ψ' και οι παράμετροι της συνάρτησης διάρκειας θ, η.

1.2 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η γεωμορφολογική και υδρολογική ανάλυση για την ολοκληρωμένη προσέγγιση στην εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε ευάλωτες περιοχές. Στο πλαίσιο της εργασίας, οι στόχοι που τέθηκαν για την υλοποίησή της είναι:

- i. Η μελέτη της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2007/60/ΕΚ και ειδικότερα η μελέτη για την εφαρμογή της στο Ελληνικό Χώρο.
- ii. Η ανάπτυξη και εφαρμογή επιμέρους μεθόδων για την εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής και εφαρμογή τους σε δύο περιοχές μελέτης.
- iii. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων και η αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας των περιοχών.

Με βάση τους ανωτέρω στόχους καθορίζονται και τα παρακάτω στάδια μεθοδολογίας:

- Η γεωμορφολογική ανάλυση των περιοχών για τον καθορισμό των αναγκαίων παραμέτρων.
- Η χρήση των όμβριων καμπύλων για την εκτίμηση της έντασης βροχής για συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς.
- Η εκτίμηση της παροχής αιχμής, μέσω της ορθολογικής μεθόδου.
- Η κατάρτιση του μοναδιαίου υδρογραφήματος μέσω δύο μεθόδων (συνθετικό και με τεχνικές ΣΓΠ).
- Η κατάρτιση υετογράμματος και ο υπολογισμός υδρολογικών απωλειών.
- Ο προσδιορισμός των αντίστοιχων πλημμυρογραφημάτων για τις λεκάνες απορροής και ο υπολογισμός της αντίστοιχης παροχής αιχμής.

1.3 Διάρθρωση τεύχους

Η εργασία αποτελείται από πέντε βασικά κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας. Αναφέρει γενικά στοιχεία για τις πλημμύρες και τις επιπτώσεις που επιφέρει στις ευρωπαϊκές χώρες, αναλύει την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/ΕΚ και τις εφαρμογές της στην Ελλάδα, ενώ περιγράφονται και οι στόχοι της εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναλύει τις περιοχές μελέτης. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας παρουσιάζονται δύο περιοχές μελέτης. Η πρώτη περιοχή ανάντη της Μάνδρας Αττικής αντιπροσωπεύεται από δύο λεκάνες απορροής, των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη. Η δεύτερη περιοχή που μελετάται είναι λεκάνη απορροής του Κρεμαστινού Ποταμού, ανάντη της γέφυρας Κρεμαστής Ρόδου. Στο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά η φυσιογραφία της ευρύτερης περιοχής, η μορφολογία, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά, οι εδαφικοί τύποι, οι χρήσεις γης και τα στοιχεία του υδρογραφικού δικτύου. Ακόμα γίνεται εκτενής καταγραφή ιστορικών πλημμυρικών γεγονότων στις δύο περιοχές.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει το μεθοδολογικό πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας. Γίνεται αναφορά στα δεδομένα και στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των παροχών. Επιπλέον, αναλύεται εκτενέστερα η μεθοδολογία σχεδιασμού πλημμυρογραφήματων και εκτίμησης της παροχής αιχμής μέσω υδρολογικών αναλυτικών προσεγγίσεων και μοντέλων γεωπληροφορικής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα αναφορικά με την εκτίμηση της παροχής αιχμής καθώς και των πλημμυρογραφημάτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται για κάθε περιοχή μελέτης ξεχωριστά. Για κάθε περιοχή μελέτης προσομοιώθηκαν δύο διαφορετικά σενάρια προσδιορισμού μέγιστης πλημμυρικής παροχής καθώς επίσης εκτιμήθηκε η παροχή με την ορθολογική μέθοδο.

Το πέμπτο κεφάλαιο ολοκληρώνει την εργασία με την παράθεση των τελικών συμπερασμάτων και την αναφορά προτάσεων για μελλοντική έρευνα.

Στο τέλος της διπλωματικής εργασίας παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές καθώς και δύο παραρτήματα που περιέχουν πίνακες και διαγράμματα για την αναλυτικότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

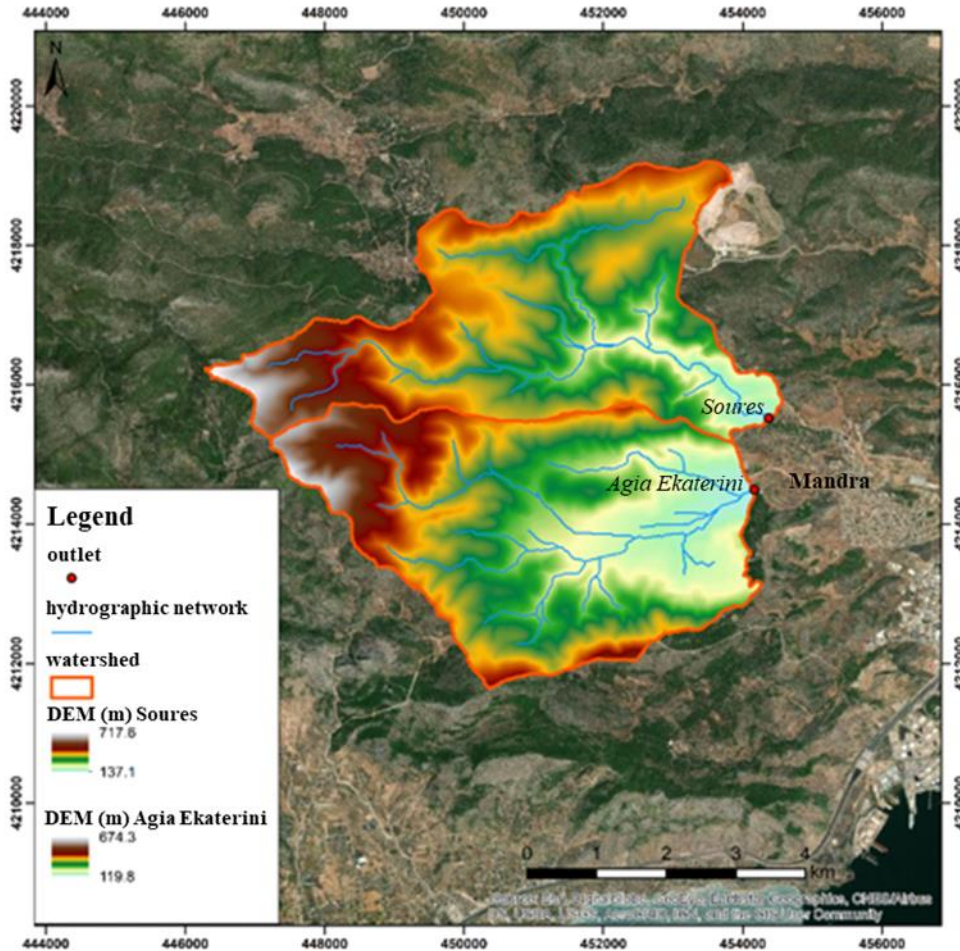
2 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι δύο περιοχές μελέτης. Οι περιοχές μελέτης είναι η ευρύτερη περιοχή της Μάνδρας Αττικής και της Κρεμαστής Ρόδου, όπου και οι δύο έχουν πληγεί από καταστροφικά πλημμυρικά φαινόμενα την προηγούμενη δεκαετία. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η συνολική διερεύνηση αναφορικά με τον πλημμυρικό κίνδυνο στις δύο περιοχές, αρχικά συλλέγονται στοιχεία για τα γενικά χαρακτηριστικά των περιοχών, στη συνέχεια αναλύεται η γεωμορφολογική και υδρολογική κατάσταση της κάθε περιοχής και τέλος αναγράφονται ιστορικά γεγονότα πλημμύρας σύμφωνα με τις διαθέσιμες πηγές (π.χ. Οδηγία 2007/60, εφημερίδες-διαδικτυακές σελίδες, και καταγραφές αρμόδιων υπηρεσιών). Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται το σύνολο των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν προκειμένου να πραγματοποιηθεί σε επόμενο στάδιο της εργασίας η διερεύνηση αναφορικά με τον πλημμυρικό κίνδυνο.

2.1 Μάνδρα Αττικής

2.1.1 Γενικά

Η Μάνδρα είναι ένας από τους οικισμούς του Θριάσιου Πεδίου, στην Δυτική Αττική. Στο μεγαλύτερο μέρος του εκτείνεται η πεδιάδα Ασπροπύργου – Ελευσίνας (έκτασης 94,310km²). Η ευρύτερη πεδιάδα , και κατ' επέκταση και ο οικισμός της Μάνδρας, περικλείεται στα δυτικά από το Όρος Πατέρα (1132m), στα βόρεια από το όρος Πάρνηθα (1413 m) καθώς και στα νοτιοδυτικά από τον Ποικίλο (452m) και το Όρος Αιγάλεω. Η πεδιάδα Ασπροπύργου – Ελευσίνας καταλήγει στα νότια από τον Κόλπο της Ελευσίνας (Σχήμα 2.1). Το ανάγλυφο στην περιοχή κατανέμεται μεταξύ των υψομέτρων μηδέν έως εξακοσίων μέτρων (Υψόμετρο 0-600m), χαρακτηρίζοντας το κυρίως πεδινό και ημιορεινό κοντά στους πρόποδες των βουνών. Επίσης σύμφωνα με τις κλίσεις, το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται ως επίπεδο (κλίσεις < 5%) (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΛ06), 2018-2019) .



Σχήμα 2.1 Περιοχή μελέτης Μάνδρα Αττικής (πηγή: (Feloni, et al., 2021)

Η περιοχή της Μάνδρα αποτελεί δημοτικό διαμέρισμα του Δήμου Μάνδρας – Ειδυλλίας (Σχήμα 2.2), σύμφωνα με το νόμο 3852/2010 (πρόγραμμα Καλλικράτης), αφού συγχωνεύθηκε με τις περιοχές Βίλια, Ερυθρές και Οινόη. Η συνολική έκταση του δήμου Μάνδρας – Ειδυλλίας είναι 426,26 km² και ο πληθυσμός του είναι 17885 κατοίκους. Το δημοτικό διαμέρισμα της Μάνδρας, σύμφωνα με την απογραφή του 2011, καταγράφεται με πληθυσμό 12888 κατοίκους. Λόγω του πληθυσμού της, η πόλη θεωρείται ως έδρα του δήμου Μάνδρας – Ειδυλλίας. Οι έκταση της δημοτικής ενότητας Μάνδρα είναι 206000 στρέμματα. Αποτελείται από τις εξής οικισμούς: Μάνδρα, Άγιος Γεώργιος, Αγία Σωτήρα, Άγιοι Ανάργυροι, Μακρυά Άμμος, Άγιος Παντελεήμονας, Διόδια, Θέα, Λεύκα, Λούτσα, Μονή Οσίου, Νέα Ζωή, Παλαιοχώρι και Πουρνάρι. Οι περιοχές που συνορεύει είναι η Ελευσίνα, τα Μέγαρα, τα Βίλια, οι Ερυθρές και η Οινόη, καθώς και με την παλαιά εθνική οδός Αθηνών – Θήβας (Δήμος Μάνδρας - Ειδυλλίας, 2022).



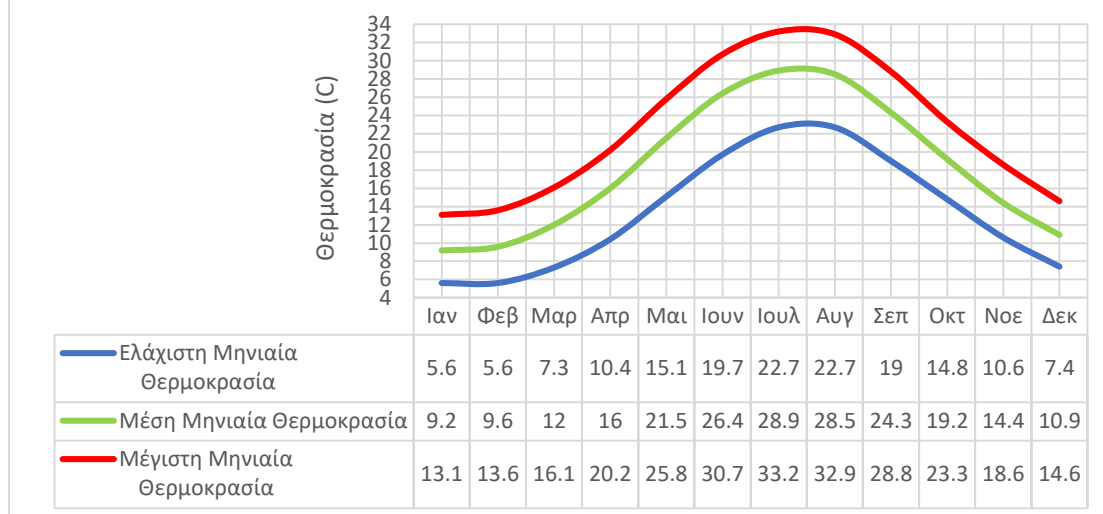
Σχήμα 2.2 Διοικητικά όρια δήμου Μάνδρας – Ειδυλλίας (πηγή <https://mandras-eidyllias.gr/dhmos/stoixeia-dhμου/dhmos-mandras-eidyllias/>)

2.1.2 Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά

Στην υποενότητα αυτή περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά, του κλίματος, της μορφολογίας, της γεωλογίας και της υδρογεωλογίας της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

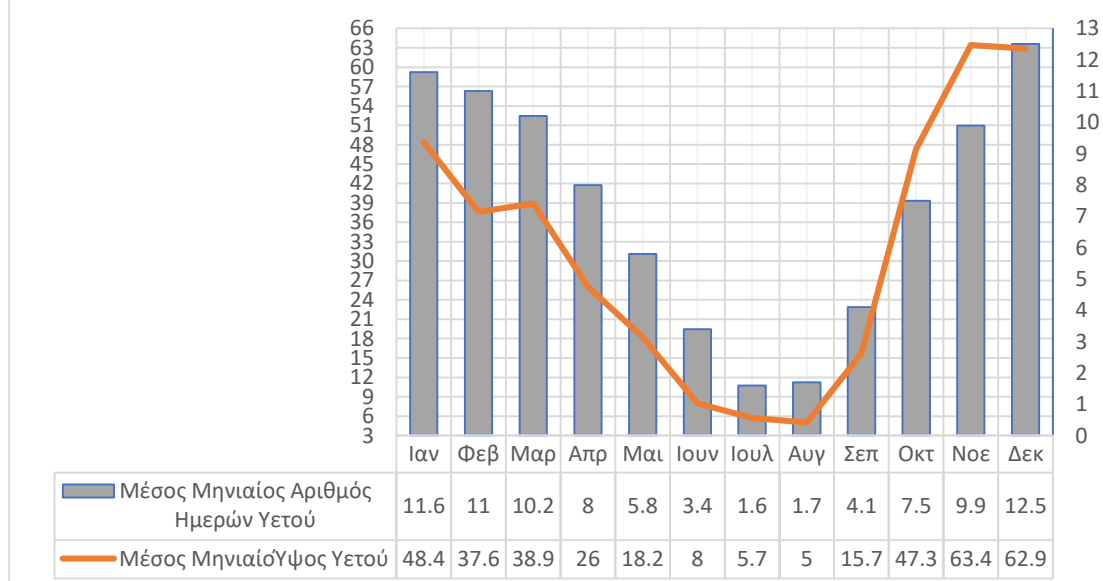
Το κλίμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται εύκρατο μεσογειακό με ήπιους και υγρούς χειμώνες και θερμά καλοκαίρια. Τα φαινόμενα βροχόπτωσης παρουσιάζονται κυρίως του χειμερινούς μήνες και μικρής διάρκειας το φθινόπωρο. Σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού της Ελευσίνας, ο οποίος είναι πιο κοντά στην περιοχή της Μάνδρας, την περίοδο 1958-2010 καταγράφεται θερμοκρασία από 5,60°C–32,20°C. Το μέσο μηνιαίο Ύψος Υετού κυμαίνεται από 5,00mm τους καλοκαιρινούς μήνες έως 63,40mm τους χειμερινούς μήνες (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 1955-2010).

Δεδομένα Θερμοκρασίας την Χρονική Περίοδο 1955-2010 Σταθμός Ελευσίνας



Σχήμα 2.3 Κλιματικά Δεδομένα από τον Σταθμό της Ελευσίνας (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 1955-2010)

Δεδομένα Υετού την Χρονική Περίοδο 1955-2010 Σταθμός Ελευσίνας



Σχήμα 2.4 Δεδομένα Υετού από τον Σταθμό της Ελευσίνας (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 1955-2010)

Η περιοχή της Μάνδρας θεωρείται πεδινή στο μεγαλύτερο μέρος, με το ανάγλυφο να είναι εντονότερο στους πρόποδες του όρους Πατέρας. Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Πλημμύρας για το Υδατικό Διαμέρισμα Αττικής, η περιοχή υπάγεται στην χαμηλή ζώνη Ασπροπύργου – Ελευσίνας. Η ζώνη αποτελείται από τεταρτογενή ιζήματα τα οποία καλύπτουν ανθρακικούς σχηματισμούς στην περίμετρο της ζώνης.

Στο βόρειο τμήμα αποτελείται από σύγχρονους κώνους κορημάτων και πλευρικά κορήματα. Στην ανατολική πλευρά της ζώνης, αποτελούνται από χειμαρρώδες αποθέσεις, αλλουβιακά ριπίδια από κροκάλες, λατύτες και άμμους. Στην δυτική πλευρά της ζώνης, δηλαδή ανατολικούς πρόποδες του όρους Πατέρα, υπάρχουν επικλυσιογενείς ασβεστόλιθοι στα κατώτερα στρώματα, και στα ανώτερα στρώματα εμφανίζεται σε λεπτό-μεσοστρωματώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΛ06), 2018-2019).

Σύμφωνα με καταγραφές του Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, οι καταγραφές στις υδρογεωλογικές συνθήκες δείχνουν ότι στο νότιο τμήμα της ζώνης καλύπτονται μεγάλα τμήματα αλλουβιακών αποθέσεων και σύγχρονων κώνων κορημάτων, ώστε ο συντελεστής κατείδυσης εκτιμάται 10-15%. Η υπόγεια υδροφορία αναπτύσσεται στις αμμοχαλικώδεις στρώσεις δημιουργώντας ελεύθερους ή μερικώς υπό πίεση υδροφόρους ορίζοντες. Ο συντελεστής κατείδυσης τους ανέρχεται $\geq 10\%$. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες των περιοχών περιμετρικά της ζώνης είναι ανθρακικοί σχηματισμοί (όπως ασβεστόλιθοι, δομοιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες) χαρακτηρίζοντας τους την συντελεστή κατείδυσης $\geq 50\%$. Δυτικά της ζώνης στους ανατολικούς πρόποδες του όρους Πατέρα, οι επικλυσιογενείς ασβεστόλιθοι και οι πυριτόλιθοι χαρακτηρίζονται ως υδροπερατοί με συντελεστή κατείδυσης $\geq 20\%$ (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΛ06), 2018-2019).

Η περιοχή της Μάνδρας αποτελείται από μεγάλη ποικιλία χρήσεων γης. Η κυριότερη χρήση είναι η κατοικία, όπου επικεντρώνεται κυρίως εντός της πόλης της Μάνδρας. Περιμετρικά της πόλης χωροθετούνται οι επιχειρήσεις όπως εμπορίου, αποθήκες, βιοτεχνίες. Στις ημιορεινές περιοχές δραστηριοποιείται ο πρωτογενής τομέας, οι κτηνοτροφικές μονάδες, οι καλλιέργειες δέντρων και ετήσιες καλλιέργειες. Στο ορεινό μέρος αποτελείται από δάση. Επίσης η περιοχή δραστηριοποιείται στην εξόρυξη. Οι γειτονικές περιοχές έχουν έντονη βιομηχανική δραστηριότητα κυρίως διυλιστήρια πετρελαίου και μονάδες παραγωγής οικοδομικών υλικών (π.χ. τσιμέντο, χάλυβα κ.ά.) (Οικονομοπούλου, 2012).

2.1.3 Υδρογραφικό Δίκτυο της περιοχής Μάνδρας

Στην υποενότητα αυτή αναφέρεται το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής της Μάνδρας. Το υδρογραφικό δίκτυο της Λεκάνης απορροής του Θριάσιου Πεδίου είναι

πυκνό και αποτελείται από χειμάρρους εποχιακής ροής. Οι ποταμοί καταλήγουν στον κόλπο της Ελευσίνας. Στην περιοχή μελέτης διέρχονται οι εξής: ο Σαρανταπόταμος και οι χείμαρροι Σούρες και Αγία Αικατερίνη.

Ο κύριος ποταμός είναι ο Σαρανταπόταμος. Ο ποταμός χαρακτηρίζεται ως κύριος αποστραγγιστικός αγωγός της επιφανειακής απορροής του Θριάσιου Πεδίου. Η λεκάνη απορροής του έχει έκταση 310km² καθώς προκύπτει από δύο διαφορετικά υδρογραφικά δίκτυα, το ρέμα Πέλλες, το οποίο διασχίζει την κοιλάδα της Οινόης και το ρέμα Άγιος Γεώργιος, το οποίο διασχίζει την κοιλάδα του Αγίου Γεωργίου. Η πορεία του ποταμού διασχίζει το Θριάσιο Πεδίο από βόρεια προς νότια, καθώς και στα ανατολικά από την περιοχή Μαγούλα. Ο ποταμός εκβάλλει στον κόλπο της Ελευσίνας (Ζέρβα, 2019).

Ο χείμαρρος Σούρες ξεκινάει από την ανατολική πλαγιά του Όρους Πατέρα παρασύροντας τα φερτά υλικά μέχρι τις φυσικές εκβολές του στο Σαρωνικό Κόλπο. Λόγω της διάνοιξης της Αττικής Οδού, το ρέμα εκτράπηκε και έγινε μεταβολή της πορείας του. Έτσι οι τελικές εκβολές του είναι στην πλευρά του Σαρανταπόταμου. Η λεκάνη απορροής του χείμαρρου ανέρχεται στα 58 km² (Ζέρβα, 2019).

Ο χείμαρρος Αγίας Αικατερίνης ξεκινάει από τις νοτιοανατολικές πλαγιές του Όρους Πατέρα. Η λεκάνη απορροής έχει έκταση περίπου 25 km². Στην πορεία του ο χείμαρρος εισέρχεται στην περιοχή της Μάνδρας από τα δυτικά εισερχόμενος στον οικισμό συναντάει την οδό Ομήρου, στη συγκεκριμένη θέση έχουν κατασκευαστεί φρεάτια όμβριων υδάτων, όπου γίνεται διευθέτηση του χείμαρρου εντός την περιοχής. Η φυσική του ροή έχει μπαζωθεί από τις οδούς Αγίας Αικατερίνης, Στρατηγού Δεληγιάννη και Βαγγέλη Κοροπούλη. Στην οδό Κοροπούλη υπάρχει αγωγός, όπου ο χείμαρρος Αγίας Αικατερίνης συγκλίνει στον Σούρες (Ζέρβα, 2019).

2.1.4 Ιστορικές πλημμύρες

Η υποενότητα αυτή αναφέρεται στην καταγραφή των πλημμυρών που παρουσιάστηκαν στην περιοχή της Μάνδρας σε χρονολογική σειρά. Με βάση τις δημοσιογραφικές πηγές που κατέγραψαν τα συμβάντα καθώς και οι αρμόδιες κρατικές υπηρεσίες, οι πλημμύρες κατέστρεψαν σπίτια και επιχειρήσεις αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις υπήρξαν ανθρώπινες απώλειες. Με βάση την χρονολογική σειρά οι πλημμύρες καταγράφονται ως εξής:

- Ρωμαϊκοί χρόνοι (Παυσανίας 150 μ.Χ): ανθρώπινα θύματα στην περιοχή της Ελευσίνας από τον χείμαρρο Ελευσίνιου Κηφισού (ο σημερινός Σαρανταπόταμος), που γειτνιάζει με τον χείμαρρο Σούρες
- 1953, με υλικές ζημιές
- 19 Νοέμβριος 1963: ένα ανθρώπινο θύμα και ζημιές στη σιδηροδρομική γραμμή στο ύψος της ΠΥΡΚΑΛ, ζημιές επίσης σε κατοικίες και καλλιέργειες
- 2 Νοέμβριος και Δεκέμβριος 1977: με υλικές ζημιές
- Φεβρουάριος 1978: Εκατοντάδες ζώα πνίγηκαν και αποκλείστηκαν κάτοικοι στην περιοχή
- 27 Ιανουαρίου 1996: με ύψος βροχής 17,30mm, δύο ανθρώπινα θύματα, εκατοντάδες πλημμυρισμένα σπίτια, καταστήματα και εργοστάσια, δεκάδες καταστραμμένα αυτοκίνητα
- Νοέμβριος 1999: Υλικές ζημιές σε κατοικίες
- Νοέμβριος 2002: Υλικές ζημιές σε κατοικίες και στην σιδηροδρομική γραμμή στο ύψος της ΠΥΡΚΑΛ
- 24 Οκτωβρίου 2014: ύψος βροχής 67 mm (σύμφωνα με το Βροχομετρικό σταθμό της Μάνδρας Αττικής και το υδρομετεωρολογικό σταθμό METEONET) και σημαντικά προβλήματα συσσώρευσης υδάτων στο οδικό δίκτυο
- 27 Φεβρουαρίου 2015: Υλικές ζημιές σε κατοικίες και αυτοκίνητα, αποκλεισμένοι άνθρωποι σε κατοικίες και αυτοκίνητα, και προβλήματα συσσώρευσης υδάτων σε οικίες και οδικό δίκτυο (Γεωργακόπουλος, 2017).

Η χειρότερη πλημμύρα που αντιμετώπισε η περιοχή της Μάνδρας, ήταν στις 15 Νοεμβρίου του 2017, όπως επίσης, σύμφωνα με τις δημοσιογραφικές πηγές, θεωρήθηκε η τρίτη χειρότερη πλημμύρα στην Αττική και συγκεκριμένα στην Δυτική Αττική. Το πλημμυρικό γεγονός οφειλόταν στο βαρομετρικό χαμηλό «Ευρυδίκη» το οποίο έπληξε τη Δυτική και Νότια Ελλάδα. Το οδικό δίκτυο της περιοχής μετατράπηκε σε ποτάμια, παρασύροντας αυτοκίνητα, φερτά υλικά και συσκευές στην θάλασσα. Στην Μάνδρα απόκτησαν ζημιές 1064 κτίρια και συγκεκριμένα 794 κατοικίες, 126 επαγγελματικοί χώροι, 8 δημόσια κτήρια και 136 αποθήκες και υπόγεια. Οι θάνατοι έφτασαν στους 26 ανθρώπους (Γαλάνης, 2017).

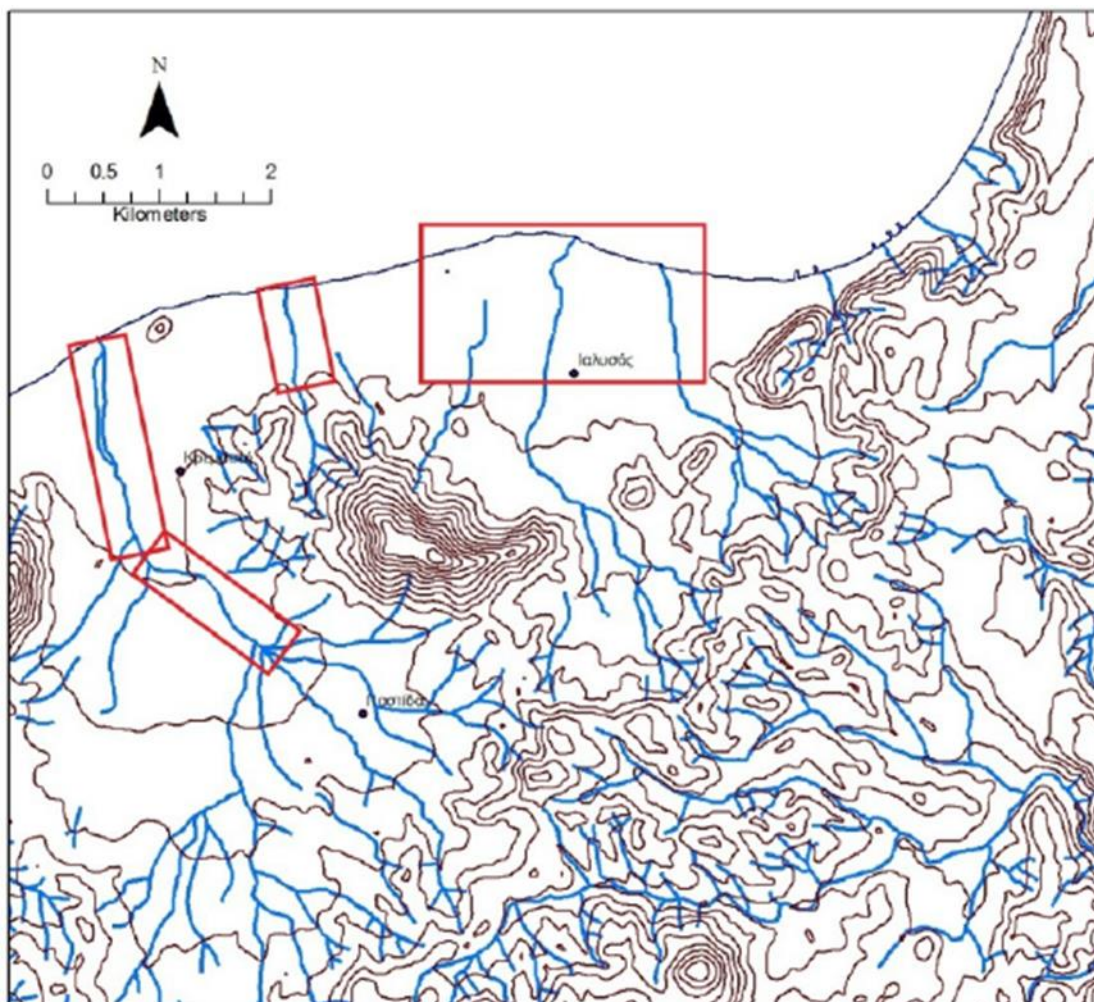
2.2 Κρεμαστή Ρόδου

2.2.1 Γενικά

Η Ρόδος είναι νησί της Ελλάδας όπου βρίσκεται στο νοτιοανατολικό Αιγαίο και ανήκει στα Δωδεκάνησα. Βρίσκεται περίπου 350 km νοτιοανατολικά της Αθήνας και 18 km νοτιοδυτικά της Τουρκίας. Με έκταση 1400,684 km² είναι το μεγαλύτερο νησί των Δωδεκανήσων, το τέταρτο σε σειρά ολόκληρης της χώρας και το ένατο της Μεσογείου (Tsiros, 2017-2018). Βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος. Διαθέτει ακτογραμμή μήκους 253 km (Charami, 2017-2018) και το υψηλότερο σημείο της είναι η κορυφή του όρους Αττάβυρος σε ύψος 1215 m (Karakasis, 2017-2018). Σύμφωνα με την απογραφή του 2011, ο πληθυσμός του νησιού ανέρχεται σε 115490 κατοίκους, γεγονός που καθιστά τη Ρόδο το τρίτο πολυπληθέστερο ελληνικό νησί (ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2014). Στο βορειοανατολικό άκρο του νησιού βρίσκεται η πρωτεύουσά του, η πόλη της Ρόδου, που με πληθυσμό περίπου 55000 κατοίκους αποτελεί και τον μεγαλύτερο οικισμό του. Εντός των ορίων της πόλης της Ρόδου, βρίσκεται η Μεσαιωνική πόλη της Ρόδου ή Παλιά Πόλη, όπως αποκαλείται από τους ντόπιους, μια από τις καλύτερα διατηρημένες μεσαιωνικές πόλεις του κόσμου, που έχει αναγνωρισθεί από το 1988 ως μνημείο παγκόσμιας κληρονομιάς της UNESCO. Εντός των τειχών της Παλιάς Πόλης βρίσκονται αξιόλογα μνημεία από τη Βυζαντινή εποχή, την Τουρκοκρατία και την περίοδο της Ιταλοκρατίας, με επιβλητικότερο το παλάτι του Μεγάλου Μαγίστρου (Tsiros, 2017-2018). Στα βορειοδυτικά και σε απόσταση περίπου 12 km από την πόλη, βρίσκεται ο Κρατικός Αερολιμένας Ρόδου «Διαγόρας», που αποτελεί την κύρια πύλη εισόδου των επισκεπτών στο νησί (Leonard, 2017-2018). Το γεγονός ότι κατατάσσεται σταθερά τέταρτο σε αφίξεις σε εθνικό επίπεδο, καθώς επίσης και το γεγονός ότι οι επισκέπτες που καταφτάνουν στο νησί με κάποιο κρουαζιερόπλοιο απαριθμούνται σε δεκάδες χιλιάδες ανά έτος, αποδεικνύουν πως η Ρόδος είναι ένας διεθνώς αναγνωρισμένος τουριστικός προορισμός με ιδιαίτερη σημασία για την ελληνική οικονομία.

Η περιοχή μελέτης είναι η ευρύτερη περιοχή της Κρεμαστής. Η Κρεμαστή είναι κωμόπολη της Ρόδου. Βρίσκεται 12 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά από την πρωτεύουσα, στη βορειοδυτική ακτή του νησιού. Ανήκει διοικητικά στον πρώην Καποδιστριακό Δήμο Πεταλούδων, ενώ με τη διοικητική μεταρρύθμιση του Καλλικράτη (2010-2011)

αποτελεί μαζί με τον οικισμό Αερολιμένα την Δημοτική Κοινότητα Κρεμαστής και υπάγεται στην Δημοτική Ενότητα Πεταλούδων του Δήμου Ρόδου. Ο πληθυσμός της βάσει της απογραφής του 2011 ανέρχεται στους 5363 μόνιμους κατοίκους (ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2014). Η κύρια ασχολία είναι ο τουρισμός καθώς και η γεωργία (Δήμος Ρόδου, 2016).



Σχήμα 2.5 Περιοχή μελέτης Κρεμαστή Ρόδου (Λέκκας, et al., 2014)

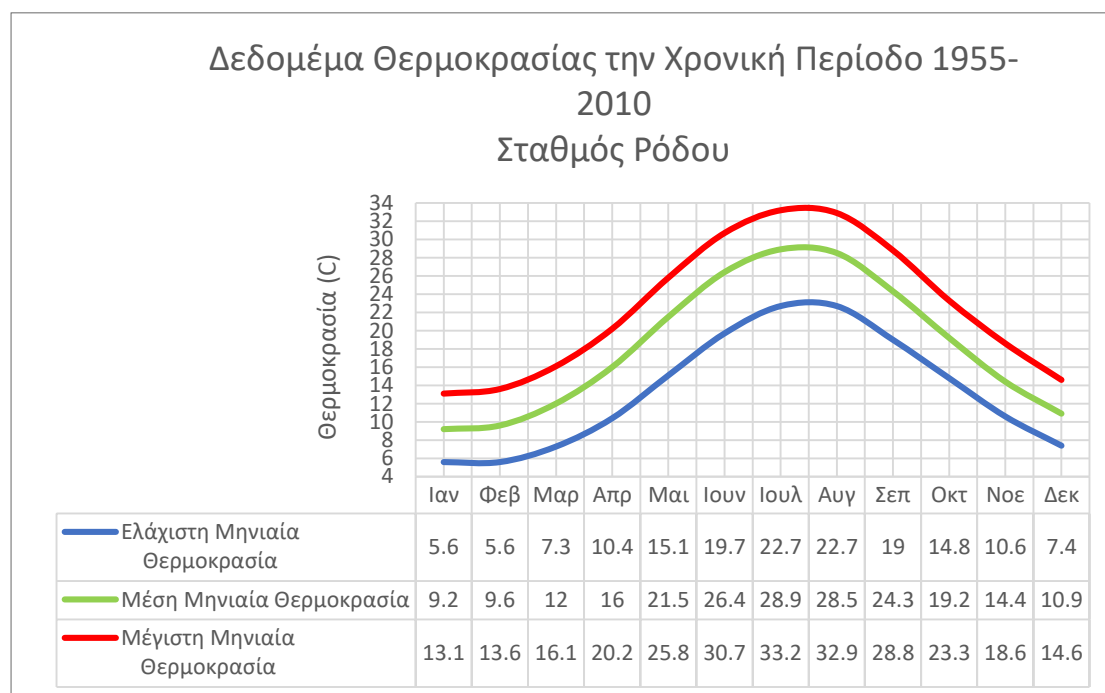
2.2.2 Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά του μορφολογίας, της γεωλογίας, του κλίματος και της υδρογεωλογίας της δεύτερης περιοχής μελέτης.

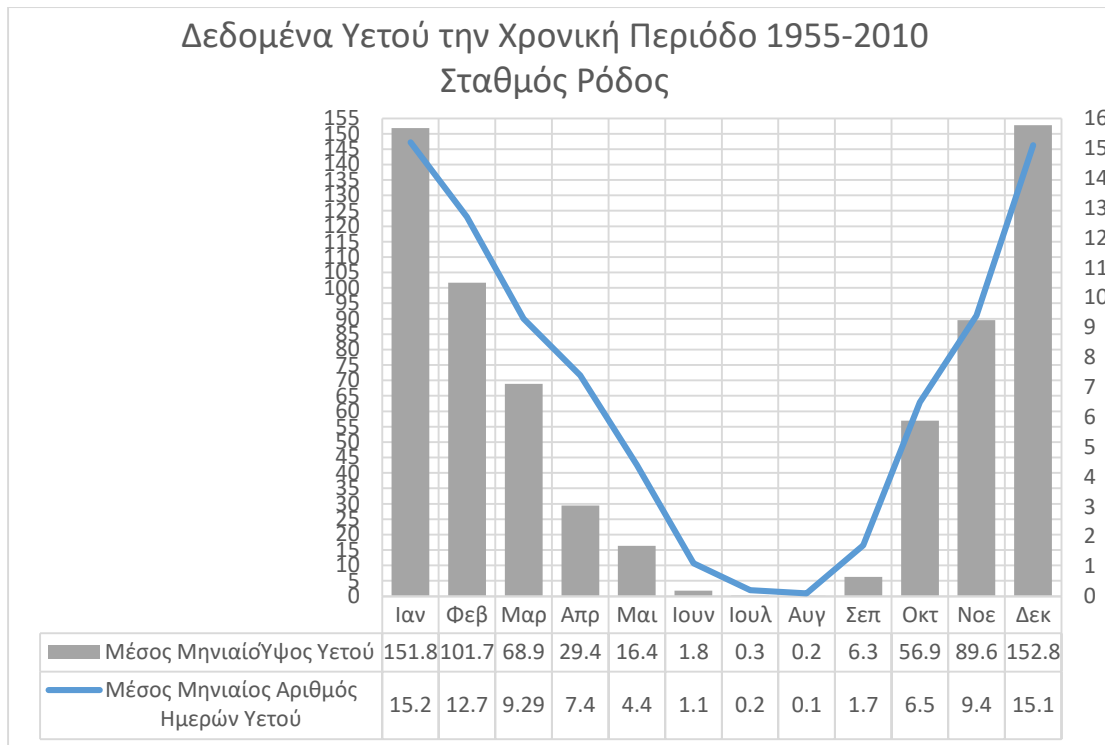
Η Ρόδος είναι κυρίως ορεινή με μικρές πεδιάδες, ρέματα και οροπέδια. Οι περιοχές με το μεγαλύτερο υψόμετρο βρίσκονται στο νότιο και κεντρικό μέρος τους νησιού. Τα βουνά της Ρόδου είναι ο Αττάβυρος (1215 m), όπου υψώνεται στην δυτική και κεντρική πλευρά του νησιού. Στα βόρεια, ενώνεται μέσω του υψώματος Κάστρο με τον προφήτη Ηλία. Στα νοτιοδυτικά του Αττάβυρου βρίσκεται το δεύτερο μεγαλύτερο

βουνό, ο Ακραμύτης. Οι κορυφές του Ατταβύρου είναι ο Άγιος Ιωάννης (1216m), και ακολουθούν οι κορυφές Φραμένο (1085m), Βοσκοτόπι (1064m.), Πιθανίτης (1013m), Βουκολιές (895m) και Κοπέλια (701m). Τα βασικά πετρώματα του βουνού είναι ο ασβεστόλιθος ενώ περιμετρικά του αναπτύσσονται περιοχές με υπερβασικά πετρώματα. Το τρίτο κατά σειρά ψηλότερο βουνό είναι ο προφήτης Ηλίας με υψόμετρο περίπου στα 800m (NaturaGraeca, 2022).

Το κλίμα της Ρόδου χαρακτηρίζεται ως ήπιο εύκρατο μεσογειακό. Σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της περιοχής, την περίοδο 1955 - 2010 καταγράφεται θερμοκρασία από 9,10°C – 30,70°C. Το μέσο μηνιαίο Ύψος Υετού κυμαίνεται από 0,2 mm τους καλοκαιρινούς μήνες έως 152,80mm τους χειμερινούς μήνες (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 1955-2010).



Σχήμα 2.6 Κλιματολογικά Δεδομένα από το Σταθμό της Ρόδου (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 1955-2010)



Σχήμα 2.7 Δεδομένα Υετού από το Σταθμό της Ρόδου (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 1955-2010)

Ως προς την γεωλογία, η νήσος Ρόδος ανήκει τεκτονικά στο νότιο- ανατολικό τόξο του Αιγίου Πελάγους, καθώς και το τελευταίο τμήμα των Εξωτερικών Ζωνών πριν από την συναρμογή τους με τις Ταυρίδες οροσειρές στην ενδοχώρα της Τουρκίας. Η Ρόδος κατατάσσεται σε τρεις γεωτεκτονικές ενότητες, την ανώτερη αυτόχθονη ενότητα, την ενδιάμεση αλλόχθονη ενότητα και την αυτόχθονη και παραυτόχθονη ενότητα. Ανάλογα με την ενότητα οι γεωλογικοί σχηματισμοί κατατάσσονται από τους νεότερους προς τους παλαιότερους ως εξής:

- ❖ **Ανώτερη αυτόχθονη ενότητα**
 - Τεταρτογενή ιζήματα: αλλουβιακές παράκτιες και χερσαίες αποθέσεις (άμμους χαλίγια κροκάλες και πλευρικά κορήματα), διαπερατοί σχηματισμοί στην περίμετρο του νησιού, σχηματισμός Σγούρου (γκριζοπράσινες μάργες παράκτιας φάσης με άμμους και χαλίγια, κίτρινοι πορώδεις ασβεστόλιθοι)
 - Νεογενή ιζήματα, Λεβαντίνια ιζήματα (ποταμοχειμάρρια-λιμναία κροκαλοπαγή, χάλικες, άμμοι και γκρι ιλυώδης μάργες) κ.ά.
- ❖ **Ενδιάμεση αλλόχθονη ενότητα**
 - Ομάδα Προφήτη Ηλία που αποτελείται από Μαλόνας (ασβεστόλιθος με πυριτικούς κονδύλους, πορφυρή μάργα και πυριτικούς ασβεστόλιθους), και

- τον πυριτικό ασβεστόλιθο Ελαφόκαμπου (τεφρός, ερυθρός, κίτρινος ασβεστόλιθος με ενστρώσεις δολομιτικού ασβεστόλιθου και πυριτόλιθου)
- Ασβεστόλιθο Λίνδου (μαύρος, υποκύανος ή λευκός μέσο έως παχυστρωματώδης ασβεστόλιθος) και φλύσχη Αρχίπολης (εναλλαγές τεφροπράσινων ψαμμιτών, πολύμικτων κροκαλοπαγών και μαργών)
 - ομάδα Αρχαγγέλου, που αποτελείται από τον ασβεστόλιθο Σάλακα (τεφρός, καστανός ή μαύρος δολομίτης και δολομιτικός ασβεστόλιθος) και τον σχηματισμό Κουμούλι (σκούρος ασβεστόλιθος με ενστρώσεις καστανοπράσινης μαργαϊκής αργίλου)
- ❖ Αυτόχθονη και παρααυτόχθονη ενότητα
- φλύσχη Κατταβιάς, μη περατό σχηματισμό που αποτελείται από πάνω προς τα κάτω από τα μέλη μεγάλο Κάλαβρο (ασβεστιτικοί τεφροπράσινοι αργιλίτες εναλλασσόμενοι με ψαμμίτες), Καράκια (τεφροπράσινοι ασβεστιτικοί αργιλίτες και ψαμμίτες), Κάλαθος (ελαφρώς μεταμορφωμένος φλύσχη), Σταφυλία (ψαμμίτες εναλλασσόμενοι με τεφροπράσινους ασβεστιτικούς αργιλίτες), Λάερμα (ασβεστόλιθοι εναλλασσόμενοι με αργιλίτες και ψαμμίτες) και τέλος το μέλος Σιάνα (κυανότεφροι ασβεστιτικοί, πηλίτες, αργιλίτες εναλλασσόμενοι με τεφρούς, τεφροπράσινους ψαμμίτες και λεπτοστρωματώδης ιλυολίθους)
 - ομάδα Ατταβύρου, που αποτελείται από τον ασβεστόλιθο Κακόσκαλας (μάργα και καστανέρυθρος μαργαϊκός ασβεστόλιθος με κονδύλους και φακούς κόκκινου πυριτόλιθου), τον ασβεστόλιθο Ακραμύτη (εναλλαγές τεφρού κλαστικού και μικριτικού ασβεστολίθου), καθώς και τον ασβεστόλιθο Ατεμάρη (ασβεστόλιθος με ενστρώσεις και φακούς πυριτόλιθου και μάργας).

(Χρήστος Χ. Γαμβρούδης, 2009).

Οι χρήσεις γης που επικρατούν στην νήσο Ρόδου, είναι τα δάση με συγκόμωση >75% (30,37%), οι χορτολιβαδικές εκτάσεις (26,24%), οι δεντρόκηποι και δενδροκαλλιέργειες (19,204%), τα δάση με συγκόμωση 25-50% (8,69%) και τα δάση με συγκόμωση 50-75% (8,40%). Ως προς οικονομικές δραστηριότητες, η περιοχή περιλαμβάνει υδατοκαλλιέργειες παράκτιων περιοχών, βιομηχανίες παραγωγής ενέργειας και τοπικών προϊόντων καθώς και ξενοδοχειακές μονάδες (Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΛ14), 2018-2019).

2.2.3 Υδρογραφικό Δίκτυο της Νήσου Ρόδου-υπό μελέτη λεκάνη απορροής

Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται το υδρογραφικό δίκτυο της νήσου Ρόδου και δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στη λεκάνη απορροής της περιοχής μελέτης. Γενικά, η Ρόδος δεν περιέχει μεγάλους ποταμούς αλλά μόνο χειμάρρους. Από τις πλαγιές του όρους Αττάβυρου ρέουν τρεις μεγάλοι ποταμοί, ο Γαδουράς, ο Ασκληπιηνός και ο Σιανίτης. Επίσης υπάρχουν τα ρέματα του Ίσβακη και του Κουμουνού, οι οποίοι τέμνουν το Αττάβυρο. Στην ίδια περίπου ανατολική κατεύθυνση, εκβάλλουν οι ποταμοί, Αδραμύλας, Πλημμυριανός, Λαρδιακός, Μάκκαρης, Χάς Λουτάνης, Αφανενός, Πότος ή Ψαλοδιπόταμος. Στην νοτιοδυτική πλευρά εκβάλλουν ο Κρεμαστενός, ο Δαματρενός, τα Διπόταμα, ο Πλατής και ο Άργυρος (Τσαγγαρινός, Γιώργος - Ευφραίμ, 2013-2014).

Η περιοχή μελέτης σύμφωνα το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, βρίσκεται εντός της λεκάνη απορροής GR1438FR00040. Επίσης ανήκει στις χαμηλές ζώνες λεκανών ρεμάτων βόρειας ακτής νήσου Ρόδου. GR14RAK00003 Το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικής μορφή με τα υδρορέματα να πηγάζουν κυρίως από τις δυτικές περιοχές των ορεινών όγκων. Το κύριο υδατόρευμα που διέρχεται είναι το ρέμα Κρεμαστινού. Τα επιφανειακά νερά που διαρρέουν το υδατόρευμα δεν παρουσιάζει μόνιμη ροή, και κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η ροή μηδενίζεται.

(Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΛ14), 2018-2019).

2.2.4 Ιστορικές πλημμύρες

Στην ενότητα αυτή καταγράφονται τα πλημμυρικά φαινόμενα που παρουσιάστηκαν στο νησί της Ρόδου σε χρονολογική σειρά. Με βάση τις δημοσιογραφικές πηγές που κατέγραψαν τα συμβάντα καθώς και οι αρμόδιες κρατικές υπηρεσίες, οι πλημμύρες κατέστρεψαν σπίτια και επιχειρήσεις αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις ανθρώπινες απώλειες. Με βάση την χρονολογική σειρά οι πλημμύρες καταγράφονται ως εξής:

- 22/11/1989: Ισχυρή βροχόπτωση στην ευρύτερη περιοχή του οδικού άξονα Αρχίπολη – Ελεούσα – Πλατάνια – Απόλλωνα που δημιούργησε πολλές ζημιές στο οδόστρωμα αυτού, κατολισθήσεις στον οικισμό Πλατάνια, πλημμύρες στον οικισμό Απόλλωνα.

- 20/11/1994: Τοπική ισχυρή βροχόπτωση κυρίως νότια του οικισμού Αρχαγγέλου, με πολύ μεγάλη ένταση και διάρκεια (5 ώρες περίπου). Κατέστρεψε την Εθνική οδό Ρόδου - Λίνδου
- στο 36ο Χιλιόμετρο αυτής. Παρεσύρθη μικρό αυτοκίνητο με αποτέλεσμα τον τραγικό θάνατο τεσσάρων ατόμων.
- 29–30/01/1996: Ισχυρή βροχόπτωση στον οικισμό Αρχαγγέλου με αποτέλεσμα την υπερχειλίση των χειμάρρων Λειβάδια, Μαγκαφά και Μάκρωνα που τον διασχίζουν. Πλημμύρισαν όλα τα χαμηλά σημεία του οικισμού με αποτέλεσμα την καταστροφή κατοικιών – καταστημάτων κ.λπ. Πρόκειται για την πλημμύρα που δημιούργησε τις μεγαλύτερες υλικές ζημιές στον Αρχάγγελο.
- 1998: Ισχυρή βροχόπτωση στον οικισμό Καλυθιών και στην ευρύτερη περιοχή Ψίνθου και Φαληρακίου. Πνίγηκαν τρεις στρατιώτες όταν παρασύρθηκε το αυτοκίνητό τους από τα νερά του χειμάρρου Ψαλιδόκαμπος. Μεγάλες υλικές ζημιές υπέστησαν κτίρια στο Φαληράκι. Αντίστοιχη πλημμύρα συνέβη και στον οικισμό Βατίου.
- 29/11/2004: Ισχυρή βροχόπτωση στον οικισμό Αρχαγγέλου με αποτέλεσμα την υπερχειλίση των χειμάρρων Λειβάδια, Μαγκαφά και Μάκρωνα που τον διασχίζουν. Επανάληψη του σκηνικού του 1996 με πολύ μικρότερες υλικές ζημιές.
- 01/01/2008: Ισχυρή βροχόπτωση στον Δήμο Ιαλυσού με αποτέλεσμα την υπερχειλίση του χειμάρρου Τριαντενού που διασχίζει την πόλη και άλλων ρεμάτων με σχετικά μικρές υλικές ζημιές.
- 28/01/2011: Ισχυρή βροχόπτωση στις περιοχές Καλυθιών – Φαληρακίου, Αφάντου, Αρχαγγέλου, Μάσσαρι και Λάρδου. Έγιναν υλικές ζημιές σ' όλες τις περιοχές, οι περισσότερες στην περιοχή Αφάντου, στις ιδιοκτησίες επί της Εθνικής Οδού Ρόδου – Λίνδου, στην Εθνική Οδό (Αφάντου, Τσαμπίκα κ.λ.π.) στο Νεκροταφείο και στον παραλιακό δρόμο όπου κατεστράφησαν ολοσχερώς τα έργα ανάπλασης αυτού.
- 22/11/2013: Ισχυρή βροχόπτωση στις περιοχές Ιαλυσός, Κρεμαστή, Παστίδα. Έγιναν πολύ μεγάλες υλικές καταστροφές λόγω υπερχειλίσης των χειμάρρων

Τριαντενού και Πασιδενού αντίστοιχα. Δύο άτομα παρασύρθηκαν και έχασαν τη ζωή τους από τα νερά του Κρεμαστενού ποταμού κατά την διάβαση της υπάρχουσας εκεί Ιρλανδικής Διάβασης. Επίσης δύο άτομα παρασύρθηκαν και έχασαν τη ζωή τους από τα ορμητικά νερά του παραχείμαρρου του Κρεμαστενού Ποταμού στην Πασιίδα κατά την διεύλευσή τους από αγροτικό δρόμο.

- 23/11/2013: Ισχυρή βροχόπτωση στις περιοχές Καλυθιές, Αφάντου και Αρχάγγελος. Έγιναν σχετικά μικρές υλικές ζημιές στις ως άνω περιοχές, κυρίως στα έργα υποδομής.
- 25/11/2019: Το νησί δοκιμάζεται ξανά από ραγδαίες βροχοπτώσεις τις μεταμεσημβρινές ώρες, με διακοπές ρεύματος και υπερχειλίσεις ποταμών που σημειώθηκαν στις περιοχές Αρχίπολη, Λάρδο, Ιαλυσό, Απολακκιά, Άγιο Ισίδωρο, Μανδρικό. Τις βραδινές ώρες κατέρρευσε η γέφυρα της εθνικής οδού στον ποταμό Μάκαρη, η οποία ευτυχώς είχε κλείσει στις 13/11/2019. Μία γυναίκα πνίγηκε μέσα στην κατοικίας στην Ιαλυσό. Υπήρξαν εκτεταμένες καταστροφές στο οδικό δίκτυο του νησιού, σε έργα υποδομής και σε ιδιοκτησίες.
- 29/01/2020: Ο περιφερειάρχης χαρακτήρισε πλημμυροπαθείς τις περιοχές από Καλυθιές έως και Λίνδο. Τα μεγαλύτερα προβλήματα αντιμετώπισαν οι περιοχές Αφάντου, Αρχαγγέλου, Καλάθου και Λάρδου, από υπερχειλίση χειμάρρων που προκάλεσαν πλημμύρες σε σπίτια και καταστήματα, ενώ αρκετές ζημιές προκλήθηκαν σε αγροτικούς δρόμους και καλλιέργειες. Το νερό στον Αρχάγγελο έφθασε σε ύψος 0.400-0.500 m στην θέση συμβολής των ποταμών Μαγκαφά και Λειβάδια (Διευθύνη Τεχνικών Έργων Δωδεκανήσου, Τμήμα Μελετών, 2020).

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο, στο οποίο βασίζεται όλη η μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας. Το θεωρητικό υπόβαθρο περιλαμβάνει βασικές έννοιες, ορισμούς και μαθηματικά μοντέλα των επιστημών της Υδρολογίας και της Γεωπληροφορικής. Αυτή η ενότητα παρουσιάζει το πλαίσιο υλοποίησης της υδρολογικής ανάλυσης και εκτίμησης της παροχής αιχμής.

3.1 Υδρολογική Ανάλυση

3.1.1 Συλλογή - Προεπεξεργασία δεδομένων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα γεωχωρικά δεδομένα και οι βασικές παράμετροι που αντλούνται από τα σχέδια διαχείρισης πλημμύρας και το εθνικό κτηματολόγιο. Από τα σχέδια διαχείρισης πλημμύρας αντλούνται οι πίνακες παραμέτρων των όμβριων καμπυλών, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κατά την ορθολογική μέθοδο. Τα γεωχωρικά δεδομένα είναι οι εδαφολογικοί χάρτες (Κλίμακας 1:20000, 1:50000), οι Χρήσης Γης κατά Corine (2018) σε προκαθορισμένες κατηγορίες κάλυψης γης (Σχήμα 3.1), καθώς και Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) διαστάσεων 5m x 5m που χορηγήθηκε από το Κτηματολόγιο Α.Ε. για τις περιοχές μελέτης. Οι εδαφολογικοί χάρτες πάρθηκαν από την ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

- 1.1 ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ
 - 1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός
 - 1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός
- 1.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ - ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ
 - 1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες
 - 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα
 - 1.2.3 Ζώνες λιμένων
 - 1.2.4 Αεροδρόμια
- 1.3 ΟΡΥΧΕΙΑ, ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΣ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΟΙ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ
 - 1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών
 - 1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων
 - 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
- 1.4 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΜΗ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ
 - 1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου
 - 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
- 2.1 ΑΡΟΣΙΜΗ ΓΗ
 - 2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
 - 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη
 - 2.1.3 Ορυζώνες
- 2.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
 - 2.2.1 Αμπελώνες
 - 2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
 - 2.2.3 Ελαιώνες
- 2.3 ΛΙΒΑΔΙΑ
 - 2.3.1 Λιβάδια
- 2.4 ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
 - 2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες
 - 2.4.2 Σύνοψτες καλλιέργειες
 - 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
 - 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
- 3.1 ΔΑΣΗ
 - 3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων
 - 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων
 - 3.1.3 Μικτό δάσος
- 3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΘΑΜΝΩΔΟΥΣ Ή/ΚΑΙ ΠΟΩΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ
 - 3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι
 - 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι
 - 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση
 - 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
- 3.3 ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΧΩΡΟΙ ΜΕ ΛΙΓΗ Ή ΚΑΘΟΛΟΥ ΒΛΑΣΤΗΣΗ
 - 3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές
 - 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι
 - 3.3.3 Εκτάσεις με αραή βλάστηση
 - 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις
 - 3.3.5 Παγετώνες και αέριο χιόνι
- 4.1 ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ ΕΝΔΟΧΩΡΑΣ
 - 4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα
 - 4.1.2 Τυρφώνες
- 4.2 ΠΑΡΑΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ
 - 4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι
 - 4.2.2 Αλυκές
 - 4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
- 5.1 ΧΕΡΣΑΙΑ ΎΔΑΤΑ
 - 5.1.1 Υδατορρέυματα
 - 5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
- 5.2 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΎΔΑΤΑ
 - 5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες
 - 5.2.2 Εκβολές ποταμών
 - 5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

Σχήμα 3.1 Κατηγορίες Κάλυψης Γης, Corine LCr 2018 (http://mapsportal.ypen.gr/layers/geonode:gr_clc2018)

3.1.2 Εκτίμηση Παροχής Αιχμής

Η συγκεκριμένη υποενοότητα παρουσιάζει την προσέγγιση για την εκτίμηση της παροχής αιχμής. Η παροχή αιχμής υπολογίζεται με την ορθολογική μέθοδο. Τα υδρολογικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται είναι η μέση ένταση βροχόπτωσης, i , υπολογισμένη με βάση την όμβρια καμπύλη, ο συντελεστής απορροής, C , ο χρόνος συγκέντρωσης, t_c , και η επιφάνεια της λεκάνης απορροής, A .

Ορθολογική Μέθοδος

Η παροχή σχεδιασμού για δεδομένη περίοδο επαναφοράς υπολογίζεται με την χρήση της ορθολογικής μεθόδου. Εφαρμόζεται για σχετικά μικρές υδρολογικές λεκάνες (<35km²). Η ορθολογική μέθοδος μετασχηματίζει την βροχή σε απορροή με τον απλό τύπο (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2012):

$$Q_T = 0.278 * C * i * A$$

όπου:

Q_T [m³/s] : η Αιχμή της Απορροής για δεδομένη περίοδο επαναφοράς, T .

C [-] : Αδιάστατος Συντελεστής Απορροής, που εξαρτάται από τα μορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής.

i [mm/h]: Μέση ένταση βροχόπτωσης, για επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς, T , και για διάρκεια ίση προς το χρόνο συγκέντρωσης.

A [km²] : Επιφάνεια λεκάνης, που συνεισφέρει την απορροή της στο σημείο μελέτης.

Για την παροχή αιχμής που αντιστοιχεί σε δεδομένη περίοδο επαναφοράς, υπολογίζεται η ένταση βροχόπτωσης σε (mm/h) με χρήση της κατάλληλης όμβριας καμπύλης και για διάρκεια ίση με το χρόνο συγκέντρωσης. Επιπλέον, για τον υπολογισμό της τιμής της απαιτείται ο προσδιορισμός του συντελεστή απορροής για την εκάστοτε λεκάνη απορροής, όπου και πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο που παρουσιάζεται στην ομώνυμη παράγραφο.

Όμβριες Καμπύλες

Η Όμβρια καμπύλη ορίζεται ως η σχέση που συνδέει το ύψος (ή την ένταση της βροχής) με την διάρκειά της για καθορισμένη περίοδο επαναφοράς. Το ύψος της βροχής είναι αύξουσα συνάρτηση της διάρκειας της βροχόπτωσης, ενώ η ένταση της βροχής είναι φθίνουσα συνάρτηση της διάρκειας της βροχόπτωσης (Σχήμα 3.4).

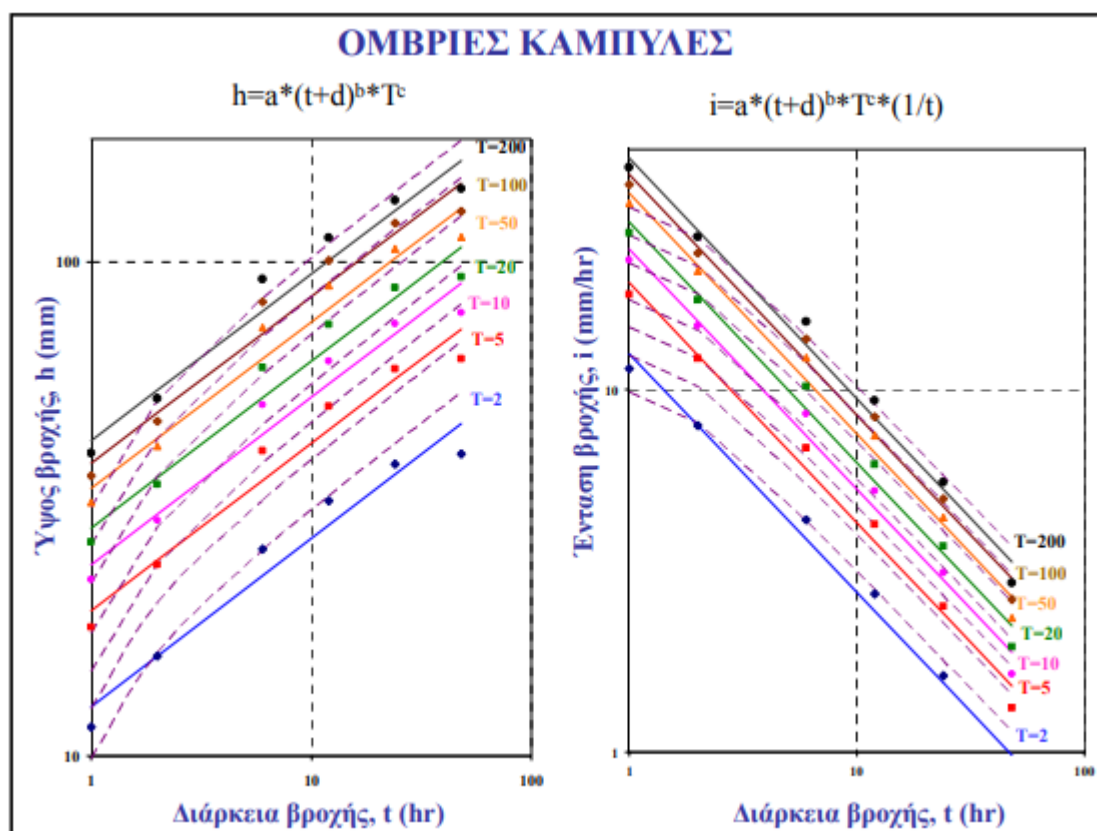
Στο πλαίσιο της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ για την μελέτη των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας περιγράφεται η μεθοδολογία για την κατάρτιση όμβριων καμπυλών και προσδιορίζονται οι τιμές των παραμέτρων για 676 σταθμούς σε επίπεδο χώρας. Η τελική γενική έκφραση των όμβριων καμπυλών είναι της μορφής:

$$i(d, T) = \frac{\lambda'(T^k - \psi')}{(1 + d/\theta)^\eta}$$

όπου:

- k [-] : Παράμετρος σχήματος
- λ' [-] : Παράμετρος κλίμακας
- ψ' [-] : Παράμετρος θέσης της συνάρτησης κατανομής
- θ, η [-] : Παράμετροι της συνάρτησης διάρκειας.

Οι πέντε παράμετροι υπολογίστηκαν ξεχωριστά για κάθε βροχομετρικό σταθμό και έχουν αναρτηθεί στο παράρτημα II της οδηγίας 2007/60/ΕΚ (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2016).



Σχήμα 3.4 Αναπαράσταση Όμβριων Καμπυλών (Μαμάσης, 2013)

Συντελεστής Απορροής C

Ο συντελεστής C αντιπροσωπεύει την αναλογία q_p/I . Ο συντελεστής απορροής εκτιμάται (σύμφωνα με την ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ,2013) από το άθροισμα των επιμέρους συντελεστών C_r , C_i , C_v , C_s :

- C_r [-]: το ανάγλυφο εδάφους
- C_i [-]: τη διηθητικότητα του εδάφους
- C_v [-]: φυτική κάλυψη εδάφους
- C_s [-]: την κλίση των πρανών και την αποθηκευτική ικανότητα σε χαμηλά σημεία της επιφάνειας εδάφους

Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1. Οι τιμές του πίνακα ισχύουν για περιόδους επαναφοράς 5-10 έτη. Για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, όπως $T = 25$ έτη, $T = 50$ έτη και $T = 100$ έτη, το άθροισμα C' πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή διόρθωσης $C_f = 1.10$, $C_f = 1.20$ και $C_f = 1.25$, αντίστοιχα για κάθε περίοδο. Συνεπώς η τελική τιμή του συντελεστή απορροής προκύπτει

$$C = C_f * C'$$

όπου:

$$C' = C_r + C_i + C_v + C_s$$

Τέλος ο συντελεστής απορροής, εκτός από τους προηγούμενους παράγοντες, εξαρτάται από την εδαφική υγρασία κατά την έναρξη της βροχής και την έκταση της βροχόπτωσης διαπιστώνεται ότι δεν παραμένει σταθερός για την ίδια λεκάνη. (ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, 2013).

Πίνακας 3.1 Συντελεστές απορροής κατά ΟΜΟΕ ΑΣΥΕΟ 2013 (ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, 2013)

α. Συντελεστής C_Γ : Ανάγλυφο εδάφους				
	Επικλινείς, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις >30%	Λοφώδες, με μέσες κλίσεις 10%-30%	Κυματώδες, με μέσες κλίσεις 5%-10%	Σχετικά επίπεδο, με μέσες κλίσεις 0-5%
C _{Γmin}	0,28	0,2	0,14	0,08
C _{Γmax}	0,35	0,28	0,2	0,14
C _{Γμέσο}	0,32	0,24	0,17	0,11
β. Συντελεστής C_Ι: Διηθητικότητα εδάφους				
	Μη επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες, είτε μανδύας λεπτόκοκκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	Βραδείας διηθητικότητα, άργιλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	Κανονικής διηθητικότητας καλά αποστραγγιζόμενο μερικής ή μεσαίας μακροϋφής εδάφη, αμμώδη παχιά εδάφη, ιλύες και ιλώδη εδάφη	Υψηλής διηθητικότητας βαθιά άμμος ή άλλο έδαφος που απορροφά το νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη
C _{Ιmin}	0,12	0,08	0,06	0,04
C _{Ιmax}	0,16	0,12	0,08	0,06
C _{Ιμέσο}	0,14	0,1	0,07	0,05
γ. Συντελεστής C_ν : Φυτική κάλυψη εδάφους				
	Βλάστηση που δεν επηρεάζει, γυμνό ή πολύ αραιά κάλυψη	Πτωχή έως μέτρια, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης, λιγότερο από 20% της αποχετευόμενης επιφάνειας με καλή κάλυψη	Μέτρια έως καλή, περίπου 50% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, λιγότερο από 50% επιφάνειας είναι καλλιέργειες	Καλή έως άριστη, περίπου το 90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
C _{νmin}	0,12	0,08	0,06	0,04
C _{νmax}	0,16	0,12	0,08	0,06
C _{νμέσο}	0,14	0,1	0,07	0,05
δ. Συντελεστής C_ς : Αποθηκευτικότητα εδάφους				
	Αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς, διάδρομοι αποστράγγισης επικλινείς και μικροί, καθόλου τέλματα, με μέσες κλίσεις >30%	Χαμηλή, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα, με μέσες κλίσεις 10-30%	Κανονική, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα, με μέσες κλίσεις 5-10%	Υψηλή αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών ή τελμάτων, με μέσες κλίσεις 0-5%
C _{ςmin}	0,1	0,08	0,06	0,04
C _{ςmax}	0,12	0,1	0,08	0,06
C _{ςμέσο}	0,11	0,09	0,07	0,05

Χρόνος Συγκέντρωσης tc

Ο χρόνος συγκέντρωσης (ή χρόνος συρροής) σε μια λεκάνη απορροής ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται ώστε μία σταγόνα βροχής να φτάσει από ένα απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης στην έξοδό της και εκφράζει την χρονική καθυστέρηση με την οποία εμφανίζεται η αιχμή της πλημμυρικής απορροής σε σχέση με τον χρόνο που ξεκίνησε η βροχή στη λεκάνη.

Σε περίπτωση υδρολογικών λεκανών όπου τα μήκη διαδρομής είναι σχετικά μεγάλα και οι επιφάνειές τους είναι ανομοιόμορφες, τότε ο χρόνος συγκέντρωσης υπολογίζεται βάση εμπειρικών σχέσεων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι σχέσεις που εκπόνησε ο Kirpich (1940), ο Giandotti, ο Passini και η Soil Conservation Service (SCS) (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2012).

Η σχέση του Kirpich είναι:

$$t_c = 0.01947 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

όπου:

- t_c [min]: ο χρόνος συγκέντρωσης σε min
- L [m]: το μέγιστο μήκος διαδρομής του νερού πάνω στην υδρολογική λεκάνη σε m
- S [m/m]: η κλίση που ισούται με το λόγο H/L , όπου H είναι η υψομετρική διαφορά σε m ανάμεσα.

Η σχέση του Giandotti είναι:

$$t_c = \frac{4 * \sqrt{A} + 1.5 * L}{0.8 * \sqrt{\Delta H}}$$

όπου:

- t_c [h] : Χρόνος συγκέντρωσης σε ώρες
- A [km²] : η έκταση της λεκάνης απορροής σε km²
- L [km] : η απόσταση του κυρίως ρεύματος μέχρι την έξοδο της λεκάνης σε km (το μήκος της κύριας μισγάγγεια)
- ΔH [m] : η διαφορά του μέσου υψομέτρου της λεκάνης από το υψόμετρο στην έξοδο της λεκάνης.

Η σχέση της SCS είναι:

$$t_c = \frac{L^{1.15}}{7700 * H^{0.38}}$$

όπου:

- t_c [h]: ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης σε ώρες
- L [ft]: το μήκος του κυρίως ρεύματος σε ft και
- H [ft]: η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στο πλέον απομακρυσμένο σημείο και στην έξοδο της λεκάνης.

Η σχέση του Passini είναι: (Βαφείαδης, 2001)

$$t_c = 0.108 * ((A * L)^{\frac{1}{3}}) / (S^{\frac{1}{2}})$$

Όπου:

- t_c [hr]: ο χρόνος συγκέντρωσης
- A [km²]: η επιφάνεια της λεκάνης
- L [km]: ο μέγιστος υδραυλικός δρόμος
- S [m/m]: η μέση κλίση στη λεκάνη απορροής (%)

Κρίσιμη ένταση βροχόπτωσης, i

Η παράμετρος προσδιορίζεται με βάση την όμβρια καμπύλη σε συνδυασμό με το χρόνο συρροής που έχει υπολογιστεί παραπάνω.

3.1.3 Υδρογράφημα απορροής

Στην υποενότητα αυτή περιγράφεται η διαδικασία προσδιορισμού του πλημμυρογραφήματος. Για να υπολογιστεί το πλημμυρογράφημα αρχικά υπολογίζεται το ενεργό βροχογράφημα, χρησιμοποιώντας την Μέθοδο Εναλλασσόμενων Μπλοκ και την Μέθοδο SCS - Curve Number CN για να προκύψει τελικά το ενεργό, αφαιρώντας τις απώλειες από το συνολικό. Στην συνέχεια υπολογίζεται το Μοναδιαίο Υδρογράφημα με την μέθοδο NCRS. Ο συνδυασμός των παραπάνω δημιουργούν το πλημμυρογράφημα, μέσω των αρχών της αναλογίας και επαλληλίας.

Το πλημμυρογράφημα υπολογίζεται για δεδομένο υετόγραμμα σχεδιασμού, με σκοπό να συγκριθούν τα μεγέθη Q_{\max} με την αντίστοιχη τιμή που υπολογίστηκε με την παραπάνω μέθοδο.

Τα σενάρια προσομοίωσης του πλημμυρογραφήματος που προσδιορίζονται είναι δύο. Το πρώτο υπολογίζεται με βάση την προσέγγιση της καταιγίδας σχεδιασμού για περίοδο επαναφοράς ίσης με 100 έτη και εφαρμόζοντας το μοναδιαίο υδρογράφημα NCRS. Το δεύτερο υπολογίζεται με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης των εξεταζόμενων επεισοδίων των περιοχών μελέτης και εφαρμόζοντας το μοναδιαίο υδρογράφημα NCRS.

Τέλος, προσδιορίζεται εκ νέου το μοναδιαίο υδρογράφημα με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών και τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα, για λόγους σύγκρισης των μεθόδων.

Προσδιορισμός Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Η εκτίμηση της πλημμυρικής αιχμής και κατ' επέκταση της πλημμύρας, που είναι αποτέλεσμα μιας ισχυρής βροχόπτωσης, μπορεί να στηριχτεί στο μοναδιαίο υδρογράφημα. Ο πρώτος επιστήμονας που έθεσε στην υδρολογική ανάλυση αυτή την έννοια ήταν ο Sherman (1932). Κατά τον Sherman, το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι το υδρογράφημα που προκαλείται από ενεργό βροχή ύψους ίσου με την μονάδα (δηλαδή ίση 1 cm), που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλη την έκταση της υδρολογικής λεκάνης και έχει ομοιόμορφη ένταση. Δηλαδή είναι ένα υδρογράφημα απορροής που προκαλείται από ενεργό βροχή ίση με 10 mm συγκεκριμένης διάρκειας. (Μιμίκου & Μπαλτάς, 2012).

Σύμφωνα με τους Μιμίκου και Μπαλτά, το Μονοδιαίο Υδρογράφημα προσδιορίζεται από δύο βασικές αρχές, την αρχή της αναλογίας και την αρχή της επαλληλίας. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι:

- «Σύμφωνα με την αρχή της αναλογίας δύο ενεργές βροχές της ίδιας διάρκειας αλλά με διαφορετικές εντάσεις δημιουργούν υδρογραφήματα με την ίδια χρονική βάση αλλά με τεταγμένες σε κάθε χρονική στιγμή που έχουν λόγο μεταξύ τους ίσο με το λόγο των εντάσεων. Η αρχή αυτή είναι άμεσα εξαρτώμενη από τη γραμμικότητα της λεκάνης όπου δηλαδή οι όγκοι απορροής είναι ευθέως ανάλογοι των όγκων βροχής. Η γραμμικότητα ή μη μια λεκάνης απορροής περιγράφεται στο βιβλίο Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» (Μιμίκου, 1994).
- «Σύμφωνα με την αρχή της επαλληλίας το συνολικό υδρογράφημα που προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με τεταγμένες το άθροισμα των τεταγμένων των επιμέρους υδρογραφημάτων. Η χρονική αρχή των επιμέρους υδρογραφημάτων που αθροίζονται, ταυτίζονται με την αρχή των αντίστοιχων επεισοδίων ενεργούς βροχόπτωσης» (Μιμίκου, 1994).

Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν υδρολογικές μετρήσεις στις θέσεις χρησιμοποιούνται τα *συνθετικά* μοναδιαία υδρογραφήματα που είναι εμπειρικές μέθοδοι. Οι πιο γνωστές μέθοδοι κατασκευής συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η μέθοδος Snyder και η μέθοδος SCS (Soil Conservation Services).

Το αδιάστατο λείο MYG κατά SCS (NRCS)

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας εφαρμόστηκε το αδιάστατο λείο MYG κατά SCS/ NRCS, όπως περιγράφεται στη συνέχεια. Το αδιάστατο υδρογράφημα της SCS είναι ένα συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα στο οποίο η παροχή εκφράζεται ως λόγος της παροχής προς την παροχή αιχμής q_p και ο χρόνος ως λόγος του χρόνου προς το χρόνο ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος T_p . Με δεδομένα την παροχή αιχμής και τη χρονική υστέρηση για συγκεκριμένη διάρκεια περισεύματος βροχόπτωσης, το μοναδιαίο υδρογράφημα μπορεί να εκτιμηθεί από το συνθετικό αδιάστατο υδρογράφημα για μια δεδομένη λεκάνη (Μπέλλος, 2005). Το αδιάστατο υδρογράφημα έχει προέλθει από τα μοναδιαία υδρογραφήματα σε διάφορες λεκάνες απορροής. Οι τιμές του q_p και του T_p μπορούν να εκτιμηθούν χρησιμοποιώντας ένα απλοποιητικό μοντέλο ενός τριγωνικού μοναδιαίου υδρογραφήματος όπου χρόνος απόσυρσης λαμβάνεται ίσος με $1.67 T_p$. Η επιφάνεια που περικλείεται από την καμπύλη του μοναδιαίου υδρογραφήματος πρέπει να είναι ίση με άμεση απορροή ύψους 1 cm. Η παροχή αιχμής q_p είναι:

$$q_p = \frac{CA}{T_p}$$

Όπου

- $C = 2,08$
- A [km^2]: η επιφάνεια της λεκάνης απορροής σε km^2
- T_p [h] : ο χρόνος ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε ώρες

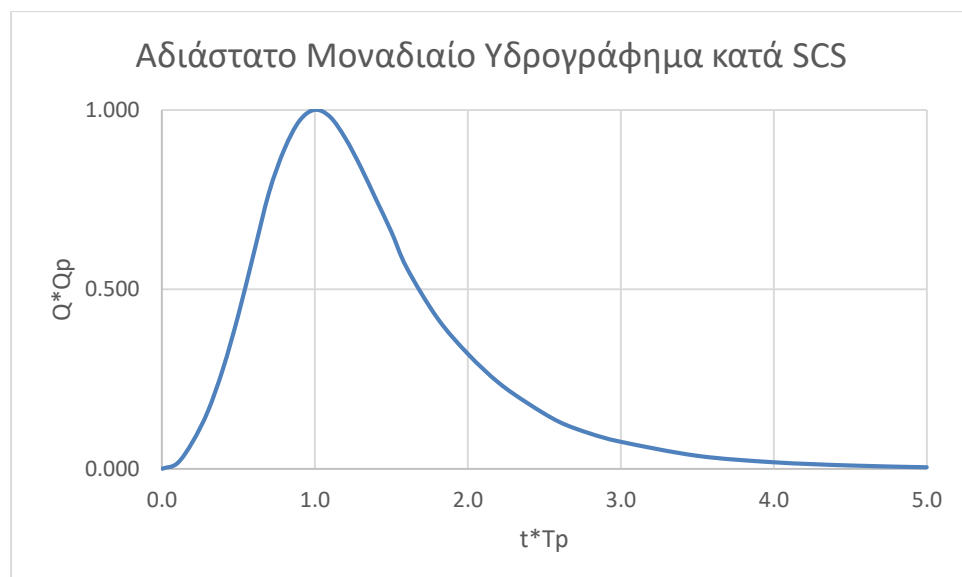
Επιπλέον η επεξεργασία μοναδιαίων υδρογραφημάτων σε μικρές και μεγάλες λεκάνες απορροής έδειξε ότι η χρονική επιβράδυνση της λεκάνης T_p είναι περίπου ίσος με $0.6 t_c$, όπου t_c ο χρόνος συγκέντρωσης. Από το σχήμα του υδρογραφήματος, ο χρόνος T_p μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της χρονικής επιβράδυνσης και της διάρκειας του περισεύματος βροχόπτωσης t_R .

$$T_p = \frac{t_R}{2} + t_p$$

(Μπέλλος, 2005)

Πίνακας 3.2 Αδιάστατο λείο ΜΥΓ κατά SCS

Αδιαστάτος Χρόνος	Αδιάστατη Άμεση Απορροή	Αδιαστάτος Χρόνος	Αδιάστατη Άμεση Απορροή
0,00	0,00	1,40	0,75
0,10	0,015	1,50	0,66
0,20	0,075	1,60	0,56
0,30	0,16	1,80	0,42
0,40	0,28	2,00	0,32
0,50	0,43	2,20	0,24
0,60	0,60	2,40	0,18
0,70	0,77	2,60	0,13
0,80	0,89	2,80	0,098
0,90	0,97	3,00	0,075
1,00	1,00	3,50	0,036
1,10	0,98	4,00	0,018
1,20	0,92	4,50	0,009
1,30	0,84	5,00	0,004



Σχήμα 3.5 Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS

Μέθοδος των ισόχρονων καμπυλών

Η θεμελιώδης αρχή της μεθόδου χρόνου - επιφανείας είναι το ιστόγραμμα χρόνου-επιφανείας το οποίο εκφράζει τη σχέση μεταξύ του χρόνου διαδρομής της απορροής και της επιφάνειας της λεκάνης απορροής που συμβάλλει στην απορροή κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (Καββαδά, 2012).

Η μέθοδος χρόνου-επιφανείας προσαρμόζεται σε μικρές ή μεσαίου μεγέθους λεκάνες λόγω του δεν βασίζεται στην χωρητικότητα της λεκάνης. Προσδιορίζει το Μοναδιαίο Υδρογράφημα σύμφωνα με τις υδρολογικές αρχές αναλογίας και επαλληλίας. Η πλημμυρική απορροή προσδιορίζεται από μια μοναδική συνάρτηση που δεν λαμβάνει υπόψιν διάφορες μεταβολές της έντασης ενεργού βροχόπτωσης.

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (ΣΓΠ) και ξεκινάει με την δημιουργία των λεκανών απορροής. Το εργαλείο που χρησιμοποιείται είναι το Basin, το οποίο λαμβάνει ως παράμετρο ένα αρχείο raster με την διεύθυνση ροής. Όλα τα συνδεδεμένα φατνία μεταξύ τους ανήκουν στην ίδια λεκάνη. Το δεύτερο βήμα είναι η διόρθωση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Χρησιμοποιούνται τα εργαλεία τα Fill και Sink, τα οποία διορθώνουν το ψηφιακό μοντέλο εδάφους από τυχόν βυθίσματα σε φατνία. Το τρίτο βήμα είναι η δημιουργία κλίσεων επί τοις εκατό με το εργαλείο Slope. Έπειτα υπολογίζεται η ρίζα της κλίσεων δια εκατό $\sqrt{(slope/100)}$ με το εργαλείο Raster Calculator. Το τέταρτο βήμα είναι η δημιουργία αρχείου raster με τον συντελεστή τραχύτητας k factor από το vector δεδομένων κάλυψης εδάφους (Corine 2018). Το πέμπτο βήμα είναι η δημιουργία αρχείου raster με τιμές ταχύτητας χερσαίας ροής, με το εργαλείο Raster Calculator και μέσω του τύπου $V(m/s) = k * \sqrt{S}(m/m)$ (Μαμάσης, 2007). Το έκτο βήμα είναι η δημιουργία του raster της Διεύθυνση Ροής μέσω του εργαλείου Flow Direction, το οποίο υπολογίζει την κατεύθυνση του νερού κάθε φατνίου μέσω των υψομετρικών διαφορών του Ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Το έβδομο βήμα είναι ο υπολογισμός της Συγκέντρωσης Ροής με το εργαλείο flow accumulation. Σύμφωνα με την διεύθυνση ροής που υπολογίστηκε προηγουμένως, αθροίζει στο κάθε φατνίο τον αριθμό των φατνίων που απορρέουν σε αυτό. Για να βρεθεί με ακρίβεια το υδρογραφικό δίκτυο ορίζεται μια τιμή κατωφλίσωσης στο raster. Όσα φατνία έχουν μικρότερη τιμή από το κατώφλι διαγράφονται (No Data) και έτσι όσα φατνία έχουν απομείνουν σχηματίζουν το υδρογραφικό δίκτυο. Το όγδοο βήμα είναι η κατάταξη του υδρογραφικού δικτύου κατά την μέθοδο Strahler με το εργαλείο Stream Order. Επιπλέον με το εργαλείο Raster to Polyline το υδρογραφικό δίκτυο μετατρέπεται από μορφή raster σε vector (polyline) ώστε να γίνει εξαγωγή του κύριου Υδατορέματος. Έπειτα προσαρμόζοντας το κύριο Υδατόρεμα στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους αποδίδονται υψόμετρα με το εργαλείο Interpolate Shape. Στο βήμα ένατο υπολογίζεται η ταχύτητα ροής εντός του υδρογραφικού δικτύου με το εργαλείο Times πολλαπλασιάζοντας κάθε κλάδο με την ταχύτητα χερσαίας ροής, με την λογική ότι όσο μεγαλώνει η τάξη του κλάδου, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ταχύτητα. Το βήμα δέκατο είναι ένα βοηθητικό στάδιο στο οποίο δημιουργείται ένα raster αρχείο που

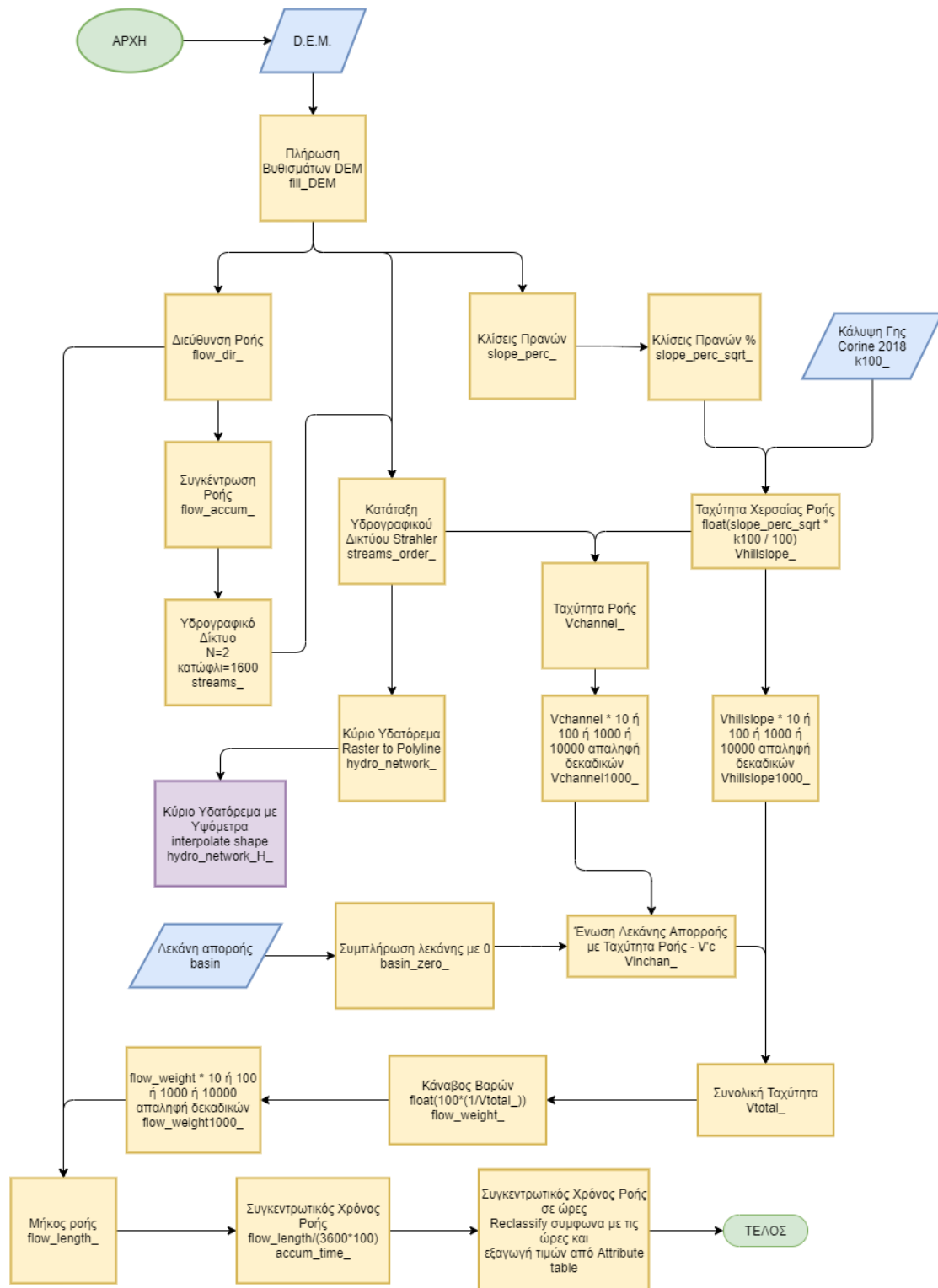
δίνει μηδενικές τιμές στην λεκάνη απορροής με το εργαλείο feature to raster αφού έχουμε φτιάξει έναν καινούργιο πίνακα με μηδενικές τιμές στο attribute table. Έπειτα δημιουργείται ένα αρχείο raster το οποίο ενώνει το βοηθητικό raster με μηδενικές τιμές στην λεκάνη απορροής με την ταχύτητα ροής του υδρογραφικού δικτύου. Στο εντέκατο βήμα δημιουργείται το raster αθροιστικής ταχύτητας ροής συνδυάζοντας την χερσαία ροή και το προηγούμενο βοηθητικό αρχείο ταχύτητας ροής. Στο δωδέκατο βήμα υπολογίζονται τα βάρη με βάση τις ταχύτητες ροής σύμφωνα με τον τύπο $100 * 1/αθροιστική ταχύτητα ροής$. Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας το εργαλείο flow_length υπολογίζεται το μήκος ροής κάθε φατνίου μέχρι την έξοδο κατάντη (downstream) της λεκάνης. Στο δέκατο τρίτο βήμα υπολογίζεται ο συγκεντρωτικός χρόνος ροής μέσω του τύπου $\frac{μῆκος ροής}{3600 * 100}$. Τελευταίο βήμα της διαδικασίας είναι η δημιουργία κλάσεων στο επίπεδο του συγκεντρωτικού χρόνου ροής δίνοντας νέες ακέραιες τιμές σε ώρες. Κάνουμε εξαγωγή των τιμών του πίνακα σε αρχείο κειμένου ώστε να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία ιστογράμματος Χρόνου-Επιφανείας. Ο αριθμός των φατνίων ανά διάστημα χρόνου χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι τεταγμένες του μοναδιαίου υδρογραφήματος μέσω του τύπου:

$$U_i = N_i * i * A / 3600$$

Όπου:

- N_i [-] = αριθμός φατνίων που απορρέουν
- i [m] = 0,01m (είναι τα 10mm ενεργού βροχής σύμφωνα με τον ορισμό του μοναδιαίου υδρογραφήματος κατά Sherman)
- A [m²] = εμβαδών του φατνίου.

Η διαδικασία παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6 Διάγραμμα Ισόχρονων Καμπύλων (από Καθβαδά (2012), με τροποποιήσεις)

Υετόγραμμα σχεδιασμού

Η κατάρτιση του υετογράμματος ορίζεται με την εύρεση της βροχόπτωσης σχεδιασμού. Η βροχόπτωση σχεδιασμού θεωρείται ως το συνολικό ύψος βροχής για περίοδο επαναφοράς, T . Η βροχόπτωση σχεδιασμού υπολογίζεται με τα βήματα που περιγράφονται παρακάτω.

Αρχικά ορίζεται η διάρκεια βροχής σχεδιασμού D . Σύμφωνα το Σχέδιο Διαχείρισης Πλημμύρας η διάρκεια βροχής εφαρμόζεται 12h ή 24h για μικρές λεκάνες απορροής και 48h για μεγάλες λεκάνες απορροής. Στην συνέχεια καθορίζεται η σημειακή ένταση βροχής για κάθε χρονική στιγμή της διάρκειας βροχής D , σύμφωνα με την σχέση της όμβριας καμπύλης. Το σημειακό ύψος βροχής υπολογίζεται με βάση την διάρκεια βροχής σχεδιασμού και την ένταση της βροχόπτωσης.

Επειδή όπως αναφέρεται και προηγουμένως, οι όμβριες καμπύλες βρίσκουν σημειακή ένταση βροχής, πρέπει να γίνει ο μετασχηματισμός τους σε επιφανειακές μέσες εντάσεις βροχής για την εξεταζόμενη λεκάνη απορροής. Αν η έκταση της λεκάνης είναι μεγάλη, τότε οι τιμές της σημειακής έντασης βροχής είναι μεγαλύτερες από τις τιμές της μέσης επιφανειακής βροχής. Η μείωση πραγματοποιείται με τον συντελεστή επιφανειακής αναγωγής ή συντελεστή ομοιότητας. Οι ιδιότητες που έχει ο συντελεστής ϕ είναι οι εξής:

- i. Είναι πάντα μικρότερος της μονάδας, επειδή όταν η καταγραφή της έντασης στο βροχογράφο είναι η μέγιστη, είναι απίθανο τον ίδιο χρόνο να είναι μέγιστη η καταγραφή της έντασης σε όλη την επιφάνεια
- ii. Είναι φθίνουσα συνάρτηση της έκτασης
- iii. Είναι αύξουσα συνάρτηση της διάρκειας
- iv. Εξαρτάται από την περίοδο επαναφοράς

Ο τύπος της επιφανειακής αναγωγής, σύμφωνα με τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας είναι:

$$\phi = 1 - \frac{0.048 * A^{0.36-0.01*lnA}}{d^{0.35}}$$
$$\phi \geq 0.25$$

όπου:

- ϕ [-]: Συντελεστής επιφανειακής αναγωγής
- A [km²]: Έκταση της λεκάνης απορροής
- d [h]: Διάρκεια βροχής = 12h

Αφού ανάγονται οι επιφανειακές εντάσεις, στην συνέχεια υπολογίζονται τα μη αθροιστικά ύψη βροχής. Τα ύψη βροχής κατανέμονται σύμφωνα με την μέθοδο των Εναλλασσόμενων Υψών βροχής (alternating block method). Σύμφωνα με την μέθοδο, τα τμηματικά ύψη τοποθετούνται ώστε η μέγιστη τιμή της τμηματικής βροχόπτωσης να είναι στο μέσον του βροχογραφήματος και οι υπόλοιπες τιμές διατάσσονται εναλλάξ δεξιά και αριστερά της μέγιστης τιμής κατά φθίνουσα σειρά. Έπειτα υπολογίζεται η ολική επιφανειακή βροχόπτωση καθώς και η ενεργός βροχόπτωση αφού αφαιρεθούν οι απώλειες, όπως περιγράφονται στην επόμενη υποενότητα.

Υδρολογικές απώλειες

Μετά τον υπολογισμό του αθροιστικού υετογραφήματος πρέπει να αφαιρεθούν οι υδρολογικές απώλειες (κατακράτηση, διήθηση, εξατμισιοδιαπνοή) προκειμένου να υπολογιστεί η ενεργός βροχόπτωση που μετατρέπεται σε απορροή. Η μέθοδος υπολογισμού υδρολογικών απωλειών, που προτείνεται στο Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, είναι «η μέθοδος SCS (της Διεύθυνσης Soil Conservation Service του Αμερικανικού Υπουργείου Γεωργίας USDA) η οποία έχει μετονομαστεί σε μέθοδο NCRS (λόγω της μετονομασίας της Διεύθυνσης σε Natural ResourcesConservation Service). Η μέθοδος της NCRS υπολογίζει το ύψος του περισσεύματος βροχής από τρεις μεταβλητές: το ύψος βροχής, τα αρχικά ελλείμματα και το υδρολογικό σύμπλοκο εδάφους – φυτοκάλυψης που εκφράζεται από έναν αδιάστατο αριθμό, τον αριθμό καμπύλης απορροής CN (runoff curve number). Ο αριθμός CN προκύπτει με βάση τον υδρολογικό τύπο του εδάφους (διηθητικότητα), την κάλυψη, τον τρόπο διαχείρισης της γης καθώς και την προηγούμενη κατάσταση απορροής. Οι τιμές του αριθμού αυτού λαμβάνονται από πίνακες για διάφορα σύμπλοκα εδαφικών τύπων εδάφους και κάλυψης του εδάφους, για μέσες προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας II. Οι τιμές θεωρητικά κυμαίνονται από 0 έως 100 (πρακτικά από 30 έως 98) και μικρές αποκλίσεις (της τάξης των 5 μονάδων) δίνουν μεγάλες διαφορές στην απορροή (μέχρι και 30-35%)» (ΥΠΕΝ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2014-2020).

Σύμφωνα με τους Μιμίκου και Μπαλτά (2014) η μέθοδος υπολογίζει το ενεργό ύψος βροχής, δηλαδή την ποσότητα βροχής που απορρέει επιφανειακά σύμφωνα με την σχέση:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq 0.2S \\ \frac{(h - 0.2S)^2}{h + 0.8S} & h > 0.2S \end{cases}$$

όπου

- h_e [mm]: το ενεργό ύψος βροχής
- h [mm]: το συνολικό ύψος βροχής.

Το S [mm] είναι η παράμετρος που συνδέεται με τον αριθμό CN σύμφωνα με την σχέση:

$$S[mm] = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Η SCS/NCRS κατατάσσει τα εδάφη σε τέσσερις ομάδες, ανάλογα με την διαπερατότητά τους:

- Ομάδα A: Εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης, π.χ. αμμώδη και χάλκινα με μικρό ποσοστό ιλύος και αργίλου
- Ομάδα B: Εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης, π.χ. αμμώδης πηλός
- Ομάδα C: Εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη από αργιλοπηλό
- Ομάδα D: Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη που διογκώνονται σημαντικά όταν διαβραχούν, πλαστικές άργιλοι, εδάφη μικρού βάθους με σχεδόν αδιαπέρατους υπο-ορίζοντες κοντά στην επιφάνεια

Επίσης κατατάσσει τα εδάφη σύμφωνα με τις συνθήκες υγρασίας σε:

- Τύπος I: Ξηρές συνθήκες (εδάφη ξηρά, αλλά πάνω από το σημείο μαρασμού), που αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών είναι μικρότερη από 13mm (ή μικρότερη των 35mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)
- Τύπος II: Μέσες συνθήκες, που αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών μεταξύ 13 και 38mm (ή μεταξύ 35 και 53mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)
- Τύπος III: Υγρές συνθήκες (εδάφη σχεδόν κορεσμένα), που αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών μεγαλύτερη των 38mm (ή μεγαλύτερη των 53mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης) (Κουτσογιάννης, 2011)

Πίνακας 3.3 Αριθμοί καμπύλης απορροής (CN) κατά SCS για αγροτικές, ημιαστικές και αστικές περιοχές και για προηγούμενες συνθήκες υγρασίας τύπου II. (Πηγή Ειδική Γραμματεία Υδάτων)

Περιγραφή χρήσης γης	Υδρολογική Κατάσταση	Υδρολογικός τύπος εδάφους			
		A	B	C	D
Γυμνό Έδαφος		77	86	91	94
Ευρείες γραμμικές καλλιέργειες σε κεκλιμένο έδαφος	Φτωχή	72	81	88	91
	Καλή	67	78	85	89
Ευρείες γραμμικές καλλιέργειες σε βαθμίδες	Φτωχή	66	74	80	82
	Καλή	62	71	78	81
Καλλιέργειες σιτηρών σε κεκλιμένο έδαφος	Φτωχή	65	76	84	88
	Καλή	63	75	83	87
Καλλιέργειες σιτηρών σε βαθμίδες	Φτωχή	61	72	79	82
	Καλή	59	70	78	81
Πυκνές καλλιέργειες ψυχανθών σε κεκλιμένο έδαφος	Φτωχή	66	77	85	89
	Καλή	58	72	81	85
Πυκνές καλλιέργειες ψυχανθών σε βαθμίδες	Φτωχή	63	73	80	83
	Καλή	51	67	76	80
Χορτολιβαδικές εκτάσεις	Φτωχή	68	79	86	89
	Μέτρια	49	69	79	84
	Καλή	39	61	74	80
Θάμνοι – υψηλές πόες – θάμνοι με υποβλάστηση αγρωστωδών και άλλων ποών	Φτωχή	48	67	77	83
	Μέτρια	35	56	70	77
	Καλή	30	48	65	73
Δενδρόκηποι ή δενδροκαλλιέργειες	Φτωχή	57	73	82	86
	Μέτρια	43	65	76	82
	Καλή	35	58	72	79
Δάση	Φτωχή	45	66	77	83
	Μέτρια	36	60	73	79
	Καλή	30	55	70	77
Δρόμοι					
Χωματόδρομοι		72	82	87	89
Χαλικόστρωποι		76	85	89	91
Αστικές περιοχές Με μέσω μέγεθος οικοπέδων <0.5στρ και ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας 65% Με μέσο μέγεθος οικοπέδων 1 στρ και ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας 40% Εμποροβιομηχανικές ζώνες Αδιαπέρατες επιφάνειες (καλυμμένες επιφάνειες με άσφαλτο ή σκυρόδεμα)	Για τις αστικές περιοχές ο αριθμός καμπύλης προκύπτει από το ποσοστό των αδιαπέρατων επιφανειών. Οι διαπερατές επιφάνειες θεωρούνται ισοδύναμες με τις χορτολιβαδικές σε καλή κατάσταση και ο αριθμός καμπύλης προκύπτει από την εξίσωση: $CN = CN_p + \left(\frac{P_i}{100}\right) \cdot (98 - CN_p)$ CN _p : Ο αριθμός καμπύλης χορτολιβαδικής έκτασης σε καλή κατάσταση P _i : Το ποσοστό % των αδιαπέρατων επιφανειών				

Συνολικό πλημμυρογράφημα

Η δημιουργία του πλημμυρογραφήματος πραγματοποιείται συνδέοντας το (ενεργό) υετόγραμμα σχεδιασμού με το μοναδιαίο υδρογράφημα. Το μέσο σύνδεσης των δεδομένων είναι οι δύο υδρολογικές αρχές της αναλογίας και επαλληλίας που παρουσιάστηκαν αναλυτικά σε προηγούμενη παράγραφο.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Υδρολογικά Μεγέθη για την Μάνδρα Αττικής - Λεκάνες Απορροής ρ. Σούρες και Αγία Αικατερίνη

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις παροχές αιχμής με εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου και μέσω του υπολογισμού των πλημμυρογραφήματων για τις λεκάνες απορροής των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη. Στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης διερεύνησης του πλημμυρικού κινδύνου, η παροχή αιχμής και το πλημμυρογράφημα είναι δύο βασικοί παράμετροι εισόδου για την υδραυλική προσομοίωση πλημμύρας. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο που περιεγράφηκε.

Αρχικά υπολογίζεται η παροχή αιχμής μέσω της ορθολογικής μεθόδου. Οι παράμετροι υπολογισμού είναι η ένταση βροχόπτωσης με βάση τις όμβριες καμπύλες, ο χρόνος συγκέντρωσης, ο συντελεστής απορροής C καθώς και η περίοδος επαναφοράς $T=100$. Ο χρόνος συγκέντρωσης που χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική βασίζεται στον τύπο της μεθόδου SCS-NSRS. Στην συνέχεια δημιουργείται το μοναδιαίο υδρογράφημα και πραγματοποιούνται δύο μοντέλα μοναδιαίου υδρογραφήματος, το Αδιασταλτό Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS (Soil Conservation Services) και η μέθοδος ισόχρονων καμπυλών. Αφού υπολογιστούν τα μοναδιαία υδρογραφήματα, προσδιορίζεται η βροχόπτωση σχεδιασμού με βάση την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ του συντελεστής αναγωγής. Επιπλέον υπολογίζονται οι υδρολογικές απώλειες με βάση την μέθοδο Natural Resources Conservation Service (NRCS) και τον αριθμό καμπύλης απορροής (runoff curve number CN).

Επιπλέον προσδιορίζεται η βροχόπτωση σχεδιασμού με βάση το επεισόδιο βροχής που καταγράφηκε στις δύο λεκάνες απορροής (ρέμα Σούρες και ρέμα Αγία Αικατερίνη) το Νοέμβριο του 2017, απαλλαγμένο από υδρολογικές απώλειες. Συνεπώς προσδιορίζονται τα επιμέρους πλημμυρογραφήματα συνδυάζοντας τα δύο μοναδιαία υδρογραφήματα με τα διαφορετικά επεισόδια βροχόπτωσης. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα καθώς και τα τελικά πλημμυρογραφήματα.

4.1.1 Παροχή Αιχμής

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με βάση την ορθολογική μέθοδο (υποενότητα 3.1.2) για τις λεκάνες απορροής των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη. Η σταθμισμένη ένταση βροχόπτωσης υπολογίζεται με βάση τις παραμέτρους σχήματος k , κλίμακας l' , της θέσης της συνάρτησης κατανομής ψ καθώς και τις παραμέτρους της συνάρτησης διάρκειας θ , η . Οι τιμές των παραμέτρων επιλέγονται από τους πίνακες κατάρτισης των όμβριων καμπυλών. Τα αποτελέσματα της έντασης βροχής για τις λεκάνες απορροής των ρεμάτων Σούρες και Αγίας Αικατερίνης εμφανίζονται στον Πίνακα 4.1 και Πίνακα 4.2.

Στην συνέχεια υπολογίζεται ο συντελεστής απορροής C . Ο συντελεστής απορροής, όπως αναφέρεται και προηγούμενο κεφάλαιο, σχετίζεται με παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το έδαφος της περιοχής μελέτης. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.3, οι λεκάνες απορροής Σούρες και Αγία Αικατερίνη έχουν λοφώδες έδαφος με μέσες κλίσεις 10-30%. Τα εδάφη είναι αμμώδης και ιλυώδη επομένως κατατάσσονται σε κανονική διηθητικότητα. Η επιφάνεια του εδάφους των ρεμάτων καλύπτεται από φυτά και δάση περίπου 50% και με καλλιέργειες λιγότερο από 50%. Το ρέμα Σούρες αποθηκεύει σημαντική ποσότητα λιμναζόντων νερών ενώ το ρέμα της Αγίας Αικατερίνης έχει καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης. Έτσι με βάση την ανάλυση των χαρακτηριστικών οι συντελεστές απορροής C για το ρέμα Σούρες είναι 0,55 και το ρέμα Αγία Αικατερίνη είναι 0,59.

Στην συνέχεια υπολογίζονται οι χρόνοι συγκέντρωσης με όλες τις μεθόδους που αναφέρεται στην μεθοδολογία. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται σε όλες τις μεθόδους σχετίζονται με την κλίση εδάφους, το μήκος της διαδρομής και το εμβαδόν της λεκάνης απορροής. Στο Πίνακα 4.4 φαίνεται ότι η μέγιστη τιμή χρόνου συγκέντρωσης προκύπτει από την μέθοδο Giandotti ενώ η ελάχιστη τιμή δίδεται από την μέθοδο Kirpich. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της SCS-NRCS για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης σε ώρες.

Επομένως με βάση την ορθολογική μέθοδο, οι τιμές παροχής αιχμής για το ρέμα Σούρες είναι $116,37 \text{ m}^3/\text{s}$ και για το ρέμα Αγία Αικατερίνη είναι $138,11 \text{ m}^3/\text{s}$ (Πίνακα 4.5).

4.1.2 Ορθολογική Μέθοδος

Πίνακας 4.1 Υπολογισμός παραμέτρων Όμβριας Καμπύλης για το ρέμα Σούρες

Όμβρια (Σούρες)			
Σταθμός Ελευσίνα		Σταθμός Μάνδρας	
Περιοχή	14047960,44	Περιοχή	2773457,51
κ	0,13	κ	0,13
λ'	171,40	λ'	213,40
ψ'	0,70	ψ'	0,64
θ	0,12	θ	0,12
η	0,62	η	0,62
T	100,00	T	100,00
d	1,18	d	1,18
i	42,91	i	56,09
συντ. βάρους	83,51%	συντ. βάρους	16,49%
iσταθμισμένο (mm/h)		45.08	

Πίνακας 4.2 Υπολογισμός παραμέτρων Όμβριας Καμπύλης για το ρέμα Αγίας Αικατερίνης

Όμβρια (Αγία Αικατερίνη)	
Σταθμός Ελευσίνα	
κ	0,125
λ'	171,4
ψ'	0,695
θ	0,124
η	0,622
T	100
d	1,09
i (mm/h)	44,92

Πίνακας 4.3 Συντελεστής Απορροής C – Παράμετροι

	Σούρες	Αγία Αικατερίνη
Cr	0,26	0,24
Ci		
	0,06	0,08
Cv	0,06	0,08
Cs	0,08	0,09
C	0,46	0,49
Cf	1,2	
C'	0,55	0,59

Πίνακας 4.4 Υπολογισμός συγκέντρωσης ροής με τις μεθόδους Giandotti, Kirpich, Passini, SCS-NRCs α)ρέμα Σούρες και β) ρέμα Αγία Αικατερίνη

α) ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ (Ρ.ΣΟΥΡΕΣ)		β) ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ (Ρ. ΑΓΙΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ)	
A (km ²)	16,82	A (km ²)	18,81
Giandotti		Giandotti	
L [km]	7,32	L [km]	6,30
ΔH [m] <i>mean-min</i>	224,34	ΔH [m] <i>mean-min</i>	179,00
t _c [h]	2,29	t _c [h]	2,50
Kirpich		Kirpich	
L [m] <i>μέγιστο μήκος διαδρομής</i>	10236,20	L [m] <i>μέγιστο μήκος διαδρομής</i>	8934,57
S [m/m] <i>μέση κλίση</i>	23,22	S [m/m] <i>μέση κλίση</i>	21,10
t _c [min]	7,10	t _c [min]	6,63
t _c [h]	0,12	t _c [h]	0,11
Passini		Passini	
L [km]	10,24	L [km]	8,93
t _c [h]	0,12	t _c [h]	0,13
SCS – NRCS		SCS - NRCS	
L [ft]	33583,33	L [ft]	29312,89
H απομακρυσμένου	715,00	H απομακρυσμένου	594,50
H εξόδου	137,10	H εξόδου	119,90
ΔH [ft] <i>απομακρυσμένου - εξόδου</i>	1896,00	ΔH [ft] <i>απομακρυσμένου - εξόδου</i>	1557,09
t _c [h]	1,18	t _c [h]	1,09

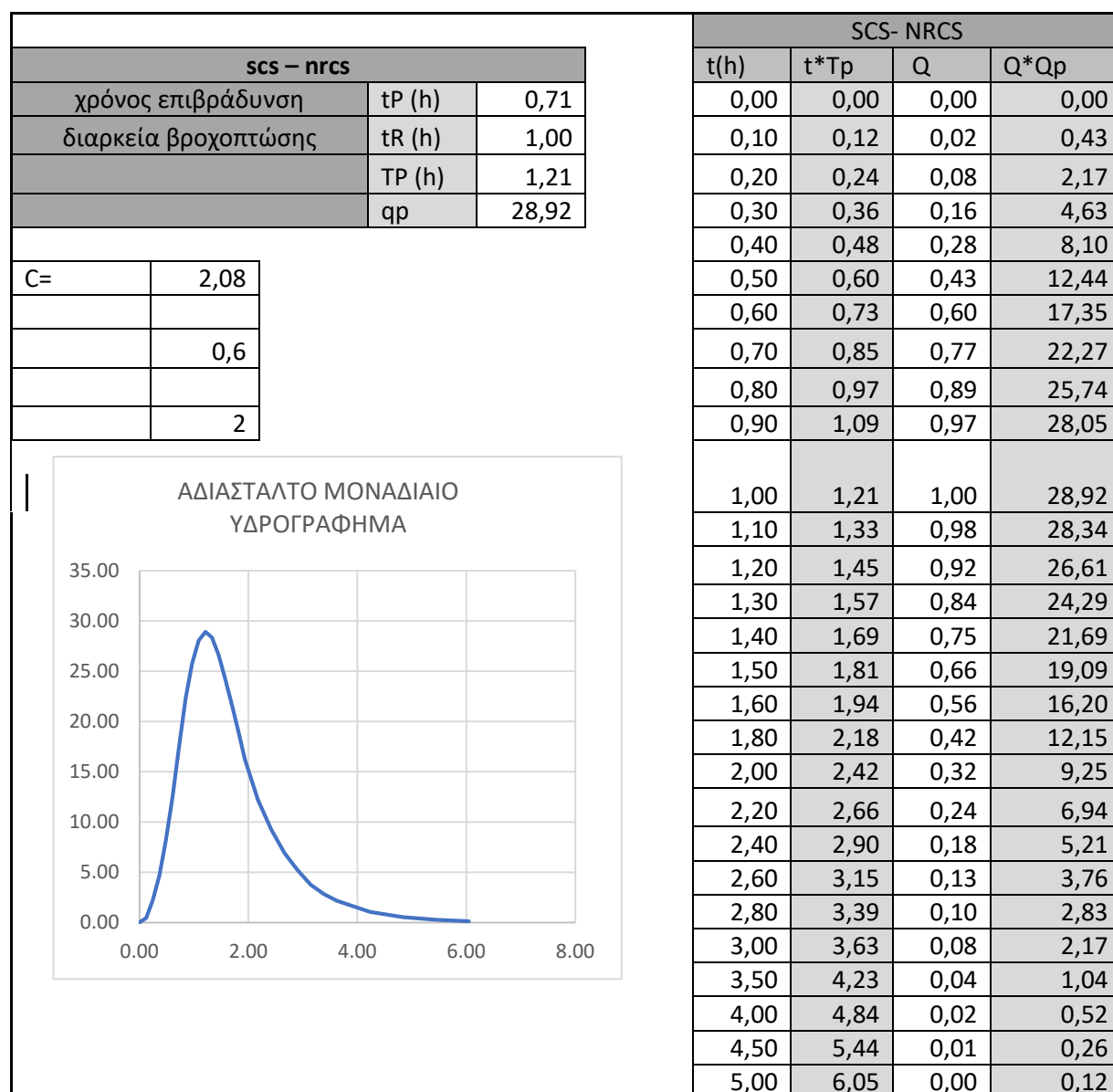
Πίνακας 4.5 Παροχές Αιχμής για τις λεκάνες απορροής α) Σούρες και β) Αγία Αικατερίνη

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ		
	α) Σούρες	β) Αγία Αικατερίνη
C	0,55	0,59
Q _T	116,37	138,11

4.1.3 Λείο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υπολογισμού του αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος σύμφωνα με την μεθοδολογία. Ο χρόνος συγκέντρωσης υπολογίστηκε με την μέθοδο της Soil Conservation Service SCS. Το μοναδιαίο υδρογράφημα έχει ως βασικές συνιστώσες την αδιάστατη άμεση απορροή (Q) και το αδιάστατο χρόνο (t). Στον Πίνακα 4.6 και Πίνακα 4.7, παρουσιάζονται τα μοναδιαία υδρογραφήματα για το ρέμα Σούρες και αντίστοιχα για το ρέμα Αγία Αικατερίνη. Επειδή όμως η συγκεκριμένη εργασία προσδιορίζει τα πλημμυρογραφήματα σε ωριαίο βήμα, τα τελικά υδρογραφήματα μετατράπηκαν μέσω γραμμικής παρεμβολή σε πολλαπλάσια της ώρας (Σχήμα 4.1, Σχήμα 4.2).

Πίνακας 4.6 Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα NRCS για το Ρέμα Σούρες



Πίνακας 4.7 Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα NRCS για το Ρέμα Αγία Αικατερίνη

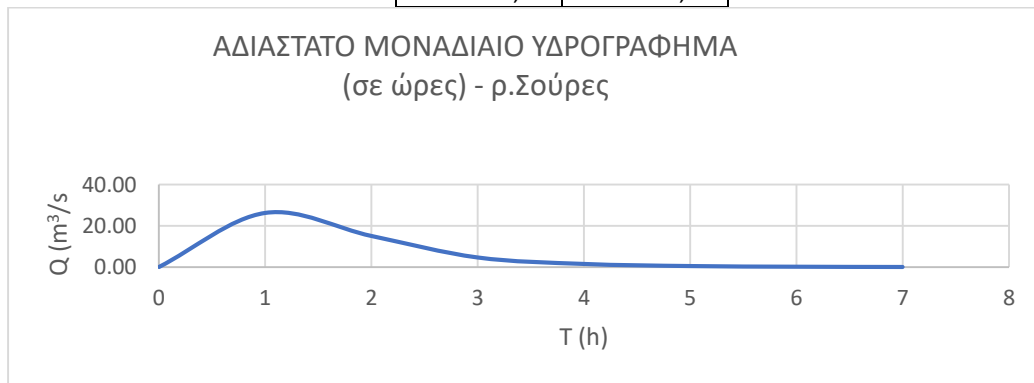
scs – nrCS			scs - SCS - NRCS			
χρόνος επιβράδυνση	tP (h)	0,65	t(h)	t*Tp	Q	Q*Qp
διαρκεία βροχοπτώσης	tR (h)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	TP (h)	1,15	0,10	0,12	0,02	0,51
	qp	33,90	0,20	0,23	0,08	2,54
			0,30	0,35	0,16	5,42
			0,40	0,46	0,28	9,49
			0,50	0,58	0,43	14,58
			0,60	0,69	0,60	20,34
			0,70	0,81	0,77	26,10
			0,80	0,92	0,89	30,17
			0,90	1,04	0,97	32,88
			1,00	1,15	1,00	33,90
			1,10	1,27	0,98	33,22
			1,20	1,39	0,92	31,19
			1,30	1,50	0,84	28,47
			1,40	1,62	0,75	25,42
			1,50	1,73	0,66	22,37
			1,60	1,85	0,56	18,98
			1,80	2,08	0,42	14,24
			2,00	2,31	0,32	10,85
			2,20	2,54	0,24	8,14
			2,40	2,77	0,18	6,10
			2,60	3,00	0,13	4,41
			2,80	3,23	0,10	3,32
			3,00	3,46	0,08	2,54
			3,50	4,04	0,04	1,22
			4,00	4,62	0,02	0,61
			4,50	5,19	0,01	0,31
			5,00	5,77	0,00	0,14

C=	2,08
	0,60
	2,00

ΑΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ-SCS

Πίνακας 4.8 Παροχή κατά SCS Ρέμα Σούρες

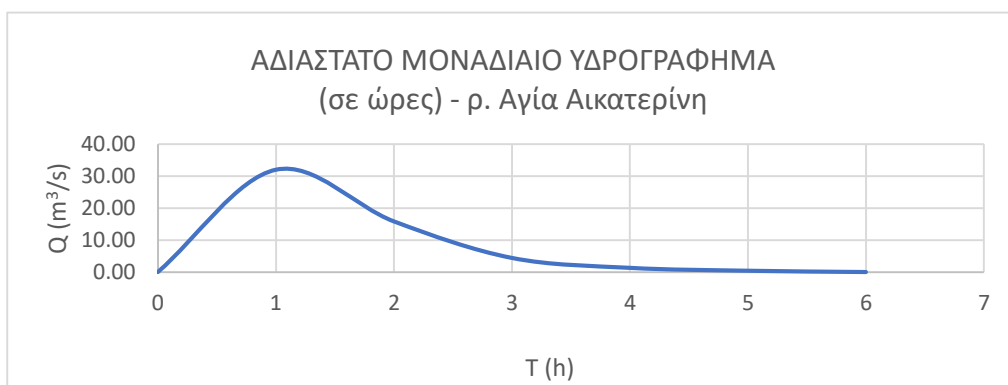
T (h)	Q (m ³ /s)
0,00	0,00
1,00	31,97
2,00	15,83
3,00	4,41
4,00	1,31
5,00	0,41
6,00	0,00



Σχήμα 4.1 Διάγραμμα Μοναδιαίου Υδρογραφήματος NRCS ρέματος Σούρες

Πίνακας 4.9 Παροχή κατά SCS Ρέμα Αγία Αικατερίνη

T (h)	Q (m ³ /s)
0,00	0,00
1,00	26,36
2,00	15,12
3,00	4,63
4,00	1,48
5,00	0,45
6,00	0,13
7,00	0,00



Σχήμα 4.2 Διάγραμμα Μοναδιαίου Υδρογραφήματος NRCS Αγία Αικατερίνη

4.1.4 Μοναδιαίο Υδρογράφημα μέσω Ισόχρονων Καμπύλων

Η μέθοδος χρόνου- επιφανείας (ή μέθοδος ισόχρονων καμπυλών) είναι ο δεύτερος τρόπος κατάρτισης του μοναδιαίου υδρογραφήματος για τις Λεκάνες Απορροής των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών ΣΓΠ (Geographic Information System GIS) μέσω του λογισμικού ArcGIS. Τα σύνολα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται, είναι το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model DEM) και το διανυσματικό αρχείο Χρήσεων Γης. (Corine Land Cover, 2018). Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθούν τα ιστογράμματα με την επιφάνεια (αριθμός φαντίων) που απορρέει και του χρόνου συγκέντρωσης ροής, και τελικώς η μετατροπή του σε απορροή.

Με βάση την μεθοδολογία (3.1.3) αρχικά διορθώνονται τα σφάλματα που επηρεάζουν την ακρίβεια. Τα σφάλματα αυτά είναι η απότομες αλλαγές του ανάγλυφου και τα μεγάλα βυθίσματα (sinks). Τα βυθίσματα διορθώνονται με το εργαλείο “fill”. Το αποτέλεσμα για τις λεκάνες απορροής ρ. Σούρες και ρ. Αγίας Αικατερίνης φαίνεται στο Σχήμα 8.1 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ).

Στην συνέχεια δημιουργείται ο κানাβος χερσαίας ροής (Σχήμα 8.5). Μέσω του λογισμικού ArcGIS δημιουργείται ο κানাβος κλίσεων πρηνών με την εντολή slope. Στο Σχήμα 8.2 απεικονίζεται το διάγραμμα κλίσεων για τις δύο λεκάνες απορροής, όπου με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι απότομες κλίσεις εδάφους και με πράσινο χρώμα οι ήπιες κλίσεις. Επίσης πραγματοποιείται η μετατροπή των χρήσεων γης σε ψηφιδωτό αρχείο (raster) σε σχέση τους συντελεστές ταχύτητας ($k*100$). Το τελικό αποτέλεσμα εμφανίζεται στο Σχήμα 8.4.

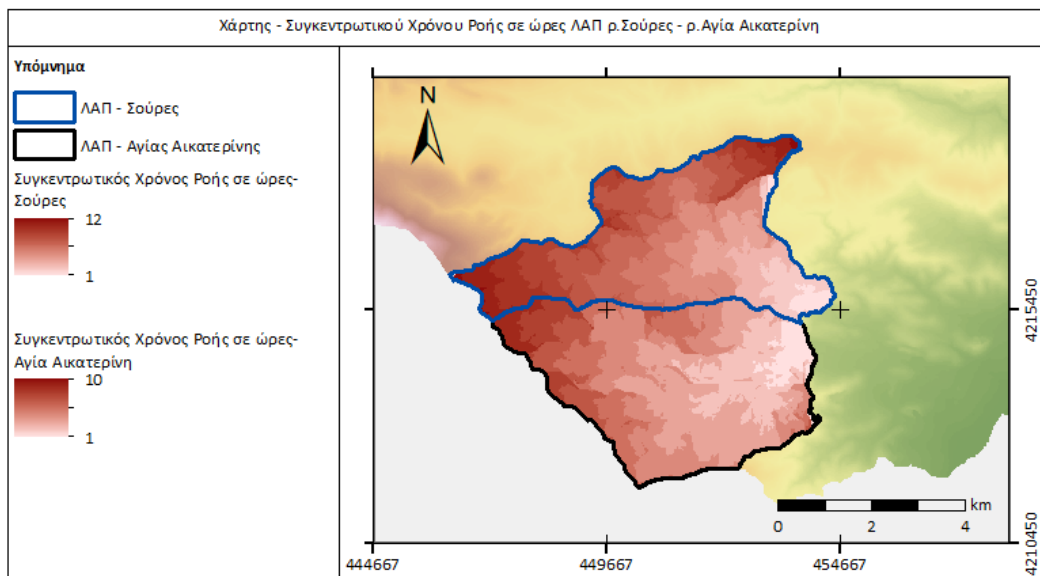
Στην συνέχεια πραγματοποιείται η διαδικασία της δημιουργίας του υδρογραφικού δικτύου και του κυρίου υδατορέματος μέσω διαγράμματος. Το Σχήμα 8.6 δείχνει τον κানাβο διεύθυνση ροής. Το Σχήμα 8.7 απεικονίζει την συγκέντρωση ροής. Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ροής εμφανίζονται κατάντη των λεκανών απορροής. Τα σημεία αυτά αποτελούν δυνητικά υδρογραφικοί αποδέκτες. Στην συνέχεια διαμορφώνεται του υδρογραφικού δικτύου. Όπως αναφέρεται και στην μεθοδολογία, εφαρμόζεται μια τιμή κατωφλίσωσης στον κানাβο συγκέντρωσης ροής. Το κατώφλι αυτό ορίστηκε ως 1600 με βάση την μελέτη που πραγματοποιήθηκε από την (Καββαδά, 2012). Το Σχήμα 8.8 απεικονίζεται το υδρογραφικό δίκτυο. Με

βάση την μεθοδολογία, το δίκτυο κατατάσσεται με την μέθοδο STRAHLER (Σχήμα 8.9). Έτσι, η λεκάνη απορροής του ρέματος Σούρες έχει τέσσερις τάξεις και του ρέματος Αγίας Αικατερίνης πέντε τάξεις. Κάθε τάξη έχει διαφορετικό χρώμα. Ο αριθμός της τάξης αντιπροσωπεύει την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου. Αφού οριστεί το υδρογραφικό δίκτυο, δημιουργείται το κύριο υδατόρεμα. Το κύριο υδατόρεμα εμφανίζεται στο Σχήμα 8.10. Επιπλέον για κάθε υδατόρεμα δημιουργήθηκε το προφίλ υψομέτρων. Το προφίλ υψομέτρων αναπαριστά την σχέση υψομέτρων με το μήκος του κύριου υδατορέματος. Ξεκινώντας από το μήκος μηδέν το οποίο είναι περίπου στα 600m υπάρχει φθίνουσα πορεία έως το πέρας του υδατορέματος (Σχήμα 8.11 Σχήμα 8.12).

Στο Σχήμα 8.13 παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ταχύτητας ροής για τις Λεκάνες απορροής Σούρες και Αγία Αικατερίνη. Η μέγιστη τιμή ταχυτήτων εμφανίζεται στους μεγαλύτερους κλάδους και αναπαριστάτε με κόκκινο χρώμα ενώ η ελάχιστη τιμή σε μικρούς κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Για να αναπαρασταθούν οι συνολικές ταχύτητες ενώθηκαν οι λεκάνες απορροής με τις ταχύτητες ροής. Στο Σχήμα 8.14 παρουσιάζεται η συνολική ταχύτητα ροής.

Στο Σχήμα 8.15 απεικονίζονται οι κλίσεις βαρών για τις λεκάνες απορροής Σούρες και Αγία Αικατερίνη. Τα βάρη είναι το αντίστροφο της ταχύτητας ροής. Είναι παράμετρος που μαζί με τον κλίση ροής (Σχήμα 8.16) δημιουργούν τον κλίση συγκεντρωτικού χρόνου ροής (Σχήμα 4.3).

Με βάση τον προηγούμενο κλίση, δημιουργείται το ιστόγραμμα χρόνου-επιφανείας σε ωριαίο βήμα (Σχήμα 4.4, Σχήμα 4.6). Τα αποτελέσματα εξάγονται στο Πίνακα 4.10 και Πίνακα 4.11, όπου υπολογίζεται η παροχή για κάθε χρονική διάρκεια. Τέλος στο Σχήμα 4.5 και Σχήμα 4.7 παρουσιάζονται τα συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα για τις λεκάνες απορροής ρέμα Σούρες και ρέμα Αγία Αικατερίνη.



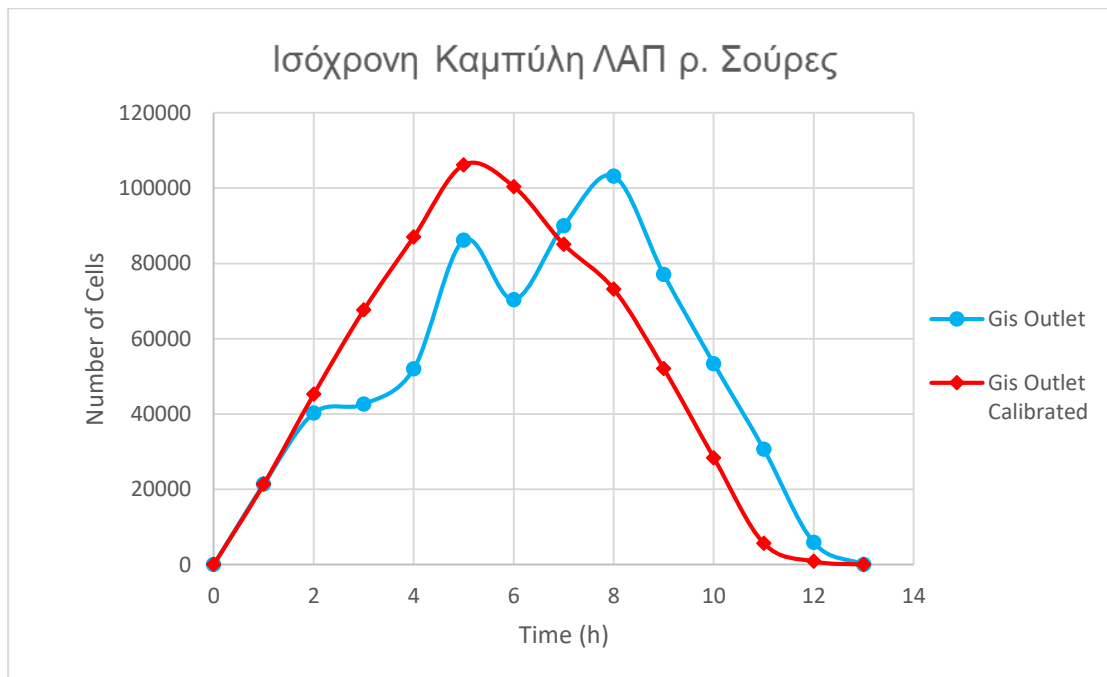
Σχήμα 4.3 Διάγραμμα Συγκεντρωτικού Χρόνου Ροής σε ώρες ΛΑΠ ρ. Σούρες – ρ. Αγία Αικατερίνη

Πίνακας 4.10 Αποτελέσματα μεθόδου Ισόχρονων Καμπύλων για την λεκάνη απορροής Σούρες

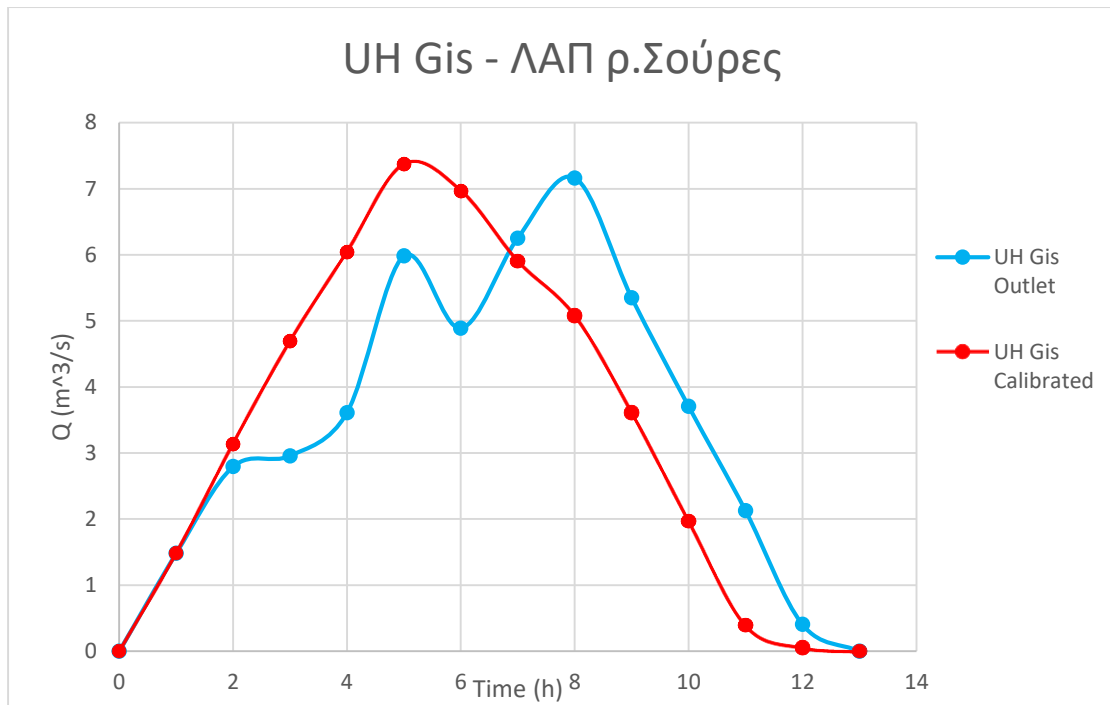
Λεκάνη Απορροής ρ. Σούρες UH Gis Outlet				Λεκάνη Απορροής ρ. Σούρες UH Gis Outlet Calibrated			
OBJECTID	Value	Count(pixels)	Ui	test initial	Countnew (pixels)	diff	Ui new
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
1,00	1,00	21345,00	1,48	21345,00	21345,00		1,48
2,00	2,00	40234,00	2,79	40234,00	45234,00	5000,00	3,14
3,00	3,00	42596,00	2,96	42596,00	67596,00	25000,00	4,69
4,00	4,00	52010,00	3,61	52010,00	87010,00	35000,00	6,04
5,00	5,00	86159,00	5,98	86159,00	106159,00	20000,00	7,37
6,00	6,00	70385,00	4,89	70385,00	100385,00	30000,00	6,97
7,00	7,00	90040,00	6,25	90040,00	85040,00	5000,00	5,91
8,00	8,00	103154,00	7,16	103154,00	73154,00	30000,00	5,08
9,00	9,00	77047,00	5,35	77047,00	52047,00	25000,00	3,61
10,00	10,00	53380,00	3,71	53380,00	28380,00	25000,00	1,97
11,00	11,00	30648,00	2,13	30648,00	5648,00	25000,00	0,39
12,00	12,00	5855,00	0,41	5855,00	855,00	5000,00	0,06
13,00	13,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
i=	0,01			672853,00	672853,00		
A=	25,00				0,00		
			16821325,00				16821325,00
		km2	16,82				16,82
Vtotal=	0,17	hm3					0,17

Πίνακας 4.11 Αποτελέσματα μεθόδου Ισόχρονων Καμπύλων για την λεκάνη απορροής Αγίας Αικατερίνης

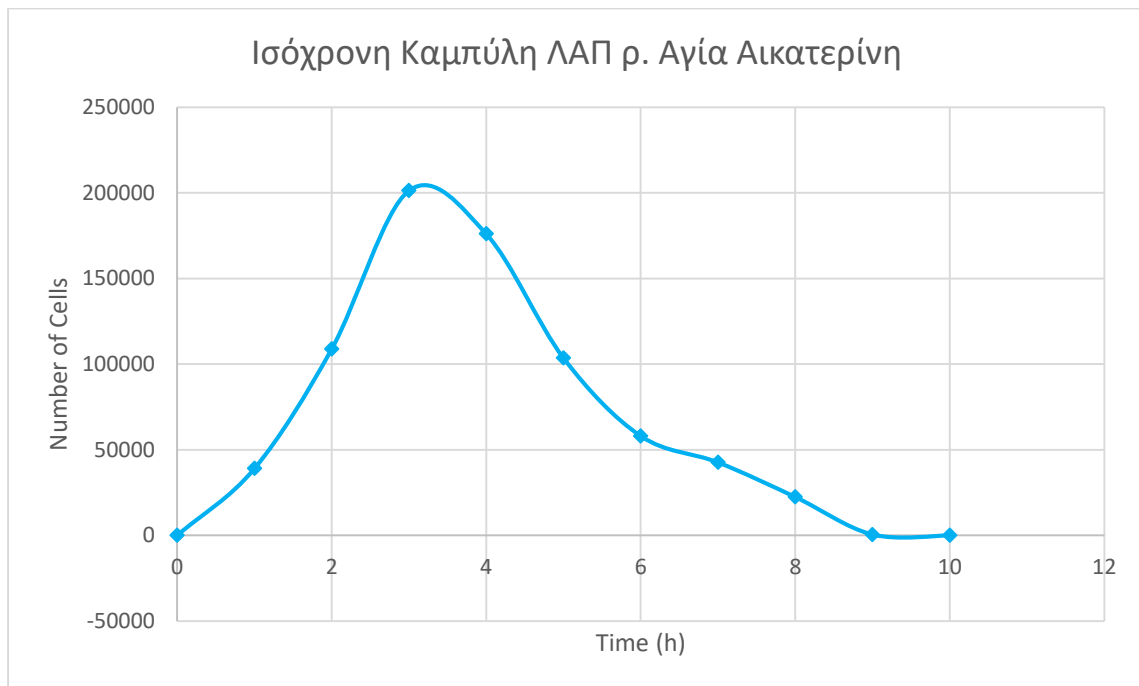
Λεκάνη Απορροής ρ. Αγίας Αικατερίνης UH Gis Outlet			
OBJECTID	Value(hours)	Count(pixels)	Ui
0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	1,00	39045,00	2,71
2,00	2,00	108792,00	7,56
3,00	3,00	201317,00	13,98
4,00	4,00	176050,00	12,23
5,00	5,00	103602,00	7,19
6,00	6,00	58042,00	4,03
7,00	7,00	42646,00	2,96
8,00	8,00	22429,00	1,56
9,00	9,00	489,00	0,03
10,00	10,00	7,00	0,00
11,00	11,00	0,00	0,00
i=	0,01		
A=	25,00		
	18810475,00	18,81	km ²
Vtotal=	0,19	hm ³	



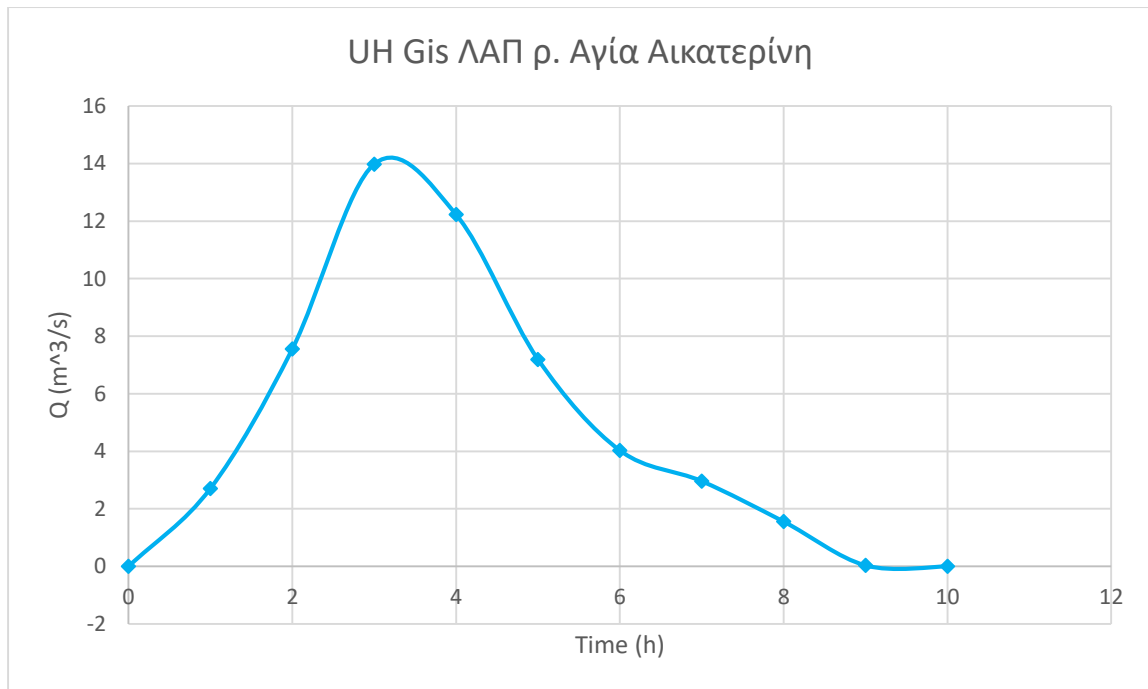
Σχήμα 4.4 Καμπύλη Χρόνου -Επιφανείας για ΛΑΠ ρ.Σούρες



Σχήμα 4.5 Καμπύλη Παροχής - Χρόνου ΛΑΠ ρ. Σούρες (Μοναδιαίο Υδρογράφημα)



Σχήμα 4.6 Καμπύλη Χρόνου -Επιφανείας για ΛΑΠ ρ. Αγία Αικατερίνη



Σχήμα 4.7 Καμπύλη Παροχής - Χρόνου ΛΑΠ ρ. Αγία Αικατερίνη (Μοναδιαίο Υδρογράφημα)

4.1.5 Υετογράφημα Σχεδιασμού

Προκείμενου να σχεδιαστούν τα τελικά πλημμυρογραφήματα για τις Λεκάνες Απορροής ρέμα Σούρες και ρέμα Αγία Αικατερίνη, χρειάζεται η διαμόρφωση της καταιγίδας σχεδιασμού και ο προσδιορισμός του επεισοδίου βροχής. Η καταιγίδα σχεδιασμού, όπως αναφέρεται αναλυτικά στην ενότητα υλοποιείται με την χρήση της μεθόδου των Εναλλασσόμενων Μπλοκ. Σύμφωνα με την μέθοδο, επιλέγεται ως χρονικό βήμα εξαγόμενου ύψους βροχής οι 24 ώρες. Αρχικά, εφαρμόζοντας τις όμβριες καμπύλες υπολογίζονται η σημειακή ένταση βροχής. Αφού υπολογιστούν οι εντάσεις βροχής μετατρέπονται σε ύψη βροχής. Με την βοήθεια του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής ϕ τα ύψη βροχής μετατρέπονται σε επιφανειακά. Επομένως, με την μέθοδο των εναλλασσόμενων βροχής και την μέθοδο Soil Conservation Services-runoff curve number (SCS-CN), για την εκτίμηση των απωλειών υπολογίζονται τα υετογραφήματα σχεδιασμού για τις δύο λεκάνες απορροής (ρέμα Σούρες, ρέμα Αγία Αικατερίνη). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παράρτημα. Στην δεύτερη περίπτωση προσδιορίζεται η βροχόπτωση μέσω του επεισοδίου πλημμύρας του Νοέμβριου 2017 στην περιοχή της Μάνδρας. Η καταιγίδα έχει διάρκεια περίπου 24 ωρών και έχει διακύμανση κατά την διάρκεια του χρονικού

απορροής του ρέματος Σούρες είναι Α και για την λεκάνη απορροής του ρέματος Αγίας Αικατερίνης είναι ένα μεγάλο μέρος τύπου Α και κάποιες περιοχές τύπου Β. Οι παράμετροι υπολογισμού των απωλειών καταγράφονται στο Πίνακας 4.12.

Πίνακας 4.12 Εκτίμηση παραμέτρων απωλειών κατά SCS-CN για το ρ. Σούρες και για το ρ. Αγία Αικατερίνη

Απώλειες βροχόπτωσης κατά SCS-CN			
Ρέμα Σούρες		Ρέμα Αγία Αικατερίνη	
h_0 (mm) = 0.2*S	36,79	h_0 (mm) = 0.2*S	28,58
S (mm)	183,93	S (mm)	142,88
CN	58,00	CN	64,00

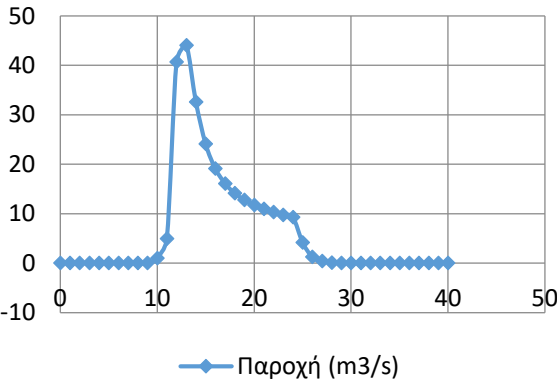
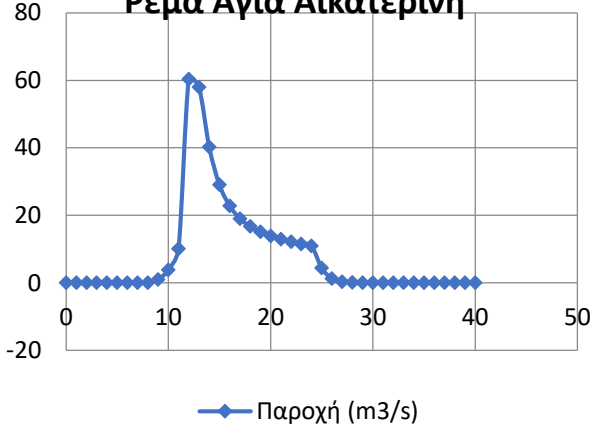
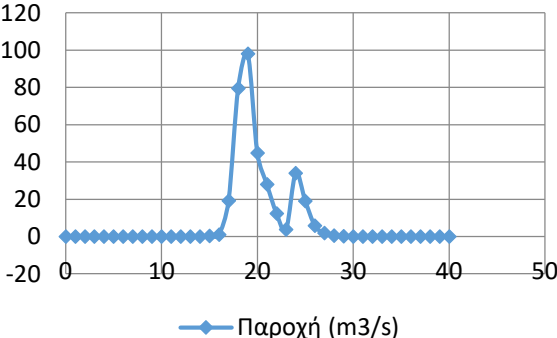
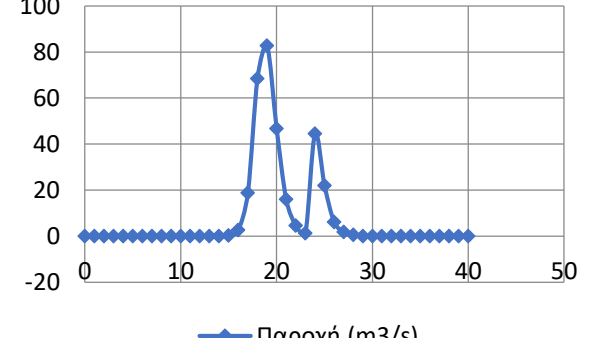
4.1.7 Πλημμυρογραφήματα

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα τέσσερα (4) πλημμυρογραφήματα για κάθε από τις δύο λεκάνες απορροής των ρεμάτων Σούρες και Αγίας Αικατερίνης. Τα πλημμυρογραφήματα προκύπτουν με δύο σενάρια.

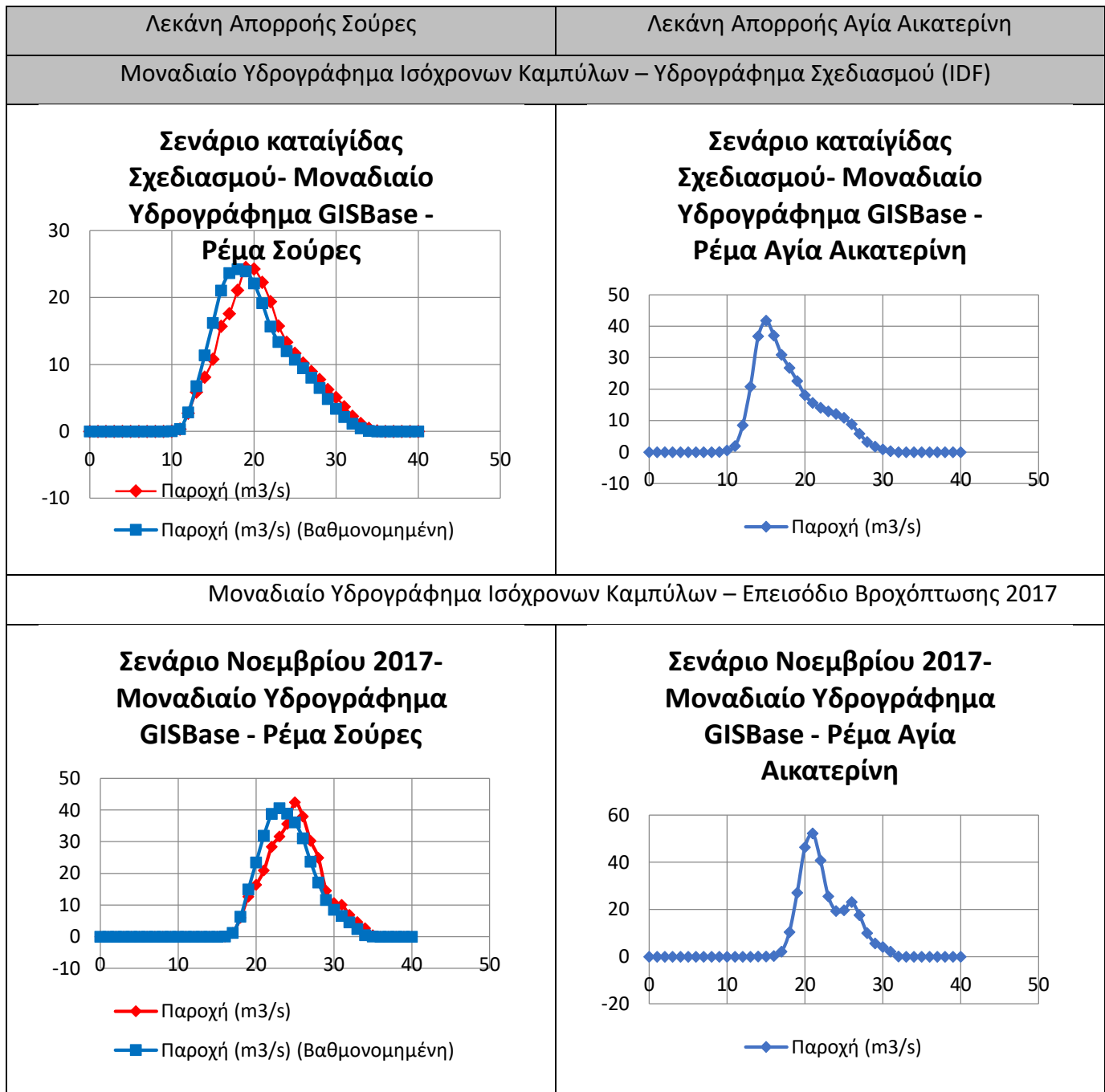
1. Υπολογισμός καταιγίδας σχεδιασμού (με βάση τις όμβριες καμπύλες) για περίοδο επαναφοράς ίση με εκατό έτη και εφαρμόζοντας την μέθοδο εναλλασσόμενων υψών βροχής για τον προσδιορισμό του βροχογραφήματος σχεδιασμού.
2. Υπολογισμός με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης σύμφωνα με την εργασία των Diakakis et al. (2019), σε δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας, ώστε να προβάλλουν τις συνθήκες του Νοεμβρίου 2017 που είχε σημειωθεί βροχόπτωση και εντός του προηγούμενου δεκαήμερου.

Τα δύο σενάρια συνδέθηκαν με τα δύο μοντέλα μοναδιαίων υδρογραφημάτων, το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα κατά την SCS και της μεθόδου των ισόχρονων καμπυλών, δημιουργώντας τα συνολικά οχτώ (8) πλημμυρογραφήματα. Τέλος, στον Πίνακας 4.13 και Πίνακας 4.14 εμφανίζονται οι τιμές παροχής των εν λόγω πλημμυρογραφημάτων για τις δύο λεκάνες απορροής Σούρες και Αγίας Αικατερίνης, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.13 Πλημμυρογραφήματα για της λεκάνες απορροής των ρεμάτων Σούρες και Αγίας Αικατερίνης

Λεκάνη Απορροής Σούρες	Λεκάνη Απορροής Αγία Αικατερίνη
Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS (NRCS) - Υδρογράφημα Σχεδιασμού (IDF)	
<p style="text-align: center;">Σενάριο Καταιγίδας Σχεδιασμού - Αδιάστατο Μοναδ.Υδρογράφημα SCS - Ρέμα Σούρες</p>  <p style="text-align: center;">— Παροχή (m³/s)</p>	<p style="text-align: center;">Σενάριο Καταιγίδας Σχεδιασμού - Αδιάστατο Μοναδ.Υδρογράφημα SCS - Ρέμα Αγία Αικατερίνη</p>  <p style="text-align: center;">— Παροχή (m³/s)</p>
Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS (NRCS) - Επεισόδιο Βροχόπτωσης 2017	
<p style="text-align: center;">Σενάριο Νοεμβρίου 2017 - Αδιάστατο Μοναδ.Υδρογράφημα SCS - Ρέμα Σούρες</p>  <p style="text-align: center;">— Παροχή (m³/s)</p>	<p style="text-align: center;">Σενάριο Νοεμβρίου 2017 - Αδιάστατο Μοναδ.Υδρογράφημα SCS - Ρέμα Αγία Αικατερίνη</p>  <p style="text-align: center;">— Παροχή (m³/s)</p>

Πίνακας 4.14 Πλημμυρογραφήματα για της λεκάνες απορροής των ρεμάτων Σούρες και Αγίας Αικατερίνης



4.2 Υδρολογικά Μεγέθη Λεκάνης Απορροής Κρεμαστής Κρεμαστής Ρόδου

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα αποτελέσματα των παροχών αιχμής και των πλημμυρογραφήματων για τις λεκάνες απορροής του ρέματος Κρεμαστής. Η παροχή αιχμής και το πλημμυρογράφημα είναι δύο βασικοί παράμετροι εσόδου για την προσομοίωση πλημμύρας. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο. Αρχικά υπολογίζεται η παροχή αιχμής μέσω της ορθολογική μεθόδου. Οι παράμετροι υπολογισμού είναι η ένταση βροχόπτωσης με βάση τις όμβριες καμπύλες, ο χρόνος συγκέντρωσης, ο συντελεστής απορροής C καθώς και η περίοδος επαναφοράς $T=100$. Ο χρόνος συγκέντρωσης που χρησιμοποιείται στην παρούσα διπλωματική βασίζεται στον τύπο της μεθόδου SCS-NSRS. Στην συνέχεια δημιουργείται το μοναδιαίο υδρογράφημα (εφαρμογή δύο μοντέλων μοναδιαίου υδρογραφήματος, το Αδιασταλτό Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS (Soil Conservation Services) και η μέθοδος ισόχρονων καμπυλών). Αφού υπολογιστούν τα μοναδιαία υδρογραφήματα, προσδιορίζεται η βροχόπτωση σχεδιασμού με βάση την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ του συντελεστής αναγωγής ϕ . Επιπλέον υπολογίζονται οι υδρολογικές απώλειες με βάση την μέθοδο Natural Resources Conservation Service (NRCS) και τον αριθμό καμπύλης απορροής (runoff curve number CN). Επιπλέον προσδιορίζεται η βροχόπτωση σχεδιασμού με βάση το επεισόδιο βροχής που καταγράφηκε στην περιοχή Κρεμαστής το 22 και 23 Νοεμβρίου 2013, απαλλαγμένο από υδρολογικές απώλειες. Συνεπώς προσδιορίζονται τέσσερα πλημμυρογραφήματα συνδυάζοντας τα δύο μοναδιαία υδρογραφήματα με τα δύο μοντέλα βροχόπτωσης. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα καθώς και τα τελικά πλημμυρογραφήματα.

4.2.1 Παροχή Αιχμής

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με βάση την ορθολογική μέθοδο (βλ. υποενότητα 3.1.2) για την λεκάνη απορροής του ρέματος Κρεμαστής Ρόδου. Η σταθμισμένη ένταση βροχόπτωσης υπολογίζεται με βάση τις παραμέτρους σχήματος k , κλίμακας l' , της θέσης της συνάρτησης κατανομής ψ καθώς και τις παραμέτρους της συνάρτησης διάρκειας θ , η . Οι τιμές των παραμέτρων επιλέγονται από τους πίνακες κατάρτισης των όμβριων καμπυλών. Τα αποτελέσματα της έντασης βροχής για την λεκάνη απορροής Κρεμαστής εμφανίζεται στο Πίνακας 4.15.

Στην συνέχεια υπολογίζεται ο συντελεστής απορροής C. Ο συντελεστής απορροής, όπως αναφέρεται και προηγούμενο κεφάλαιο, σχετίζεται με παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το έδαφος της περιοχής μελέτης. Όπως φαίνεται, η λεκάνη απορροής Κρεμαστής Ρόδου είναι σχετικά επίπεδη με μέσες κλίσεις 0-5%. Το έδαφος είναι αμμώδες και ιλυώδες επομένως κατατάσσονται σε κανονική διηθητικότητα. Η επιφάνεια του εδάφους των ρεμάτων καλύπτεται από φυτά και δάση περίπου 50% και με καλλιέργειες λιγότερο από 50%. Το ρέμα αποθηκεύει σημαντική ποσότητα λιμναζόντων νερών και δεν είναι καλά ορισμένο στο σύστημα αποστράγγισης. Έτσι με βάση την ανάλυση των χαρακτηριστικών οι συντελεστές απορροής C για το ρέμα Κρεμαστής είναι 0.37.

Στην συνέχεια υπολογίζονται οι χρόνοι συγκέντρωσης με όλες τις μεθόδους που αναφέρεται στην μεθοδολογία. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται σε όλες τις μεθόδους σχετίζονται με την κλίση εδάφους, το μήκος της διαδρομής και το εμβαδόν της λεκάνης απορροής. Στο Πίνακα 4.17 φαίνεται ότι η μέγιστη τιμή χρόνου συγκέντρωσης προκύπτει από την μέθοδο Giandotti ενώ η ελάχιστη τιμή δίδεται από την μέθοδο Kirpich. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της SCS-NRCS για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης σε ώρες.

Επομένως με βάση την ορθολογική μέθοδο, οι τιμές παροχής αιχμής για το ρέμα Κρεμαστής είναι 188,72 m³/s (Πίνακας 4.18).

4.2.2 Ορθολογική Μέθοδος

Πίνακας 4.15 Υπολογισμός παραμέτρων Όμβριας Καμπύλης για το ρέμα Κρεμαστής

Όμβρια (Κρεμαστή Ρόδου)	
Σταθμός Ρόδου(ΕΜΥ)	
κ	0,09
λ'	570,70
ψ'	0,77
θ	0,13
η	0,74
T	100,00
d	1,22
i (mm/h)	78,71

Πίνακας 4.16 Συντελεστής Απορροής C – Πάραμετροι

Κρεμαστή Ρόδου	
Cr	0,11
Ci	0,08
Cv	0,07
Cs	0,05
C	0,31
Cf	1,2
C'	0,37

Πίνακας 4.17 Υπολογισμός Χρόνου Συγκέντρωσης για την λεκάνη απορροής Κρεμαστής Ρόδου

Χρόνοι Συγκέντρωσης	
A [km ²]	23,19
<u>Giandotti</u>	
L [km]	2,49
ΔH [m] <i>mean-min</i>	94,24
t _c [h]	2,96
<u>Kirpich</u>	
L [m] μέγιστο μήκος διαδρομής	9105,57
S [m/m] μέση κλίση	16,42
t _c [min]	7,42
t _c [h]	0,12
<u>Passini</u>	
L [km]	9,11
t _c [h]	0,16
<u>SCS - NRCS</u>	
L [ft]	29873,92
H απομακρυσμένου	378,32
H εξόδου	6,52
ΔH [ft] απομακρυσμένου - εξόδου	1219,81
t _c [h]	1,22

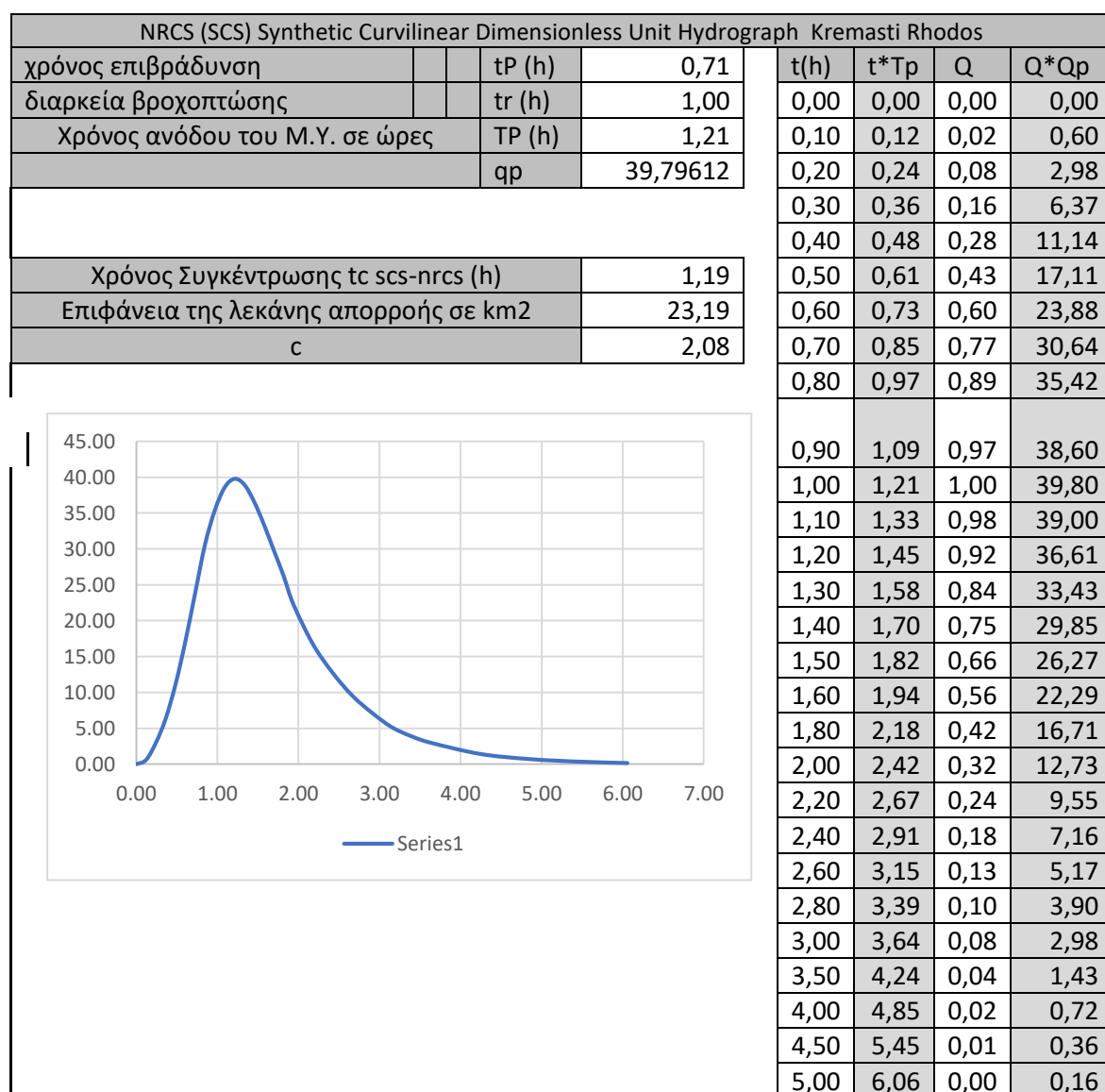
Πίνακας 4.18 Αποτελέσματα Ορθολογικής Μεθόδου

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ	
C	0,37
Q _T	188,72

4.2.3 Λείο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά SCS

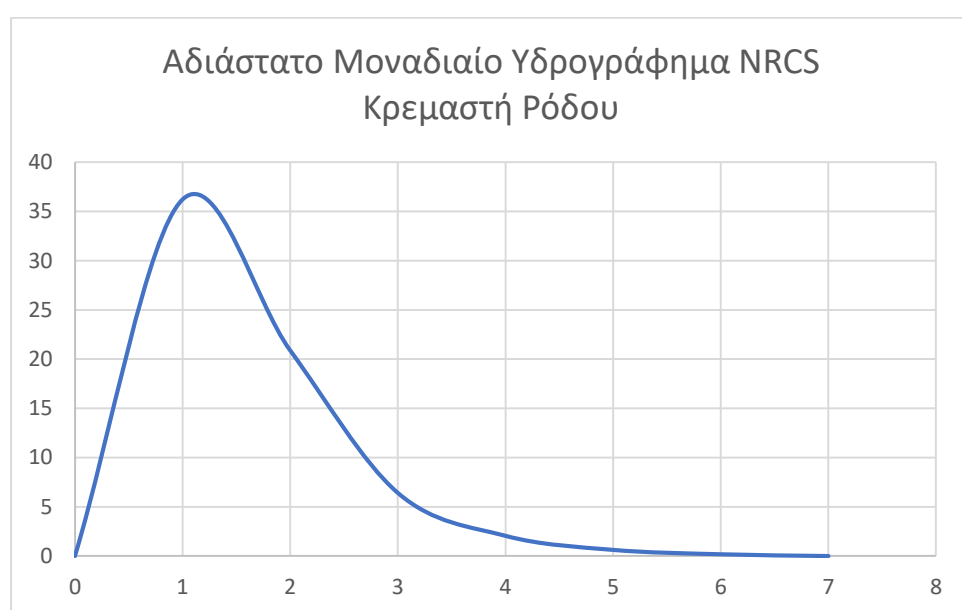
Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα υπολογισμού του αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος. Ο χρόνος συγκέντρωσης υπολογίστηκε με την μέθοδο της Soil Conservation Service SCS. Το μοναδιαίο υδρογράφημα έχει ως βασικές συνιστώσες την αδιάστατη άμεση απορροή (Q) και το αδιάστατο χρόνο (t). Στο Πίνακα 4.19 παρουσιάζεται το μοναδιαίο υδρογράφημα για το ρέμα Κρεμαστής. Επειδή όμως η συγκεκριμένη εργασία προσδιορίζει τα πλημμυρογραφήματα σε ωριαίο βήμα, τα τελικό υδρογράφημα μετασχηματίστηκε μέσω γραμμικής παρεμβολή σε βήματα πολλαπλάσια της ώρας (Σχήμα 4.9).

Πίνακας 4.19 Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά NRCS για την Λεκάνη Απορροής ρέματος Σούρες



Πίνακας 4.20 Παροχή κατά SCS Ρέμα Κρεμαστή

T (hr)	Q m ³ /hr
0,00	0,00
1,00	36,22
2,00	20,88
3,00	6,41
4,00	2,05
5,00	0,63
6,00	0,18
7,00	0,00



Σχήμα 4.9 Διάγραμμα Μοναδιαίου Υδρογραφήματος NRCS ρέματος Κρεμαστής

4.2.4 Μοναδιαίο Υδρογράφημα μέσω Ισόχρονων Καμπύλων

Η μέθοδος χρόνου- επιφανείας (ή μέθοδος ισόχρονων καμπυλών) είναι ο δεύτερος τρόπος κατάρτισης του μοναδιαίου υδρογραφήματος για την Λεκάνη Απορροής Κρεμαστής Ρόδου. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών ΣΓΠ (GIS) μέσω του λογισμικού ArcGIS. Τα σύνολα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται, είναι το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model, DEM) και το διανυσματικό αρχείο Χρήσεων Γης (Corine Land Cover, 2018). Το αποτέλεσμα είναι να δημιουργηθούν τα ιστογράμματα με την επιφάνεια (αριθμός φατνίων) που απορρέει και του χρόνου συγκέντρωσης ροής, και τελικώς η μετατροπή του σε απορροή.

Με βάση την μεθοδολογία (αναλύεται στο 3.1.3) αρχικά διορθώνονται τα σφάλματα που επηρεάζουν την ακρίβεια. Τα σφάλματα αυτά είναι η απότομες αλλαγές του ανάγλυφου και τα μεγάλα βυθίσματα (sinks). Τα βυθίσματα διορθώνονται με το εργαλείο “fill”. Το αποτέλεσμα για την λεκάνη απορροής Κρεμαστή φαίνεται στο Σχήμα Σχήμα 8.17 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ).

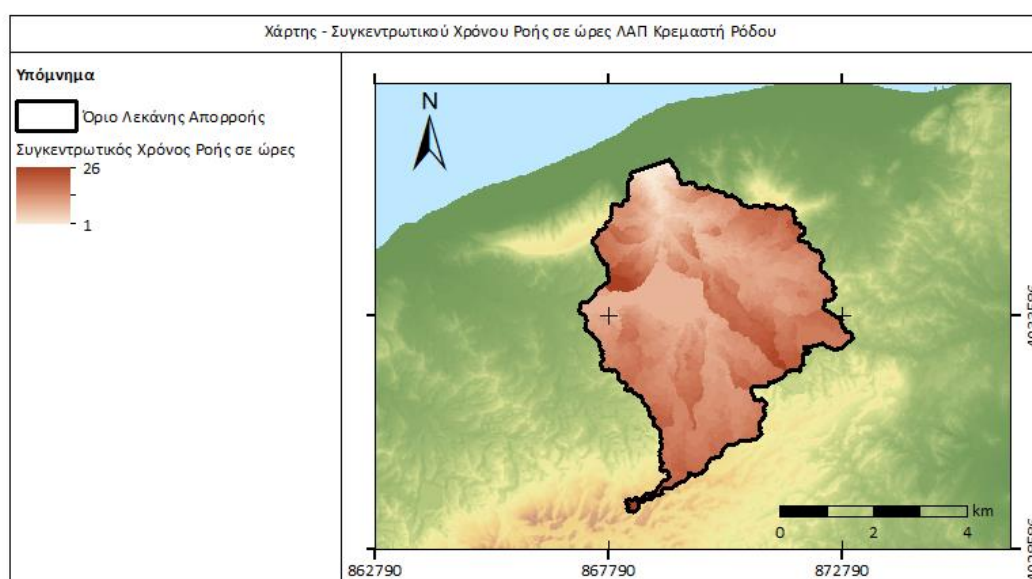
Στην συνέχεια δημιουργείται ο κানাβος χερσαίας ροής (Σχήμα 8.21). Μέσω του λογισμικού ArcGIS δημιουργείται ο κানাβος κλίσεων πρανών με την εντολή slope. Στο Σχήμα 8.18 απεικονίζεται το διάγραμμα κλίσεων για τις δύο λεκάνες απορροής, όπου με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι απότομες κλίσεις εδάφους και με πράσινο χρώμα οι ήπιες κλίσεις. Επίσης πραγματοποιείται η μετατροπή των χρήσεων γης (Σχήμα 8.19) σε ψηφιδωτό αρχείο (raster) σε σχέση τους συντελεστές ταχύτητας ($k*100$). Το τελικό αποτέλεσμα εμφανίζεται στο Σχήμα 8.20.

Στην συνέχεια πραγματοποιείται η διαδικασία της δημιουργίας του υδρογραφικού δικτύου και του κυρίου υδατορέματος μέσω διαγράμματος. Το Σχήμα 8.22 δείχνει τον κানাβο διεύθυνση ροής. Το Σχήμα 8.23 απεικονίζει την συγκέντρωση ροής. Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ροής εμφανίζονται κατάντη των λεκανών απορροής. Τα σημεία αυτά αποτελούν δυνητικά υδρογραφικοί αποδέκτες. Στην συνέχεια πραγματοποιείται η διαδικασία της δημιουργίας του υδρογραφικού δικτύου και του κυρίου υδατορέματος μέσω γραφημάτων. Όπως αναφέρεται και στην μεθοδολογία, εφαρμόζεται μια τιμή κατωφλίσωσης στον κানাβο συγκέντρωσης ροής. Το κατώφλι αυτό ορίστηκε ως 10000 επειδή στην περιοχή παρεμβάλλεται αστικός ιστός και οδικό δίκτυο. Στο Σχήμα 8.24 απεικονίζεται το υδρογραφικό δίκτυο. Με βάση την μεθοδολογία, το δίκτυο κατατάσσεται με την μέθοδο STRAHLER(Σχήμα 8.25) . Έτσι, η λεκάνη απορροής του ρέματος Κρεμαστή έχει 4 τάξεις. Κάθε τάξη έχει διαφορετικό χρώμα. Ο αριθμός της τάξης αντιπροσωπεύει την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου. Αφού οριστεί το υδρογραφικό δίκτυο, δημιουργείται το κύριο υδατόρεμα. Το κύριο υδατόρεμα εμφανίζεται στο Σχήμα 8.26 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ). Επιπλέον για κάθε υδατόρεμα δημιουργήθηκε το προφίλ υψομέτρων (Σχήμα 8.27). Το προφίλ υψομέτρων αναπαριστά την σχέση υψομέτρων με το μήκος του κυρίου υδατορέματος. Ξεκινώντας από το μήκος μηδέν το οποίο είναι περίπου στα 160m υπάρχει φθίνουσα πορεία έως το πέρας του υδατορέματος.

Στο Σχήμα 8.28 παρουσιάζεται το διάγραμμα της ταχύτητας ροής για την λεκάνη απορροής Κρεμαστής. Η μέγιστη τιμή ταχυτήτων εμφανίζεται στους κλάδους μεγαλύτερης τάξης και αναπαρίσταται με κόκκινο χρώμα, ενώ η ελάχιστη τιμή σε μικρής τάξης κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Για να αναπαρασταθούν οι συνολικές ταχύτητες ενώθηκαν η λεκάνες απορροής με την ταχύτητα ροής. Στο Σχήμα 8.29 παρουσιάζεται η συνολική ταχύτητα ροής.

Στο Σχήμα 8.30 απεικονίζεται ο κánaβος βαρών για την λεκάνες απορροής Κρεμαστής. Τα βάρη είναι το αντίστροφο της ταχύτητας ροής. Είναι παράμετρος που μαζί με τον κánaβο ροής (Σχήμα 8.31) δημιουργούν τον κánaβο συγκεντρωτικού χρόνου ροής (Σχήμα 4.10).

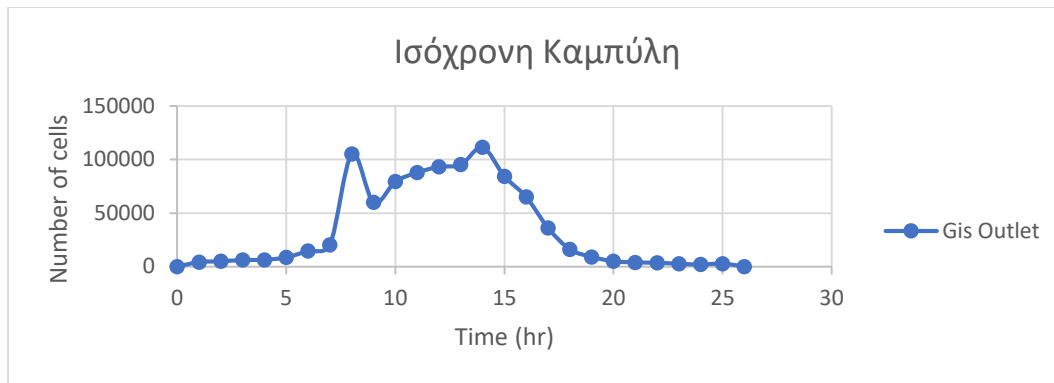
Με βάση τον προηγούμενο κánaβο, δημιουργείται το ιστόγραμμα χρόνου-επιφανείας σε ωριαίο βήμα (Σχήμα 4.11) . Τα αποτελέσματα εξάγονται στο Πίνακα 4.21, όπου υπολογίζεται η παροχή για κάθε χρονική διάρκεια. Τέλος στο Σχήμα 4.12 παρουσιάζεται το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα για την λεκάνη απορροής ρέματος Κρεμαστής.



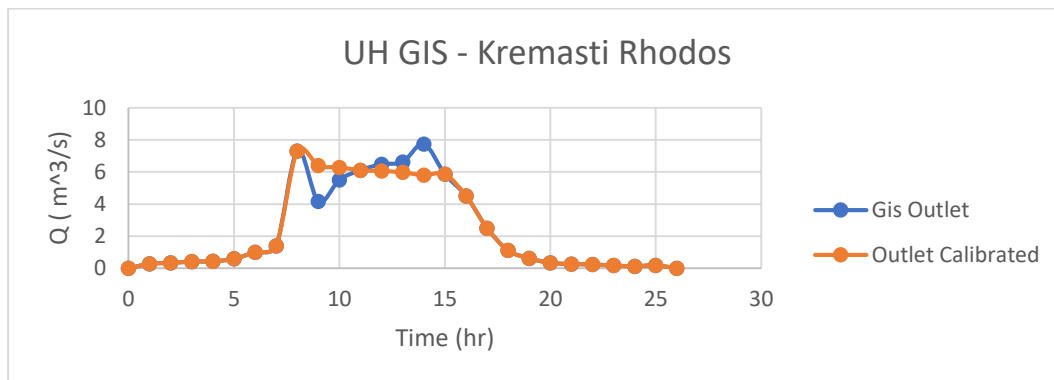
Σχήμα 4.10 Διάγραμμα Συγκεντρωτικού Χρόνου Ροής σε ώρες ΛΑΠ ρ. Κρεμαστή Ρόδου

Πίνακας 4.21 Αποτελέσματα μεθόδου Ισόχρονων Καμπύλων

Λεκάνη Απορροής Κρεμαστής				UH Calibrated	
OBJECTID	Value	Count	Ui	Count_new	UH cal
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	1,00	4156,00	0,29	4156,00	0,29
2,00	2,00	4911,00	0,34	4911,00	0,34
3,00	3,00	6103,00	0,42	6103,00	0,42
4,00	4,00	6281,00	0,44	6281,00	0,44
5,00	5,00	8559,00	0,59	8559,00	0,59
6,00	6,00	14544,00	1,01	14544,00	1,01
7,00	7,00	20255,00	1,41	20255,00	1,41
8,00	8,00	105117,00	7,30	105117,00	7,30
9,00	9,00	60006,00	4,17	92020,28	6,39
10,00	10,00	79333,00	5,51	90540,43	6,29
11,00	11,00	87905,00	6,11	87905,00	6,11
12,00	12,00	93321,00	6,48	87263,03	6,06
13,00	13,00	95320,00	6,62	85994,78	5,97
14,00	14,00	111354,00	7,74	83515,50	5,80
15,00	15,00	84299,00	5,86	84299,00	5,86
16,00	16,00	65018,00	4,52	65018,00	4,52
17,00	17,00	36040,00	2,50	36040,00	2,50
18,00	18,00	16063,00	1,12	16063,00	1,12
19,00	19,00	9045,00	0,63	9045,00	0,63
20,00	20,00	4896,00	0,34	4896,00	0,34
21,00	21,00	3886,00	0,27	3886,00	0,27
22,00	22,00	3501,00	0,24	3501,00	0,24
23,00	23,00	2584,00	0,18	2584,00	0,18
24,00	24,00	1911,00	0,13	1911,00	0,13
25,00	25,00	2714,00	0,19	2714,00	0,19
26,00	26,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A=	25,01	sum(Ui)	64,41		
i=	0,01				
	23186785,24	23,19	km2		
Vtotal	0,23	hm3			



Σχήμα 4.11 Καμπύλη Χρόνου –Επιφανείας για ΛΑΠ Κρεμαστής Ρόδου

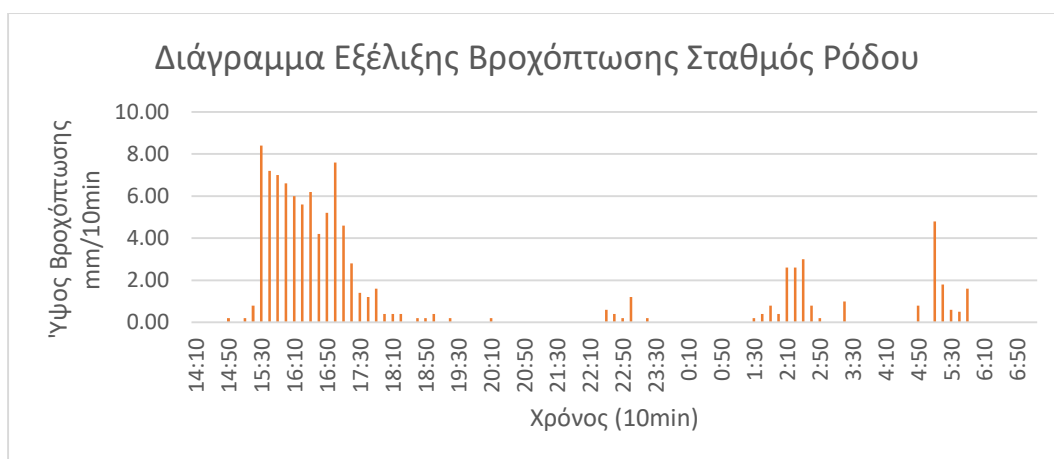


Σχήμα 4.12 Καμπύλη Παροχής - Χρόνου ΛΑΠ Κρεμαστής Ρόδου (Μοναδιαίο Υδρογράφημα)

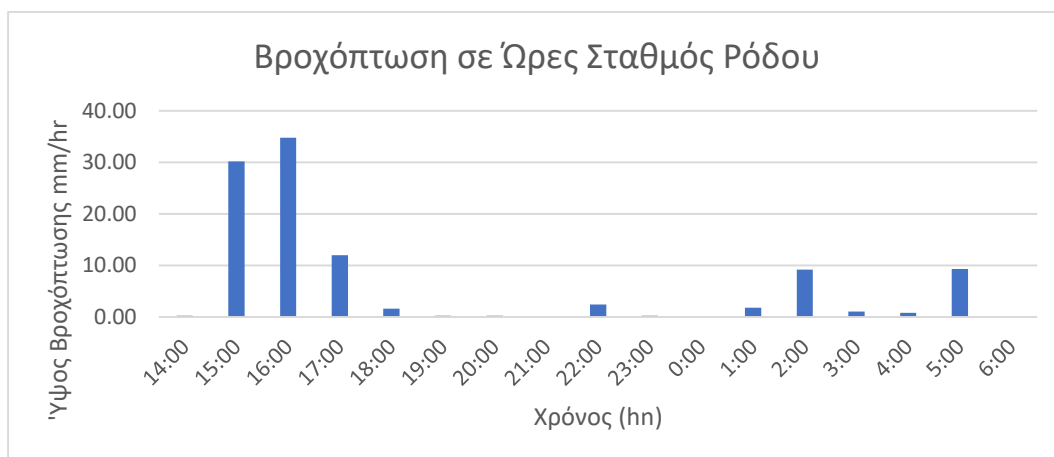
4.2.5 Υετογράφημα Σχεδιασμού

Προκείμενου να σχεδιαστούν τα τελικά πλημμυρογράφημα για την λεκάνη απορροής Κρεμαστής Ρόδου, χρειάζεται η διαμόρφωση της καταιγίδας σχεδιασμού και ο προσδιορισμός του επεισοδίου βροχής. Η καταιγίδα σχεδιασμού, όπως αναφέρεται αναλυτικά στην ενότητα 3.1.3 υλοποιείται με την χρήση της μεθόδου των Εναλλασσόμενων Μπλοκ. Σύμφωνα με την μέθοδο, επιλέγεται ως χρονικό βήμα εξαγόμενου ύψους βροχής οι 24 ώρες. Αρχικά, εφαρμόζοντας τις όμβριες καμπύλες υπολογίζονται η σημειακή ένταση βροχής. Αφού υπολογιστούν οι εντάσεις βροχής μετατρέπονται σε ύψη βροχής. Με την βοήθεια του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής ϕ τα ύψη βροχής μετατρέπονται σε επιφανειακά. Επομένως, με την μέθοδο των εναλλασσόμενων βροχής και την μέθοδο Soil Conservation Services-runoff curve number (SCS-CN), για την εκτίμηση των απωλειών υπολογίζονται το υετογράφημα σχεδιασμού για την λεκάνη απορροής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.

Στην δεύτερη περίπτωση προσδιορίζεται η βροχόπτωση μέσω του επεισοδίου βροχόπτωσης 22 και 23 Νοεμβρίου 2013. Η καταιγίδα έχει διάρκεια περίπου 17 ωρών και έχει διακύμανση κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήμα 10 λεπτών (Σχήμα 4.13). Οι αρχικές τιμές βροχής μετατράπηκαν σε ωριαίο ύψος βροχής (Σχήμα 4.14). Έπειτα με την μέθοδο Soil Conservation Services-runoff curve number (SCS-CN), υπολογίζονται η ενεργός βροχόπτωση και οι απώλειες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.



Σχήμα 4.13 Διάγραμμα εξέλιξης βροχόπτωσης με βάση τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού αεροδρομίου της Ρόδου του Εθνικού Αστεροσκοπείου κατά τις ημέρες 22 και 23 Νοεμβρίου 2013



Σχήμα 4.14 Διάγραμμα ωριαίας Βροχόπτωσης με βάση τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού αεροδρομίου της Ρόδου του Εθνικού Αστεροσκοπείου κατά τις ημέρες 22 και 23 Νοεμβρίου 2013.

4.2.6 Υδρολογικές Απώλειες

Οι υδρολογικές απώλειες προσδιορίστηκαν με την μέθοδο SCS-CN. Ο αριθμός καμπύλης Curve Number προσδιορίζεται ως μια μέση τιμή των αριθμών του Πίνακα 3.3 ανάλογα με τον τύπο εδάφους (A,B,C,D) και τις χρήσεις γης για κάθε λεκάνη απορροής. Σύμφωνα με τον εδαφολογικό χάρτη ο τύπος εδάφους για την λεκάνη απορροής του ρέματος Κρεμαστής είναι C. Οι παράμετροι υπολογισμού των απωλειών καταγράφονται στο Πίνακα 4.22.

Πίνακας 4.22 Απώλειες Βροχόπτωσης για την λεκάνη απορροής Κρεμαστής Ρόδου

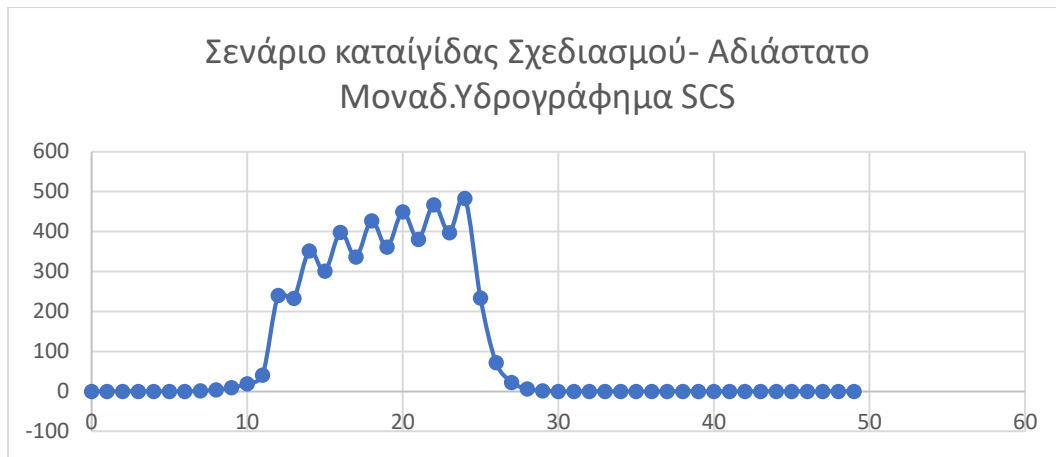
Απώλειες Βροχόπτωσης	
ho (mm)	18,79
S (mm)	93,95
CN	73,00

4.2.7 Πλημμυρογράφημα

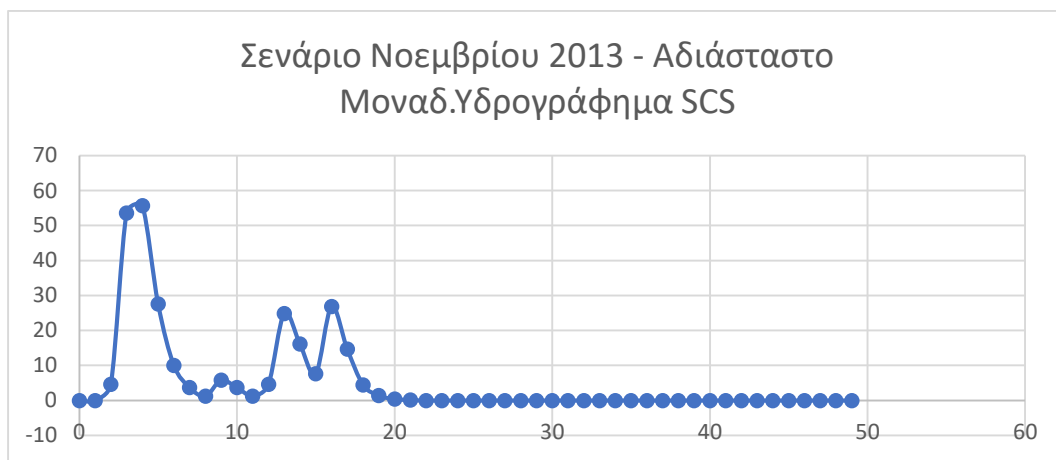
Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα τέσσερα πλημμυρογραφήματα για κάθε από την λεκάνη απορροής Κρεμαστή Ρόδου. Τα πλημμυρογραφήματα προκύπτουν με δύο σενάρια:

1. Υπολογισμός καταιγίδας σχεδιασμού (με βάση τις όμβριες καμπύλες) για περίοδο επαναφοράς ίση με εκατό έτη και εφαρμόζοντας την μέθοδο εναλλασσόμενων υψών βροχής για τον προσδιορισμό του βροχογραφήματος σχεδιασμού.
2. Υπολογισμός με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης σύμφωνα με την εργασία των (Λέκκας, et al., 2014),σε δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας, ώστε να προβάλλουν τις συνθήκες του Νοεμβρίου 2013.

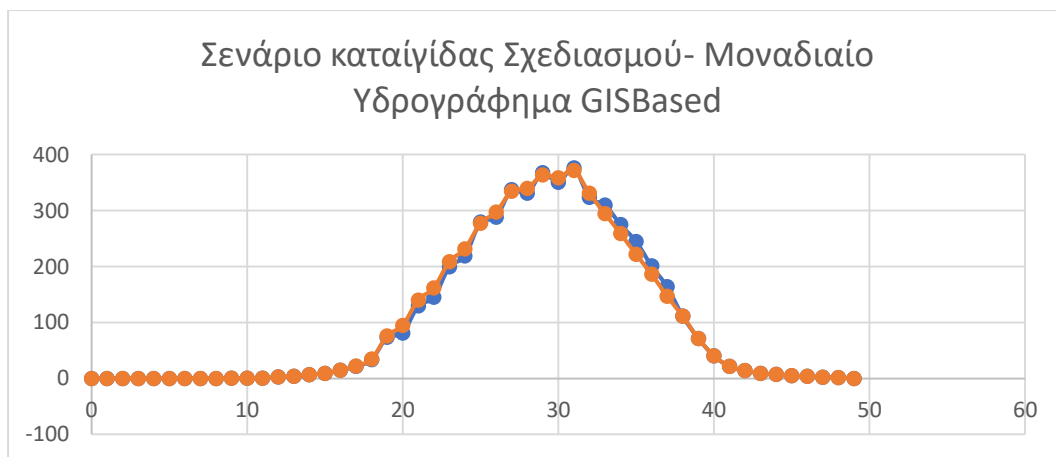
Τα δύο σενάρια συνδέθηκαν με τα δύο μοντέλα μοναδιαίων υδρογραφημάτων, το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα κατά την SCS και της μεθόδου των ισόχρονων καμπυλών, δημιουργώντας τα συνολικά τέσσερα (4) πλημμυρογραφήματα (Σχήμα 4.15 - Σχήμα 4.18).



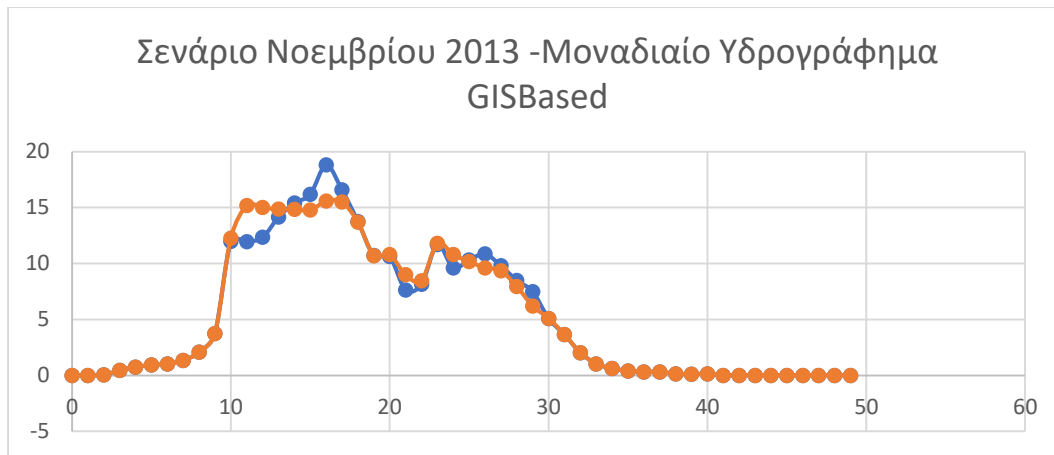
Σχήμα 4.15 Πλημμυρογράφημα Κρεμαστής Ρόδου 1^{ου} Σεναρίου Βροχόπτωσης με Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά NRCS



Σχήμα 4.16 Πλημμυρογράφημα Κρεμαστής Ρόδου 2^{ου} Σεναρίου Βροχόπτωσης με Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά NRCS



Σχήμα 4.17 Πλημμυρογράφημα Κρεμαστής Ρόδου 1^{ου} Σεναρίου Βροχόπτωσης με Μοναδιαίο Υδρογράφημα Ισοχρόνων Καμπυλών



Σχήμα 4.18 Πλημμυρογράφημα Κρεμαστής Ρόδου 2^{ου} Σεναρίου Βροχόπτωσης με Μοναδιαίο Υδρογράφημα Ισόχρονων Καμπυλών

4.3 Συνολικός σχολιασμός

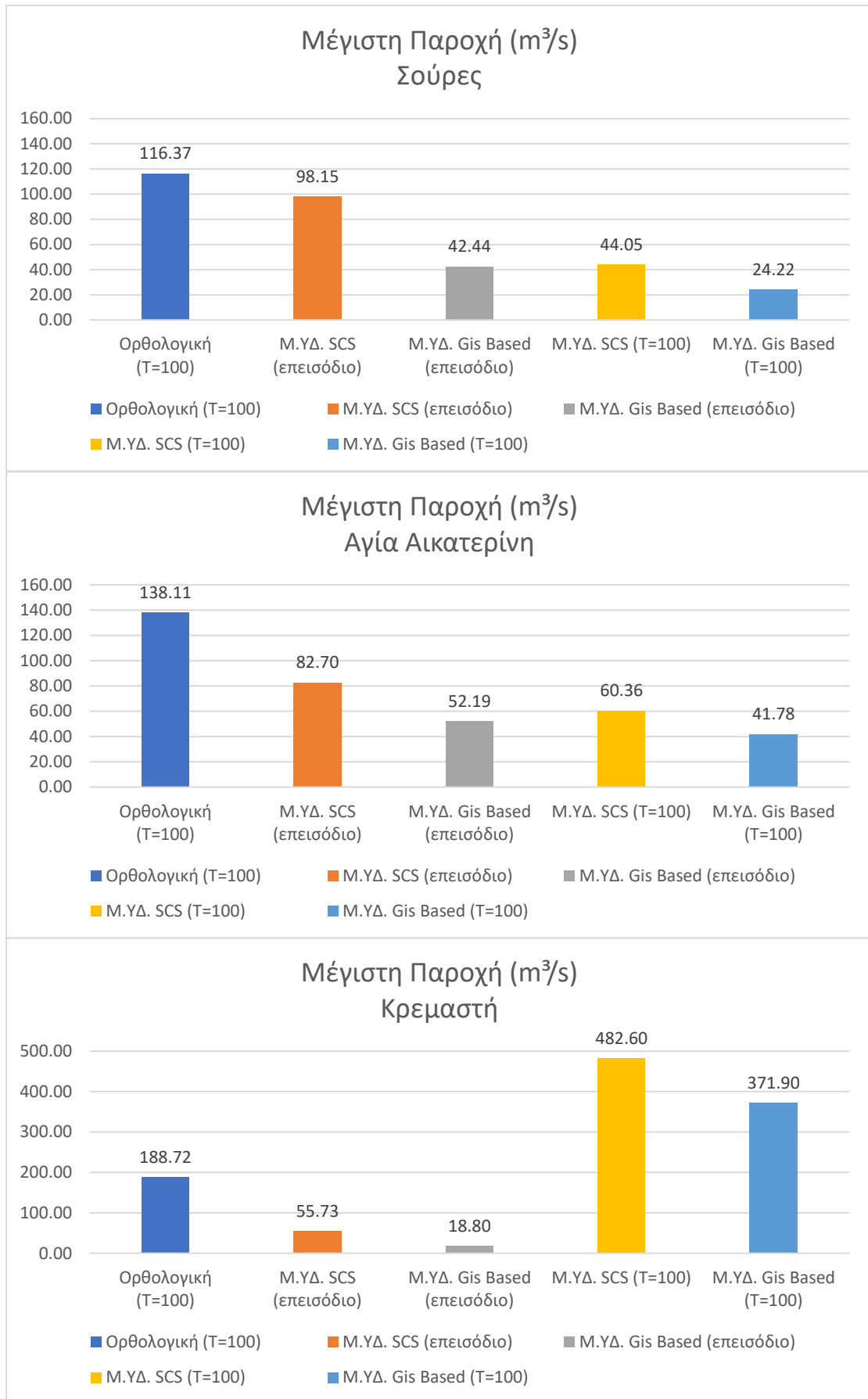
Με βάση τα συνολικά αποτελέσματα οι παροχές αιχμής με την ορθολογική μέθοδο παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.23 Πίνακας 4.23. Στο Πίνακα 4.24 παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι μέγιστες τιμές παροχής που προέκυψαν από τα πλημμυρογραφήματα. Στο Σχήμα 4.19 απεικονίζονται συγκριτικά σε μορφή γραφήματος οι τιμές μέγιστης παροχής για τις λεκάνες απορροής.

Πίνακας 4.23 Αιχμές Απορροής για τις Λεκάνες Απορροής ρ. Σούρες,, ρ. Αγία Αικατερίνη και ρ. Κρεμαστής.

Παροχή Αιχμής (Ορθολογική Μέθοδος) (m ³ /s)		
ρ. Σούρες	ρ. Αγια Αικατερίνη	ρ. Κρεμαστή
116,37	138,11	188,72

Πίνακας 4.24 Μέγιστες Παροχές Πλημμυρογραφημάτων για τις ΛΑΠ ρ. Σούρες,ρ.Αγία Αικατερίνη και ρ. Κρεμαστής

Πλημμυρογραφήματα		Μέγιστη Παροχή (m ³ /s)		
		ρ. Σούρες	ρ. Αγία Αικατερίνη	ρ. Κρεμαστή
1ο Σενάριο (Καταιγίδια Σχεδιασμού)	M.ΥΔ. SCS	44,05	60,36	482,60
	M.ΥΔ. Gis Based	24,52	41,78	376,27
	M.ΥΔ. Gis Based (Cal.)	24,22	-	371,90
2ο Σενάριο (Νόεμβριος 2017 & Νοέμβριος 2013)	M.ΥΔ. SCS	98,15	82,70	55,73
	M.ΥΔ. Gis Based	42,44	52,19	18,80
	M.ΥΔ. Gis Based (Cal.)	40,57	-	15,59



Σχήμα 4.19 Διαγράμματα αποτελεσμάτων Μέγιστης Παροχής για τρεις Λέκνες Απορροής (Ορθολογική και Σενάρια Βροχόπτωσης)

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με προηγούμενες εργασίες, οι Diakakis et al. (2019, p.305) χρησιμοποίησαν την μέθοδο SCS και κατέληξαν στο αποτέλεσμα ότι εκτιμώμενη παροχή αιχμής είναι για το ρέμα Σούρες $170\text{m}^3/\text{s}$ και το ρέμα Αγία Αικατερίνη $140\text{m}^3/\text{s}$. Επίσης σύμφωνα τους Bellos et al. (2020, p.724) που χρησιμοποίησαν τα υδρολογικά μεγέθη για προσομοίωση πλημμύρας (μέθοδος 2D hydrodynamic model FLOWR2D), εκτίμησαν ως μέση μέγιστη παροχή για το ρέμα Αγία Αικατερίνη τα $180\text{ m}^3/\text{s}$. Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλη απόκλιση σε σχέση με τις εκτιμώμενες τιμές των πλημμυρογραφημάτων μεταξύ των αναφορών και της παρούσας εργασίας. Με βάση καταγραφές του Αστεροσκοπείου Αθηνών για το φαινόμενο της πλημμύρας στην Κρεμαστή του Νοεμβρίου 2013, κατάγραψε 162 mm βροχής στον σταθμό της Ρόδου (Meteo24News.gr, 2015), ωστόσο στην βιβλιογραφία δεν έχουν βρεθεί ανάλογες εργασίες που να ενσωματώνουν την υδρολογική ανάλυση του επεισοδίου.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

5.1 Σύνοψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την γεωμορφολογική και υδρολογική ανάλυση που πραγματοποιείται στο πλαίσιο της ολοκληρωμένης προσέγγισης στην εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στις ευάλωτες περιοχές Μάνδρα Αττικής και Κρεμαστή Ρόδου. Στα πρώτα στάδια της εργασίας, εφόσον αναφέρθηκαν γενικά στοιχεία σχετικά με τις πλημμύρες στην Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Οδηγία για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου καθώς και η συμβολή της στην κατάρτιση Όμβριων Καμπύλων στο ελληνικό χώρο, αναλύθηκαν τα χαρακτηριστικά των δύο περιοχών και περιεγράφηκαν τα ιστορικά πλημμυρικά γεγονότα. Αφού συλλέχθηκαν όλα τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά (μορφολογικά, εδαφολογικά χρήσεις γης, κ.λπ.) καθώς και οι παράμετροι των όμβριων καμπυλών, υπολογίστηκαν οι χρόνοι συγκέντρωσης, οι ένταση βροχής, η παράμετρος απορροής C, και οι παροχές αιχμής με την ορθολογική μέθοδο. Στην συνέχεια μέσω ανάλυσης εντός περιβάλλοντος ArcGIS, πραγματοποιήθηκε πρόσθετη ανάλυση για τις τρεις λεκάνες απορροής που εξετάζονται (ρέμα Σούρες, ρέμα Αγία Αικατερίνη και ρέμα Κρεμαστής) και εξήχθη το υδρογραφικό δίκτυο. Στις τρεις λεκάνες απορροής εκτιμήθηκε στη συνέχεια το μοναδιαίο υδρογράφημα με δύο διαφορετικές μεθόδους: την μέθοδο Natural Resources Conservation Service (NRSCS ή SCS) και την μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών, δηλαδή με μια προσέγγιση συνθετικού ΜΥΓ και με μία δεύτερη βασιζόμενη σε ΣΓΠ (GIS-based approach). Έπειτα υπολογίστηκαν τα βροχογραφήματα σχεδιασμού σύμφωνα με τα δύο σενάρια: στο πρώτο σενάριο εφαρμόστηκε η μέθοδος εναλλασσόμενων υψών βροχής για περίοδο επαναφοράς 100 ετών χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες όμβριες καμπύλες, και στο δεύτερο σενάριο χρησιμοποιούνται τα δεδομένα βροχής μετεωρολογικών σταθμών Ελευσίνας και Ρόδου (Αεροδρόμιο), που παρουσιάζονται στις εργασίες των (Diakakis, et al., 2019) και (Λέκκας, et al., 2014) αντίστοιχα για τις δύο περιοχές μελέτης. Και στα δύο σενάρια εκτιμώνται οι υδρολογικές απώλειες με την μέθοδο Natural Resources Conservation Service (NRSCS ή SCS) – Curve Number (CN), προκειμένου τελικά να προκύψει η ενεργός βροχόπτωση που αποτελεί δεδομένο εισόδου για την

κατάρτιση του πλημμυρογραφήματος. Τέλος, συνδέοντας τα σενάρια με τα μοναδιαία υδρογραφήματα και τα σενάρια βροχής, υπολογίζονται τα πλημμυρογραφήματα των λεκανών απορροής και προσδιορίζεται η μέγιστη παροχή για την σύγκριση των μεθόδων.

5.2 Γενικά συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διαπιστώθηκαν μια σειρά από γενικά συμπεράσματα όπου είναι τα εξής:

- Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της υδρολογικής και γεωμορφολογικής ανάλυσης εξαρτώνται από την ποιότητα δεδομένων.
- Στην γεωμορφολογική ανάλυση, το μέγεθος των φατνίων στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) επηρεάζει την ακρίβεια στην εξαγωγή των λεκανών απορροής και του υδρογραφικού δικτύου. Οι διαστάσεις των φατνίων των DEM που χρησιμοποιήθηκαν είναι 5m x 5m Το πρόβλημα αναφορικά με τη ρεαλιστική αποτύπωση του αναγλύφου παρατηρήθηκε κυρίως στα πεδινά της Κρεμαστής Ρόδου όπου το υδρογραφικό δίκτυο διατρέχει το οδικό δίκτυο και άλλες τεχνητές επιφάνειες.
- Η ορθολογική μέθοδος δίνει μεμονωμένη τιμή για την παροχή αιχμής και εξαρτάται από μια σειρά εκτιμήσεων για παραμέτρους, όπως τον συντελεστή απορροής C που είναι ξεχωριστός για κάθε λεκάνη, την ένταση βροχόπτωσης, η οποία επηρεάζεται από το χρόνο συγκέντρωσης, και το εμβαδόν της λεκάνης. Επομένως αν η τιμή του χρόνου συγκέντρωσης είναι υψηλή τότε μεταβάλλεται και η τιμή της παροχής. Και στις τρεις λεκάνες απορροής οι τιμές προκύπτουν υψηλές.
- Στο μοναδιαίο υδρογράφημα κατά NRCS χρησιμοποιήθηκε ως χρόνο συγκέντρωσης αυτός της μεθόδου NRCS.
- Στο μοναδιαίο υδρογράφημα με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών λαμβάνονται υπόψη οι κλίσεις, οι χρήσεις γης και του υδρογραφικού δικτύου. Σημαντική παράμετρος είναι το κατώφλι για την δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου. Όσο μεγαλύτερη η τιμή του κατωφλίου τόσο μικραίνει το υδρογραφικό δίκτυο και αυξάνεται ο χρόνο συγκέντρωσης.

- Στο σενάριο υετογραφήματος σχεδιασμού λαμβάνεται υπόψη η βροχόπτωση $T=100$ ετών και διάρκεια 24 ωρών, οι όμβριες καμπύλες για κάθε περιοχή, η εκτίμηση του δείκτη απωλειών (ϕ). Με την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκς υπολογίζονται τα τμηματικά και διατεταγμένα ύψη βροχής, τα οποία συμβάλλουν άμεσα στην εκτίμηση των πλημμυρογραφημάτων. Αντίστοιχα στο σενάριο των δύο επεισοδίων βροχής που αξιοποιούνται οι μετρήσεις από αντιπροσωπευτικό(ούς) για τα υψογραφικά χαρακτηριστικά των λεκανών βροχομετρικό(ούς) σταθμό(ούς), σημαντικό ρόλο λαμβάνει η κατανομή των βροχής στο χρόνο.
- Οι υδρολογικές απώλειες εκτιμήθηκαν με την μέθοδο NRCS (SCS)-CN. Η παράμετρος που επηρεάζει το αποτέλεσμα είναι ο συντελεστής καμπύλης απορροής CN. Οι τιμή καθορίζεται από τους εδαφικούς τύπους των περιοχών, τις χρήσεις γης, την βλάστηση, τους λιθολογικούς σχηματισμούς και άλλους παράγοντες.
- Όσον αφορά την υδρολογική ανάλυση των λεκανών απορροής Σούρες και Αγία Αικατερίνη με την μέθοδο NRCS και την μέθοδο ισόχρονων καμπυλών, οι μέγιστες τιμές των πλημμυρογραφημάτων κυμαίνονται από 24,22-98,15m³/s και στα δύο σενάρια υπολογισμού, σε αντίθεση με την υδρολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής Κρεμαστή, όπου στο σενάριο καταιγίδας σχεδιασμού προκύπτουν μεγάλες τιμές παροχή αιχμής, σε σχέση με το σενάριο βροχόπτωσης.

5.3 Ειδικά συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν δύο πλημμυρικά ευάλωτες περιοχές με πρόσφατα πλημμυρικά συμβάντα (Μάνδρα Αττικής τον Νοέμβριο του 2017 και Κρεμαστή Ρόδου τον Νοέμβριο το 2013). Από την γεωμορφολογική και υδρολογική ανάλυση των λεκανών απορροής προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα.

Η περιοχή της Μάνδρας παραλαμβάνει τις απορροές από τις λεκάνες απορροής δύο βασικών ρεμάτων (Σούρες και Αγία Αικατερίνη), οπότε και ορίστηκαν ως όρια λεκανών απορροής ανάντη της πόλης Μάνδρας. Η έκταση των λεκανών είναι

16,82km² για τις Σούρες και για την Αγία Αικατερίνη 18,81km². Οι λεκάνες απορροής είναι μικρής σχετικά έκτασης και χαρακτηρίζονται κυρίως πεδινές. Με βάση τα αποτελέσματα της υδρολογικής ανάλυσης παρατηρήθηκε ότι, από την ορθολογική μέθοδο προκύπτουν μέγιστες παροχές αιχμής για την ΛΑΠ Σούρες 116,37 m³/s και την ΛΑΠ Αγίας Αικατερίνης 138,11 m³/s για T=100. Όσον αφορά τα δύο σενάρια εκτίμησης πλημμυρογραφήματων, στο πρώτο σενάριο με την καταιγίδα σχεδιασμού ίδιας περιόδου επαναφοράς προσδιορίστηκαν τα υετογραφήματα τμηματικών ύψων 24ωρης βροχόπτωσης. Οι μέγιστες τιμές τμηματικών υψών υετού είναι 14,42mm για την ΛΑΠ Σούρες και 17,43 για την ΛΑΠ Αγία Αικατερίνη. Οι μέγιστες παροχές πλημμυρογραφήματων που προέκυψαν με την μέθοδο NRCS είναι 44,05m³/s για Σούρες και 60,36m³/s για Αγία Αικατερίνη και αντίστοιχα με την μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών προέκυψαν οι τιμές 24,52m³/s και μετά την βαθμονόμηση 24,22m³/s για Σούρες και 41,78m³/s για Αγία Αικατερίνη. Στο δεύτερο σενάριο λαμβάνοντας υπόψη την βροχόπτωση του Νοεμβρίου 2017, οι μέγιστες τιμές τμηματικών υψών υετού είναι 26,07mm για Σούρες και 29,93mm για Αγία Αικατερίνη. Έτσι οι μέγιστες παροχές που προέκυψαν με την μέθοδο NRCS είναι 98,15 m³/s για Σούρες και 82,70 m³/s για Αγία Αικατερίνη, καθώς και με την μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών είναι 42,44 m³/s και η βαθμονομημένη τιμή 40,57 m³/s για Σούρες και 52,19 m³/s για Αγία Αικατερίνη. Στην περίπτωση της Κρεμαστή Ρόδου, που αντιπροσωπεύεται από την λεκάνη απορροής ρέματος Κρεμαστής, ορίστηκαν τα όρια της λεκάνης απορροής ανάντη της γέφυρας κοντά στον αεροδρόμιο Ρόδου. Η έκταση της λεκάνης είναι 23,19 km². Η λεκάνη απορροής είναι πεδινή και έχει ήπια κλίση εδάφους. Με βάση τα αποτελέσματα της υδρολογικής ανάλυσης παρατηρήθηκε ότι, από την ορθολογική μέθοδο προκύπτουν μέγιστες παροχές αιχμής στα 188,72 m³/s. Όσο αφορά στα δύο σενάρια μέσω εκτίμησης πλημμυρογραφήματων, στο πρώτο σενάριο με την καταιγίδα σχεδιασμού για T=100 έτη προσδιορίστηκε υετογράφημα τμηματικών ύψων με την μέγιστη τιμή τμηματικών υψών υετού να υπολογίζεται στα 86,90 mm για την ΛΑΠ Κρεμαστής. Οι μέγιστες παροχές πλημμυρογραφήματων που προέκυψαν με την μέθοδο NRCS είναι 482,60 m³/s για την περιοχή της Κρεμαστής και αντίστοιχα για την μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών προέκυψαν οι τιμές 376,27 m³/s και μετά την βαθμονόμηση 371,90 m³/s. Στο δεύτερο σενάριο με την βροχόπτωση του Νοεμβρίου 2013, οι μέγιστες τιμές τμηματικών υψών υετού είναι 14,07mm. Έτσι

οι μέγιστες παροχές που προέκυψαν με την μέθοδο NRCS είναι 55,73 m³/s, ενώ και με την μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών είναι 18,80 m³/s και η αντίστοιχη τιμή κατόπιν βαθμονόμησης του ΜΥΓ είναι 15,59m³/s.

5.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της πλημμύρας από υδρολογικής άποψης με την χρήση συγκεκριμένων μεθόδων. Η απόκλιση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν εφαρμόζοντας υδρολογικές μεθόδους, τονίζει ακόμα περισσότερο την αναγκαιότητα εγκατάστασης ενός ολοκληρωμένου δικτύου υδρο-μετεωρολογικής παρακολούθησης σε περιοχές ευάλωτες σε πλημμυρικά φαινόμενα. Όσο υπάρχει ανάγκη για ανάλυση βασιζόμενη σε εμπειρικές προσεγγίσεις, προτείνονται εναλλακτικοί τρόποι υπολογισμού των επιμέρους παραμέτρων (βροχή, υδρογράφημα, απώλειες και παροχή) και η συγκριτική αξιολόγηση αυτών εξατομικευμένα για κάθε μελέτη περίπτωσης.

Ένας εύκολα εφαρμόσιμος τρόπος εξαγωγής γεωμορφολογικών και υδρολογικών παραμέτρων είναι η χρήση της ανοικτών εργαλειοθηκών και λογισμικών, όπως η πλατφόρμα του HEC, με το HEC-GeoHMS που λειτουργεί σε περιβάλλον GIS για την γεωμορφολογική ανάλυση και εκτίμηση παραμέτρων των ΛΑΠ, το λογισμικό HEC-HMS, για την υδρολογική προσομοίωση και το HEC-RAS για την υδραυλική ανάλυση και προσομοίωση. Η χρήση της συγκεκριμένης ή ανάλογων προσεγγίσεων για την ολοκληρωμένη προσέγγιση στην ανάλυση του πλημμυρικού κινδύνου ευάλωτων περιοχών, και των δύο που μελετήθηκαν στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, προτείνονται ως μελλοντική έρευνα.

Τέλος, μια ειδικότερη παρατήρηση που προέκυψε στο πλαίσιο της εργασίας και θα άξιζε περαιτέρω διερεύνησης, αφορά στη μέθοδο που εφαρμόστηκε για την εκτίμηση ΜΥΓ με χρήση ΣΓΠ. Συγκεκριμένα, προτείνεται να αξιολογηθεί η επίδραση του κατωφλίου για τον καθορισμού του υδρογραφικού δικτύου, καθώς μεταβάλλει το χωρικό μοτίβο των ταχυτήτων ροής εντός ΛΑΠ, όπως και η επιρροή του μεγέθους του φατνίου των δεδομένων εισόδου στο τελικό ιστόγραμμα χρόνων – επιφανείας.

6 Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Anon., 2015. *Meteo24News.gr*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.meteo24news.gr/2013/12/plimmyres-rodou-22-23-noevriou-2013.html>
- Bellos, V. και συν., 2020. Reconstruction of a flash flood event using a 2D hydrodynamic model under spatial and temporal variability of storm. *Natural Hazards*, pp. 711-726.
- Charami , O., 2017-2018. Swim,Skim or Fly?. The Basics. *Greece Is. Rhodes*, 27 Ιούλιος, pp. 28-32.
- Diakakis, M. και συν., 2019. An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, pp. 290-309.
- European Environment Agency, 2018. *Catastrophic floods cause human tragedy, endanger lives and heavy economic losses*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.eea.europa.eu/archived/archived-content-water-topic/water-resources/floods>
- Feloni, E. και συν., 2021. *Analysis of the hydrologic conditions during the flood event occurred in Mandra at Greece on November 2017*, Athens: 17th International Conference on Environmental Science and Technology.
- Karakasis, Y., 2017-2018. Days of Wine and Rhodos. *Greece Is. Rhodos*, 27 Ιούλιος, pp. 146-149.
- Lekkas, E. και συν., 2017. *Flash Flood in West Attica (Mandra, Nea Peramos), November 15,2017*, Athens: Newsletter of Enviromental,Disaster and Crisis Management Strategies Issue No5.
- Leonard, J., 2017-2018. A Glorious Family. *Greece is.Rhodes*, 27 Ιούλιος, pp. 44-45.
- Markopoulos-Sarikas, G. και συν., 2018. *How probable was the flood inudation in Mandra? A preliminary urban flood innundation analysis*, Athens: Department of Water Resources and Environmental Engineering, National Technical University of Athens.

- NaturaGraeca, 2022. Βιότοποι. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.naturagraeca.com>
- NEWSIT, 2017. Έτσι "πνίγηκε" η Μάνδρα-Πως έγινε η τρίτη μεγαλύτερη καταστροφή από πλημμύρες στην Ατική. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.newsit.gr/ellada/etsi-pnigike-mandra-pos-egine-triti-megalyteri-katastrofi-apo-plimmyres-stin-attiki/2293548/>
- Paprotny, D., 2017. HANZE database of historical damaging floods in Europe, 1870-2016. [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://data.4tu.nl/articles/dataset/HANZE_database_of_historical_damaging_floods_in_Europe_1870-2016_/12696242/1
- Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Nápoles, O. & Sebastiaan, J. N., 29 May 2018. Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. *nature communications*.
- Tsiros, G., 2017-2018. At a Crowded Crossroads. *Greece Is. Rhodes*, 27 Ιούλιος, pp. 1-3.
- Αθανασίου, Δ., 2021. Προσδιορίστηκε η πρώτη αγωγή αστικής ευθύνης για καταστροφή οικίας στην πλημμύρα του 2013. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.dimokratiki.gr/02-10-2020/prosdioristike-i-proti-agogi-astikis-eythynis-gia-katastrofi-oikias-stin-plimmyra-toy-2013/>
- Βαφείαδης, Μ., 2001. Σημειώσεις Επιφανειακής Υδρολογίας: Χρόνος Συγκέντρωσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη: s.n.
- Γαλάνης, Μ., 2017. Μάνδρα: Ερειωμένη πόλη 10 ημέρες μετά τις φονικές πλημμύρες. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.protothema.gr/greece/article/735129/mandra-ereipomeni-poli-10-imeres-meta-tis-foinikes-plimmyres-/>
- Γεωργακόπουλος, Α., 2017. Μαζί πνιγήκαμε..... [Ηλεκτρονικό]
Available at: https://www.efsyn.gr/stiles/apopseis/131703_mazi-pnigikame
- Δήμος Μάνδρας - Ειδυλίας, 2022. Ο Δήμος Μάνδρας-Ειδυλίας. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://mandras-eidyllias.gr/dhmos/stoixeia-dhmou/dhmos-mandras-eidyllias/>

- Δήμος Ρόδου, 2016. *Τα νέα της Δημοτικής Ενότητας Πεταλούδων*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.rhodes.gr>
- Διευθύνση Τεχνικών Έργων Δωδεκανήσου, Τμήμα Μελετών, 2020. *Υποβολή Υπηρεσίας στην Καταγραφή Θέσεων με Προβλήματα Πλημμυρών της Νήσου Ρόδου και στην Σύμβαση Φακέλων Δημόσιας Σύμβασης για την Ανάθεση Μελετών Αντιπλημμυρικής Προστασίας του Αρχαγγέλου και της Ιαλυσού*.
Ρόδος: Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 1955-2010. *Κλιματικά Δεδομένα για επιλεγμένους σταθμούς στην Ελλάδα*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology_city
- ΕΛΣΤΑΤ, Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2014. *ΦΕΚ αποτελεσμάτων ΜΟΝΙΜΟΥ πληθυσμού 2011*. s.l.: ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΡΒΕΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ.
- Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο, 2007. *Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την Αξιολόγηση και τη Διαχείριση των Κινδύνων Πλημμύρας*. Βρυξέλλες (Βέλγιο): Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Ζέρβα, Γ. Ι., 2019. *Επίδραση των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας στο πλημμυρικό κίνδυνο της περιοχής Μάνδρας Αττικής*. Αθήνα: Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών <<Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων>>, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Καββαδά, Ό., 2012. *Ανάπτυξη μοντέλου βροχής - απορροής σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών*. Αθήνα: Διεπιστημονικό - Διατμητικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ) " Περιβάλλον και Ανάπτυξη", Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.
- Κουτσογιάννης, Δ., 2011. *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων αποχέτευσης [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]*. Αθήνα: Κάλιππος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
<http://hdl.handle.net/11419/5887>.
- Λέκκας, Ε., Διακάκης, Μ. & Κρουστάλλη, Μ., 2014. *Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την καταγραφή των επιπτώσεων καιρικών φαινομένων. Η περίπτωση της πλημμύρας της Ρόδου*, s.l.: s.n.

- Μαμάσης, Ν., 2007. *Διαφάνειες μαθήματος Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα*.
Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μαμάσης, Ν., 2013. *Διαφάνειες μαθήματος Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα*.
Αθήνα: Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Εθνικό
Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μιμίκου, Μ. Α., 1994. *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*. ΕΜΠ, Αθήνα: Α. Παπασωτηρίου &
ΣΙΑ ΙΚΕ.
- Μιμίκου, Μ. Α. & Μπαλτάς, Ε. Α., 2012. *Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα: Α. Παπασωτηρίου
& ΣΙΑ ΙΚΕ.
- Μπέλλος, Κ., 2005. *Σημειώσεις μαθήματος Στοιχεία Τεχνικής Υδρολογίας*. s.l.:s.n.
- Οικονομοπούλου, Μ., 2012. «*Δήμος Μάνδρας Αττικής: Κριτική προσέγγιση των
κατευθύνσεων του Πολεοδομικού σχεδιασμού και του Θεσμικού Πλαισίου όσον
αφορά στον τομέα των χρήσεων γης*». [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://ecoeleusis.org/2012/10/dimos-mandras-attikis-kritiki-prosengisi-ton-katefthynseon-tou-poleodomikou-schediasmou-ke-tou-thesmikou-plesiou-oston-afora-ston-tomea-ton-chriseon-gis-ergasia-tis-marthas-antonopoulou/>
- Τσαγγαρινός, Γιώργος - Ευφραίμ, 2013-2014. *Ρόδος από ψηλά!!!*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://islandofrhodes.weebly.com/>
- ΥΠΕΝ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2014-2020. *Εκτίμηση αριθμού καμπύλης απορροής
CN με την μεθοδολογία SCS*. s.l.:Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.
- ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων
Οδοποιίας, 2013. *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) - Τεύχος 8:
Αποχεύτωση-Στράγγιση Υδραυλικά Έργα Όδων (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ)-Έκδοση 3*.
s.l.:NAMA Σύμβουλοι Μηχανικοί & Μελετητές ΑΕ.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΛ06), 2018-
2019. *Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, Αττική ΕΛ06*. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=240&Itemid=514
- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (ΕΛ14), 2018-
2019. *Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, Νήσοι Αιγαίου ΕΛ14*.

[Ηλεκτρονικό]

Available

at:

[https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=199
&Itemid=522](https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=199&Itemid=522)

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2018. *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής*. s.l.:s.n.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, χ.χ. *Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων της Χώρας*. s.l.:s.n.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2016. *Κατάρτιση Όμβριων Καμπυλών σε Επίπεδο Χώρας - Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/ΕΚ*. Αθήνα: s.n.

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 7.1 Προσδιορισμός βροχόπτωσης σχεδιασμού με την μέθοδο εναλλασσόμενων υψών βροχής για την Λεκάνη Απορροής ρέματος Σούρες

Διάρκεια (hr)	i(mm/hr) Σταθμός Ελευσίνα	i(mm/hr) Σταθμός Μάνδρας	ισαθμισμένο (mm/h)	h(mm)	φ	h*φ(mm)	Τμηματικά ύψη(mm)	θέση	Διατεταγμένα τμηματικά ύψη(mm)	Αθροιστικό Υετόγραμμα(mm)	Ενεργό Αθροιστικό Υετόγραμμα(mm)	Ενεργά τμηματικά ύψη (mm)	Απώλειες (mm)
1	47,13	61,60	49,51	49,51	0,88	43,45	43,45	23,00	2,91	2,91	0,00	0,00	2,91
2	31,72	41,46	33,33	66,66	0,90	60,25	16,80	21,00	3,08	5,99	0,00	0,00	3,08
3	24,95	32,62	26,22	78,65	0,92	72,10	11,84	19,00	3,29	9,28	0,00	0,00	3,29
4	21,00	27,44	22,06	88,24	0,92	81,58	9,49	17,00	3,53	12,81	0,00	0,00	3,53
5	18,34	23,98	19,27	96,36	0,93	89,64	8,06	15,00	3,83	16,65	0,00	0,00	3,83
6	16,42	21,46	17,25	103,50	0,93	96,73	7,08	13,00	4,21	20,85	0,00	0,00	4,21
7	14,94	19,53	15,70	109,90	0,94	103,09	6,37	11,00	4,70	25,55	0,00	0,00	4,70
8	13,77	18,00	14,47	115,75	0,94	108,91	5,81	9,00	5,37	30,92	0,00	0,00	5,37
9	12,81	16,75	13,46	121,15	0,94	114,27	5,37	7,00	6,37	37,28	0,00	0,00	6,36
10	12,01	15,70	12,62	126,18	0,95	119,28	5,00	5,00	8,06	45,34	0,38	0,38	7,68
11	11,33	14,80	11,90	130,90	0,95	123,97	4,70	3,00	11,84	57,19	2,04	1,66	10,19
12	10,74	14,03	11,28	135,35	0,95	128,41	4,43	1,00	43,45	100,64	16,45	14,42	29,03
13	10,22	13,36	10,74	139,58	0,95	132,61	4,21	2,00	16,80	117,44	24,59	8,13	8,67
14	9,76	12,76	10,26	143,60	0,95	136,62	4,01	4,00	9,49	126,93	29,65	5,06	4,43
15	9,36	12,23	9,83	147,45	0,95	140,45	3,83	6,00	7,08	134,01	33,62	3,97	3,11
16	8,99	11,75	9,45	151,14	0,95	144,13	3,67	8,00	5,81	139,82	37,00	3,37	2,44
17	8,66	11,32	9,10	154,69	0,95	147,66	3,53	10,00	5,00	144,83	39,98	2,98	2,02
18	8,36	10,93	8,78	158,11	0,96	151,07	3,41	12,00	4,43	149,26	42,68	2,70	1,73
19	8,09	10,57	8,50	161,41	0,96	154,36	3,29	14,00	4,01	153,27	45,16	2,49	1,52
20	7,83	10,24	8,23	164,60	0,96	157,54	3,18	16,00	3,67	156,94	47,48	2,31	1,36
21	7,60	9,93	7,99	167,69	0,96	160,62	3,08	18,00	3,41	160,35	49,65	2,17	1,23
22	7,39	9,65	7,76	170,70	0,96	163,61	2,99	20,00	3,18	163,53	51,71	2,05	1,13
23	7,18	9,39	7,55	173,62	0,96	166,52	2,91	22,00	2,99	166,52	53,66	1,95	1,04
24	7,00	9,15	7,35	176,46	0,96	169,35	2,83	24,00	2,83	169,35	55,53	1,87	0,96

Πίνακας 7.2 Προσδιορισμός βροχόπτωσης σχεδιασμού με την μέθοδο εναλλασσόμενων υψών βροχής για την Λεκάνη Απορροής ρέματος Αγίας Αικατερίνης

Διάρκεια (hr)	i(mm/hr)	h(mm)	φ	h*φ(mm)	Τμηματικά ύψη(mm)	Θέση	Διατεταγμένα τμηματικά ύψη(mm)	Αθροιστικό Υετόγραμμα(mm)	Ενεργό Αθροιστικό Υετόγραμμα(mm)	Ενεργά τμηματικά ύψη (mm)	Απώλειες (mm)
1	47,13	47,13	0,87	41,16	41,16	23,00	2,77	2,77	0,00	0,00	2,77
2	31,72	63,45	0,90	57,14	15,98	21,00	2,93	5,70	0,00	0,00	2,93
3	24,95	74,86	0,91	68,41	11,27	19,00	3,13	8,83	0,00	0,00	3,13
4	21,00	83,98	0,92	77,44	9,03	17,00	3,36	12,19	0,00	0,00	3,36
5	18,34	91,72	0,93	85,10	7,67	15,00	3,65	15,84	0,00	0,00	3,65
6	16,42	98,51	0,93	91,84	6,74	13,00	4,00	19,85	0,00	0,00	4,00
7	14,94	104,61	0,94	97,90	6,06	11,00	4,47	24,31	0,00	0,00	4,47
8	13,77	110,17	0,94	103,43	5,53	9,00	5,11	29,42	0,00	0,00	5,10
9	12,81	115,31	0,94	108,54	5,11	7,00	6,06	35,48	0,32	0,31	5,74
10	12,01	120,10	0,94	113,30	4,76	5,00	7,67	43,15	1,35	1,03	6,64
11	11,33	124,59	0,95	117,77	4,47	3,00	11,27	54,42	3,96	2,61	8,66
12	10,74	128,83	0,95	121,99	4,22	1,00	41,16	95,58	21,39	17,43	23,73
13	10,22	132,85	0,95	125,99	4,00	2,00	15,98	111,56	30,49	9,10	6,88
14	9,76	136,68	0,95	129,81	3,81	4,00	9,03	120,58	36,04	5,55	3,47
15	9,36	140,35	0,95	133,46	3,65	6,00	6,74	127,33	40,36	4,32	2,42
16	8,99	143,86	0,95	136,95	3,50	8,00	5,53	132,86	44,00	3,64	1,89
17	8,66	147,23	0,95	140,32	3,36	10,00	4,76	137,62	47,20	3,20	1,56
18	8,36	150,49	0,95	143,56	3,24	12,00	4,22	141,84	50,08	2,88	1,33
19	8,09	153,63	0,95	146,69	3,13	14,00	3,81	145,65	52,73	2,64	1,17
20	7,83	156,67	0,96	149,71	3,03	16,00	3,50	149,15	55,18	2,45	1,04
21	7,60	159,61	0,96	152,65	2,93	18,00	3,24	152,39	57,48	2,30	0,94
22	7,39	162,47	0,96	155,50	2,85	20,00	3,03	155,42	59,65	2,17	0,86
23	7,18	165,25	0,96	158,26	2,77	22,00	2,85	158,26	61,71	2,06	0,79
24	7,00	167,95	0,96	160,96	2,69	24,00	2,69	160,96	63,67	1,96	0,73

Πίνακας 7.3 Προσδιορισμός ενεργούς βροχόπτωσης και απωλειών με την μέθοδο SCS-CN για την λεκάνη απορροής ροής ρέματος Σούρες

Διάρκεια (h)	Βροχόπτωση	Αθροιστική βροχόπτωση	Ενεργό Βροχόπτωση	Ενεργά Τμηματικά Ύψη	Απώλειες
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	2,00	2,00	0,00	0,00	2,00
5	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00
7	2,00	4,00	0,00	0,00	2,00
8	4,00	8,00	0,00	0,00	4,00
9	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00
12	8,00	16,00	0,00	0,00	8,00
13	16,00	32,00	0,00	0,00	16,00
14	6,00	38,00	0,01	0,01	5,99
15	4,00	42,00	0,14	0,14	3,86
16	4,00	46,00	0,44	0,30	3,70
17	32,00	78,00	7,54	7,10	24,90
18	56,00	134,00	33,61	26,07	29,93
19	34,00	168,00	54,63	21,02	12,98
20	0,00	168,00	54,63	0,00	0,00
21	8,00	176,00	59,97	5,34	2,66
22	0,00	176,00	59,97	0,00	0,00
23	0,00	176,00	59,97	0,00	0,00
24	18,00	194,00	72,45	12,48	5,52
25	0,00	194,00	72,45	0,00	0,00
26	0,00	194,00	72,45	0,00	0,00
27	0,00	194,00	72,45	0,00	0,00
28	0,00	194,00	72,45	0,00	0,00

Πίνακας 7.4 Προσδιορισμός ενεργούς βροχόπτωσης και απωλειών με την μέθοδο SCS-CN για την λεκάνη απορροής Αγία Αικατερίνη

Διάρκεια (h)	Βροχόπτωση	Αθροιστική βροχόπτωση	Ενεργό Βροχόπτωση	Ενεργά Τμηματικά	Απώλειες
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	2,00	2,00	0,00	0,00	2,00
5	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00
7	2,00	4,00	0,00	0,00	2,00
8	4,00	8,00	0,00	0,00	4,00
9	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00
12	8,00	16,00	0,00	0,00	8,00
13	16,00	32,00	0,00	0,00	16,00
14	6,00	38,00	0,01	0,01	5,99
15	4,00	42,00	0,14	0,14	3,86
16	4,00	46,00	0,44	0,30	3,70
17	32,00	78,00	7,54	7,10	24,90
18	56,00	134,00	33,61	26,07	29,93
19	34,00	168,00	54,63	21,02	12,98
20	0,00	168,00	54,63	0,00	0,00
21	8,00	176,00	59,97	5,34	2,66
22	0,00	176,00	59,97	0,00	0,00
23	0,00	176,00	59,97	0,00	0,00
24	18,00	194,00	72,45	12,48	5,52
25	0,00	194,00	72,45	0,00	0,00
26	0,00	194,00	72,45	0,00	0,00
27	0,00	194,00	72,45	0,00	0,00
28	0,00	194,00	72,45	0,00	0,00

Πίνακας 7.5 Υπολογισθείσα Παροχή Πλημμυρογραφήματος για την λεκάνη απορροής του ρέματος Σούρες

Α/Α σε ώρες	Παροχή (m ³ /s)					
	Σούρες					
	Σενάριο καταιγίδας Σχεδιασμού-Αδιάστατο Μοναδ.Υδρογράφημα SCS	Σενάριο Νοεμβρίου 2017 - Αδιάστατο Μοναδ.Υδρογράφημα SCS	Σενάριο καταιγίδας Σχεδιασμού- Μοναδιαίο Υδρογράφημα GISBase	Σενάριο καταιγίδας Σχεδιασμού- Μοναδιαίο Υδρογράφημα GISBase Calibrated	Σενάριο Νοεμβρίου 2017 -Μοναδιαίο Υδρογράφημα GISBase	Σενάριο Νοεμβρίου 2017 -Μοναδιαίο Υδρογράφημα GISBase Calibrated
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	1,00	0,00	0,06	0,06	0,00	0,00
11	4,94	0,00	0,35	0,37	0,00	0,00
12	40,68	0,00	2,71	2,84	0,00	0,00
13	44,05	0,00	5,86	6,74	0,00	0,00
14	32,57	0,02	8,11	11,35	0,00	0,00
15	24,10	0,37	10,79	16,19	0,02	0,02
16	19,12	0,99	15,72	21,05	0,08	0,09
17	16,10	19,24	17,61	23,64	1,18	1,21
18	14,11	79,61	21,07	24,22	5,99	6,32
19	12,76	98,15	24,52	23,91	12,69	14,92
20	11,75	44,91	24,27	22,12	16,40	23,45
21	10,95	27,99	22,29	19,16	20,91	31,94
22	10,30	12,45	19,38	15,66	28,44	38,80
23	9,75	3,75	15,75	13,38	31,63	40,57
24	9,28	33,94	13,33	11,97	35,65	38,87
25	4,16	19,10	11,66	10,73	42,44	36,15
26	1,27	5,84	10,21	9,44	38,01	31,09
27	0,39	1,84	8,97	8,03	30,28	23,71
28	0,11	0,56	7,77	6,51	24,92	17,12
29	0,02	0,16	6,27	4,85	14,49	11,61
30	0,00	0,00	5,07	3,37	10,64	8,55
31	0,00	0,00	3,70	2,16	10,07	6,55

32	0,00	0,00	2,25	1,15	6,89	4,54
33	0,00	0,00	1,19	0,46	4,62	2,46
34	0,00	0,00	0,48	0,08	2,66	0,49
35	0,00	0,00	0,08	0,01	0,51	0,07
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 7.6 Υπολογισθείσα Παροχή Πλημμυρογράφηματος για την λεκάνη απορροής ρέματος Αγίας Αικατερίνης

Α/Α σε ώρες	Παροχή (m ³ /s)			
	Αγία Αικατερίνη			
	Σενάριο καταιγίδας Σχεδιασμού- Αδιάστατο Μοναδ.Υδρογράφημα SCS	Σενάριο Νοεμβρίου 2017 - Αδιάστατο Μοναδ.Υδρογράφημα SCS	Σενάριο καταιγίδας Σχεδιασμού- Μοναδιαίο Υδρογράφημα GISBase	Σενάριο Νοεμβρίου 2017 - Μοναδιαίο Υδρογράφημα GISBase
0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,02	0,00	0,00	0,00
9	1,01	0,00	0,09	0,00
10	3,79	0,00	0,52	0,00
11	10,11	0,00	1,93	0,00
12	60,36	0,00	8,53	0,00
13	57,99	0,00	20,77	0,00
14	40,24	0,00	36,81	0,00
15	29,00	0,25	41,78	0,02
16	22,82	2,57	37,08	0,27
17	19,00	18,80	30,95	2,18
18	16,69	68,47	26,80	10,36
19	15,09	82,70	22,58	27,02
20	13,88	46,76	18,09	46,35
21	12,91	15,94	15,65	52,19
22	12,12	4,59	14,13	40,77
23	11,46	1,17	13,01	25,50
24	10,89	44,51	12,13	19,37
25	4,39	21,96	10,90	19,69
26	1,22	6,12	8,89	23,10
27	0,34	1,82	5,82	17,63
28	0,08	0,57	3,25	9,99
29	0,00	0,00	1,75	5,59
30	0,00	0,00	0,91	4,11

31	0,00	0,00	0,31	2,16
32	0,00	0,00	0,01	0,05
33	0,00	0,00	0,00	0,00
34	0,00	0,00	0,00	0,00
35	0,00	0,00	0,00	0,00
36	0,00	0,00	0,00	0,00
37	0,00	0,00	0,00	0,00
38	0,00	0,00	0,00	0,00
39	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00

Πίνακας 7.7 Προσδιορισμός ενεργούς βροχόπτωσης για το σενάριο του Νοεμβρίου 2013 και απωλειών με την μέθοδο SCS-CN για την λεκάνη απορροής ροής ρέματος Κρεμάστης Ρόδου

Διάρκεια(h)	Βροχόπτωση	Αθροιστική Βροχόπτωση	Ενεργός Βροχόπτωση	Ενεργά Τμηματικά	Απώλειες
1	0,20	0,20	0,00	0,00	0,20
2	30,20	30,40	1,28	1,28	28,92
3	34,80	65,20	15,35	14,07	20,73
4	12,00	77,20	22,39	7,05	4,95
5	1,60	78,80	23,39	1,00	0,60
6	0,20	79,00	23,52	0,13	0,07
7	0,20	79,20	23,64	0,13	0,07
8	0,00	79,20	23,64	0,00	0,00
9	2,40	81,60	25,17	1,52	0,88
10	0,20	81,80	25,30	0,13	0,07
11	0,00	81,80	25,30	0,00	0,00
12	1,80	83,60	26,46	1,16	0,64
13	9,20	92,80	32,61	6,15	3,05
14	1,00	93,80	33,30	0,69	0,31
15	0,80	94,60	33,86	0,55	0,25
16	9,30	103,90	40,46	6,60	2,70
17	0,00	103,90	40,46	0,00	0,00

Πίνακας 7.8 Προσδιορισμός βροχόπτωση σχεδιασμού με την μέθοδο εναλλασσόμενων υψών βροχής για την Λεκάνη Απορροής ρέματος Κρεμαστής Ρόδου

Διάρκεια (hr)	I (mm/hr)	ύψος βροχής(h)(mm)	φ	φ*h	Τμηματικά ύψη	Θέση	Διατεταγμένα Τμηματικά ύψη (mm)	Αθροιστικό Υετόγραμμα (mm)	Ενεργό Αθροιστικό Υετόγραμμα (mm)	Ενεργά Τμηματικά ύψη	Απώλειες
1	89,89	89,89	0,90	81,04	81,04	23,00	2,60	2,60	0,00	0,00	2,60
2	56,26	112,53	0,92	103,84	22,80	21,00	2,79	5,40	0,00	0,00	2,79
3	42,32	126,96	0,93	118,45	14,62	19,00	3,02	8,42	0,00	0,00	3,02
4	34,47	137,88	0,94	129,52	11,07	17,00	3,29	11,71	0,00	0,00	3,29
5	29,36	146,79	0,94	138,56	9,04	15,00	3,64	15,35	0,00	0,00	3,64
6	25,73	154,38	0,95	146,27	7,70	13,00	4,07	19,42	0,00	0,00	4,07
7	23,01	161,05	0,95	153,02	6,76	11,00	4,66	24,08	0,28	0,28	4,38
8	20,88	167,00	0,95	159,06	6,04	9,00	5,48	29,56	1,11	0,83	4,65
9	19,16	172,41	0,95	164,54	5,48	7,00	6,76	36,31	2,75	1,93	4,83
10	17,74	177,37	0,96	169,57	5,03	5,00	9,04	45,35	5,85	3,93	5,11
11	16,54	181,97	0,96	174,23	4,66	3,00	14,62	59,97	12,55	8,62	6,00
12	15,52	186,25	0,96	178,57	4,34	1,00	81,04	141,01	69,10	60,48	20,56
13	14,64	190,28	0,96	182,64	4,07	2,00	22,80	163,80	88,00	27,52	-4,72
14	13,86	194,07	0,96	186,48	3,84	4,00	11,07	174,87	97,44	69,91	-58,85
15	13,18	197,66	0,96	190,12	3,64	6,00	7,70	182,58	104,09	34,17	-26,47
16	12,57	201,07	0,96	193,57	3,46	8,00	6,04	188,62	109,34	75,17	-69,13
17	12,02	204,33	0,96	196,87	3,29	10,00	5,03	193,65	113,75	38,58	-33,55
18	11,52	207,44	0,96	200,02	3,15	12,00	4,34	197,99	117,57	78,99	-74,65
19	11,08	210,43	0,96	203,04	3,02	14,00	3,84	201,83	120,96	41,97	-38,13
20	10,66	213,30	0,97	205,94	2,90	16,00	3,46	205,28	124,02	82,05	-78,60
21	10,29	216,06	0,97	208,73	2,79	18,00	3,15	208,43	126,82	44,77	-41,62
22	9,94	218,73	0,97	211,43	2,70	20,00	2,90	211,34	129,41	84,64	-81,74
23	9,62	221,30	0,97	214,03	2,60	22,00	2,70	214,03	131,82	47,18	-44,48
24	9,32	223,80	0,97	216,55	2,52	24,00	2,52	216,55	134,07	86,90	-84,38

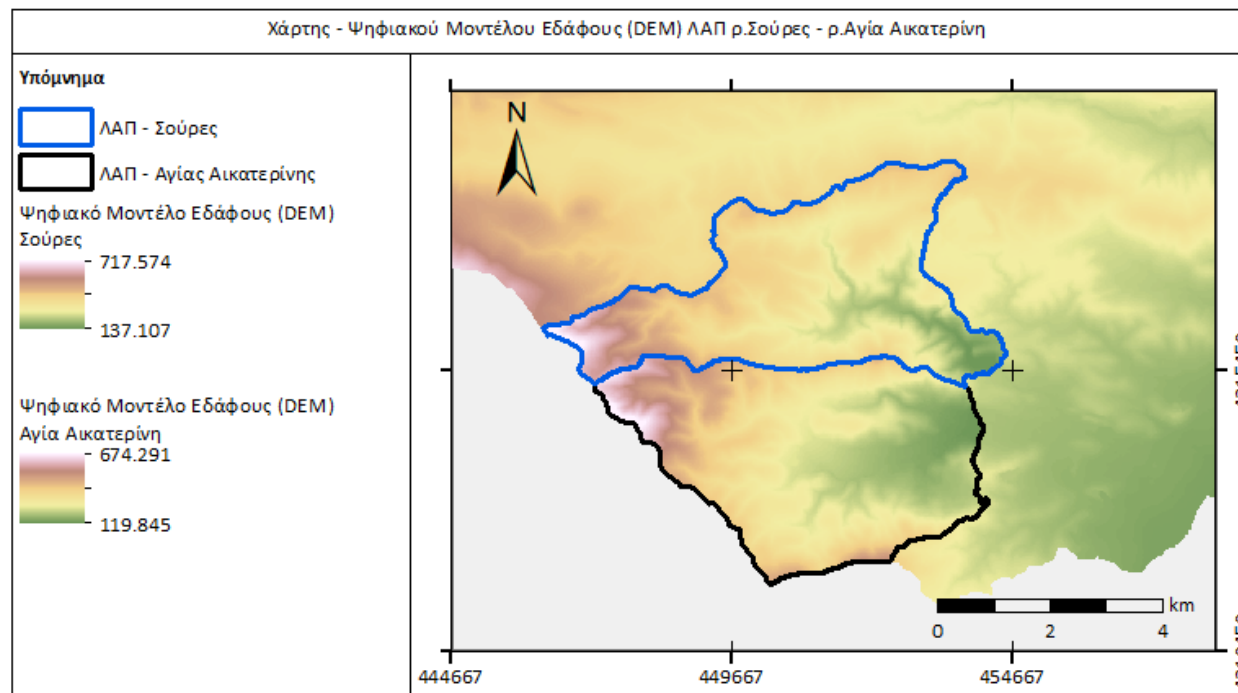
Πίνακας 7.9 Υπολογισθείσα Παροχή Πλημμυρογραφήματος για την λεκάνη απορροής του ρέματος Κρέμαστης Ρόδου

Α/Α σε ώρες	Παροχή (m ³ /s)					
	Κρέμαστή					
	Σενάριο καταιγίδας Σχεδιασμού-Αδιάστατο Μοναδ.Υδρογράφημα SCS	Σενάριο Νοεμβρίου 2013 - Αδιάστατο Μοναδ.Υδρογράφημα SCS	Σενάριο καταιγίδας Σχεδιασμού- Μοναδιαίο Υδρογράφημα GISBase	Σενάριο καταιγίδας Σχεδιασμού- Μοναδιαίο Υδρογράφημα GISBase Calibrated	Σενάριο Νοεμβρίου 2013 -Μοναδιαίο Υδρογράφημα GISBase	Σενάριο Νοεμβρίου 2013 -Μοναδιαίο Υδρογράφημα GISBase Calibrated
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	4,63	0,00	0,00	0,04	0,04
3	0,00	53,63	0,00	0,00	0,45	0,45
4	0,00	55,73	0,00	0,00	0,74	0,74
5	0,00	27,61	0,00	0,00	0,92	0,92
6	0,02	10,02	0,00	0,00	1,03	1,03
7	1,01	3,71	0,01	0,01	1,32	1,32
8	3,59	1,24	0,03	0,03	2,07	2,07
9	8,88	5,82	0,10	0,10	3,74	3,74
10	18,84	3,70	0,23	0,23	11,97	12,25
11	40,85	1,26	0,52	0,52	11,94	15,17
12	240,03	4,61	2,37	2,37	12,34	15,00
13	232,46	24,84	3,64	3,64	14,14	14,86
14	351,53	16,13	6,65	6,65	15,41	14,84
15	300,44	7,63	9,08	9,14	16,18	14,77
16	398,05	26,84	14,43	14,63	18,80	15,59
17	335,76	14,68	21,44	21,93	16,58	15,48
18	426,74	4,50	33,41	34,42	13,76	13,70
19	360,51	1,40	73,62	75,79	10,72	10,70
20	448,72	0,42	81,07	95,00	10,63	10,80
21	380,37	0,12	129,77	140,15	7,64	9,00
22	466,91	0,00	144,95	161,65	8,14	8,47
23	397,20	0,00	199,64	208,82	11,69	11,80
24	482,60	0,00	218,90	231,54	9,61	10,79
25	233,34	0,00	279,33	277,34	10,32	10,18
26	71,49	0,00	287,90	297,18	10,86	9,60
27	22,29	0,00	337,59	334,18	9,80	9,35
28	6,28	0,00	331,15	339,57	8,48	7,95
29	1,55	0,00	367,63	363,61	7,48	6,20
30	0,00	0,00	350,40	358,36	5,09	5,09
31	0,00	0,00	376,27	371,90	3,66	3,66

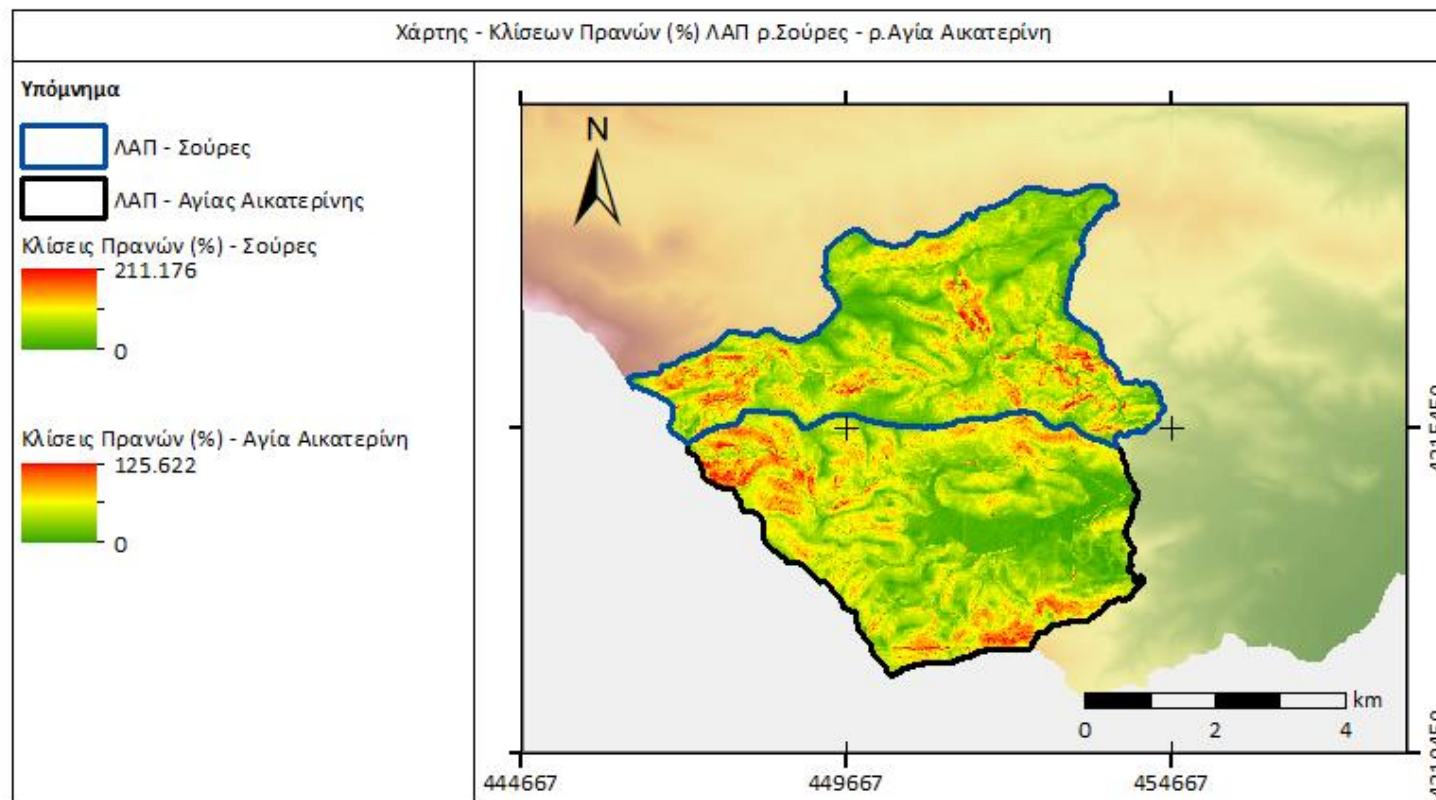
32	0,00	0,00	323,34	331,02	2,02	2,02
33	0,00	0,00	309,98	294,41	1,02	1,02
34	0,00	0,00	275,14	259,01	0,63	0,63
35	0,00	0,00	244,72	221,63	0,38	0,38
36	0,00	0,00	200,95	186,20	0,31	0,31
37	0,00	0,00	163,70	146,89	0,30	0,30
38	0,00	0,00	111,16	111,16	0,14	0,14
39	0,00	0,00	71,50	71,50	0,10	0,10
40	0,00	0,00	40,45	40,45	0,12	0,12
41	0,00	0,00	21,27	21,27	0,00	0,00
42	0,00	0,00	13,96	13,96	0,00	0,00
43	0,00	0,00	8,97	8,97	0,00	0,00
44	0,00	0,00	7,15	7,15	0,00	0,00
45	0,00	0,00	4,93	4,93	0,00	0,00
46	0,00	0,00	3,78	3,78	0,00	0,00
47	0,00	0,00	2,04	2,04	0,00	0,00
48	0,00	0,00	1,64	1,64	0,00	0,00
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

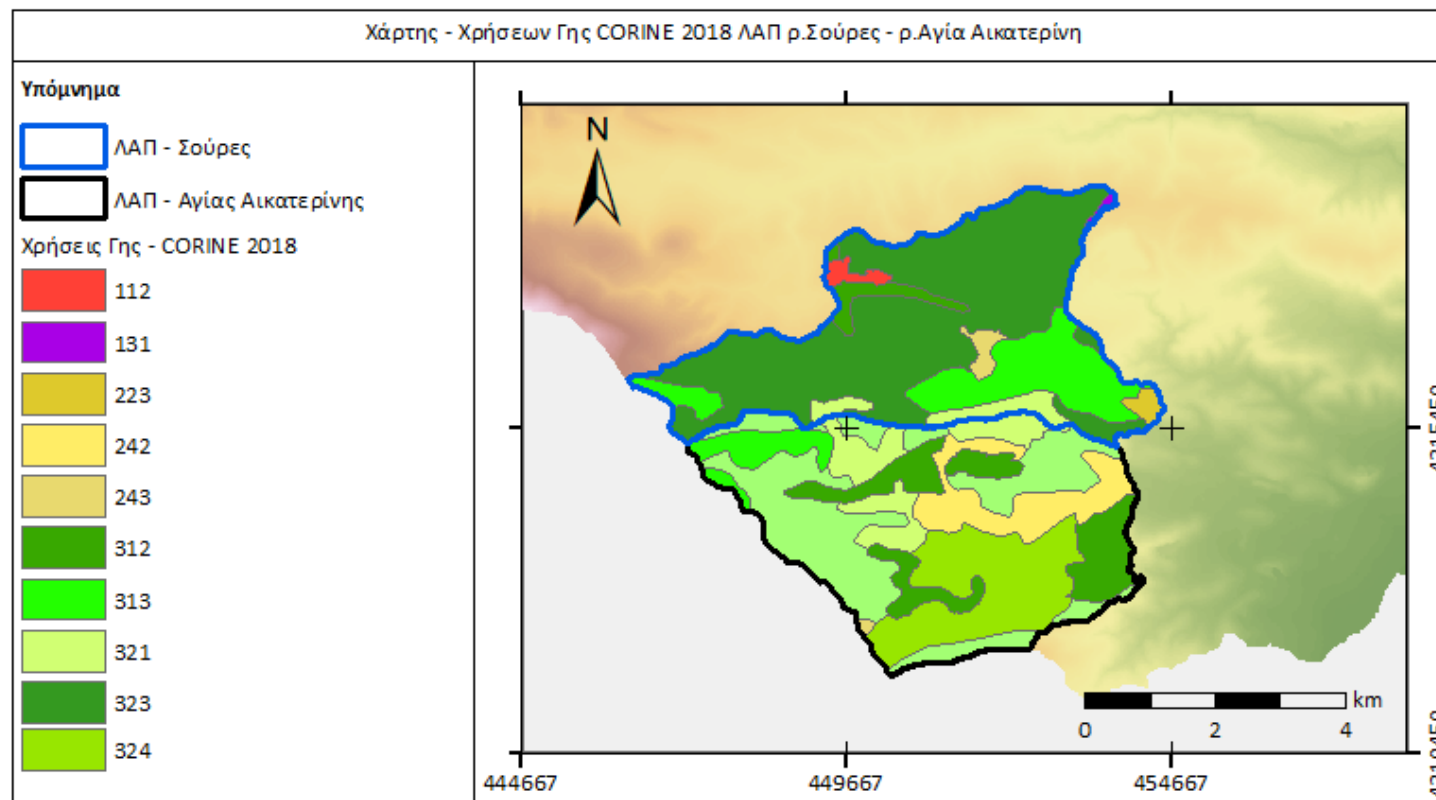
1^η Περιοχή Μέλετης : Λεκάνες Απορροής ρ. Σούρες και ρ.Αγία Αικατερίνη,ανάντη Μάνδρας Αττικής



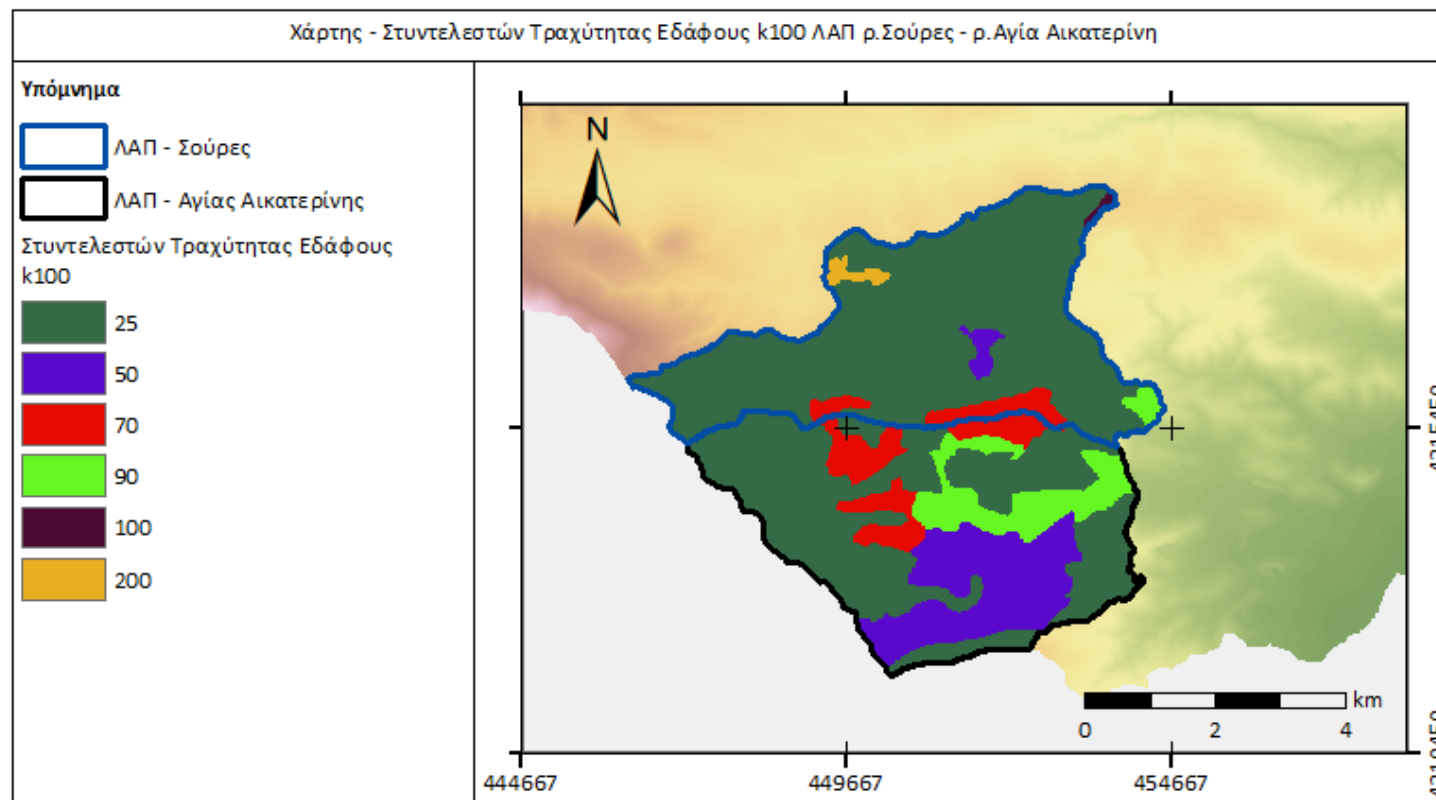
Σχήμα 8.1 Διάγραμμα Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM) Λεκάνες Απορροής ρ.Σούρες – ρ.Αγίας Αικατερίνης,Εντός Λεκάνης Απορροής Σαρανταπόταμου



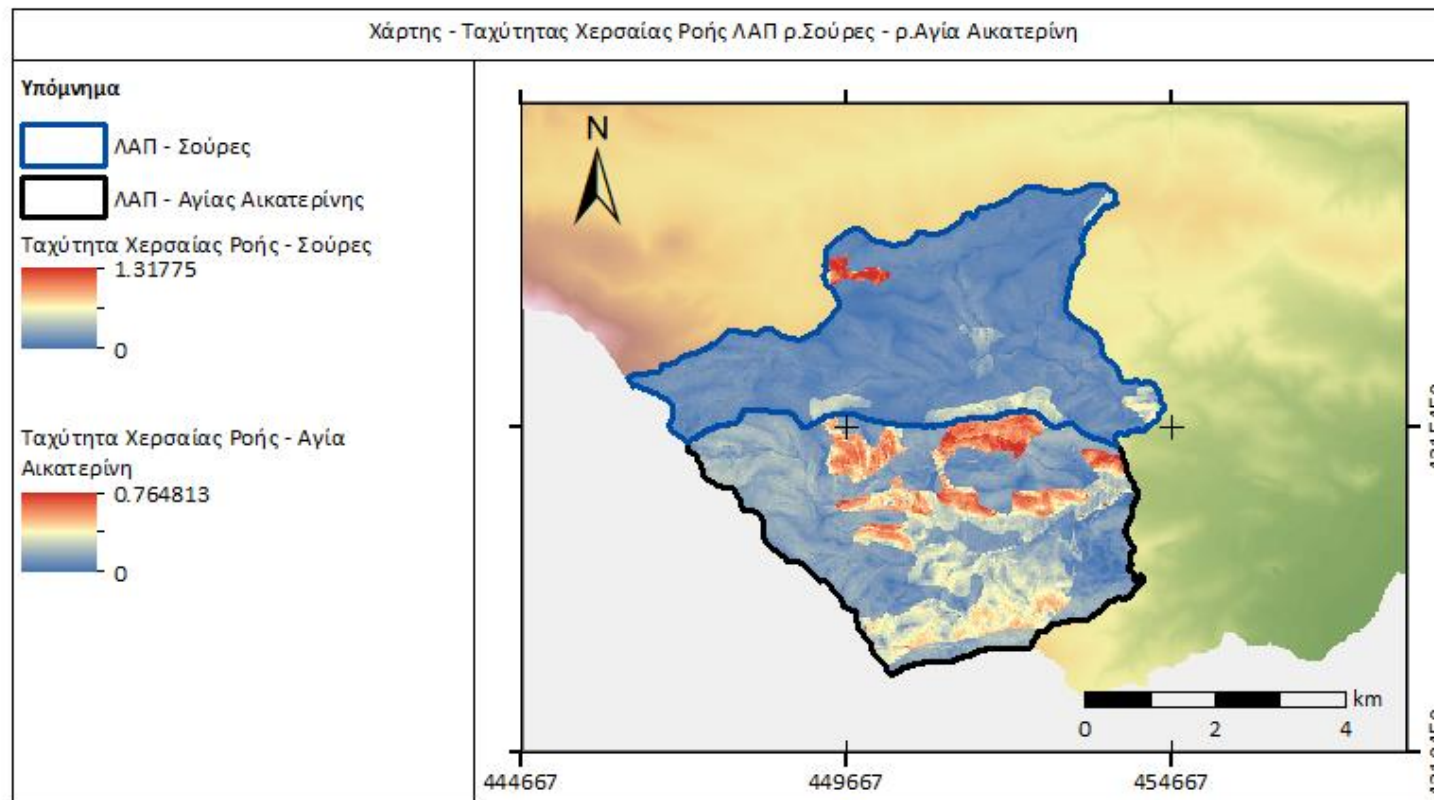
Σχήμα 8.2 Διάγραμμα Κλίσεων Πρανών (%) Λεκάνες Απορροής ρ. Σούρες – ρ. Αγία Αικατερίνη, Εντός Λεκάνης Απορροής Σαρανταπόταμου



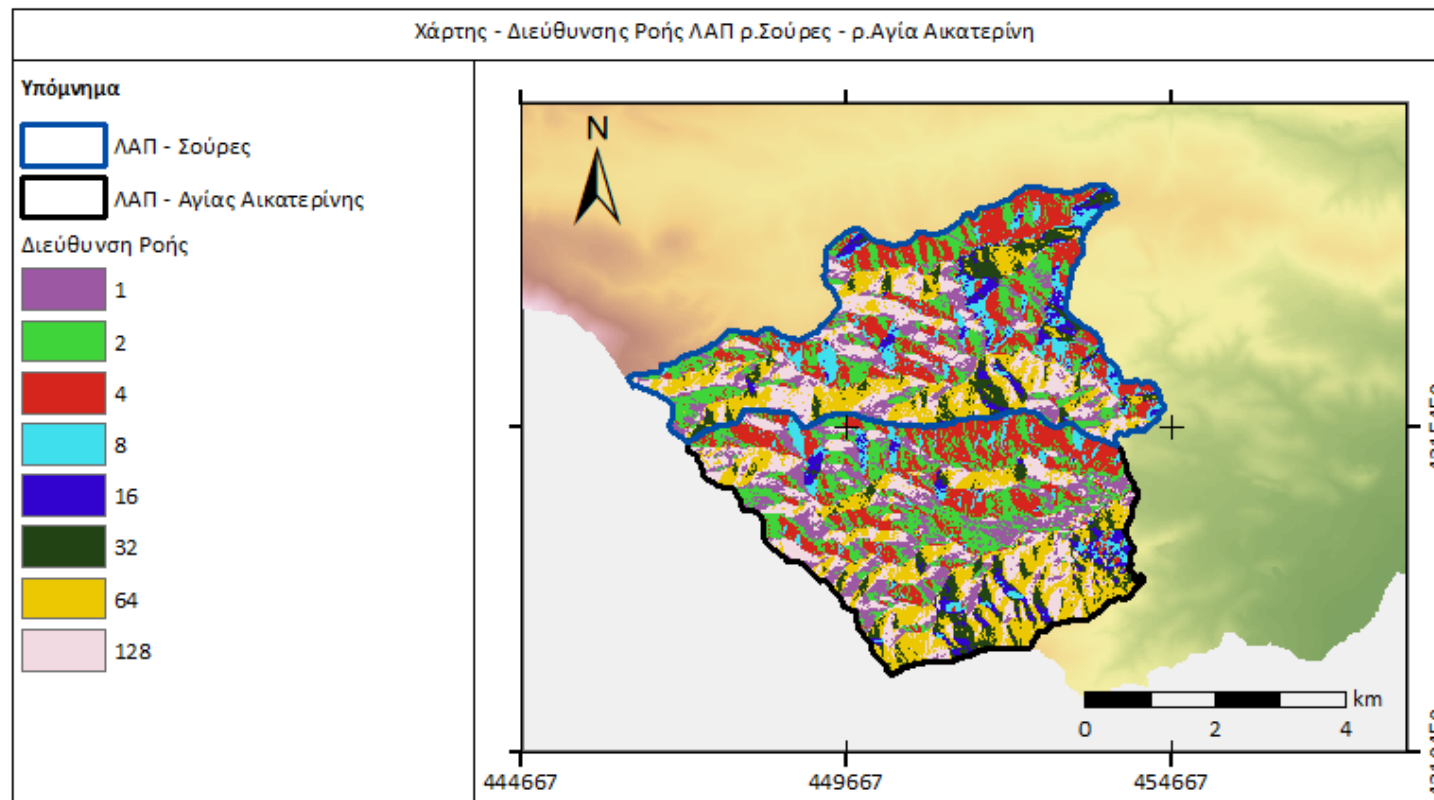
Σχήμα 8.3 Διάγραμμα Χρήσεων Γης CORINE 2018 Λεκάνες Απορροής ρ. Σούρες – ρ Αγία Αικατερίνη



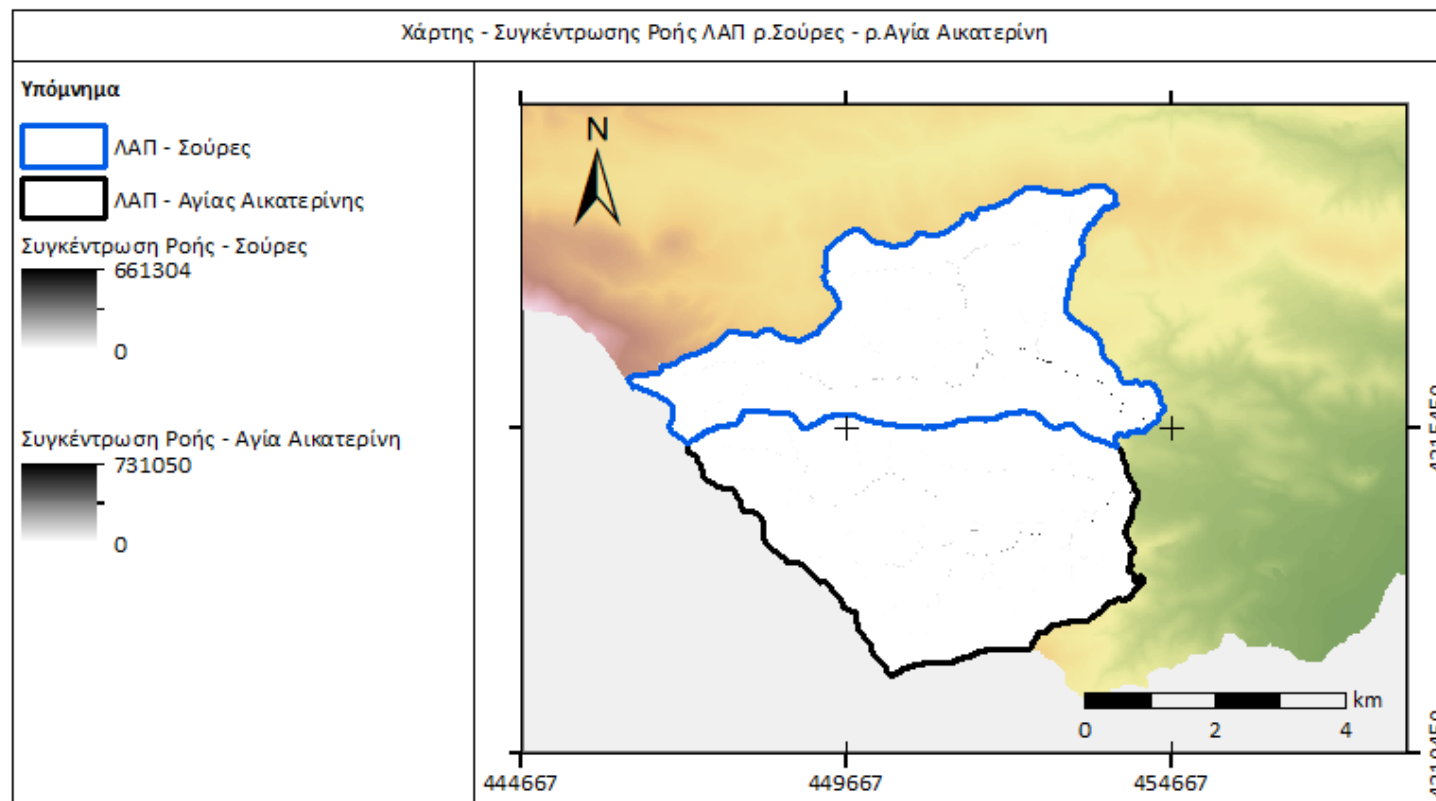
Σχήμα 8.4 Διάγραμμα Συντελεστών Τραχύτητας Εδάφους k100 Λεκάνες Απορροής ρ.Σούρες – ρ. Αγία Αικατερίνη



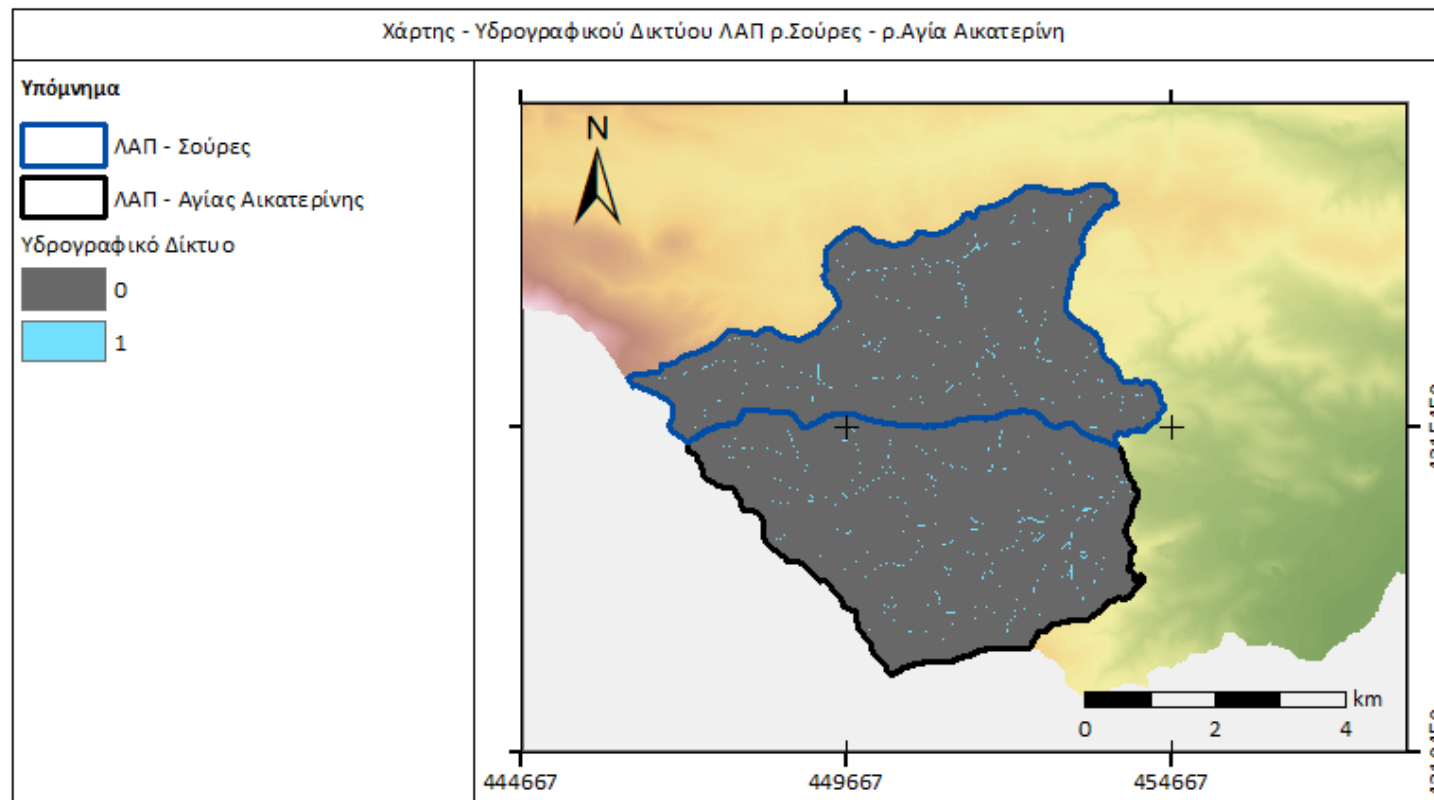
Σχήμα 8.5 Διάγραμμα Ταχύτητας Χερσαίας Ροής Λεκάνες Απορρόης ρ. Σούρες -ρ. Αγία Αικατερίνη



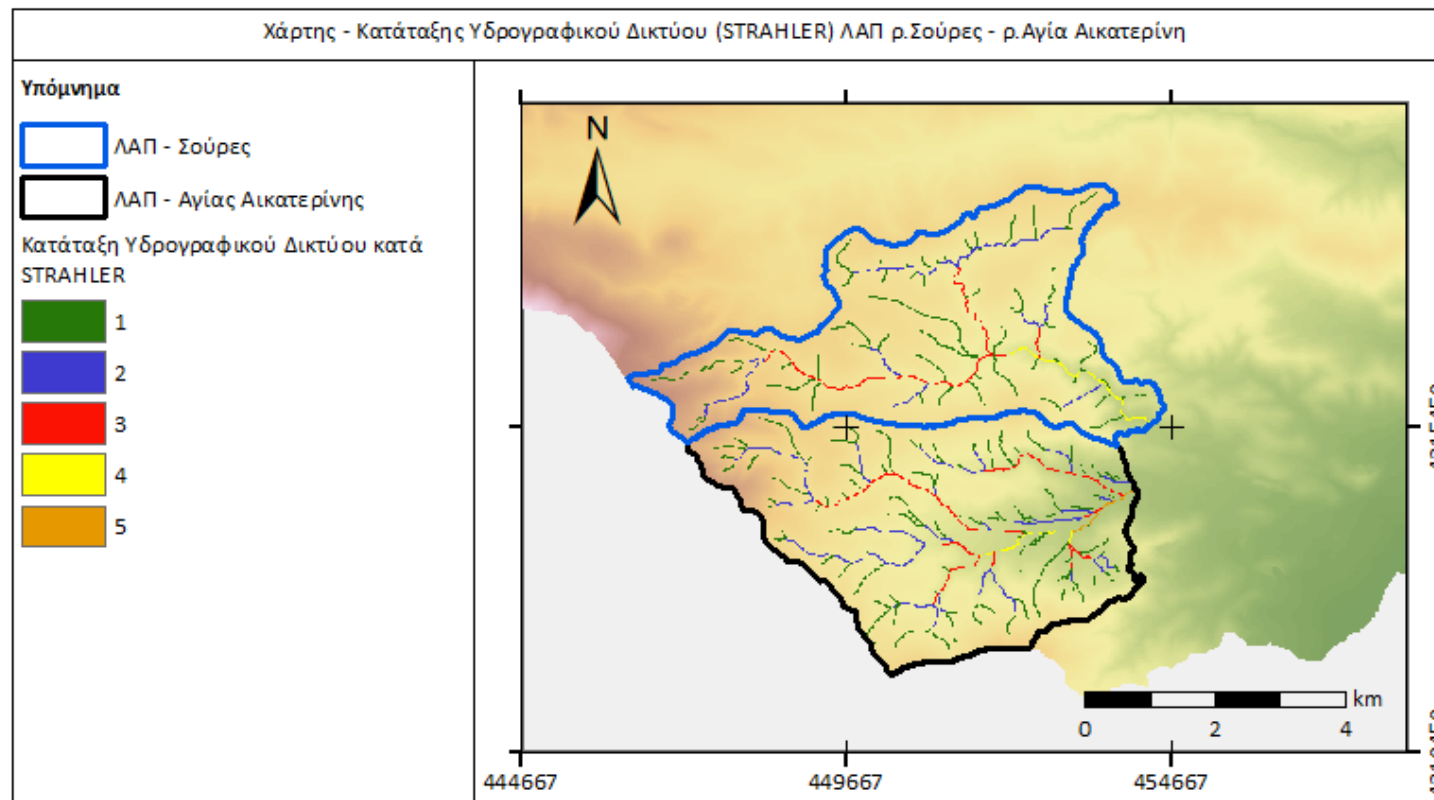
Σχήμα 8.6 Διάγραμμα Διεύθυνσης Ροής Λεκάνες Απορροής ρ.Σούρες – ρ.Αγίας Αικατερίνης



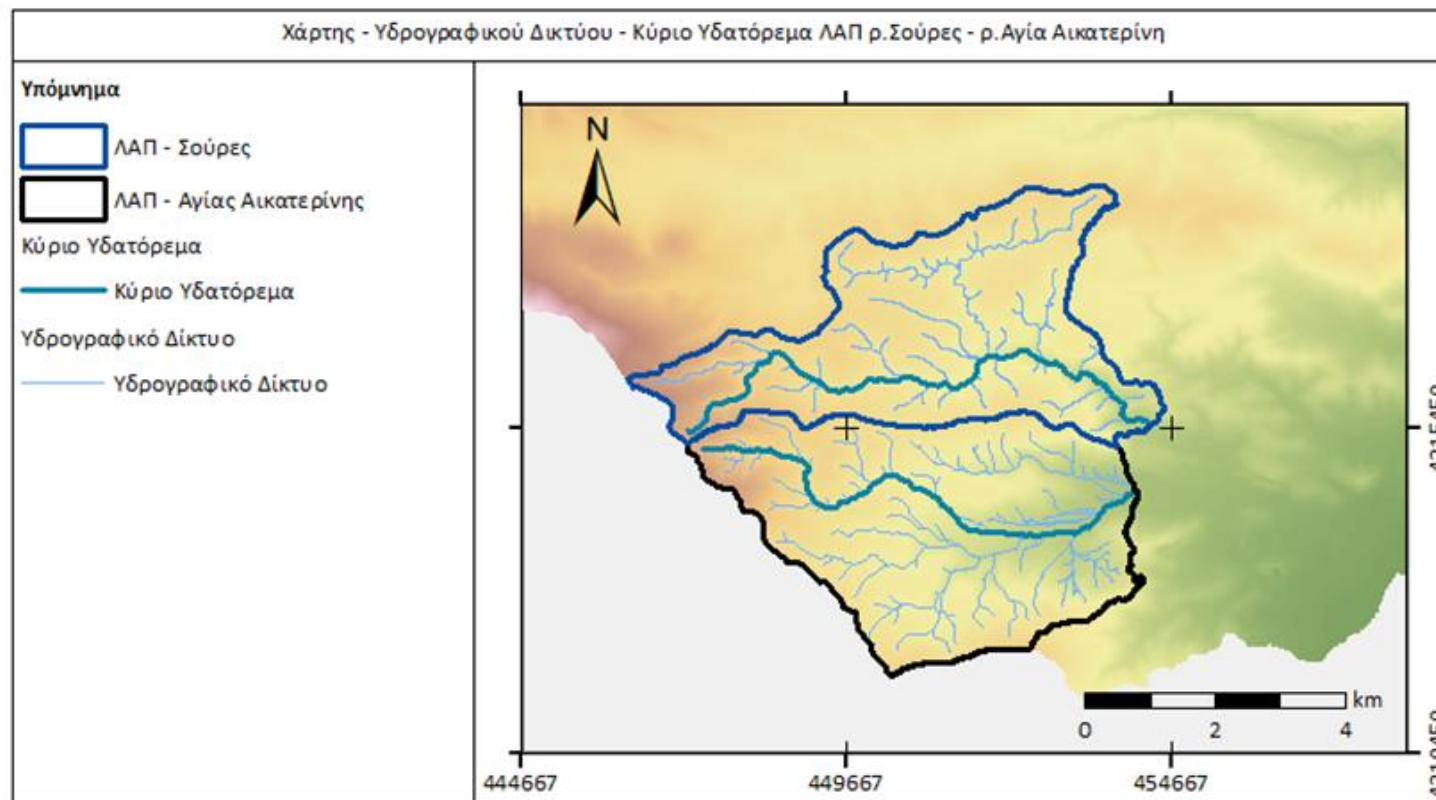
Σχήμα 8.7 Διάγραμμα Συγκέντρωσης Ροής Λεκάνες Απορροής ρ. Σούρες – ρ.Αγία Αικατερίνη



Σχήμα 8.8 Χάρτης Υδρογραφικού Δικτύου Λεκάνες Απορροής ρ. Σούρες – ρ.Αγία Αικατερίνη



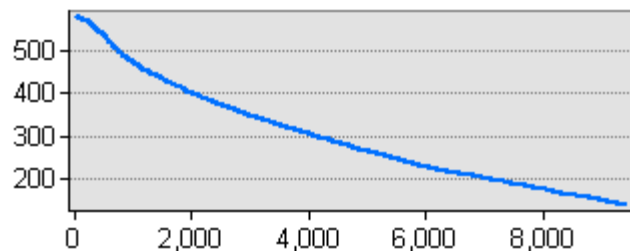
Σχήμα 8.9 Διάγραμμα Κατάταξης Υδρογραφικού Δικτύου (STRAHLER) Λεκάνες Απορροής ρ. Σούρες – ρ.Αγία Αικατερίνη



Σχήμα 8.10 Διάγραμμα Υδρογραφικού Δικτύου – Κύριο Υδατόρεμα Λεκάνες Απορροής ρ Σούρες – ρ. Αγία Αικατερίνη

Προφίλ Υψομέτρων Υδατορέματος

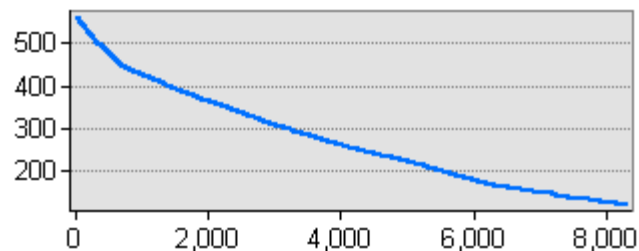
"Σούρες"



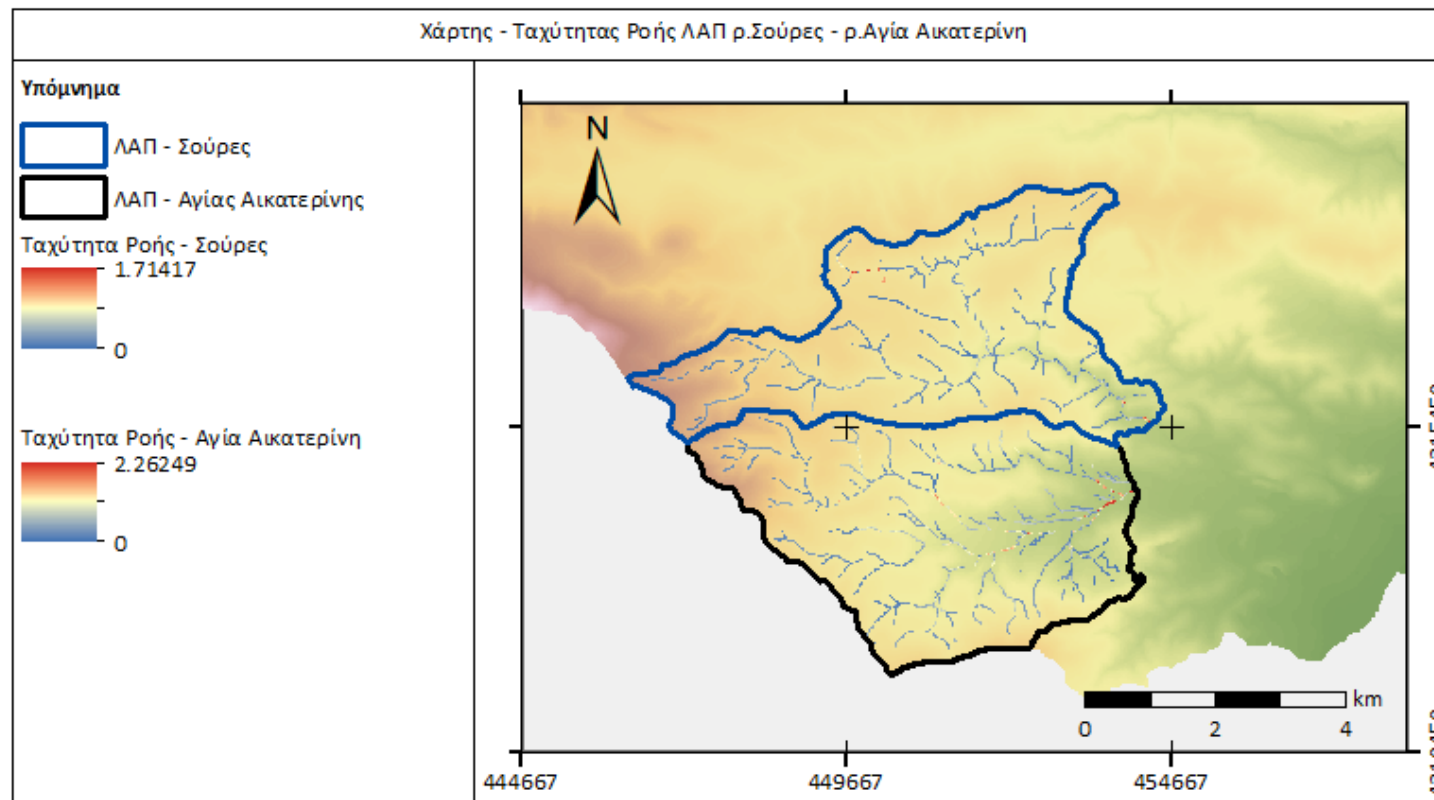
Σχήμα 8.11 Προφίλ Υψομέτρων Υδατορέματος Λεκάνη Απορροής ρ.Σούρες

Προφίλ Υψομέτρων Υδατορέματος

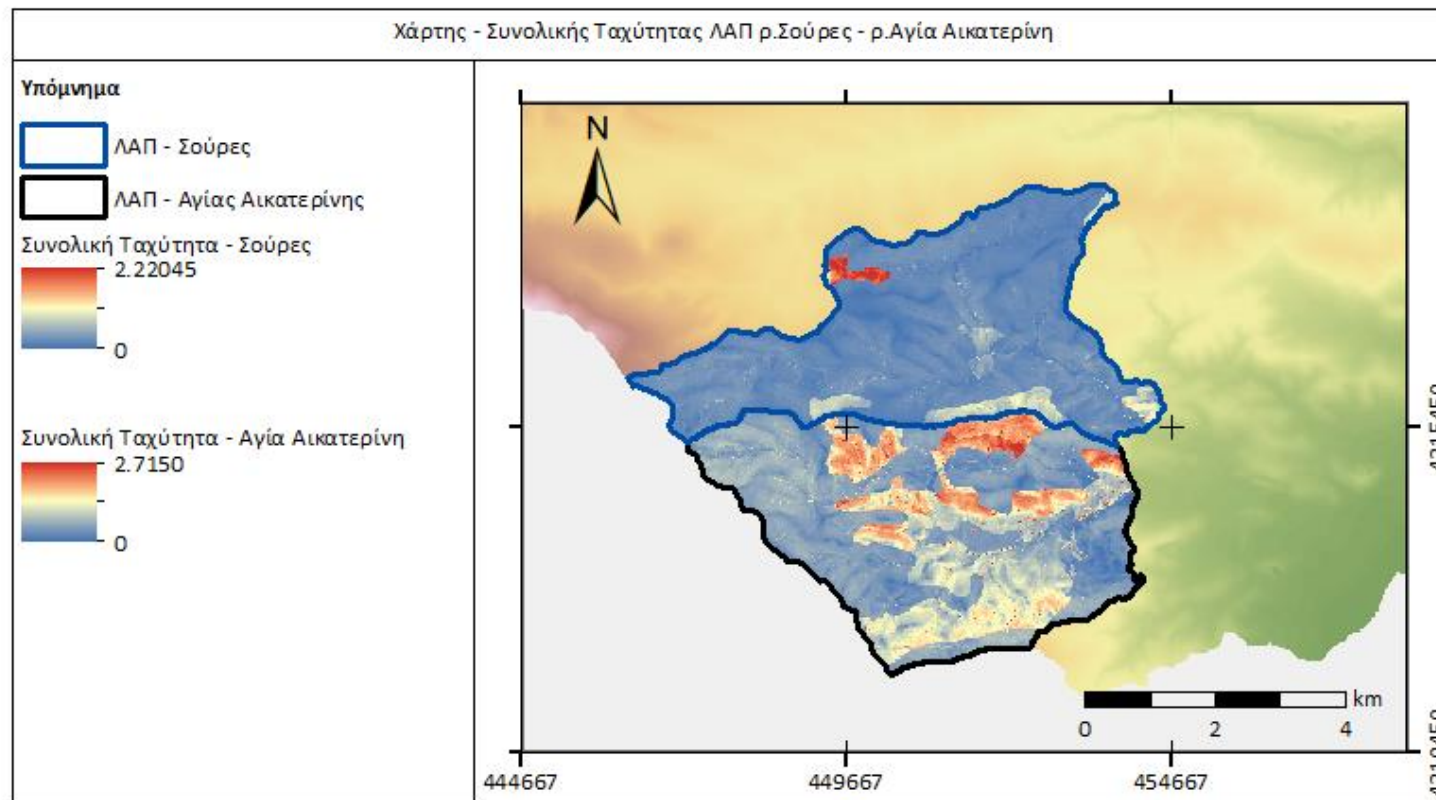
"Αγία Αικατερίνη"



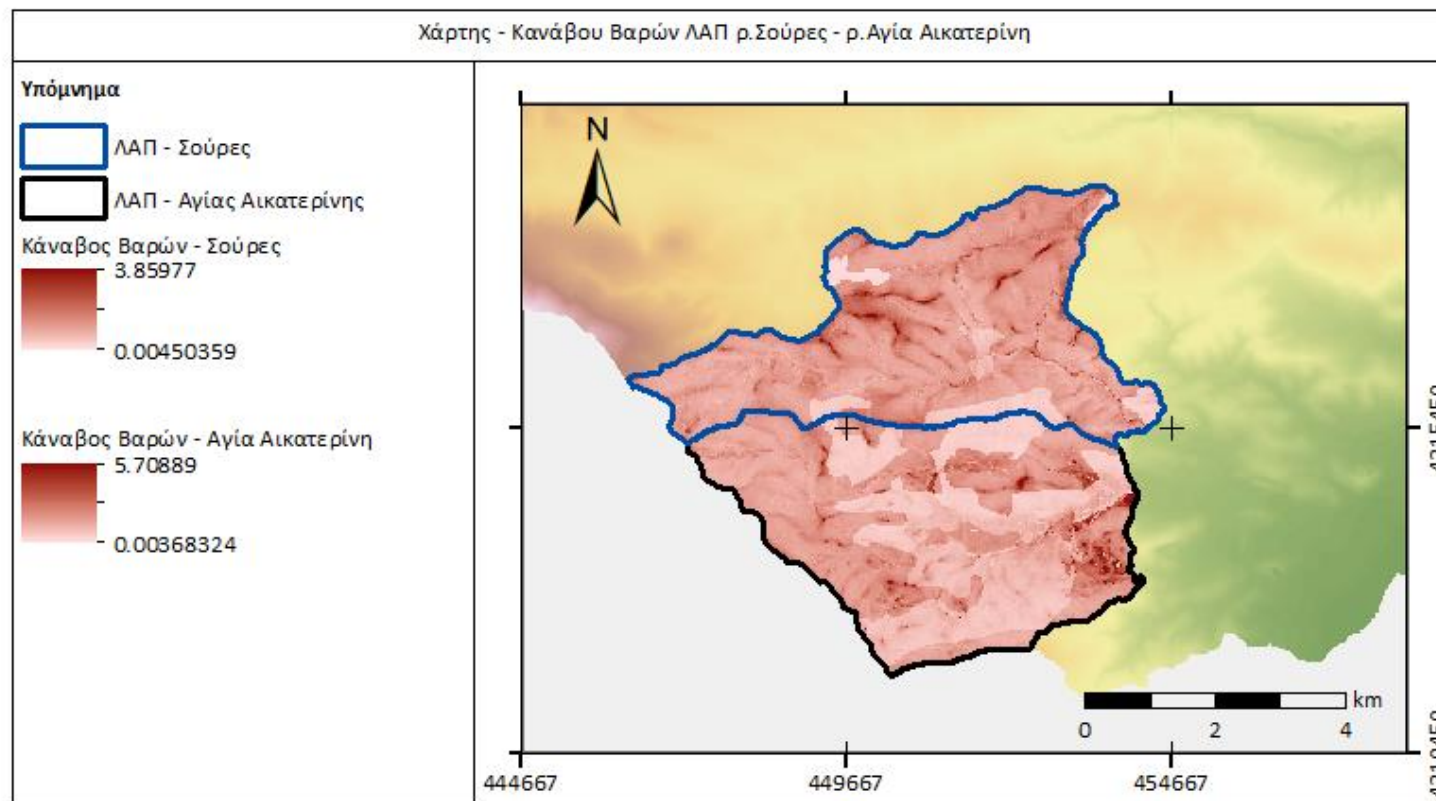
Σχήμα 8.12 Προφίλ Υψομέτρων Υδατορέματος Λεκάνη Απορροής ρ.Αγία Αικατερίνη



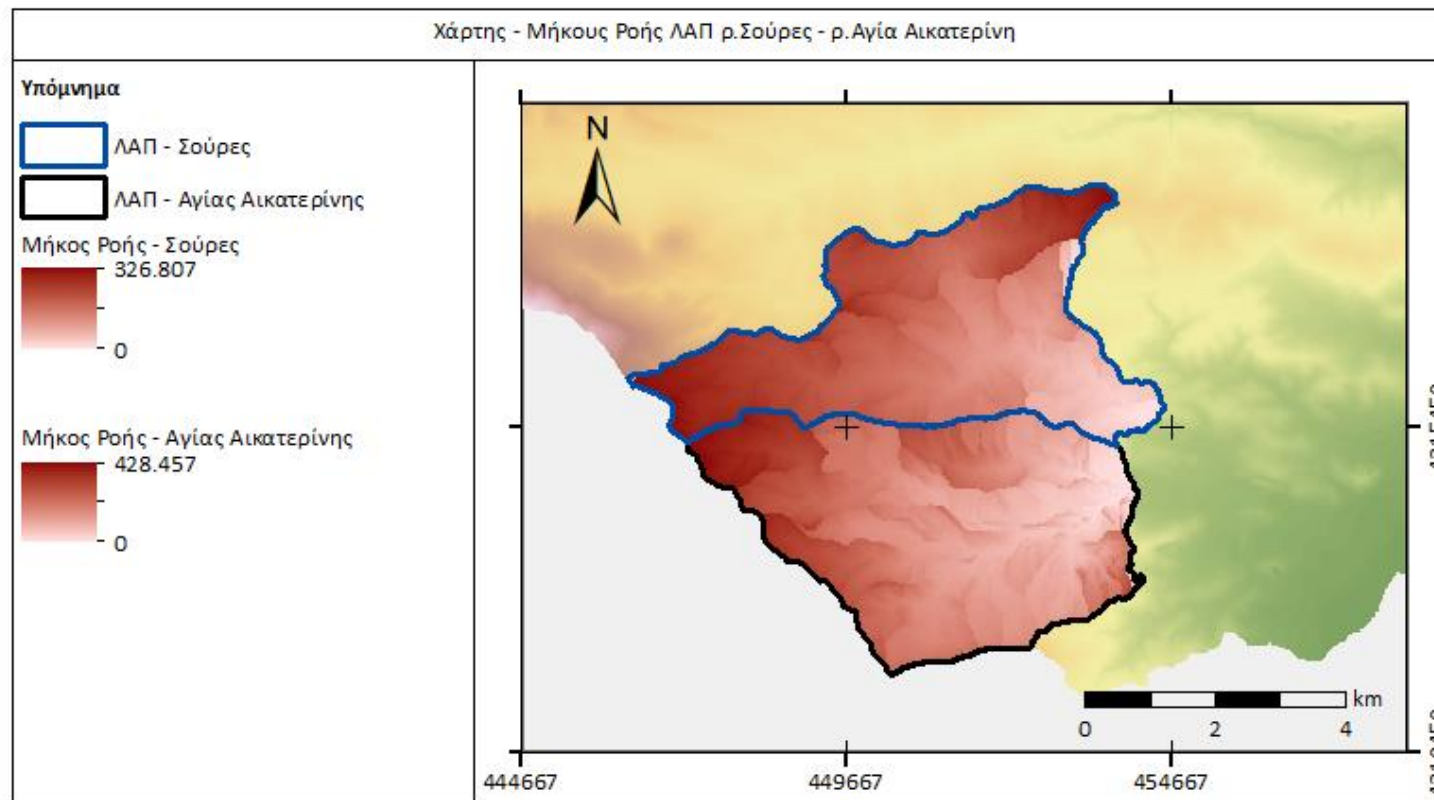
Σχήμα 8.13 Διάγραμμα Ταχύτητας Ροής Λεκάνη Απορροής ρ Σούρες – ρ.Αγία Αικατερίνη



Σχήμα 8.14 Διάγραμμα Συνολικής Ταχύτητας Λεκάνες Απορροής ρ Σούρες – ρ.Αγία Αικατερίνη

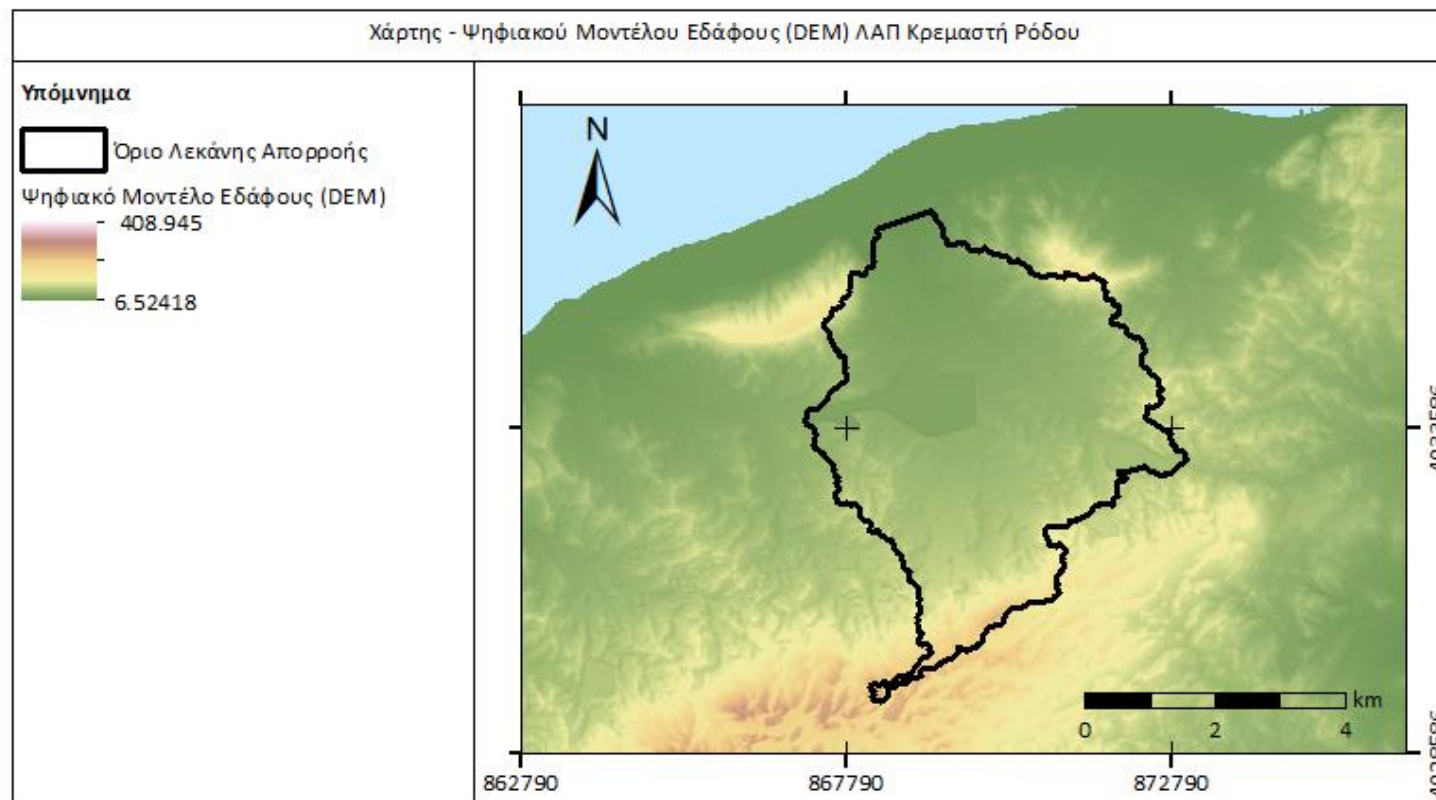


Σχήμα 8.15 Διάγραμμα Κανάβου Βαρών Λεκάνες Απορροής ρ Σούρες – ρ.Αγία Αικατερίνη

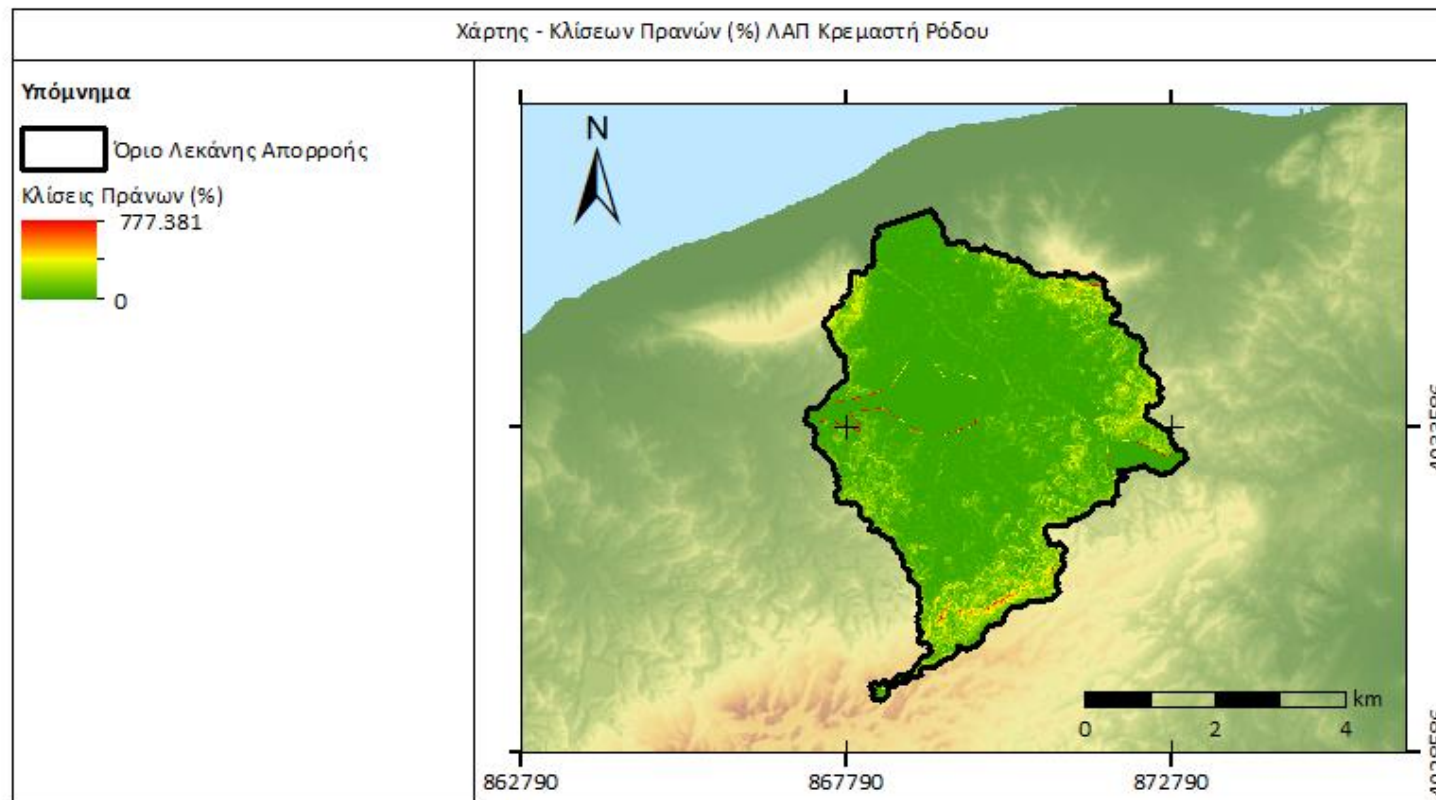


Σχήμα 8.16 Διάγραμμα Μήκους Ροής Λεκάνες Απορροής ρ Σούρες – ρ.Αγία Αικατερίνη

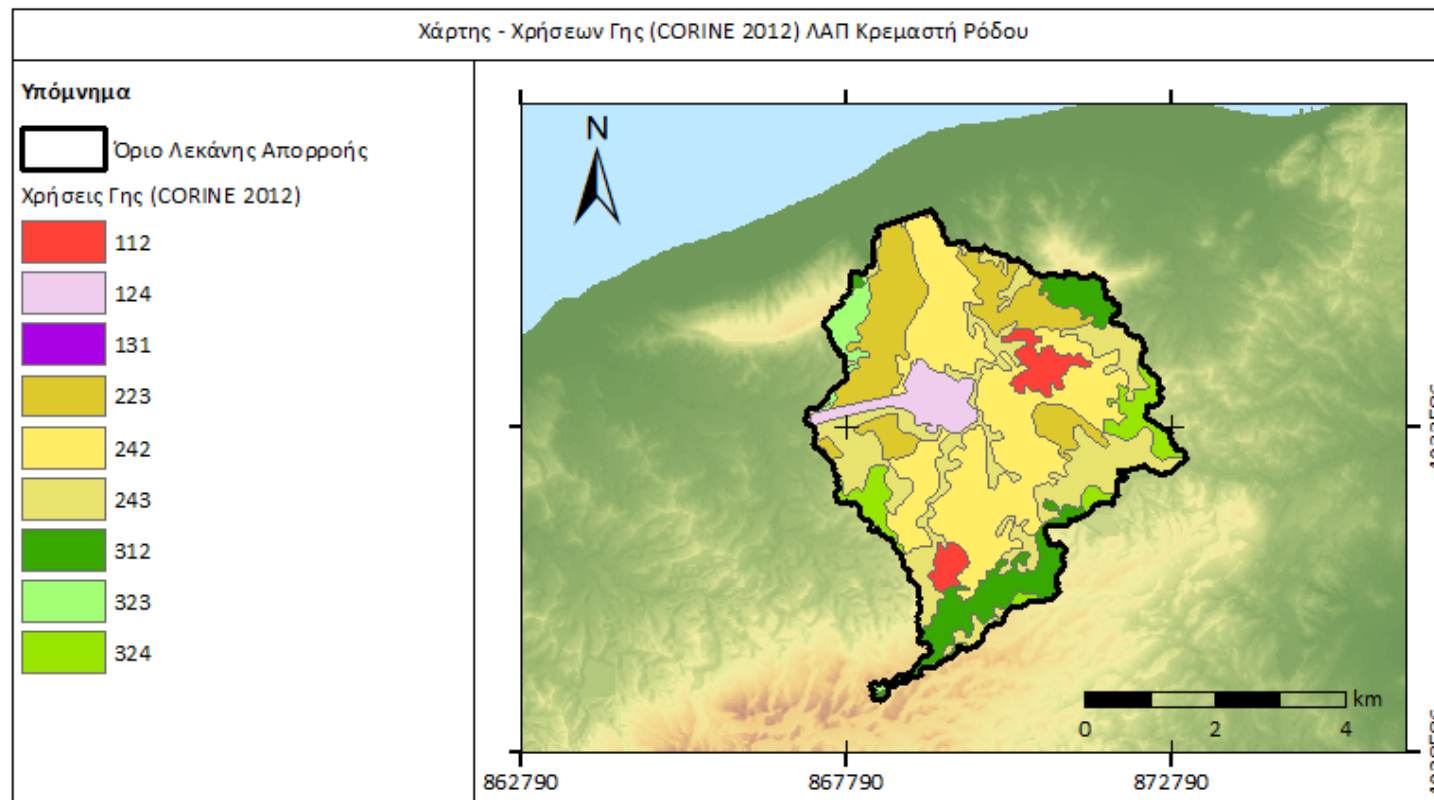
2^η Περιοχή Μέλετης :Λεκάνη Απορροής Κρεμαστής,Ρόδος Δωδεκανήσου



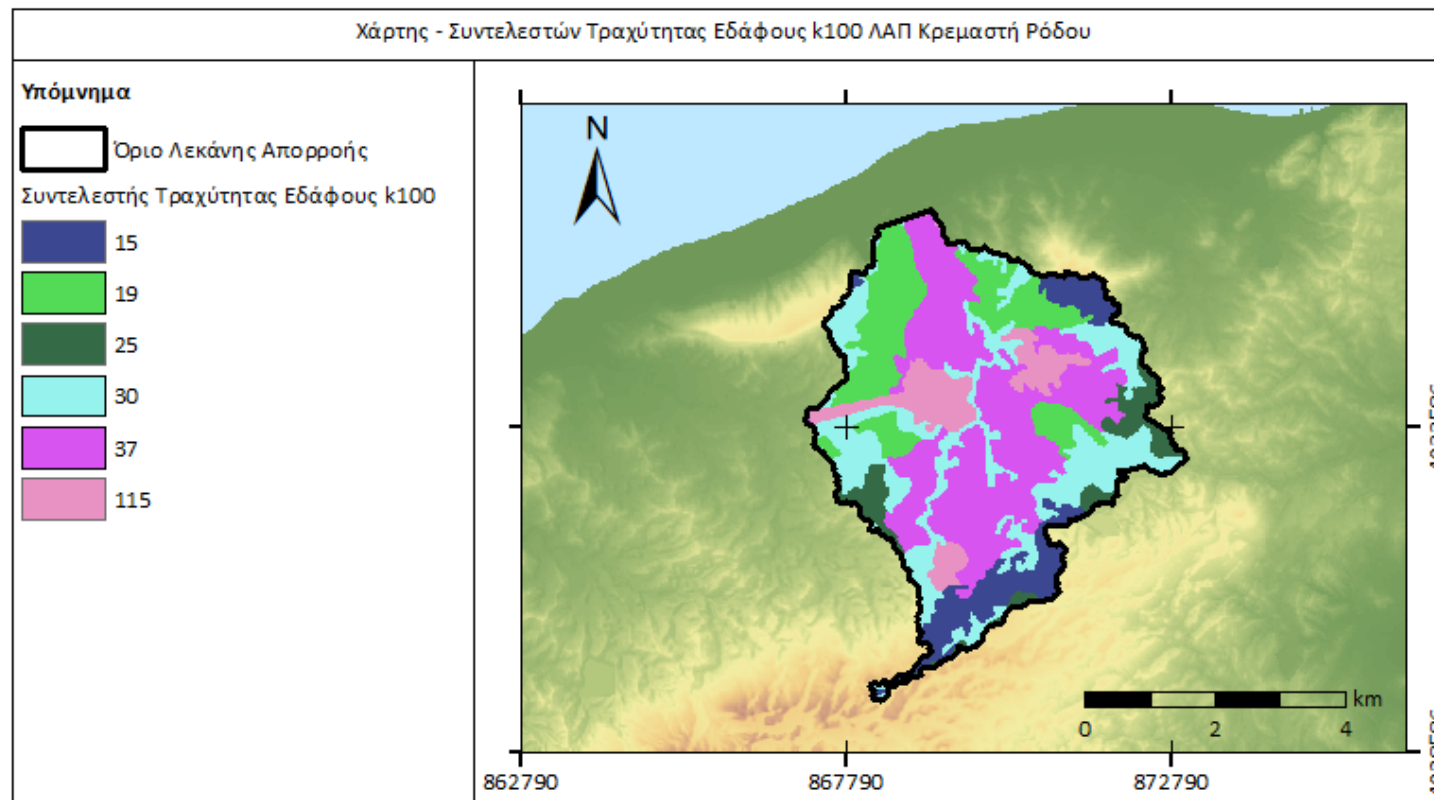
Σχήμα 8.17 Διάγραμμα Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM) Λεκάνη Απορροής ρ. Κρεμαστής Ρόδου



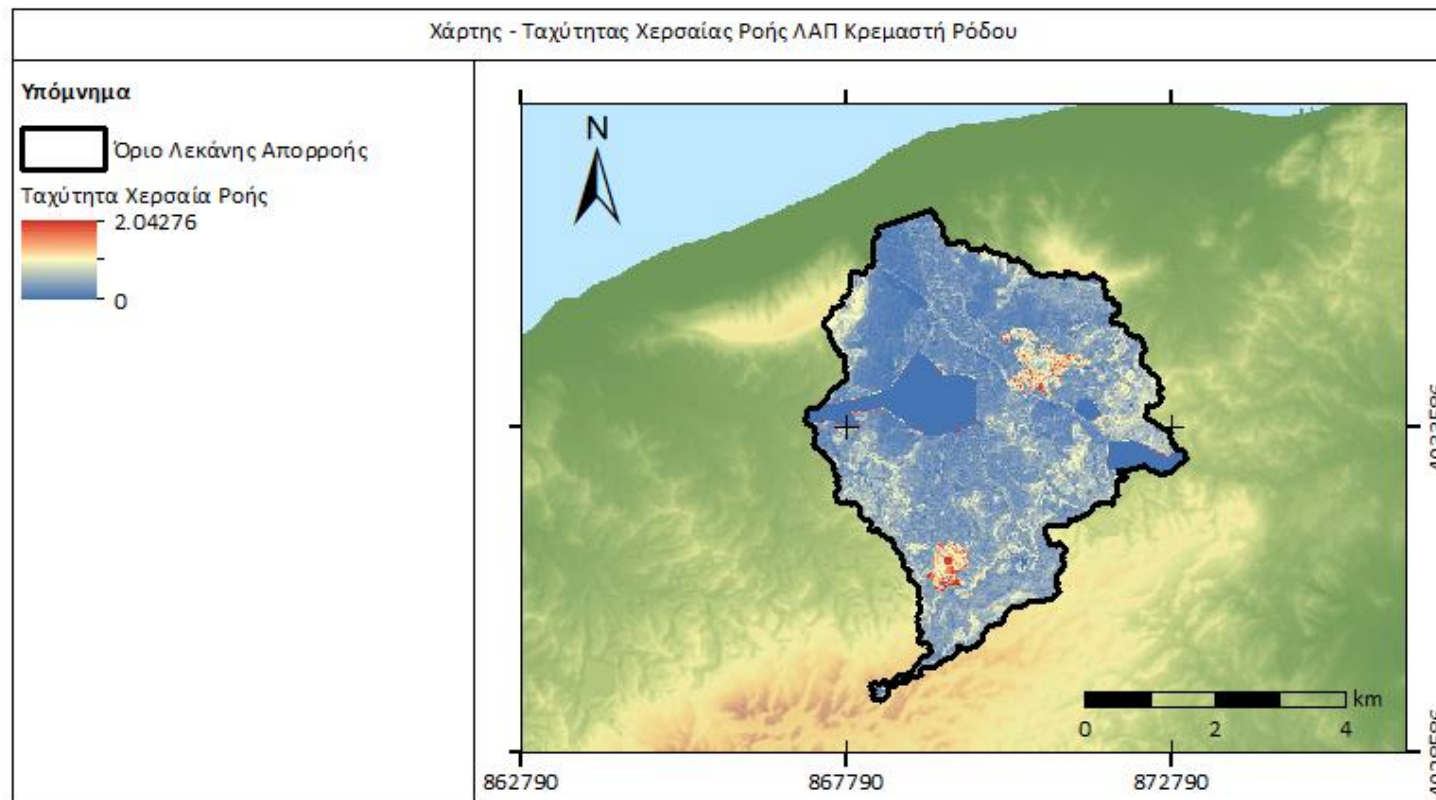
Σχήμα 8.18 Διάγραμμα Κλίσεων Πρανών (%) Λεκάνη Απορροής ρ. Κρεμαστής Ρόδου



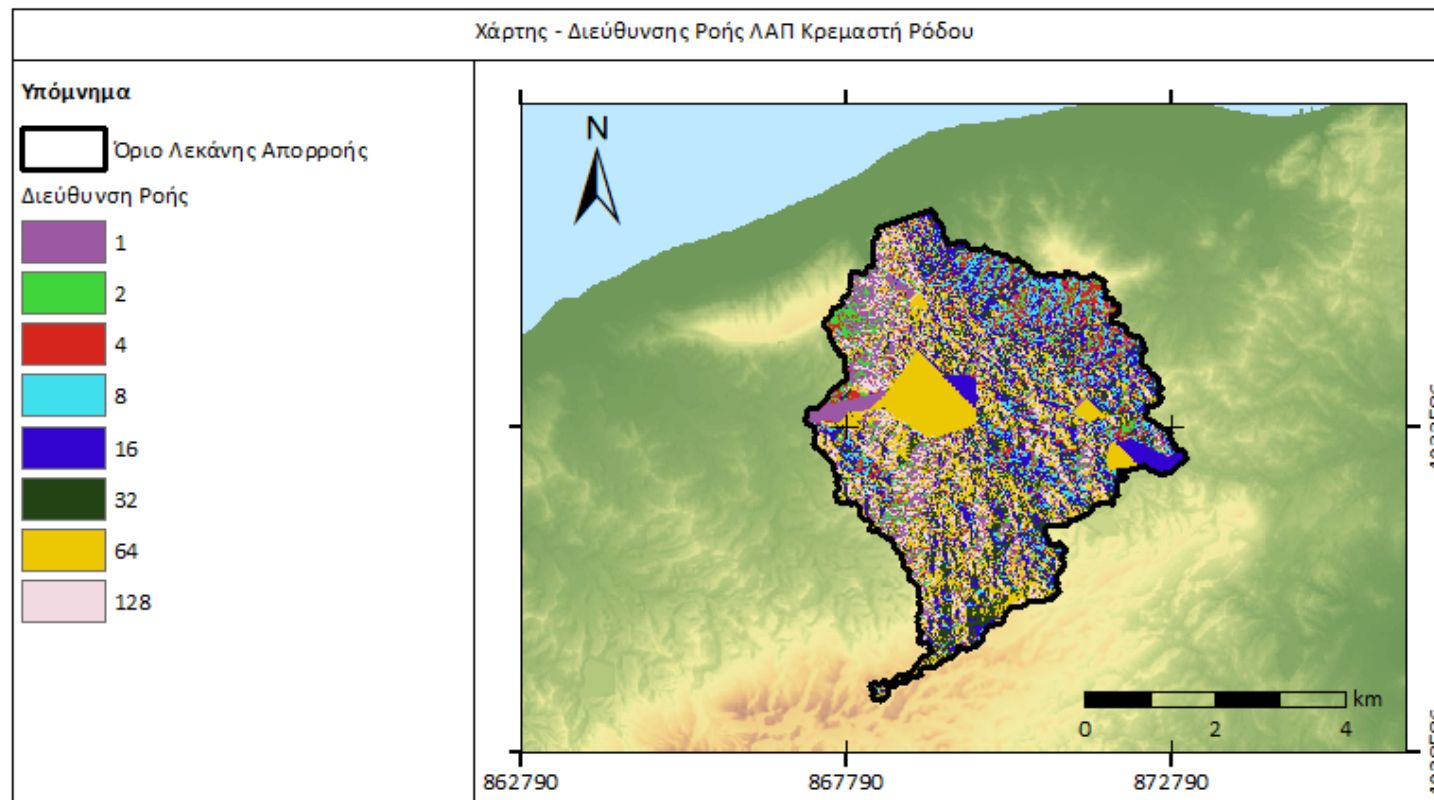
Σχήμα 8.19 Διάγραμμα Χρήσεων Γης (CORINE 2012) Λεκάνη Απορροής ρ. Κρεμαστή Ρόδου



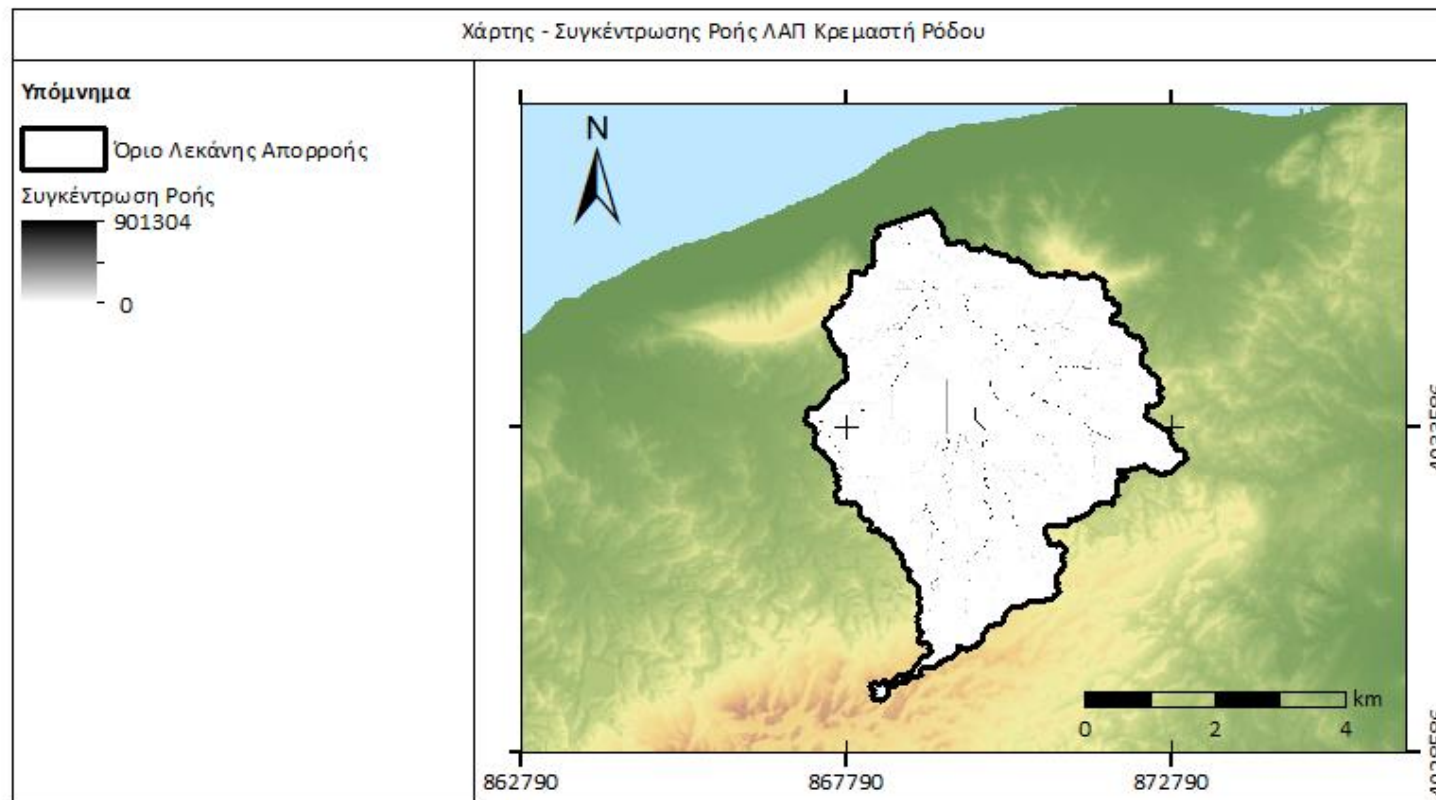
Σχήμα 8.20 Διάγραμμα Συντελεστών Τραχύτητας Εδάφους Λεκάνη Απορροής ρ. Κρεμαστή Ρόδου



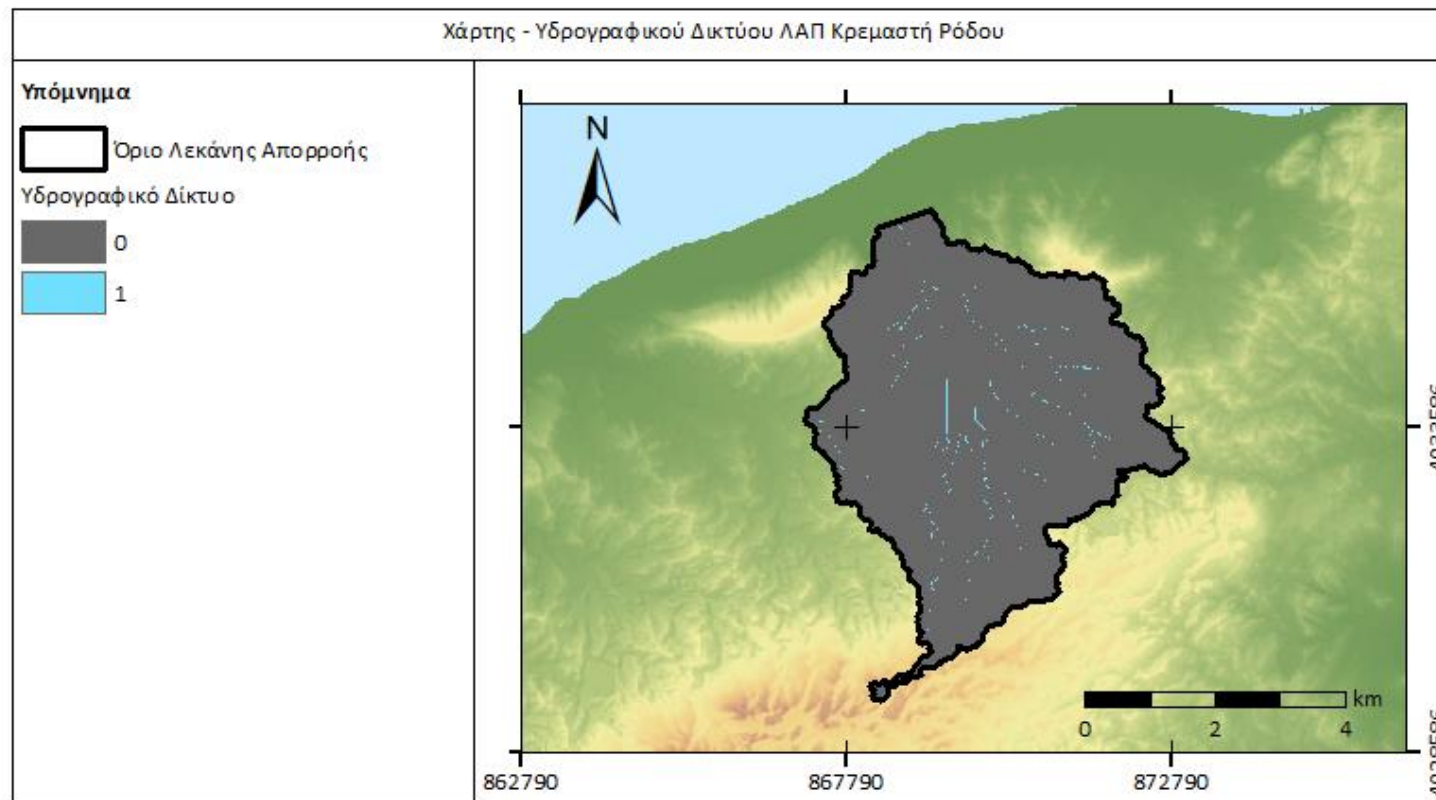
Σχήμα 8.21 Διάγραμμα Ταχύτητας Χερσαίας Ροής Λεκάνη Απορροής ρ. Κρεμαστή Ρόδου



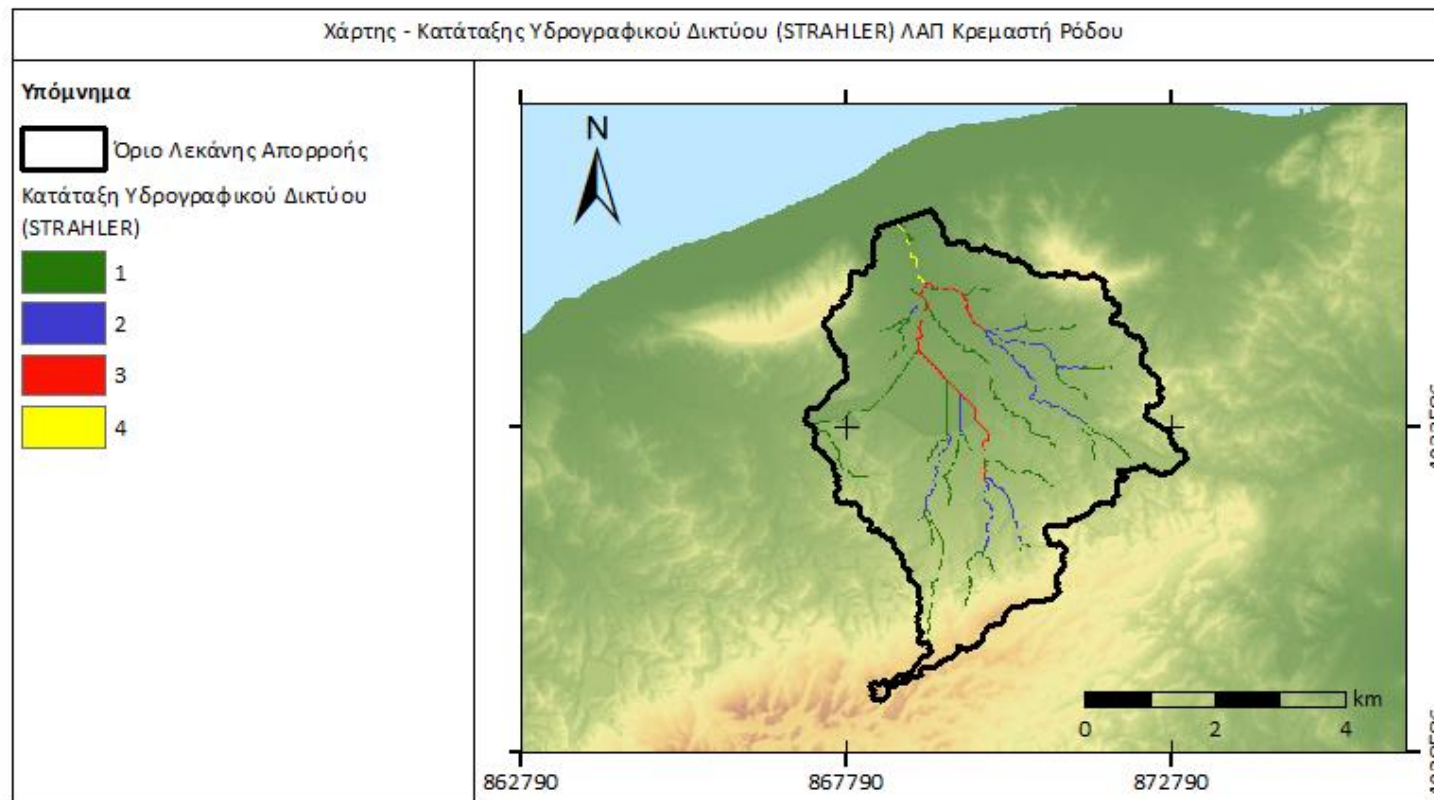
Σχήμα 8.22 Διάγραμμα Διεύθυνσης Ροής Λεκάνη Απορροής ρ. Κρεμαστή Ρόδου



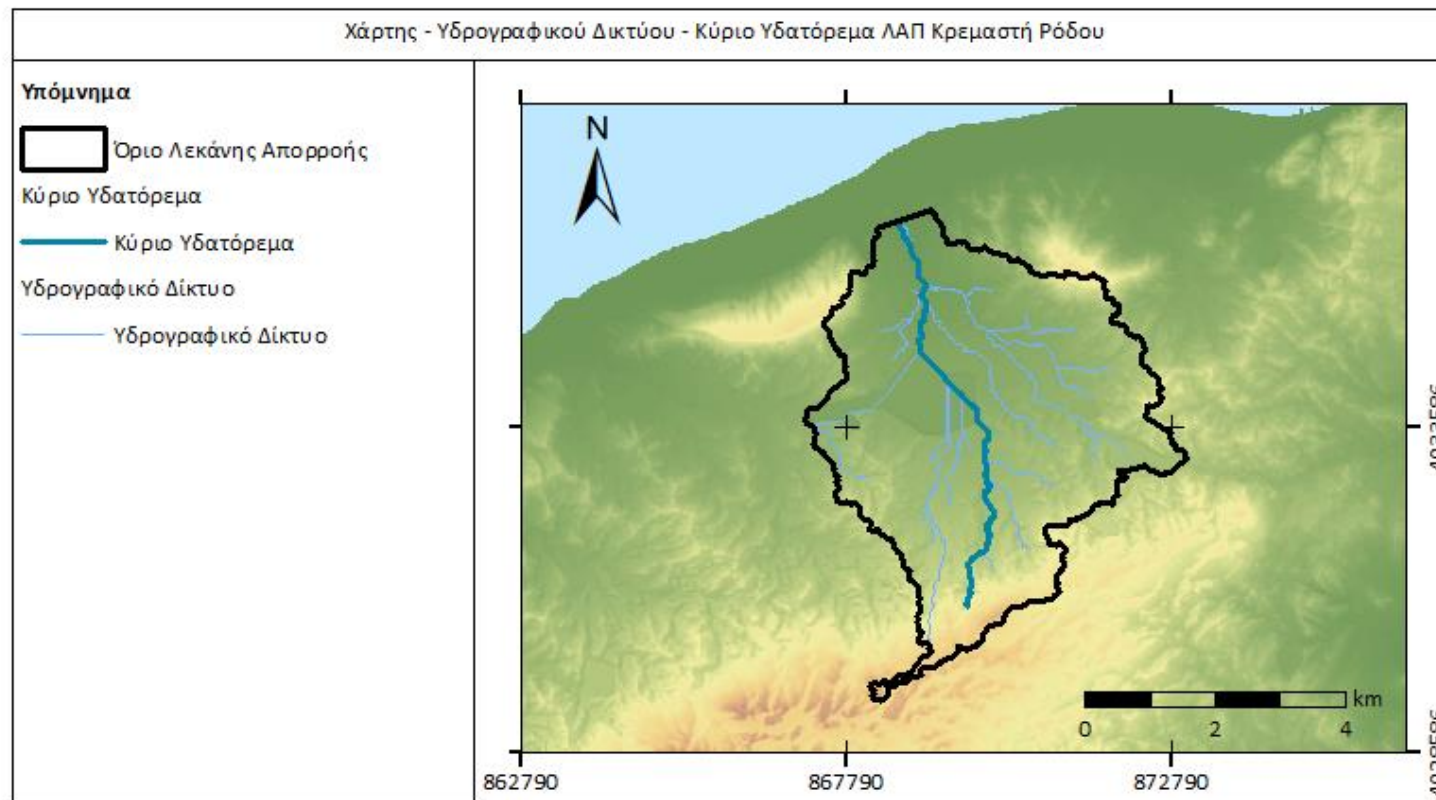
Σχήμα 8.23 Διάγραμμα Συγκέντρωσης Ροής Λεκάνη Απορροής Κρεμαστή Ρόδου



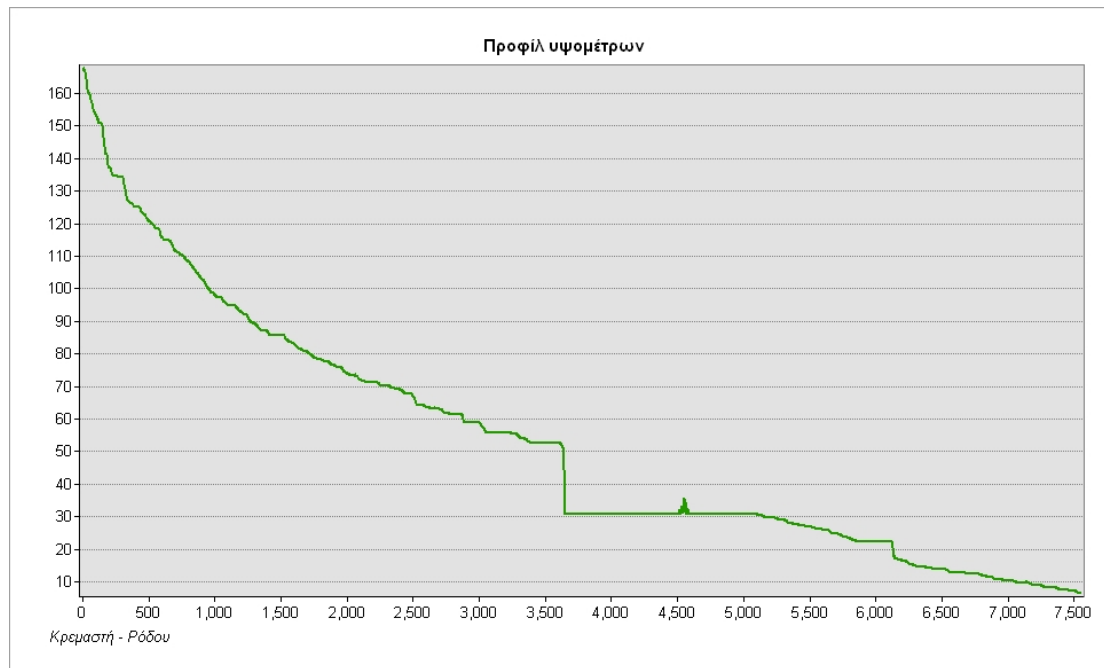
Σχήμα 8.24 Διάγραμμα Υδρογραφικού Δικτύου Λεκάνη Απορροής ρ. Κρεμαστή Ρόδου



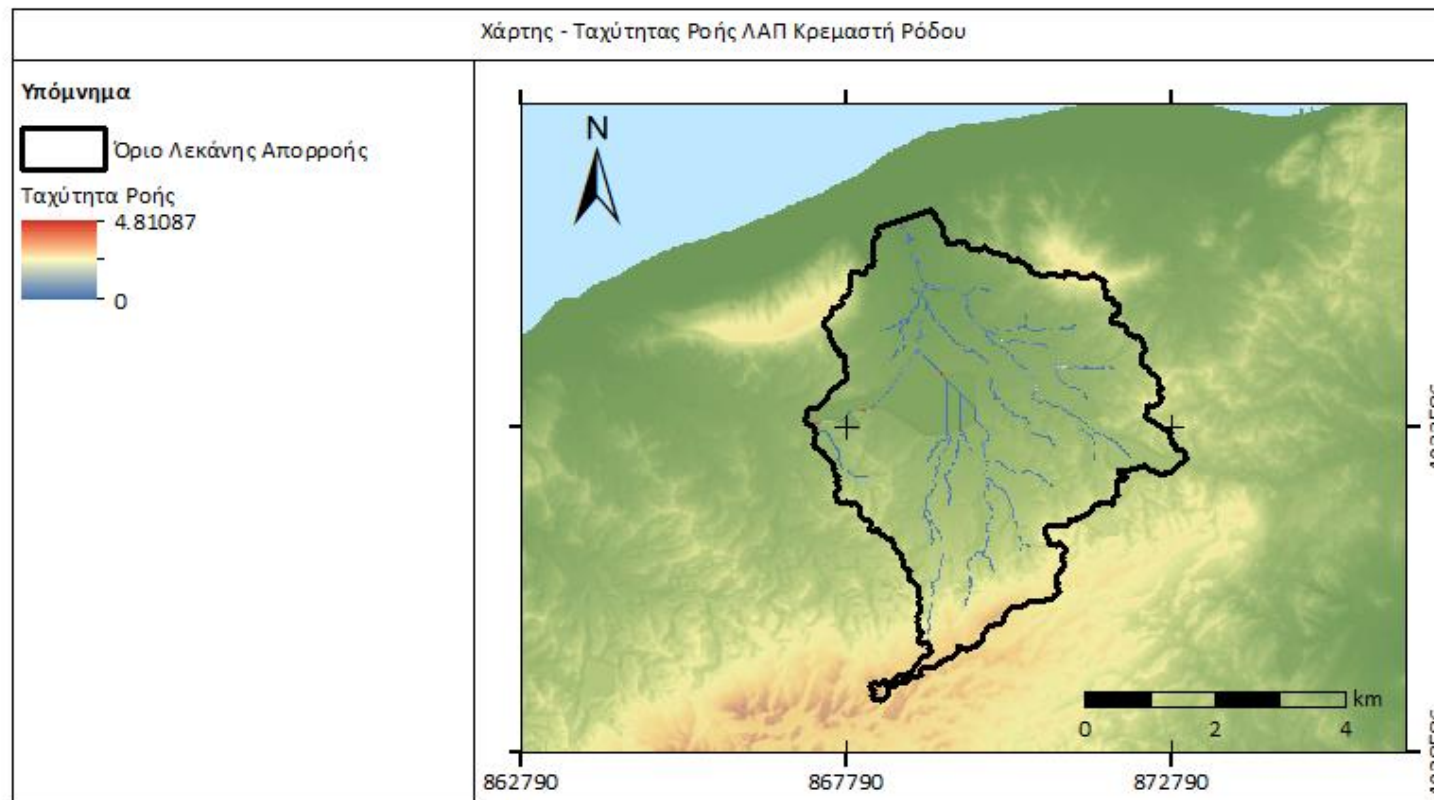
Σχήμα 8.25 Διάγραμμα Κατάταξης Υδρογραφικού Δικτύου Λεκάνη Απορροής ρ. Κρεμαστή Ρόδου



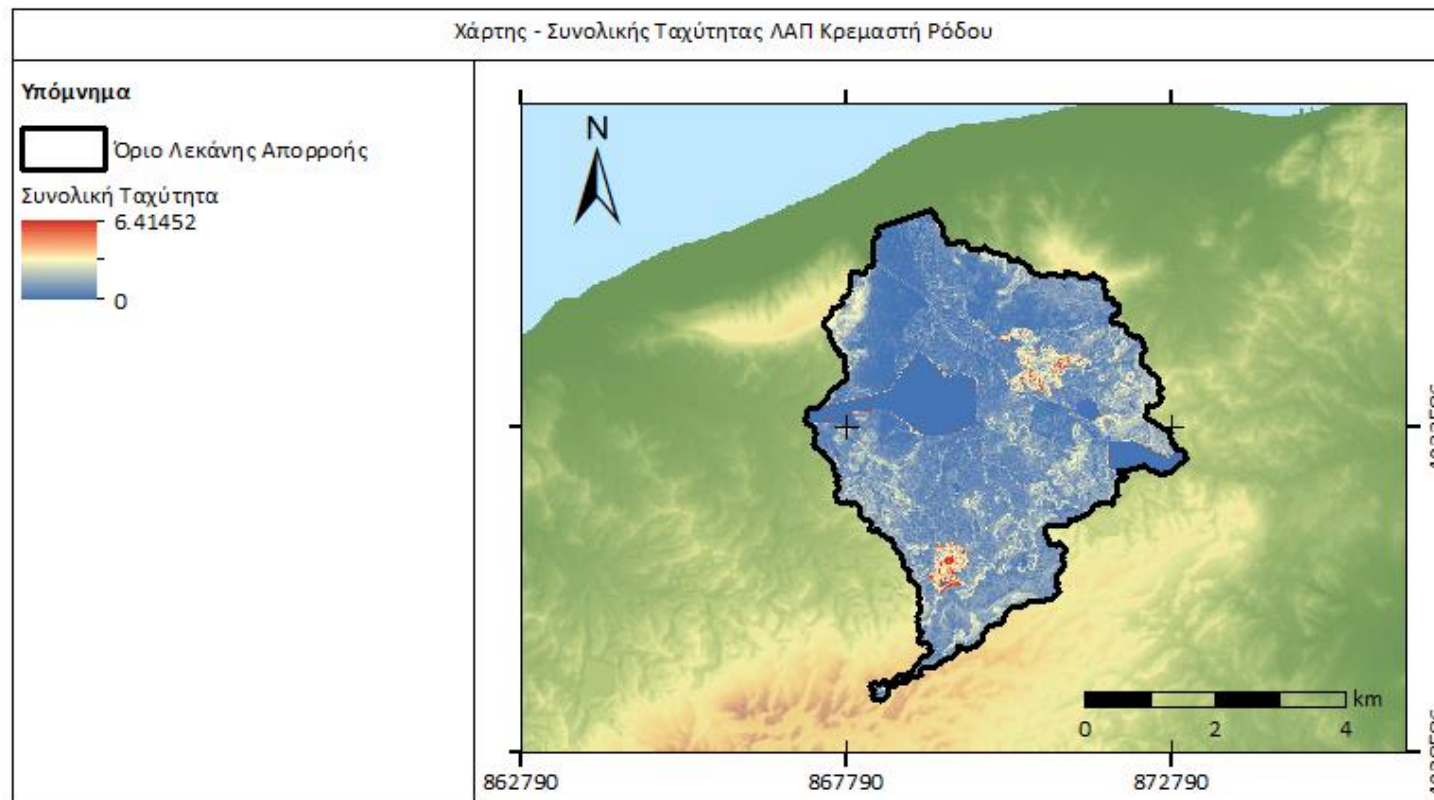
Σχήμα 8.26 Διάγραμμα Υδρογραφικού Δικτύου -Κύριο Υδατόρεμα Λεκάνη Απορροής ρ.Κρεμαστή Ρόδου



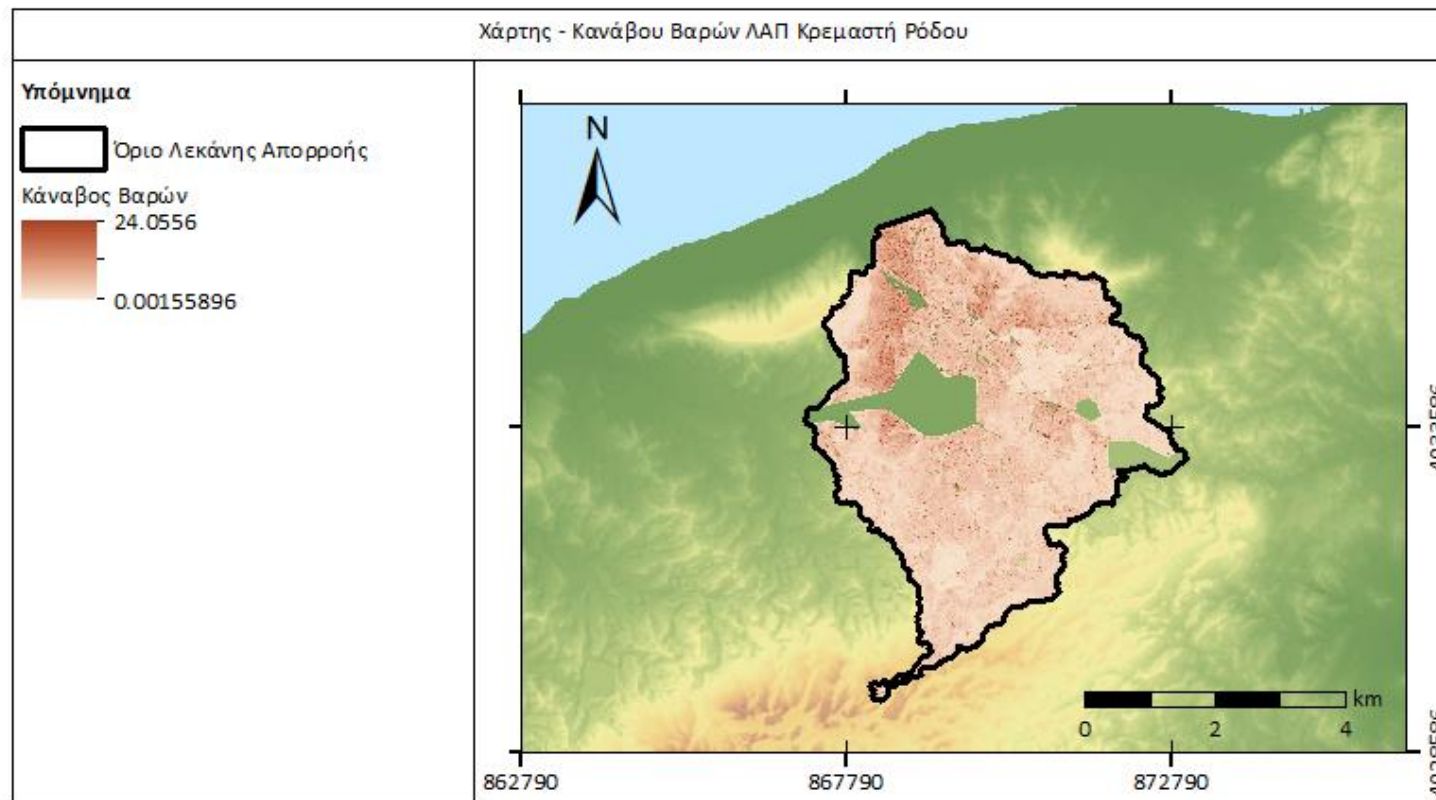
Σχήμα 8.27 Προφίλ Υψομέτρων Υδατορέματος Λεκάνη Απορροής ρ.Κρεμαστής



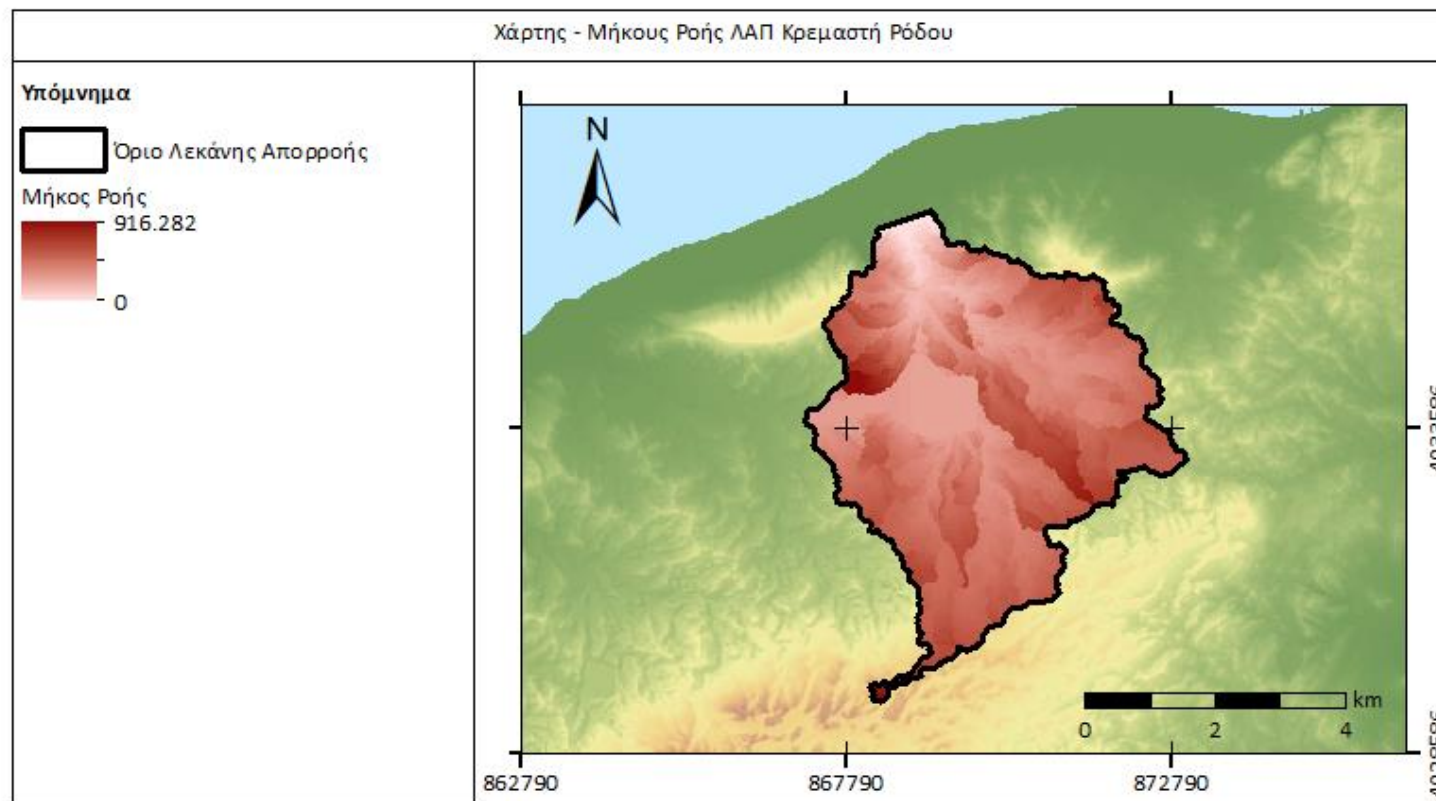
Σχήμα 8.28 Διάγραμμα Ταχύτητας ροής Λεκάνη Απορροής ρ.Κρεμαστή Ρόδου



Σχήμα 8.29 Διάγραμμα Συνολικής Ταχύτητας Λεκάνη Απορροής Κρεμαστή Ρόδου



Σχήμα 8.30 Διάγραμμα Κανάβου Βαρών Λεκάνη Απορροής ρ. Κρεμαστής Ρόδου



Σχήμα 8.31 Διάγραμμα Μήκους Ροής Λεκάνη Απορροής ρ. Κρεμαστή Ρόδου

