



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος



Διπλωματική Εργασία

**Υδρολογική διερεύνηση του φράγματος Γαδουρά Ρόδου**

Παπαευσταθίου Γιώργος

Επιβλέπων: Νικόλαος Μαμάσης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024

## Ευχαριστίες

Ύστερα από την ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Μαμάση, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος. Ακόμη, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά τόσο για τη βοήθεια όσο και για τις γνώσεις που μου μετέδωσε καθώς επίσης και για εξαιρετική συνεργασία που αναπτύξαμε.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Αιμιλία Θεοχάρη, Υποψήφια Διδάκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για το χρόνο που διέθεσε, καθώς και για τη συνεχή υποστήριξη αλλά και για τις γενικότερες επισημάνσεις και γνώσεις που μου προσέφερε, σε ιδιαίτερα σημαντικά θέματα που προέκυψαν, καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Ακόμη, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου από τη Σχολή των Πολιτικών

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από τη καρδιά μου την οικογένειά μου, για τη συνεχή υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	2
Περιεχόμενα .....	3
Ευρετήριο Σχημάτων .....	5
Ευρετήριο Πινάκων.....	8
Abstract.....	9
Περίληψη .....	10
1 Εισαγωγή .....	11
2 Στοιχεία Έργου.....	15
2.1 Γενικές Πληροφορίες .....	15
2.2 Τεχνικά Στοιχεία.....	17
2.2.1 Κυρίως Φράγμα .....	20
2.2.2 Σήραγγα εκτροπής .....	25
2.2.3 Πρόφραγμα.....	29
2.2.4 Αυχενικό Φράγμα .....	30
2.2.5 Σύστημα Υπερχείλισης.....	31
2.2.6 Σήραγγες Αποστράγγισης .....	33
3 Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	34
3.1 Όμβριες Καμπύλες .....	34
3.2 Επιφανειακή Ολοκλήρωση Βροχόπτωσης.....	36
3.3 Υετογράφημα .....	37
3.4 Ενεργή Βροχόπτωση .....	38

3.5	Μοναδιαίο Υδρογράφημα .....	40
4	Περιοχή Μελέτης.....	48
4.1	Γενικά .....	48
4.2	Υδρολογικά Δεδομένα .....	52
4.3	Γεωλογικά Χαρακτηριστικά.....	55
4.4	Χρήσεις Γης.....	58
5	Αποτελέσματα .....	61
5.1	Σενάριο ύπαρξης του φράγματος Γαδουρά .....	62
5.1.1	Περίοδος επαναφοράς $T = 1000$ έτη .....	64
5.1.2	Περίοδος επαναφοράς $T = 10000$ έτη .....	66
5.2	Σενάριο μη – ύπαρξης του φράγματος Γαδουρά .....	68
5.2.1	Περίοδος επαναφοράς $T = 1000$ έτη .....	70
5.2.2	Περίοδος επαναφοράς $T = 10000$ έτη .....	72
6	Συμπεράσματα .....	74
6.1	Σύνοψη .....	74
6.2	Γενικά Συμπεράσματα.....	74
6.3	Ειδικά Συμπεράσματα.....	75
6.4	Προτάσεις μελλοντικής έρευνας .....	77
	Ελληνική Βιβλιογραφία .....	78
	Διεθνής Βιβλιογραφία .....	81
	Διαδικτυακές Πηγές.....	82

## Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Υδρολογικός κύκλος (πηγή: <a href="http://www.usgs.gov">www.usgs.gov</a> ) .....	11
Σχήμα 2.1: Έργο «Υδρευση Ρόδου από το Φράγμα Γαδουρά» (πηγή: <a href="http://www.een-gadoura.gr">www.een-gadoura.gr</a> ).....	16
Σχήμα 2.2: Γενική διάταξη έργων φράγματος Γαδουρά (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας) .....	17
Σχήμα 2.3: Τυπική διατομή φράγματος Γαδουρά (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας) .....	18
Σχήμα 2.4: Ζώνες χωμάτινου φράγματος Γαδουρά κατά την κατασκευή (πηγή: <a href="http://een-gadoura.gr">een-gadoura.gr</a> ).....	21
Σχήμα 2.5: Τσιμεντένευση τάπητα (πηγή: ΑΕΓΕΚ, 2001).....	22
Σχήμα 2.6: Κατασκευή ζωνών κυρίως φράγματος (πηγή: ΑΕΓΕΚ, 2002) .....	23
Σχήμα 2.7: Κατασκευή ζώνης προστασίας κυρίως φράγματος (πηγή: ΑΕΓΕΚ, 2003).....	25
Σχήμα 2.8: Κατασκευή τμήματος εισόδου της σήραγγας εκτροπής (πηγή: <a href="http://sofios.gr">sofios.gr</a> ) ....	26
Σχήμα 2.9: Τυπική διατομή ενίσχυσης σήραγγας .....	27
Σχήμα 2.10: Στόμια υδροληψίας - εκκένωσης (πηγή: ΑΕΓΕΚ, 2005).....	28
Σχήμα 2.11: Κατασκευή αυχενικού φράγματος (πηγή: ΑΕΓΕΚ, 2001) .....	30
Σχήμα 2.12: Κατάντη όψη του υπερχειλιστή (πηγή: <a href="http://www.een-gadoura.gr">www.een-gadoura.gr</a> ) .....	33
Σχήμα 2.13: Αεροφωτογραφία του υπερχειλιστή και του αυχενικού φράγματος (πηγή: <a href="http://www.een-gadoura.gr">www.een-gadoura.gr</a> ).....	32
Σχήμα 3.1: Μορφή Μοναδιαίο Υδρογράφηματος (πηγή: <a href="http://evangelosakylas.weebly.com">evangelosakylas.weebly.com</a> ).....	43
Σχήμα 3.2: Συνοπτική παρουσίαση διαδικασιών (πηγή: Μπαλτάς και Μπουρνάς, 2021) .....	44
Σχήμα 4.1: Ανάγλυφο της νήσου Ρόδου.....	49
Σχήμα 4.2: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της περιοχής μελέτης .....	50
Σχήμα 4.3: Σενάρια λεκάνων απορροής που εξετάζονται .....	51
Σχήμα 4.4: Χωρική μεταβολή ανηγμένης παραμέτρου λ' (πηγή: <a href="http://www.floods.ypeka.gr">www.floods.ypeka.gr</a> ) .....	53
Σχήμα 4.6: Χωρική μεταβολή ανηγμένης παραμέτρου ψ' (πηγή: <a href="http://www.floods.ypeka.gr">www.floods.ypeka.gr</a> ).....	54

Σχήμα 4.5: Ζώνες παραμέτρου $\kappa$ (πηγή: <a href="http://www.floods.ypeka.gr">www.floods.ypeka.gr</a> ) .....	54
Σχήμα 4.7: Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας (πηγή: <a href="http://www.geo.auth.gr">www.geo.auth.gr</a> ).....	56
Σχήμα 4.8: Γεωλογικοί σχηματισμοί στη νήσο Ρόδο (πηγή: <a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> ).....	57
Σχήμα 4.9: Εδαφολογικός χάρτης της νήσου Ρόδου (πηγή: <a href="http://www.floods.ypeka.gr">www.floods.ypeka.gr</a> ).....	58
Σχήμα 4.10: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης .....	59
Σχήμα 5.1: Όμβριες καμπύλες βροχομετρικού σταθμού Έμπωνα.....	61
Σχήμα 5.2: Όμβριες καμπύλες βροχομετρικού σταθμού Λάερμα.....	61
Σχήμα 5.3: Όμβριες καμπύλες βροχομετρικού σταθμού Απολλώνων .....	62
Σχήμα 5.4: Πολύγωνα Thiessen για λεκάνη απορροής φράγματος Γαδουρά .....	63
Σχήμα 5.5: Μοναδιαίο Υδρογράφημα λεκάνης απορροής φράγματος Γαδουρά .....	64
Σχήμα 5.6: Υετόγραμμα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 1000$ έτη, στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά .....	65
Σχήμα 5.7: Καμπύλη $S$ επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 1000$ έτη, στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά .....	65
Σχήμα 5.8: Πλημμυρογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 1000$ έτη, στην έξοδο της λεκάνης απορροής του φράγματος Γαδουρά .....	66
Σχήμα 5.9: Υετογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 10000$ έτη, στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά .....	67
Σχήμα 5.10: Καμπύλη $S$ επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 10000$ έτη, στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά .....	67
Σχήμα 5.11: Πλημμυρογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 10000$ έτη, στην έξοδο της λεκάνης απορροής του φράγματος Γαδουρά.....	68
Σχήμα 5.12: Πολύγωνα Thiessen για την φυσική λεκάνη απορροής.....	69
Σχήμα 5.13: Μοναδιαίο Υδρογράφημα φυσικής λεκάνης απορροής.....	70
Σχήμα 5.14: Υετογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 1000$ έτη, στη φυσική λεκάνη απορροής .....	71
Σχήμα 5.15: Καμπύλη $S$ επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 1000$ έτη, στη φυσική λεκάνη απορροής .....	71

Σχήμα 5.16: Πλημμυρογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 1000$ έτη, στην έξοδο της φυσική λεκάνης απορροής .....	72
Σχήμα 5.17: Υετογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 10000$ έτη, στη φυσική λεκάνη απορροής .....	72
Σχήμα 5.18: Καμπύλη $S$ επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 10000$ έτη, στη φυσική λεκάνη απορροής .....	73
Σχήμα 5.19: Πλημμυρογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς $T = 10000$ έτη, στη φυσική λεκάνη απορροής .....	73

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1: Ιστορικές πλημμύρες στο νησί της Ρόδου (πηγή: <a href="http://www.yren.gov.gr">www.yren.gov.gr</a> ) .....	14
Πίνακας 2.1: Τεχνικά στοιχεία ταμιευτήρα (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας) .....	18
Πίνακας 2.2: Τεχνικά στοιχεία κυρίως φράγματος (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας) .....	20
Πίνακας 2.3: Τεχνικά στοιχεία σήραγγας εκτροπής (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας) .....	26
Πίνακας 2.4: Τεχνικά στοιχεία συστήματος υδροληψίας (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας) .....	28
Πίνακας 2.5: Τεχνικά στοιχεία προφράγματος (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας)	29
Πίνακας 2.6: Τεχνικά στοιχεία αυχενικού φράγματος (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας) .....	31
Πίνακας 3.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου πολυγώνων Thiessen...	37
Πίνακας 3.2: Κατάταξη εδαφών σύμφωνα με τη διηθητικότητα τους (πηγή: <a href="http://floods.yreka.gr">floods.yreka.gr</a> ) .....	39
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά λεκάνων απορροής.....	52
Πίνακας 4.2: Συντεταγμένες βροχογράφων, περί της περιοχής μελέτης, σε ΕΓΣΑ '87 ...	52
Πίνακας 4.3: Παράμετροι όμβριων καμπυλών των βροχογράφων του ΥΔ Νήσων Αιγαίου .....	53
Πίνακας 4.4: Ανάλυση χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης .....	60
Πίνακας 5.1: Βαρύτητες βροχομετρικών σταθμών στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά .....	63
Πίνακας 5.2: Βαρύτητες βροχομετρικών σταθμών στη φυσική λεκάνη απορροής .....	69



## **Abstract**

In this thesis, a hydrological investigation is conducted on Gadouras dam of Rhodes island with a closer look to the flood risk of the area close to it. Floods, being one of the natural disasters that humans have close to zero impact upon, they are being looked into as to how there can a mitigation of the severity of its aftermath on the environment and the population affected by it. The study area of this thesis is located in the central part of Rhodes island, north-west of the town of Lindos.

First, the Digital Elevation Model (DEM) is being given as an input to ArcGIS program in order for the geomorphological examination of the study area to begin. Then, there is the hydrological investigation which results in the construction of the flood chart at the outlet of the occasional study area. Flood charts are being calculated for rainfall events with return periods of 1.000 and 10.000 years, so that the maximum flood discharge can be estimated. In order to translate rainfall to discharge, the SCS Unit Hydrograph Routing Model is used, which is produced by the ArcGIS program using the Isochronous Curved Method, and for rainfall distribution the Worst Profile Method is applied.

## Περίληψη

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η υδρολογική μελέτη του φράγματος Γαδουρά στο νησί της Ρόδου, και ειδικότερα η διερεύνηση του πλημμυρικού κινδύνου της εγγύτερης περιοχής. Το φυσικό αυτό φαινόμενο αποτελεί ανοικτή πληγή για ολόκληρη την υφήλιο και για αυτό γίνονται σημαντικές προληπτικές προσπάθειες για τη θωράκιση των κοινωνιών, με σκοπό την άμβλυση του βαθμού των επιπτώσεων του στο περιβάλλον και στους ανθρώπους. Η περιοχή μελέτης της εργασίας βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του νησιού της Ρόδου, και βορειοδυτικά της πόλης της Λίνδου.

Αρχικά, εισάγοντας το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) στο προγραμματιστικό περιβάλλον του προγράμματος ArcGIS υλοποιείται η γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια, ακολουθεί υδρολογική ανάλυση για τον υπολογισμό του πλημμυρογραφήματος στην έξοδο της λεκάνης απορροής που διερευνάται κάθε φορά. Ειδικότερα, γίνεται ο υπολογισμός του πλημμυρογραφήματος για περιόδους επαναφοράς 1.000 και 10.000 ετών. Η διερεύνηση αυτή γίνεται για τον εντοπισμό της μεγαλύτερης πλημμυρικής αιχμής στην εξεταζόμενη λεκάνη απορροής περιοχή μελέτης. Για την μετατροπή της βροχής σε απορροή εφαρμόζεται η μέθοδος του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος, το οποίο υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των ισόχρονων καμπυλών στο λογισμικό ArcGIS, ενώ η κατανομή της βροχοπτώσης υλοποιείται μέσω της μεθόδου της Δυσμενέστερης Διάταξης.

# 1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με την αρχή United States Geological Survey (USGS) «ο υδρολογικός κύκλος, ή αλλιώς ο κύκλος του νερού, περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της Γης, καθώς και κάτω απ' αυτή, όπως αναδεικνύεται στο Σχήμα 1.1. Το νερό της Γης είναι πάντα σε κίνηση και πάντα σε αλλαγή, από την υγρή μορφή στη αέρια ή σε πάγο ξανά και αντίστροφα». Πιο αναλυτικά, εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας το νερό εξατμίζεται από θάλασσες, λίμνες καθώς και από τα φύλλα των φυτών μέσω της διαδικασίας της διαπνοής. Ο κύκλος αυτός, εξ ορισμού δεν μπορεί να έχει αρχή και τέλος, αν όμως έπρεπε να την προσδιορίσουμε η αρχή θα μπορούσε να βρίσκεται στην ατμόσφαιρα όπου το νερό βρίσκεται υπό τη μορφή υδρατμών. Το νερό έπειτα κατακρημνίζεται στη γήινη επιφάνεια σε μορφή βροχής, χιονιού ή χαλαζιού, όπου ένα μέρος του εξατμίζεται ξανά στην ατμόσφαιρα, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα του, φθάνοντας στη γη είτε εισχωρεί στο έδαφος εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς, είτε κινείται, επιφανειακά και υπόγεια, προς χαμηλότερες περιοχές και καταλήγει σε θάλασσες, λίμνες ή ποτάμια.



Σχήμα 1.1: Υδρολογικός κύκλος (πηγή: [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov))

Όταν αυτή η μεταφορά ποσότητας ύδατος συνυπάρχει με ορισμένες παραμέτρους, όπως είναι η ένταση, ο βαθμός κορεσμού του εδάφους κ.α., τότε προκύπτουν τα πλημμυρικά φαινόμενα, που όπως αναφέρεται στην Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, «οι πλημμύρες μπορεί να προκαλέσουν θανάτους, μετακινήσεις πληθυσμών και ζημιές στο περιβάλλον, να θέσουν σοβαρά σε κίνδυνο την οικονομική ανάπτυξη και να υπονομεύσουν τις οικονομικές δραστηριότητες της Κοινότητας. Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα τα οποία είναι αδύνατο να προληφθούν». Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ), οι πλημμύρες διακρίνονται σε: ποτάμιες (fluvial), παράκτιες (coastal), κατάκλυσης (pluvial), αστικές (urban) και αιφνίδιες πλημμύρες (flash floods). Όπως αναφέρει το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ) «η κατηγορία της ξαφνικής ή αιφνίδιας πλημμύρας είναι το πιο συνηθισμένο φαινόμενο πλημμύρας στην Ελλάδα». Για τους παραπάνω λόγους, χρηματοδοτούνται κρατικά προγράμματα πρόγνωσης του φαινομένου και κυριότερα των πλημμυρικά ευαίσθητων περιοχών.

Για την αντιμετώπιση των πλημμυρών απαιτούνται ενέργειες οι οποίες είτε απαιτούν την κατασκευή έργων, είτε τη διαχείριση της υφιστάμενης κατάστασης έναντι των πλημμυρών (Μπενέκου Π., 2014). Η κατασκευή έργων αντιπλημμυρικής προστασίας έχει ως αποτέλεσμα από τη μία πλευρά την ασφαλή διοχέτευση των πλημμυρικών παροχών και από την άλλη τη διαχείριση της ποσότητας του νερού μέσω της αποθήκευσής του και της μεταφοράς του σε άλλες περιοχές. Τα έργα αυτά είναι λάθος να θεωρούμε πως είναι ικανά να μας προστατέψουν πλήρως από τα πλημμυρικά φαινόμενα καθώς εν τη γενέσει τους μελετώνται για μια προκαθορισμένη πιθανότητα αστοχίας, ή αλλιώς για πλημμυρικά φαινόμενα με περιόδους επαναφοράς ίσες ή μικρότερες της επιλεγμένης. Η διαχείριση της υφιστάμενης κατάστασης για τον περιορισμό των πλημμυρικών ροών αναφέρεται σε μηχανισμούς πρόγνωσης του περιστατικού, ενημέρωσης των πολιτών για την επικείμενη πλημμυρική επικινδυνότητα, καθώς και συντήρηση των υπαρχόντων υποδομών και αποκατάσταση των ενδεχόμενων βλαβών στα υφιστάμενα αντιπλημμυρικά έργα.

Η εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ διακρίνεται σε τρία στάδια τα οποία συνοπτικά εμπεριέχουν τα εξής:

- i. Στάδιο 1<sup>ο</sup>: προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας και επισήμανση των ευάλωτων περιοχών σε λεκάνες απορροής ποταμών, καθώς και κατασκευή χαρτών με τις χρήσεις γης και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά τους
- ii. Στάδιο 2<sup>ο</sup>: δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας και κινδύνου πλημμύρας
- iii. Στάδιο 3<sup>ο</sup>: κατασκευή σχεδίων διαχείρισης πλημμυρικών φαινομένων

Αξίζει να αναφερθεί πως η παραπάνω οδηγία αποτελεί επέκταση της, παλαιότερης, Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για την ποιότητα των υδάτων στην Ευρώπη.

Σε αυτήν την κατεύθυνση στρέφεται αυτήν η διπλωματική εργασία, με στόχο την υδρολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής του φράγματος Γαδουρά της νήσου Ρόδου. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1.1, στο νησί δεν είναι άγνωστα το πλημμυρικό φαινόμενο και οι επιπτώσεις του, με πιο πρόσφατο εκείνο της 22<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2023.

Πίνακας 1.1: Ιστορικές πλημμύρες στο νησί της Ρόδου (πηγή: [www.yren.gov.gr](http://www.yren.gov.gr))

<b>Κωδικός Περιστατικού</b>	<b>Ημερομηνία</b>	<b>Περιοχή</b>
EYM0041	22/11/1989	Αρχάγγελος
EYM0040	22/11/1989	Ρόδος
EYM0043	22/11/1989	Μαλώνας
EYM0062	20/11/1994	Αρχάγγελος
EYM0063	20/10/1994	Μαλώνας
EYM1078	1998	Ιαλυσός
EYM1079	1998	Βάτι
EYM1080	1998	Ψίνθος
EKT0010	29/11/2004	Αρχάγγελος
EKT0009	11/10/2006	Ρόδος
EKT0006	1/1/2008	Ρόδος
EKT0007	1/1/2008	Ιαλυσός
EYM1769	28/1/2011	Αφάντου
EYM1770	28/1/2011	Καλυθιές
EYM1771	28/1/2011	Αρχάγγελος
EYM1772	28/1/2011	Μάσαρη
EYM1773	28/1/2011	Λάρδος

## 2 Στοιχεία Έργου

### 2.1 Γενικές Πληροφορίες

Το νησί της Ρόδου ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Νήσων Αιγαίου EL14 και συγκεκριμένα στη λεκάνη απορροής Δωδεκανήσων EL38 με έκταση 2714 km<sup>2</sup> στο Νοτιοανατολικό όριο του Αιγαίου Πελάγους. Ο ποταμός Γαδουράς, με μήκος 29km, σύμφωνα με την Ειδική Γραμματεία Υδάτων, πηγάζει από το Όρος Ατταβύρου και το Όρος Προφήτη Ηλία, ενώ αποτελεί έναν από τους κύριους ποταμούς ολόκληρου του ΥΔ Νήσων Αιγαίου. Η κατασκευή του φράγματος κατά μήκος της κοίτης του ποταμού κρίθηκε κατάλληλη για την επίλυση των προβλημάτων υδροδότησης της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Ρόδου, του συνόλου των παράκτιων οικισμών της ανατολικής και βορειοδυτικής πλευράς του νησιού, καθώς και των γειτονικών άνυδρων νησιών όπως Χάλκη, η Σύμη, το Καστελόριζο κ.α. Το φράγμα Γαδουρά αποτελεί το μεγαλύτερο τεχνικό έργο της νησιωτικής Ελλάδας και ένα από τα μεγαλύτερα φράγματα ολόκληρης της χώρας.

Το εν λόγω φράγμα αποτελεί το πρώτο μέρος ενός έργου ευρύτερης κλίμακας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1, με διακριτά τα εξής τμήματα:

- a. Κατασκευή του φράγματος Γαδουρά
- b. Κατασκευή υδραγωγείου για τη μεταφορά του ανεπεξέργαστου νερού προς τις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Νερού (EEN)
- c. Κατασκευή των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Νερού (EEN)
- d. Κατασκευή υδραγωγείου για την τροφοδοσία του επεξεργασμένου νερού στους αποδέκτες



Σχήμα 2.1: Έργο «Υδρευση Ρόδου από το Φράγμα Γαδουρά» (πηγή: [www.een-gadoura.gr](http://www.een-gadoura.gr))

Σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα του έργου, ένα δίκτυο γεωτρήσεων ήταν επιφορτισμένο με την υδροδότηση του μεγαλύτερου μέρους του νησιού έως και το 2015 που τέθηκε σε λειτουργία το σύστημα του φράγματος Γαδουρά. Μάλιστα, αναφέρεται ότι «η αλόγιστη και υπερβολική εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων είχε ως αποτέλεσμα τη σοβαρή πτώση της στάθμης των υπόγειων υδάτων, που πολύ σύντομα οδήγησε στην παροχέτευση υφάλμυρου νερού σε αρκετές περιοχές του νησιού».

Το συνολικό έργο, εκκίνησε το 2002 με την ολοκλήρωση της κατασκευής του να σημειώνεται το 2014. Φορέας υλοποίησης του έργου ήταν, αρχικά, το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, και, τελικά, η Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου. Το οικονομικό κόστος του έργου ανήλθε στα 160.000.000 €, το οποίο συγχρηματοδοτήθηκε κατά 75% από το Ταμείο Συνοχής της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

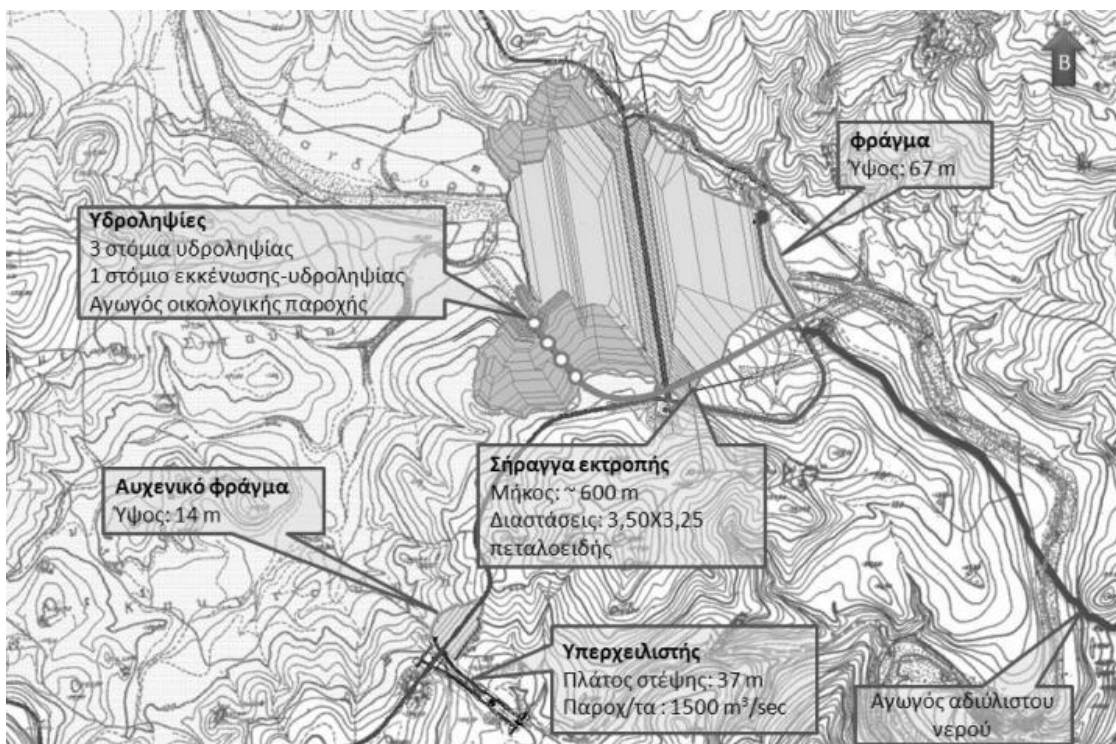


## 2.2 Τεχνικά Στοιχεία

Η δημιουργία του ταμιευτήρα Γαδουρά υλοποιήθηκε με την κατασκευή ενός χωμάτινου φράγματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2 που επίσημα ανήκει στην κατηγορία «Φράγματα Βαρύτητας», καθώς η δυνατότητα κατασκευής φράγματος από σκυρόδεμα κρίθηκε εξαιρετικά δύσκολη εξαιτίας της ύπαρξης μαλακών πετρωμάτων στην ευρύτερη περιοχή θεμελίωσης του σώματος του φράγματος περιορίζοντας έτσι τις επιλογές. Συνολικά, χρησιμοποιήθηκε όγκος  $3.15 \times 10^6 \text{ m}^3$  αδρανών υλικών για την κατασκευή του προφράγματος και του φράγματος, όπου τα υλικά κατασκευής, στο σύνολό τους, λήφθηκαν από δανειοθαλάμους στην κοίτη, από αναβαθμίδες στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος και του ταμιευτήρα, από τις εκσκαφές ή από λατομεία μέσα στον ταμιευτήρα.

Η θέση που τοποθετήθηκε το φράγμα, επιλέχθηκε σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια:

- a. ελαχιστοποίηση του όγκου του αναχώματος
- b. μεγιστοποίηση του όγκου του ταμιευτήρα
- c. βέλτιστη διάταξη των επιμέρους τεχνικών έργων



Σχήμα 2.2: Γενική διάταξη έργων φράγματος Γαδουρά (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας)

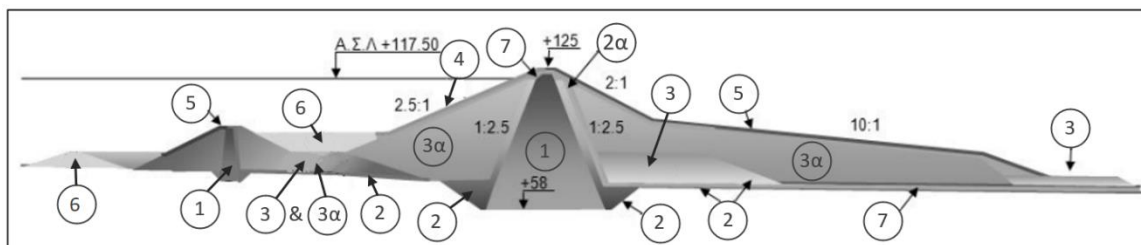
Περιμετρικά του ταμιευτήρα, έχει κατασκευαστεί μια παραλίμνια οδός, συνολικού μήκους περίπου 12.6 km, για την αποκατάσταση της σύνδεσης της μόνιμης οδοποιίας του φράγματος με την υφιστάμενη οδό Λαέρμα – Απόλλωνας.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο ταμιευτήρας του φράγματος Γαδουρά τροφοδοτείται από μια λεκάνη απορροής έκτασης 148 km<sup>2</sup>. Η επιφάνεια αυτή αντιστοιχεί στο 11% της συνολικής επιφάνειας του νησιού. Ταυτόχρονα, δεν πρέπει να αγνοηθεί η εξέλιξη του ταμιευτήρα, με το πέρασ των χρόνων, σε υδροβιότοπο, ενισχύοντας έτσι σημαντικά την χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα αναγράφονται στον Πίνακας 2.1.

Πίνακας 2.1: Τεχνικά στοιχεία ταμιευτήρα (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας)

<b>Ταμιευτήρας</b>	
Συνολική χωρητικότητα:	67.00 hm <sup>3</sup>
Ωφέλιμη χωρητικότητα (+ 117.50):	63.50 hm <sup>3</sup>
Ανώτατη Στάθμη Πλημμύρας (Α. Σ. Π.):	+ 122.10
Ανώτατη Στάθμη Λίμνης (Α. Σ. Λ.):	+ 117.50
Κατώτατη Στάθμη Λίμνης (Κ. Σ. Λ.):	+ 91.00
Επιφάνεια λίμνης:	4.38 km <sup>2</sup>

Σε ότι έχει να κάνει με τη διαζώνιση του ίδιου του φράγματος, το κυρίως φράγμα αποτελείται από έναν αργλικό πυρήνα για τη στεγανότητα του έργου, ένα σώμα στήριξης και αναβαθμίδες άνωθεν και κάτωθεν του, οι οποίες αποσκοπούν στην σταθεροποίησή του, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Τυπική διατομή φράγματος Γαδουρά (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας)

Συνοπτικά, η διαζώνιση της τυπικής διατομής του φράγματος Γαδουρά, σύμφωνα με την οριστική μελέτη του Φράγματος Γαδουρά, που εκδόθηκε το 2002, και όπως αυτή ξεδιπλώνεται στο Σχήμα 2.4 και στο Σχήμα 2.6, αποτελείται από τα εξής:

- i. **Ζώνη 1 - Αδιαπέρατος πυρήνας:** Αποτελείται από αργιλικά υλικά, που συλλέγονται από δανειοθαλάμους της γειτονικής περιοχής, με μέσο πάχος στρώσης 20 cm συνήθως. Το ποσοστό διερχόμενου υλικού από το κόσκινο Νο 4 (4.76 mm) κυμαίνεται από 89.2% έως 100% και από το κόσκινο Νο 200 (0.074 mm) από 53.9% έως 72.7%.
- ii. **Ζώνη 2 - Φίλτρο:** Χρησιμοποιήθηκαν υλικά από την κοίτη του χειμάρρου Γαδουρά, μετά από κοσκίνισμα και ταυτόχρονη πλύση. Κατάντη του πυρήνα, κατασκευάστηκαν τρεις κατακόρυφες ζώνες, το κατάντη φίλτρο πάχους 4.00 m και δύο ζώνες στραγγιστηρίου (**Ζώνη 2α**) πάχους 2.50 m έκαστη. Στη βάση του κατάντη σώματος στήριξης, τοποθετήθηκε αποστραγγιστική στρώση πάχους 1.00 m η οποία περιβάλλεται από άνω και κάτω φίλτρο πάχους 0.50 m.
- iii. **Ζώνη 3 - Κελύφη:** Χρησιμοποιήθηκαν αμμοχάλικα της κοίτης του χειμάρρου Γαδουρά και Λεβαντίνια κροκαλοπαγή με περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα έως 15%. Για την περαιτέρω εξασφάλιση της στράγγισης του κατάντη σώματος στήριξης, τοποθετήθηκε σε επαφή με το παρακατακόρυφο σύστημα στράγγισης, ζώνη από αμμοχάλικα κοίτης (**Ζώνη 3α**), πάχους 10.00 m και μήκους, στη βάση, 60.00 m.
- iv. **Ζώνη 4 - Προστασία ανάντη πρανών:** Χρησιμοποιήθηκε λιθορριπή προστασία από ασβεστολιθικούς ογκόλιθους του φλύσχη Λαέρμα και από το λατομείο παχυστρωματώδους ψαμμίτη, σε μια στρώσης πάχους 1.00 m.
- v. **Ζώνη 5 - Προστασία κατάντη πρανών:** Χρησιμοποιήθηκαν κροκάλες ποταμού και προϊόντα διαλογής αμμοχάλικων, σε μια στρώση μέσου πάχους 0.20 m.
- vi. **Ζώνη 6 - Αναβαθμίσεις:** Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει το ανάχωμα το οποίο αποτελείται από υλικά εκσκαφών δανειοθαλάμων και αποθέσεις ποταμών.

- vii. **Ζώνη 7 - Στραγγιστήριο:** Αποτελείται από διαβαθμισμένο αμμοχάλικο και έχει πάχος ίσο με 0.40 m κατά μέσο όρο, ενώ το μέγιστο μέγεθος του κόκκου φτάνει τα 76 mm.
- viii. **Ζώνη 8:** Πρόκειται για τη τελευταία ζώνη και είναι αυτή που σχετίζεται με την οδοποιία. Περιλαμβάνει μια στρώση η οποία αποτελεί ουσιαστικά τη βάση οδοποιίας, τα υλικά της οποίας είναι επεξεργασμένα και διαβαθμισμένα χαλίκια.

### 2.2.1 Κυρίως Φράγμα

*Πίνακας 2.2: Τεχνικά στοιχεία κυρίως φράγματος (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας)*

<b>Φράγμα</b>	
Όγκος:	2567000 m <sup>3</sup>
Ύψος (από τη θεμελίωση):	67.00 m
Υψόμετρο θεμελίωσης:	+ 58.00
Υψόμετρο στέψης:	+ 125.00
Πλάτος στέψης:	10.00 m
Μήκος στέψης:	585.00 m
Κλίση πρανών ανάντη:	2.5 : 1
Κλίση πρανών κατόντη:	2 : 1

#### **Πυρήνας φράγματος**

Το υλικό από το οποίο κατασκευάστηκε ο πυρήνας του φράγματος προήλθε από δανειοθαλάμους αδιαπέρατου υλικού, οι οποίοι βρισκόντουσαν σε κοντινή απόσταση από τη θέση του φράγματος και μέσα στη ζώνη κατάκλισης του ταμιευτήρα. Η διαδικασία διεύρυνσης τόσο για τη καταλληλότητα όσο και για την επάρκεια του υλικού έγινε με την εκσκαφή σκαμμάτων. Στα σκάμματα έγινε δειγματοληψία υλικού, από διαφορετικά βάθη, για δοκιμές και εργαστηριακούς ελέγχους. Ειδικότερα, οι δοκιμές αυτές αποσκοπούσαν στον προσδιορισμό των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών των

υλικών, καθώς επίσης και στη μελέτη της καταλληλότητας τους για τον εμπλουτισμό της Ζώνης 1. Από τα αποτελέσματα των αρχικών εργαστηριακών ελέγχων η ποσότητα του αδιαπέρατου υλικού κρίθηκε επαρκής για την κατασκευή τριών βασικών κομματιών του έργου: του πυρήνα, του αυχενικού φράγματος και του προφράγματος. Λόγω όμως της τελικής αύξησης των εκσκαφών για τις θεμελιώσεις των παραπάνω, τα υπολειπόμενα ~300000 m<sup>3</sup>, για την κατασκευή των τελευταίων 31 m του αδιαπέρατου πυρήνα έγιναν με αποσαθρωμένο καστανό φλύσχη και προήλθαν από την περιοχή του δεξιού αντερείσματος της λεκάνης.



Σχήμα 2.4: Ζώνες χωμάτινου φράγματος Γαδουρά κατά την κατασκευή (πηγή: [een-gadoura.gr](http://een-gadoura.gr))

Το υψηλότερο σημείο του πυρήνα, ή αλλιώς η στέψη του, πρέπει να υπερβαίνει την υψηλότερη στάθμη πλημμύρας, που υπολογίστηκε στα 123 m. Τα θεμέλια του είναι τοποθετημένα σε τάφρο προκειμένου να τοποθετηθούν σε καλύτερης ποιότητας πέτρωμα. Στο πυθμένα της τάφρου αυτής τοποθετήθηκε αργιλικός σχιστόλιθος, ο οποίος



αποτελεί κατάλληλο πέτρωμα για τα θεμέλια του έργου. Ειδικότερα, αρχικά πραγματοποιήθηκαν εκσκαφές, ενώ στη συνέχεια ακολούθησαν ενέργειες αποκατάστασης και καθαρισμού των θεμελίων. Όταν οι ενέργειες αυτές ολοκληρώθηκαν οι περιοχές της επιφάνειας θεμελίωσης, καθώς και οι ενδεχόμενες ρωγμές εμπλουτίστηκαν με σκυρόδεμα και υδαρές τσιμέντο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στη συνολική επιφάνεια των εκσκαφών, βρέθηκαν κομμάτια από γύψο τα οποία περισυλλέχθηκαν και απομακρύνθηκαν από τα θεμέλια. Εν συνεχεία, έγινε η διάστρωση του τάπητα και πραγματοποιήθηκαν, σε δύο στάδια, τσιμεντενέσεις υπό διαφορετικές πιέσεις. Οι παραπάνω εργασίες φαίνονται στο Σχήμα 2.5. Το υλικό των τσιμεντενέσεων αποτελούνταν από τσιμέντο και νερό σε αναλογία 1 προς 1. Κατά τη διάρκεια των τσιμεντενέσεων στον τάπητα της τάφρου του πυρήνα, δεν καταγράφηκαν σημαντικές απορροφήσεις παρά μόνο στο τμήμα του αριστερού αντιστηρίγματος. Η παρατήρηση αυτή οδήγησε στο να κριθεί αναγκαία η εκτενέστερη γεωλογική μελέτη πραγματοποιώντας γεωτρήσεις δειγματοληψίας και δοκιμές πίεσης.



Σχήμα 2.5: Τσιμεντένεση τάπητα (πηγή: ΑΕΓΕΚ, 2001)

## Κελύφη

Το υλικό για τα κελύφη, ή αλλιώς σώματα στήριξης, του φράγματος προήλθε από δανειοθαλάμους αμμοχάλικων οι οποίοι βρίσκονται κοντά στη θέση του φράγματος. Έγινε διερεύνηση, αφενός, για το βάθος του κατάλληλου υλικού και, αφετέρου, για τη μακροσκοπική του σύσταση.

Η μέγιστη διάσταση κροκάλας που ενσωματώθηκε στα κελύφη του φράγματος είναι 40 cm. Το πάχος στρώσης είναι επίσης 0.40 m. Όσον αφορά τη συμπύκνωση των στρώσεων, αυτές υπόκεινται σε τουλάχιστον τέσσερις (4) διελεύσεις δονητικού κυλινδροσυμπυκνωτή με σκοπό να επιτευχθούν τα προβλεπόμενα ποσοστά συμπύκνωσης, σύμφωνα πάντα με τη σχετική μελέτη. Το σώμα του φράγματος θεμελιώθηκε, κατά κύριο λόγο, επιφανειακά, κάτι που αποδεικνύεται από το σχετικά μικρό βάθος του επιφανειακού καθαρισμού που είναι περίπου στα 1.00 m. Τοπικά, απαιτήθηκε ελαφρά εξομάλυνση της επιφάνειας, ώστε να αποφευχθούν τμήματα με απότομες κλίσεις.



Σχήμα 2.6: Κατασκευή ζωνών κυρίως φράγματος (πηγή: ΑΕΓΕΚ, 2002)

### **Φίλτρα και στραγγιστήρια**

Τα φίλτρα τοποθετούνται με σκοπό να επιτρέπουν στο νερό να διαπερνά τις ζώνες μικρής διαπερατότητας χωρίς να μεταφέρει εδαφικούς πόρους. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι υλικά με κοκκομετρική διαβάθμιση και προέρχονται, συνήθως, από επεξεργασία προϊόντων εκσκαφής δανειοθαλάμου συνδυασμένα με αμμοχάλικα ποταμού. Η διάστρωση και συμπύκνωση των υλικών, στο εν λόγω έργο, έγινε σε οριζόντιες στρώσεις με μέγιστο πάχος στρώσης 40 cm, για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων.

### **Λιθορριπή προστασίας**

Με σκοπό να προστατευθεί αποτελεσματικά το ανάντη πρανές, τοποθετήθηκε στο ανάχωμα μια στρώση από φυσικά λιθάρια, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7 σε συγκεκριμένες διαστάσεις, εμποδίζοντας έτσι τους κυματισμούς που προέρχονται από τον ταμιευτήρα.

Για το προσδιορισμό του μεγέθους της λιθορριπής που θα χρησιμοποιηθεί, πρέπει πρώτα να προσδιορίζεται το ύψος των κυματισμών του ταμιευτήρα από τους οποίους θέλουμε να προφυλάξουμε την κατασκευή μας. Τελικά στο έργο, τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν έχουν μέγιστη διάσταση 70 cm. Το κάτωθεν πρανές του σώματος του φράγματος, προστατεύεται από τη διαβρωτική επίδραση των κατακρημνίσεων, από μια ζώνη από κροκάλες ποταμού με μέγιστη διάσταση 20 cm.





*Σχήμα 2.7: Κατασκευή ζώνης προστασίας κυρίως φράγματος (πηγή: ΑΕΓΕΚ, 2003)*

### **2.2.2 Σήραγγα εκτροπής**

Η σήραγγα εκτροπής, πεταλοειδούς διατομής, κατασκευάστηκε στο δεξιό αντέρεισμα του φράγματος, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2, με τεχνικά χαρακτηριστικά όπως αναγράφονται στον Πίνακα 2.3. Για την αποφυγή παραμορφώσεων, λόγω των πτωχών μηχανικών ιδιοτήτων του ισχυρά αποσαθρωμένου αργιλικού σχιστόλιθου, χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα C20/25 στο δάπεδο της σήραγγας, πάχους 1.00 m, και στα τμήματα του θόλου και των παρειών, πάχους 0.35 m. Για τη διάνοιξή της εφαρμόστηκε η New Austrian Tunneling Method, ή αλλιώς μέθοδος NATM.

### Σήραγγα Εκτροπής

---

Ύψος:	3.25 m
Πλάτος:	3.50 m
Μήκος:	596.75 m
Μήκος εισόδου CUT & COVER:	47.50 m
Μήκος εξόδου CUT & COVER:	44.23 m



Σχήμα 2.8: Κατασκευή τμήματος εισόδου της σήραγγας εκτροπής (πηγή: sofios.gr)

Στην είσοδο και έξοδο της σήραγγας, εντοπίζεται αργιλικός σχιστόλιθος με μέτρια έως έντονη αποσάθρωση, όπως επίσης και στον κορμό της σήραγγας, όπου ο αργιλικός σχιστόλιθος παρουσιάζει ελλειπείς μηχανικές ιδιότητες. Μελετώντας τα προαναφερθέντα, κρίθηκε αναγκαία η ενίσχυση των στομών προ της διάτρησής τους με συγκεκριμένα δοκάρια προ πορείας, όπως φαίνεται στην τυπική διατομή του Σχήμα 2.9. Με αυτή την κατασκευαστική τεχνική αποφεύγονται ενδεχόμενες αστοχίες και αστάθειες στο μέτωπο κατά την πρώτη περίοδο της διάτρησης. Η τοποθέτηση δοκαριών προ πορείας κρίθηκε απαραίτητη και για την υπόλοιπη σήραγγα, καθώς οι μηχανικές ιδιότητες του σχιστόλιθου σε συνδυασμό με το μικρό ύψος των υπερκείμενων (περίπου





### Σύστημα Υδροληψίας

---

	Υ1:	+ 99.00
Στόμια υδροληψίας – εκκένωσης Φ1000:	Υ2:	+ 104.50
	Υ3:	+ 111.50
Στόμιο εκκένωσης – υδροληψίας Φ1200:	ΥΕ:	+ 90.00
Αγωγός υδροληψίας – εκκένωσης:	Φ1200	
Αγωγός αποχέτευσης φερτών:	Φ600	
Αγωγός οικολογικής παροχής:	Φ350	

Τα στόμια, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.10, έχουν τη μορφή μικρών χαλύβδινων πύργων οι οποίοι έχουν επενδυθεί με οπλισμένο σκυρόδεμα. Επιπλέον, στην στέψη τους υπάρχει κατάλληλο κινητό πώμα έμφραξης του στομίου από χάλυβα, το οποίο χρησιμοποιείται σε έκτακτες καταστάσεις ανάγκης.



Σχήμα 2.10: Στόμια υδροληψίας - εκκένωσης (πηγή: ΑΕΓΕΚ, 2005)

### 2.2.3 Πρόφραγμα

Το πρόφραγμα είναι η κατασκευή η οποία βοηθά τόσο στην αρχική εκτροπή του ποταμού μέσα από τη σήραγγα εκτροπής όσο και στην προστασία του χώρου κατασκευής του φράγματος από το νερά του ποταμού , ώστε η κατασκευή του έργου να λάβει χώρα “εν ξηρώ”. Ο άξονας του προφράγματος είναι παράλληλος με τον άξονα του φράγματος και απέχει 150 m από αυτόν. Το έργο περιλαμβάνει το βασικό και το δευτερεύον πρόφραγμα. Το Δευτερεύον Ανάντη Πρόφραγμα (Δ. Α. Π.) είναι κατασκευασμένο από διάφορα υλικά και έχει πλάτος 6 m με κλίση πρανών 3 : 1 με τη στέψη του να φτάνει στο + 85.00. Ουσιαστικά, αποτελεί ένα προσωρινό εμπόδιο για το ποτάμι έως και την περάτωση του βασικού προφράγματος όπου και ενσωματώνεται. Το Κυρίως Ανάντη Πρόφραγμα (Κ. Α. Π.), είναι κατασκευασμένο από αμμοχάλικα ποταμιού, η στέψη του οποίου φτάνει στο +98.00 και έχει πλάτος 10.00 m. Όσον αφορά τις κλίσεις των πρανών του, αυτές παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις και συγκεκριμένα από τα θεμέλια έως το +85.00 κατασκευάστηκε με κλίση 3 : 1 ενώ από το +85.00 έως και τη στέψη του στο +98.00 η κλίση είναι 2 : 1.

*Πίνακας 2.5: Τεχνικά στοιχεία προφράγματος (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας)*

#### **Κυρίως Ανάντη Πρόφραγμα (Κ. Α. Π.)**

---

Όγκος: 678000 m<sup>3</sup>

Ύψος (από τη θεμελίωση): 27.00 m

Υψόμετρο θεμελίωσης: + 71.00

Υψόμετρο στέψης: + 98.00

Πλάτος στέψης: 10.00 m

Μήκος στέψης: 436.90 m

Κλίση πρανών: 2 : 1

Το συγκεκριμένο κομμάτι του έργου αποτελεί τόσο «ασπίδα» του έργου κατά την κατασκευή, όσο και δοκιμαστικό ανάχωμα. Το πρόφραγμα κατασκευάστηκε σε τρία (3)

στάδια : έως το +85.00, έως το +95.00 και τελικά έως το +98.00. Αυτό έγινε για να είναι πιο εύκολη η περισυλλογή και αξιολόγηση των αδρανών, καθώς επίσης και η εξαγωγή βάσιμων πορισμάτων σχετικά με το έργο. Η κατασκευή του προφράγματος έγινε με παρόμοια υλικά με αυτά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του φράγματος. Όσον αφορά την στεγανότητα του προφράγματος, αυτή εξασφαλίστηκε μέσω της κεντρικής ζώνης του πυρήνα η οποία αποτελείται από αδιαπέρατο υλικό. Για τα θεμέλια δημιουργήθηκε τάφρος βάθους 5.00 m, για την οποία έγιναν εγκάρσιες εκσκαφές στην κοίτη του χειμάρρου.

#### **2.2.4 Αυχενικό Φράγμα**

Το αυχενικό φράγμα βρίσκεται 650 με 700 m νοτιοδυτικά από το κυρίως φράγμα με σκοπό μαζί με τη στέψη του υπερχειλιστή να «κλείνουν» την ισοϋψή των +117.50, η οποία είναι και η Ανώτατη Στάθμη Λειτουργίας (Α. Σ. Λ.) της λεκάνης κατάκλυσης. Το καθαρό μήκος του αυχενικού φράγματος είναι περίπου 138 m και η στέψη του βρίσκεται στο +125.00 από τη στάθμη της θάλασσας. Όσον αναφορά τη κλίση των πρανών του



*Σχήμα 2.11: Κατασκευή αυχενικού φράγματος (πηγή: ΑΕΓΕΚ, 2001)*

αυχενικού φράγματος, αυτή είναι 2 : 1. Αξίζει να αναφερθεί ότι για λόγους σταθεροποίησης του αυχενικού φράγματος, στο υψόμετρο +115.00 και στο ανάντη πρηνές κατασκευάστηκα σταθεροποιητικός αναβαθμός, πλάτους 10.00 m.

Στη προσπάθεια βελτίωσης της στεγανότητας της θεμελίωσης του αυχενικού φράγματος προβλέφθηκε η κατασκευή αδιαπέραστου τάπητα στα ανάντη του πυρήνα, πάχους 1.00 m και έκτασης έως και 20.00 m από τον άξονα του σώματός του.

*Πίνακας 2.6: Τεχνικά στοιχεία αυχενικού φράγματος (πηγή: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας)*

### **Αυχενικό Φράγμα**

---

Όγκος:	88400 m <sup>3</sup>
Ύψος (από τη θεμελίωση):	14.00 m
Υψόμετρο θεμελίωσης:	+ 111.00
Υψόμετρο στέψης:	+ 125.00
Πλάτος στέψης:	8.00 m
Μήκος στέψης:	138.30 m
Κλίση πρηνών:	2 : 1

## **2.2.5 Σύστημα Υπερχειλίσης**

Το σύστημα υπερχειλίσης του έργου (βλ. Σχήμα 2.12) αποτελείται από πέντε (5) επιμέρους μέρη:

- i. Διώρυγα Προσαγωγής: μήκος 17.95 m και υψόμετρο στέψης +115.00, που βοηθά στην ομαλή καθοδήγηση του νερού προς το έργο υπερχειλίσης,
- ii. Υπερχειλιστής: μέγιστο πλάτος 36.60 m και υψόμετρο στέψης +117.50, με παροχή εκροής 890 m<sup>3</sup>/s,
- iii. Διώρυγα Πτώσης: μήκος 111.00 m, πλάτος από 15.00 έως 31.00 m και κλίση 8%,
- iv. Λεκάνη Ηρεμίας: έχει μορφή ανάποδου Π, πλάτος 15.00 m και μήκος 96.50 m,



- ν. Διώρυγα Φυγής: οδηγεί σε φυσικό χείμαρρο που εκβάλει στον ποταμό Γαδουρά ύστερα από 950 m. Στη διατομή της υπάρχουν πλάκες τόσο με εγκάρσιες όσο και διαμήκεις οδοντώσεις αλλά και κατακόρυφοι πλευρικοί τοίχοι αντιστήριξης από σεραζανέτια (βλ. Σχήμα 2.13) με αρμούς ανά 10 m. Η διώρυγα φυγής εδράζεται σε στρώση διαπερατής επίχωσης πάχους 1.50 m.



Σχήμα 2.12: Αεροφωτογραφία του υπερχειλιστή και του αυχενικού φράγματος (πηγή: [www.eep-gadoura.gr](http://www.eep-gadoura.gr))





Σχήμα 2.13: Κατάντη όψη του υπερχειλιστή (πηγή: [www.een-gadoura.gr](http://www.een-gadoura.gr))

## 2.2.6 Σήραγγες Αποστράγγισης

Οι σήραγγες έχουν κυκλικό θόλο και βοηθούν στην αποστράγγιση των αντερεισμάτων κατάντη του άξονα. Το σχήμα τους είναι ορθογωνικό πλάτους 2.50 m.

Στο αριστερό αντέρεισμα κατασκευάστηκε σήραγγα συνολικού μήκους 380 m ενώ στο δεξιό αντέρεισμα η σήραγγα έχει μήκος 330m και παροχετεύει τα νερά της αποστράγγισης στη σήραγγα υδροληψίας - εκκένωσης.

Στις σήραγγες αποστράγγισης τοποθετήθηκαν πλαίσια από χάλυβα με την μεταξύ τους απόσταση στο 1.00 m. Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας έγινε από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 και πάχους 10 cm στο θόλο, ενώ στο δάπεδο κατασκευάστηκε μικρό κανάλι για την απορροή των υδάτων αποστράγγισης.

### 3 Θεωρητικό Υπόβαθρο

#### 3.1 Όμβριες Καμπύλες

Η ύπαρξη βροχομετρικών σταθμών, κοντά στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, είναι μείζονος σημασίας. Αυτό προκύπτει από τη σημασία της ύπαρξης καταγεγραμμένων επεισοδίων βροχόπτωσης για τη μελέτη και θωράκιση από μελλοντικά επεισόδια. Αυτό ακριβώς έχει κάνει το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, το 2015, στο «Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Νήσων Αιγαίου (Βορείου και Νοτίου Αιγαίου)». Σύμφωνα με αυτό, η γενική μορφή μιας όμβριας καμπύλης έχει τη μορφή

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \quad (3.1)$$

- i : μέγιστη ένταση βροχόπτωσης (mm/h)
- a(T) : κατάλληλη συνάρτηση εξαρτώμενη από την περίοδο επαναφοράς T
- b(d) : κατάλληλη συνάρτηση εξαρτώμενη από τη διάρκεια βροχόπτωσης d

Παρότι στην Ελλάδα έχει γίνει ευρύτατα γνωστή η κατανομή Gumbel για την περιγραφή μέγιστων εντάσεων βροχής, η κατανομή Γενική Ακραίων Τιμών (Γ. Α. Τ.) αποδεικνύεται καταλληλότερη, όταν μελετώνται μεγάλες περίοδοι επαναφοράς. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η τελική μορφή της εξίσωσης (3.1) που χρησιμοποιήθηκε είναι

$$i(d,T) = \frac{\lambda' \cdot (T^\kappa - \psi')}{\left(1 + \frac{d}{\theta}\right)^\eta} \quad (3.2)$$

- $i(d,T)$  : μέγιστη ένταση βροχόπτωσης (mm/h)  
 $d$  : διάρκεια βροχόπτωσης (h)  
 $T$  : περίοδος επαναφοράς (γ)  
 $\lambda'$  : παράμετρος κλίμακας  $> 0$   
 $\kappa$  : αδιάστατη παράμετρος σχήματος  $> 0$   
 $\psi'$  : παράμετρος θέσης  
 $\theta$  : παράμετρος προς εκτίμηση  $> 0$   
 $\eta$  : αδιάστατη παράμετρος προς εκτίμηση  $> 0$  και  $< 1$

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην υδραυλική μελέτη μιας λεκάνης απορροής αποτελεί ο χρόνος συρροής, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται μια σταγόνα για να φτάσει στο σημείο εξόδου από το πιο απομακρυσμένο σημείο της υπό εξέταση λεκάνης. Η πιο διαδεδομένη σχέση εκτίμησης του χρόνου συρροής, ή συγκέντρωσης, είναι η εμπειρική σχέση κατά Giandotti

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{\Delta z}} \quad (3.3)$$

- $t_c$  : Χρόνος συγκέντρωσης (h)  
 $A$  : επιφάνεια της λεκάνης απορροής (km<sup>2</sup>)  
 $L$  : μήκος της κύριας μισγάγγειας (km)  
 $\Delta z$  : υψομετρική διαφορά του μέσου υψομέτρου της λεκάνης από το υψόμετρο εξόδου της (m)

Η σημασία του προσδιορισμού του παραπάνω χρόνου έγκειται στο ότι, σύμφωνα με την επίσης εμπειρική εξίσωση του Mockus V., μπορεί πλέον να προσδιορισθεί ο χρόνος υστέρησης της πλημμυρικής αιχμής σύμφωνα με τη σχέση

$$t_L = 0.6 \cdot t_C \quad (3.4)$$

Είναι συνήθης πρακτική η διάρκεια του επεισοδίου που μελετάται, να λαμβάνεται ως πολλαπλάσιο του χρόνου συρροής της εκάστοτε λεκάνης απορροής. Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε διάρκεια επεισοδίου ίσου με 3 φορές το χρόνο συρροής της υπό εξέταση λεκάνης απορροής.

### 3.2 Επιφανειακή Ολοκλήρωση Βροχόπτωσης

Η όμβρια καμπύλη ενός σταθμού μας αναδεικνύει την σημειακή βροχόπτωση στο σενάριο που εξετάζεται για τον συγκεκριμένο βροχομετρικό σταθμό. Για τη μελέτη του φαινομένου όμως, απαιτείται η πρόβλεψη της επιφανειακής βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής που μελετάται. Η συνηθέστερη μέθοδος επιφανειακής ολοκλήρωσης της βροχόπτωσης, αποτελεί η μέθοδος πολυγώνων *Thiessen*, εξαιτίας μεταξύ άλλων των λόγων που αναφέρονται στον Πίνακα 3.1.

Με βάση τη μέθοδο η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε υποπεριοχές, τα όρια των οποίων προκύπτουν από τις μεσοκαθέτους στις ευθείες που ενώνουν δύο παρακείμενους σταθμούς. Οι υποπεριοχές έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό ότι περιλαμβάνουν όλα τα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στον σταθμό που περικλείει η υποπεριοχή αυτή, παρά σε οποιοδήποτε άλλο σταθμό. Βασική παραδοχή της μεθόδου αυτής είναι ότι κάθε σημείο της περιοχής δέχεται το ίδιο ύψος βροχής με τον πλησιέστερο προς αυτό σταθμό.

Πίνακας 3.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου πολυγώνων Thiessen

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Πολύ απλή εφαρμογή</li> <li>2. Ικανοποιητικά αποτελέσματα σε περιοχές με ομαλό ανάγλυφο</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Δεν λαμβάνει υπόψιν το εδαφικό ανάγλυφο</li> <li>2. Σε δύο γειτονικά σημεία εκατέρωθεν μιας ευθείας που διαχωρίζει δύο περιοχές, μπορεί να αντιστοιχίσει πολύ διαφορετικά ύψη βροχής</li> </ol>

Η μέθοδος θεωρεί την επιφανειακή βροχόπτωση ως γραμμικό συνδυασμό των σημειακών βροχοπτώσεων, και υπολογίζεται από τη σχέση

$$h_s = \sum_{i=1}^k w_i \cdot h_i \quad (3.5)$$

$h_s$  : ύψος βροχής στη λεκάνη απορροής (mm)

$w_i$  : βάρος βροχομετρικού σταθμού  $i < 1$

$h_i$  : σημειακό ύψος βροχής στον σταθμό  $i$  (mm)

$k$  : πλήθος διαθέσιμων βροχομετρικών σταθμών

### 3.3 Υετογράφημα

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές μελετών εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, πλημμύρες με περίοδο επαναφοράς μεγαλύτερη των 1000 ετών, ενδείκνυται να μελετώνται με τη μέθοδο της δυσμενέστερης διάταξης. Ταυτόχρονα, η μελέτη σε μια λεκάνη απορροής, που έχει κατασκευαστεί φράγμα, προτείνεται κι αυτή να γίνεται με την παραπάνω μέθοδο. Πρακτικά, η μέθοδος

της δυσμενέστερης διάταξης δε διαφέρει από την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ, παρά μόνο στον τρόπο διάταξης των τμηματικών επιφανειακών βροχοπτώσεων, όπου στην πρώτη μέθοδο ακολουθείται πιστά το Μοναδιαίο Υδρογράφημα της εν λόγω λεκάνης απορροής και τελικά το αντικατοπτρίζει, σε αντίθεση με την τελευταία όπου μοιράζονται κεντροβαρικά στη διάρκεια της βροχόπτωσης που μελετάται.

Και οι δύο μέθοδοι αποσκοπούν στη δημιουργία ενός ρεαλιστικού υετογραφήματος και παρουσιάζουν τα εξής τρία (3) σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι απλούστερων μεθόδων:

1. Βασίζονται αποκλειστικά σε δεδομένα που έχουν μετρηθεί στην περιοχή μελέτης
2. Καταλήγουν σε ένα μοναδικό υετογράφημα σχεδιασμού ή ελέγχου, χωρίς να απαιτείται καμία πρόσθετη παραδοχή
3. Έχει αποδειχθεί ότι οδηγούν σε εύλογα και συνεπή αποτελέσματα

### **3.4 Ενεργή Βροχόπτωση**

Φυσικά, ένα τέτοιο φαινόμενο δεν είναι τόσο εύκολο να μελετηθεί όπως μπορεί φαινομενικά να μοιάζει. Σημαντικό ρόλο στις πλημμυρικές παροχές παίζει και η κατάσταση κορεσμού που επικρατεί στο έδαφος της λεκάνης απορροής. Ο κορεσμός αυτός σχετίζεται με την δυνατότητα του εδάφους να απορροφήσει τμήμα των κατακρημνίσεων στους πόρους του και κατ' επέκταση να μειώσει αισθητά το ύψος των πλημμυρικών παροχών. Από τα προηγούμενα, προκύπτει η ιδιαίτερη σημασία της ύπαρξης δεδομένων για την κατηγορία διηθητικότητας που ανήκουν τα εδάφη της περιοχής μελέτης, όπως επίσης και οι κατηγορίες των χρήσεων γης εντός αυτής. Η τελευταία πληροφορία είναι διαθέσιμη από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Corine Land Cover όπου με ειδικούς κωδικούς (111, 112, 121, ..., 523) γίνεται η σύζευξη των χρήσεων γης με το υπέδαφος σε ότι έχει να κάνει με τη διηθησιμότητα της περιοχής.

Πίνακας 3.2: Κατάταξη εδαφών σύμφωνα με τη διηθητικότητα τους (πηγή: floods.ypeka.gr)

Ομάδα	Περιγραφή
A	Εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης
B	Εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης
C	Εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης
D	Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης

Συνδυάζοντας τις παραπάνω πληροφορίες, η ενεργή βροχόπτωση, μέσω της μεθόδου *Soil Conservation Service*, προσδιορίζεται από τις εξισώσεις

$$h_e = 0, \quad h \leq h_{a0} \quad (3.6)$$

$$h_e = \frac{(h - 0.2 \cdot S)^2}{h + 0.8 \cdot S}, \quad h > h_{a0} \quad (3.7)$$

$h_e$  : ενεργό ύψος βροχής (mm)

$h$  : ολικό ύψος βροχής (mm)

$h_{a0}$  : ύψος αρχικού ελλείματος (mm)

$S$  : μέγιστη δυνατική κατακράτηση του εδάφους (mm)

Όπου

$$h_{a0} = 0.2 \cdot S \quad (3.8)$$

$$S = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (3.9)$$

$$CN = \sum_{i=1}^n \left( \frac{A_i}{A} \cdot CN_i \right) \quad (3.10)$$

- CN : αριθμός καμπύλης απορροής  
 A<sub>i</sub> : έκταση της υποπεριοχής i  
 CN<sub>i</sub> : αριθμός καμπύλης απορροής της υποπεριοχής i  
 A : έκταση της λεκάνης απορροής  
 n : πλήθος υποπεριοχών

### 3.5 Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Για την εκτίμηση της πλημμυρικής αιχμής και για την κατανομή της πλημμύρας γενικότερα, χρησιμοποιείται η μέθοδος του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος, το οποίο εισάχθηκε στην υδρολογική επιστήμη για πρώτη φορά από τον Sherman, το 1932.

Αρχικά, μοναδιαίο υδρογράφημα ονομάζεται το υδρογράφημα απορροής, το οποίο προκύπτει από ενεργό βροχόπτωση, κατανεμημένη ομοιόμορφα σε όλη την έκταση της λεκάνης, με μοναδιαίο ύψος 10 mm και συγκεκριμένης διάρκειας. Η ένταση είναι και αυτή ομοιόμορφη.

Οι παραδοχές που ακολουθεί η θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι οι εξής (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018):

1. Σε συγκεκριμένη υδρολογική λεκάνη, βροχές που έχουν ίση διάρκεια και προκαλούν απορροή, δίνουν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια περίπου χρονική βάση, χωρίς να επηρεάζει πουθενά η ένταση της βροχής.
2. Σε δεδομένη υδρολογική λεκάνη, η άμεση απορροή που προκαλείται από μία συγκεκριμένη βροχή, είναι ανεξάρτητη από τις προηγούμενες βροχές ή τις επόμενες.
3. Η κατάσταση της υδρολογικής λεκάνης παραμένει αμετάβλητη, σε σχέση με το χρόνο.

Όσον αφορά την πρώτη παραδοχή, αξίζει να σημειωθεί ότι η αποθηκευτική ικανότητα των ρεμάτων αυξάνεται, όσο η στάθμη του νερού αυξάνει. Αυτό σημαίνει ότι, για βροχές



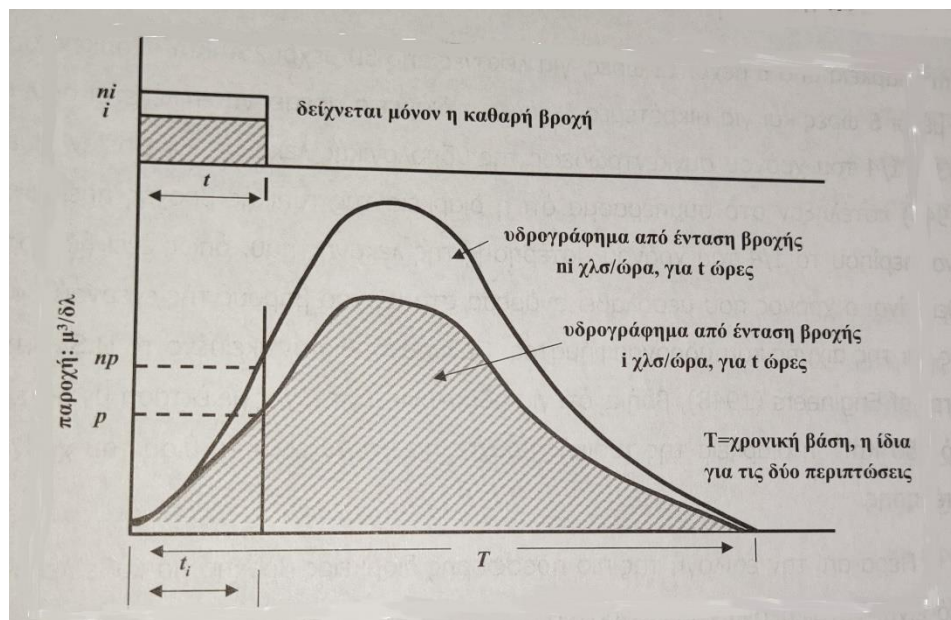
παρόμοιας διάρκειας, όσο αυξάνεται η ένταση της βροχής, τόσο αυξάνεται και ο όγκος που αποθηκεύεται στα ρέματα.

Όσον αφορά τη δεύτερη παραδοχή, επισημαίνεται ότι η απορροή επηρεάζεται από τις βροχές που έχουν προηγηθεί. Δηλαδή οι προηγούμενες βροχές αποτελούν ουσιαστικό παράγοντα για τη βασική απορροή, ανεξαρτήτου πόσο καιρό πριν έπεσαν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το μοναδιαίο υδρογράφημα να μη μπορεί να εφαρμοστεί στο σύνολο της απορροής, αλλά μόνο στην άμεση απορροή, δηλαδή στο μέρος του υδρογραφήματος, που μένει μετά την αφαίρεση της βασικής απορροής.

Τέλος, όσον αφορά την τελευταία παραδοχή, αναφέρεται ότι ο μόνος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την υδρολογική κατάσταση των λεκανών είναι η ανθρώπινη επέμβαση, δηλαδή η κατασκευή έργων ή φυτοκαλύψεων.

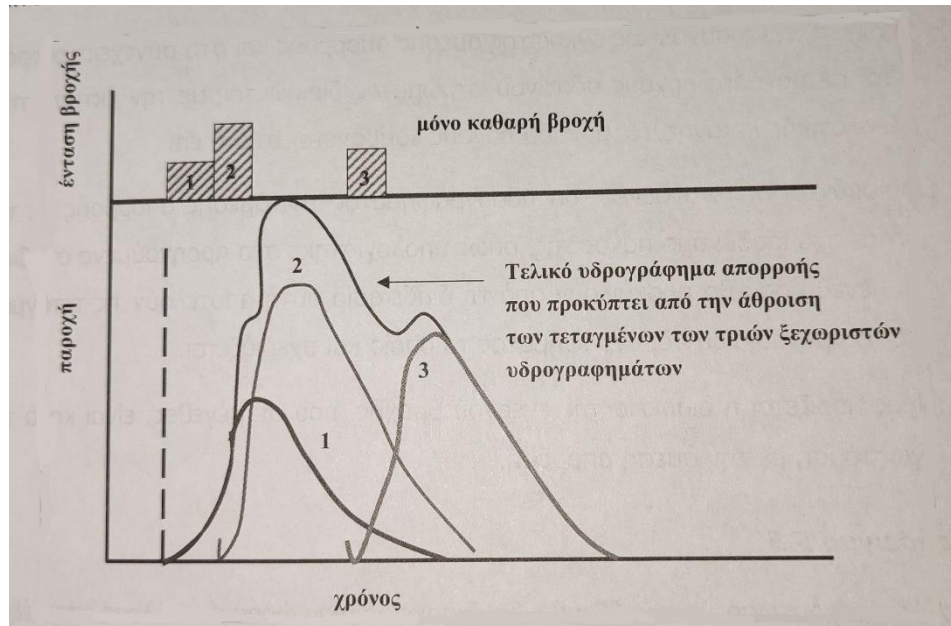
Η θεωρία του *Μοναδιαίου Υδρογραφήματος* βασίζεται σε δύο (2) θεμελιώδεις αρχές:

- a. Αρχή της αναλογίας: δύο ενεργές βροχοπτώσεις ίδιας διάρκειας, διαφορετικού ύψους και σταθερής χρονικά και χωρικά έντασης, παράγουν υδρογραφήματα με την ίδια χρονική βάση, όπου σε κάθε χρονική στιγμή ο λόγος των παροχών τους είναι ίσος με τον λόγο των υψών τους (ή ισοδύναμα των εντάσεων)



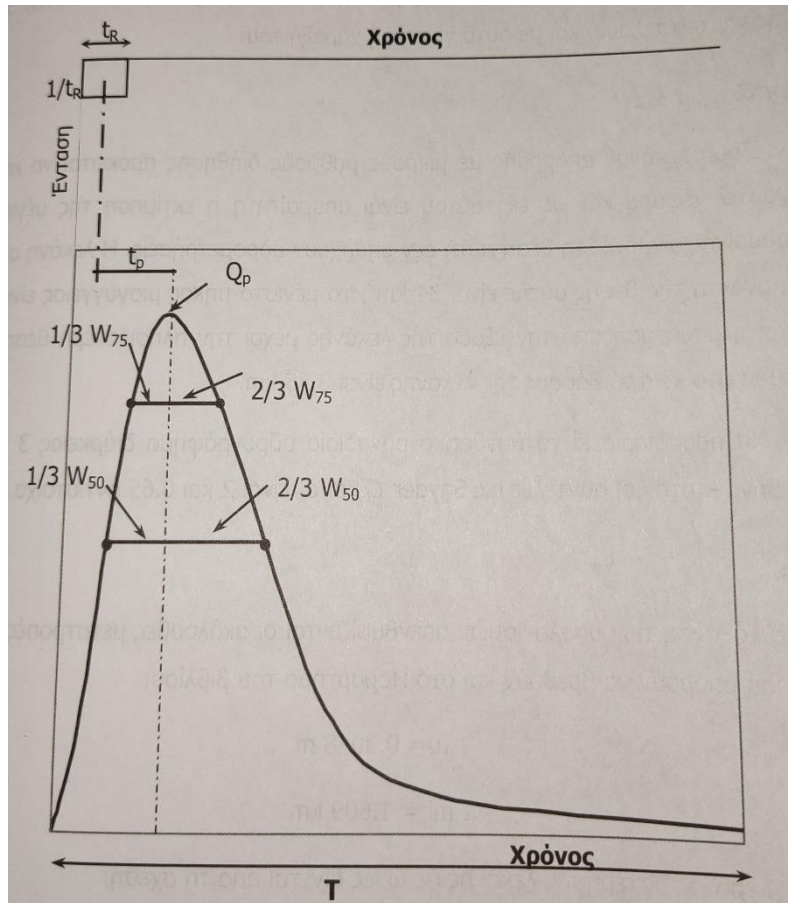
Σχήμα 3.1: Η αρχή της αναλογίας στο Μοναδιαίο Υδρογράφημα (πηγή: Βιβλίο "Τεχνική Υδρολογία, 5η Έκδοση")

- b. Αρχή της επαλληλίας: το συνολικό υδρογράφημα που παράγεται από διαδοχικές βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με τεταγμένες (δηλαδή τιμές επιφανειακή παροχής) το άθροισμα των τεταγμένων των επιμέρους υδρογραφημάτων



Σχήμα 3.2: Η αρχή της επαλληλίας στο Μοναδιαίο Υδρογράφημα (πηγή: Βιβλίο "Τεχνική Υδρολογία, 5η Έκδοση")

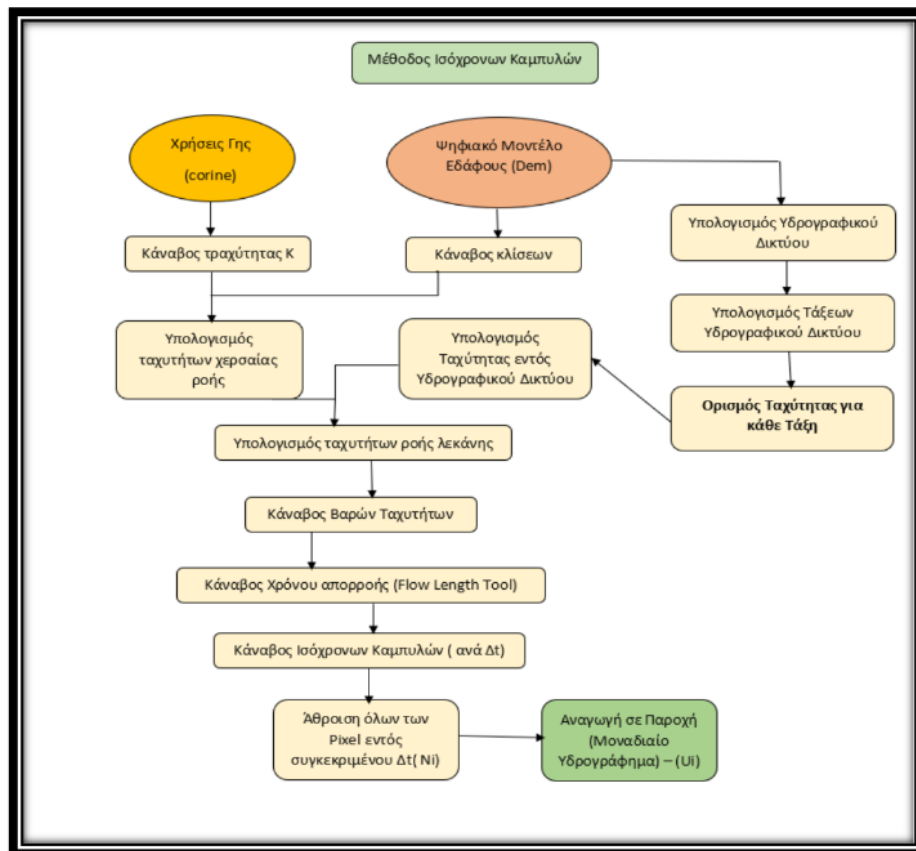
Επιπλέον, η αρχή αυτή, επηρεάζεται άμεσα από τη γραμμικότητα της λεκάνης, όπου δηλαδή οι όγκοι της απορροής είναι ευθέως ανάλογοι των όγκων βροχής. (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2018). Στο Σχήμα 3.3, που ακολουθεί, παρουσιάζεται η μορφή ενός Συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος κατά Snyder. Αυτή η περίπτωση εμπειρικού μοναδιαίου υδρογραφήματος "εφαρμόζεται στις θέσεις όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις". (Μιμίκου Μ. & Μπαλτάς Ε., 2012)



Σχήμα 3.3: Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα κατά Snyder (πηγή: Βιβλίο “Τεχνική Υδρολογία, 5η Έκδοση”)

Η υδρολογική ανάλυση ξεκινά με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών έχοντας ως τελικό σκοπό τη διαμόρφωση του Μ.Υ.Γ. βασιζόμενο στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ροής του Σχήμα 3.4. Πρακτικά, κατασκευάζονται ισόχρονες καμπύλες, δηλαδή υπολογισμός τμημάτων εντός της περιοχής μελέτης, που απορρέουν στο ίδιο χρονικό βήμα. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο ιστόγραμμα επιφάνειας - χρόνου, μέσω του οποίου εκφράζεται η σχέση μεταξύ του χρόνου διαδρομής της απορροής και της επιφάνειας της λεκάνης απορροής για συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Δηλαδή, διαχωρίζεται η λεκάνη σε υπολεκάνες με καμπύλες, οι οποίες καλούνται ισόχρονες (Χριστοφίδης, 2008). Ισόχρονες καμπύλες ονομάζεται ο γεωμετρικός τόπος των σημείων, όπου οι σταγόνες της βροχής ενός επεισοδίου απέχουν την ίδια απόσταση από την έξοδο της λεκάνης σε χρονικό επίπεδο

(Καββαδά, 2012). Το γεγονός ότι κάθε καμπύλη περιλαμβάνει σημεία διαφορετικής χρονικής απόστασης από το σημείο της εξόδου της λεκάνης, έχει ως αποτέλεσμα να μην υπάρχει διασταύρωση τους (Dooge, 1959). Μέσω της μεθόδου αυτής και λαμβάνοντας υπόψη τον απαιτούμενο χρόνο που χρειάζεται το νερό για να φτάσει σε όλα τα σημεία της λεκάνης γίνεται ο μετασχηματισμός της ενεργού βροχόπτωσης σε απορροή. Για την υπό μελέτη λεκάνη, η μέθοδος αυτή λαμβάνει χώρα στο περιβάλλον ArcMap και εν συνεχεία στο λογισμικό HEC-HMS. Το DEM, ο χάρτης χρήσεων γης (Corine, 2012), όπως και το υδρογραφικό δίκτυο, συνίσταται τα δεδομένα εισόδου αυτής της μεθόδου.



Σχήμα 3.4: Συνοπτική παρουσίαση διαδικασιών (πηγή: Μπαλτάς και Μπουρνάς, 2021)

Οι επιφανειακές καλύψεις κατά Corine μετασχηματίζονται σε ένα νέο raster, ανάλογα με το συντελεστή τραχύτητας του εδάφους (k), το οποίο αντιστοιχεί στην εκάστοτε κατηγορία χρήσης γης. Το μέγεθος των φατνίων ορίζεται να είναι 5 m x 5 m, ώστε να συμπίπτει με το μέγεθος αυτών του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Επίσης,

δημιουργείται ο κানাβος κλίσεων της περιοχής με τη χρήση του εργαλείου Slope του ArcMap, με σκοπό να προσεγγιστεί η ταχύτητα ροής. Η ταχύτητα ροής διαχωρίζεται είτε σε ποτάμια (overchannelflow) η οποία προκύπτει βάση της χερσαίας ταχύτητας ροής σε συνδυασμό με την ιεράρχηση του υδρογραφικού δικτύου είτε σε χερσαία (overland flow) η οποία βασίζεται στη κλίση του εδάφους και στις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης. Η χερσαία ταχύτητα ροής εκτιμάται από τη παρακάτω εξίσωση (Μαμάσης, 2007):

$$V = k \cdot \sqrt{S} \quad (3.11)$$

k : τραχύτητα εδάφους

S : κλίση εδάφους

Οι υπολογισμοί λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον του ArcMap, με τη χρήση του εργαλείου Raster Calculator του ArcToolbox, μέσω του οποίου υλοποιούνται οι απαραίτητες μαθηματικές πράξεις. Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας αποτελεί ο κানাβος της χερσαίας ροής. Στη συνέχεια παράγεται ο καναβος κατεύθυνσης ροής. Αυτό γίνεται, μέσω της εντολής Flow Direction, για την απόδοση της κατεύθυνσης ροής για κάθε φατνίο, προς τα οκτώ γειτονικά του, με βάση τη μέγιστη κλίση. Εν συνεχεία μέσω του εργαλείου Flow Accumulation, παράγεται ο καναβος της συγκέντρωσης της ροής όπου υπολογίζεται για κάθε φατνίο, το πλήθος αυτών, που απορρέουν σε αυτό. Έπειτα, επιλέγεται το κατώφλι, ως προς το πλήθος των κελιών, τα οποία απαιτείται να απορρέουν στο υπό εξέταση φατνίο, έτσι ώστε να θεωρηθεί ότι ανήκει στο υδρογραφικό δίκτυο. Τέλος, αφού προκύψει το υδρογραφικό, πραγματοποιείται ιεράρχηση των κλάδων σε τάξεις, βάσει μεθόδου Strahler και αυτό γίνεται στο λογισμικό ArcMap, μέσω του εργαλείου Stream Order.

Στο επόμενο βήμα, γίνεται πολλαπλασιασμός του κανάβου χερσαίας ταχύτητας ροής με το επίπεδο που δημιουργήθηκε προηγουμένος, και έτσι προκύπτει ο καναβος ταχύτητας

ροής του υδρογραφικού, μέσω του εργαλείου Raster Calculator. Με το ίδιο εργαλείο εξάγεται και ο κλίμακος των αθροιστικών ταχυτήτων ροής (velocity), με απαραίτητες παραμέτρους την υδρογραφική και χερσαία ροή.

Επιπλέον, το εργαλείο Flow Length του ArcToolbox, υπολογίζεται το μήκος διαδρομής του κάθε φατνίου, μέχρι την έξοδο. Για να γίνει όμως αυτό χρειάζεται η μετατροπή της απόστασης αυτής, σε χρονικές μονάδες. Τη μετατροπή αυτή την αναλαμβάνει η εισαγωγή μιας νέας παραμέτρου, που υπολογίζεται ως το αντίστροφο της αθροιστικής ταχύτητας ροής

Τέλος για την παραγωγή του Μ.Υ.Γ, η βροχόπτωση μοναδιαίου ύψους 10 mm πολλαπλασιάζεται με τις διαστάσεις του κάθε φατνίου, δηλαδή με την ακρίβειά του (5 m x 5 m) και ακολούθως με το πλήθος των φατνίων, που απορρέουν για την κάθε κλάση, άρα με το χρονικό βήμα.

Η μέθοδος χωρίζεται σε τέσσερα στάδια Στο πρώτο στάδιο γίνεται ο υπολογισμός του χρόνου που κάνουν τα ρίχει να φτάσουν στην έξοδο της λεκάνης, ενώ ακολούθως ομαδοποιούνται των αποτελέσματα με γνώμονα το χρονικό βήμα (Ισόχρονες Καμπύλες). Έπειτα, υφίσταται μετατροπή οι αριθμοί των ρίχει, ανά χρονικό βήμα σε εμβαδό λεκάνης απορροής και τέλος, μετατρέπεται η επιφάνεια σε παροχή, θεωρώντας βροχή 10 mm, μέσω του παρακάτω τύπου:

$$Q = P \cdot A \quad (3.12)$$

P : Ένταση βροχόπτωσης (mm/h)

A : Επιφάνεια λεκάνης απορροής (km<sup>2</sup>)

Είναι προφανές, ότι για την εύρεση του χρόνου, απαιτείται η γνώση της απόστασης (L) και της ταχύτητας κίνησης (V). Ισχύει η σχέση:

$$t = L \cdot V \quad (3.13)$$

Η απόσταση υπολογίζεται, μέσω του εργαλείου ArcMap, όπως και η ταχύτητα ροής, της οποίας η ανάλυση γίνεται σε επίπεδο Pixel, βάσει της ισοδιάστασης που έχει καθοριστεί. Οι ταχύτητες που υπολογίζονται είναι τόσο η ταχύτητα χερσαίας ροής όσο και η ταχύτητα εντός υδρογραφικού δικτύου.

## 4 Περιοχή Μελέτης

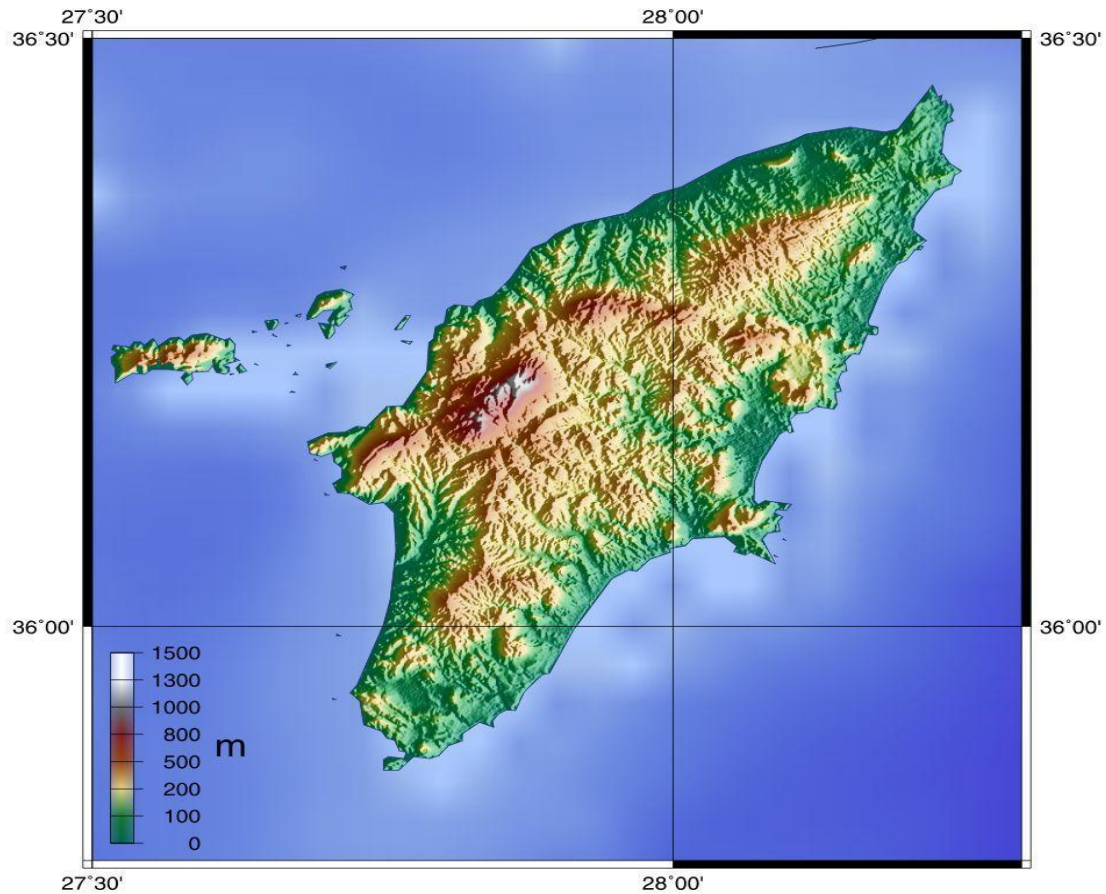
### 4.1 Γενικά

Η νήσος Ρόδος ανήκει στο σύμπλεγμα των Δωδεκανήσων στο νοτιοανατολικό Αιγαίο. Απέχει 450 km από την πρωτεύουσα της χώρας, την Αθήνα, και μόλις 18 km από τα παράλια της γειτονικής χώρας, της Τουρκίας. Η έκταση του νησιού είναι 1.401 km<sup>2</sup>, γεγονός που το καθιστά το μεγαλύτερο νησί των Δωδεκανήσων, το τέταρτο σε σειρά της Ελλάδας και το ένατο ολόκληρης της Μεσογείου. Διαθέτει ακτογραμμή μήκους 253 km και το υψηλότερο σημείο του είναι η κορυφή του όρους Αττάβυρος σε ύψος 1.215 m.

Η Ρόδος δεν διαθέτει μεγάλους ποταμούς με σταθερή ροή, παρά μόνο εποχιακούς ή αλλιώς χειμάρρους. Ο μεγαλύτερος από αυτούς είναι ο Γαδουράς, στον οποίο βρίσκεται και το υπό εξέταση φράγμα ύδρευσης Γαδουρά, στις βορειοανατολικές πλαγιές του όρους Ατταβυρίου. Παρόμοιας σημασίας χειμάρρος, αποτελεί ο Σιανίτης που πηγάζει νοτιοδυτικά του όρους Ατταβύρου, και αξιοποιείται για την άρδευση της ευρύτερης περιοχής μέσω του φράγματος Απολλακιάς. Το δεύτερο σε μέγεθος εποχιακό ποτάμι αποτελεί ο Λουτάνης, ο οποίος διατρέχει την περιοχή των Επτά Πηγών.

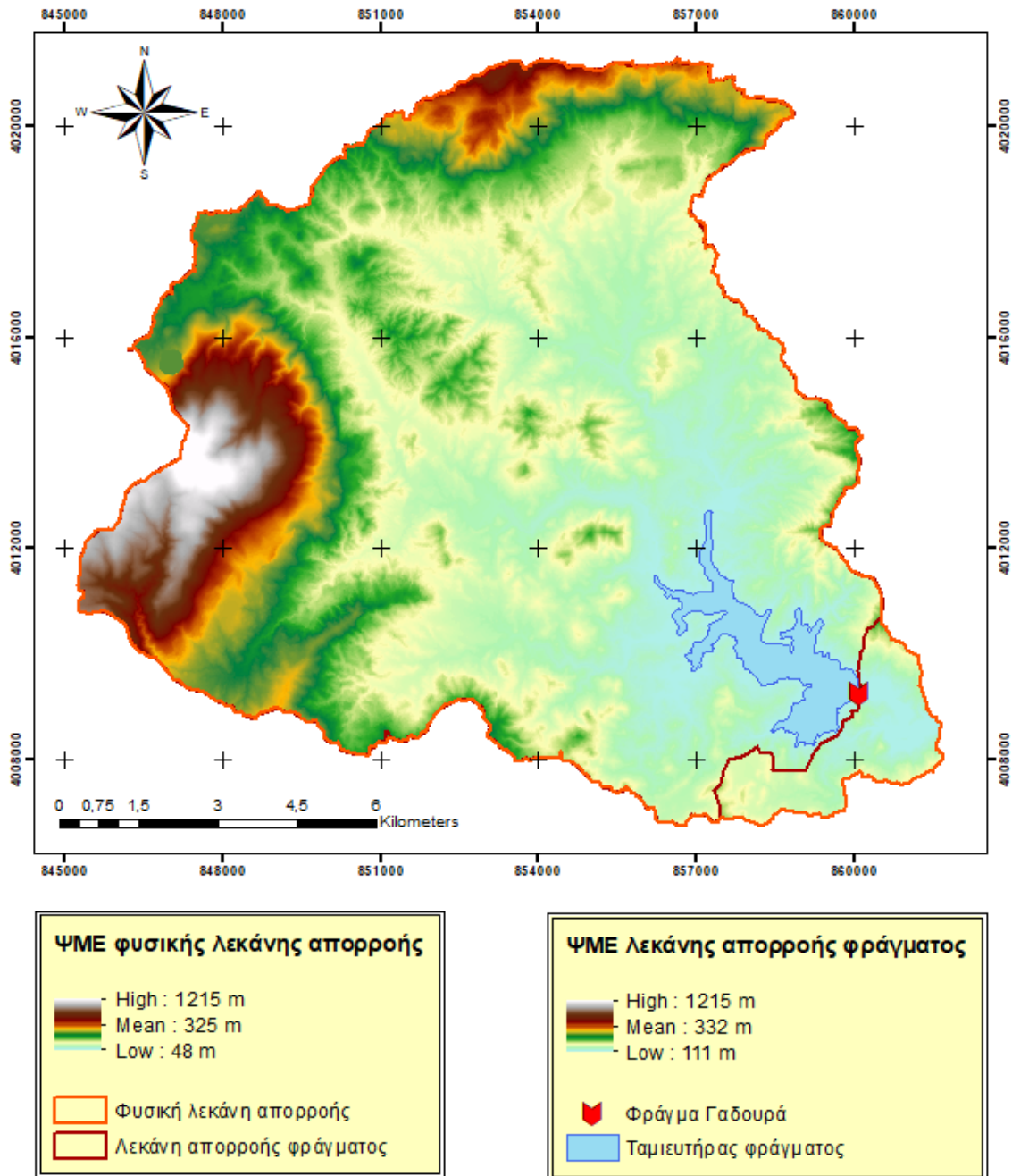
Γενικά η Ρόδος θεωρείται ως ένα ορεινό νησί με μεγάλα, σε αρκετές περιοχές, υψόμετρα. Στο Σχήμα 4.1 που ακολουθεί καταγράφεται η μορφή και το μέγεθος των ορεινών αυτών όγκων της νήσου Ρόδου.





Σχήμα 4.1: Ανάγλυφο της νήσου Ρόδου

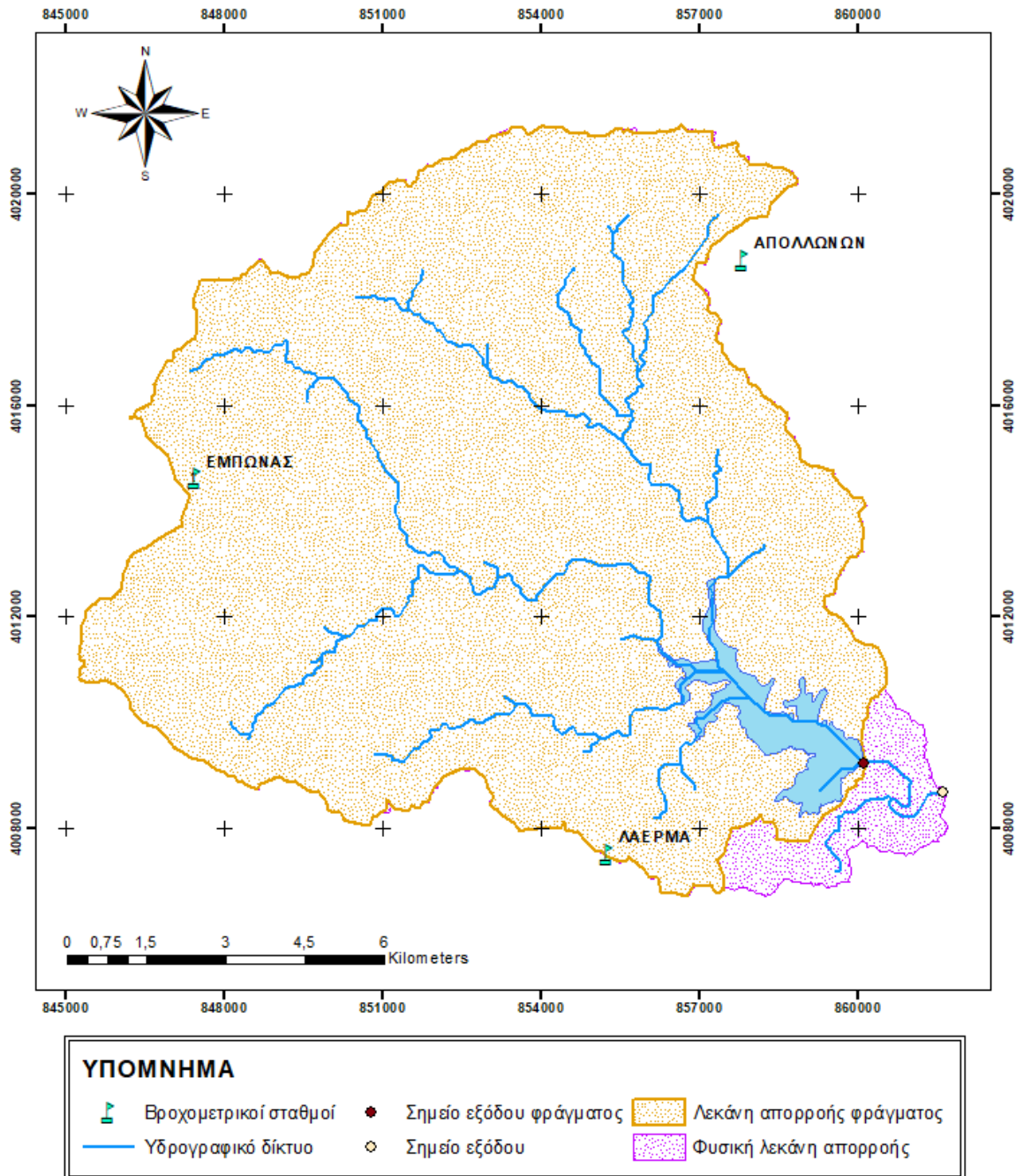
Πιο συγκεκριμένα, για την περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, από το ψηφιοποιημένο ανάγλυφό της, ή αλλιώς το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ), προκύπτει η εικόνα μιας, ήπιων κλίσεων, λεκάνης με το μεγαλύτερο ποσοστό της να αποτελείται από πεδινές εκτάσεις (βλ. Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της περιοχής μελέτης

Προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση της κατασκευής του φράγματος Γαδουρά στις πλημμυρικές παροχές, γίνεται η διερεύνηση της λεκάνης απορροής του, όπως αυτή ορίζεται μετά την ανέγερση της κατασκευής, και της φυσικής λεκάνης απορροής του ποταμού Γαδουρά, σαν να μην υπάρχει το φράγμα. Στο Σχήμα 4.3 φαίνεται πως η πρώτη

λεκάνη ορίζεται από το σημείο εξόδου του φράγματος, που πρακτικά είναι η κατασκευή υπερχειλίσης του φράγματος, ενώ η τελευταία ορίζεται από το φυσικό σημείο εξόδου, δηλαδή τις εκβολές του ποταμού στην θάλασσα.



Σχήμα 4.3: Σενάρια λεκάνων απορροής που εξετάζονται

Στον παρακάτω Πίνακας 4.1 παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των λεκανών που μελετώνται. Πιο συγκεκριμένα δίνονται η επιφάνεια της λεκάνης (A), το μήκος του κυρίου υδατορεύματος (L), το μέσο υψόμετρο λεκάνης ( $H_{\text{mean}}$ ) και το ελάχιστο υψόμετρο λεκάνης ( $H_{\text{min}}$ ) ή αλλιώς το υψόμετρο στο σημείο εξόδου της.

*Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά λεκανών απορροής*

Χαρακτηριστικό	Λεκάνη φράγματος	Φυσική λεκάνη
A (km <sup>2</sup> )	148.37	154.86
L (km)	20.076	23.426
$H_{\text{mean}}$ (m)	332.00	324.78
$H_{\text{min}}$ (m)	110.73	48.32

## 4.2 Υδρολογικά Δεδομένα

Η ύπαρξη βροχομετρικών δεδομένων στην περιοχή μελέτης αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη διερεύνηση της απόκρισης μιας λεκάνης απορροής σε πιθανά σενάρια κατακρήμνισης. Για τον λόγο αυτό, επιλέχθηκαν οι παρακάτω βροχομετρικοί σταθμοί με μεγάλη διάρκεια ιστορικών καταγραφών.

*Πίνακας 4.2: Συντεταγμένες βροχογράφων, περί της περιοχής μελέτης, σε ΕΓΣΑ '87*

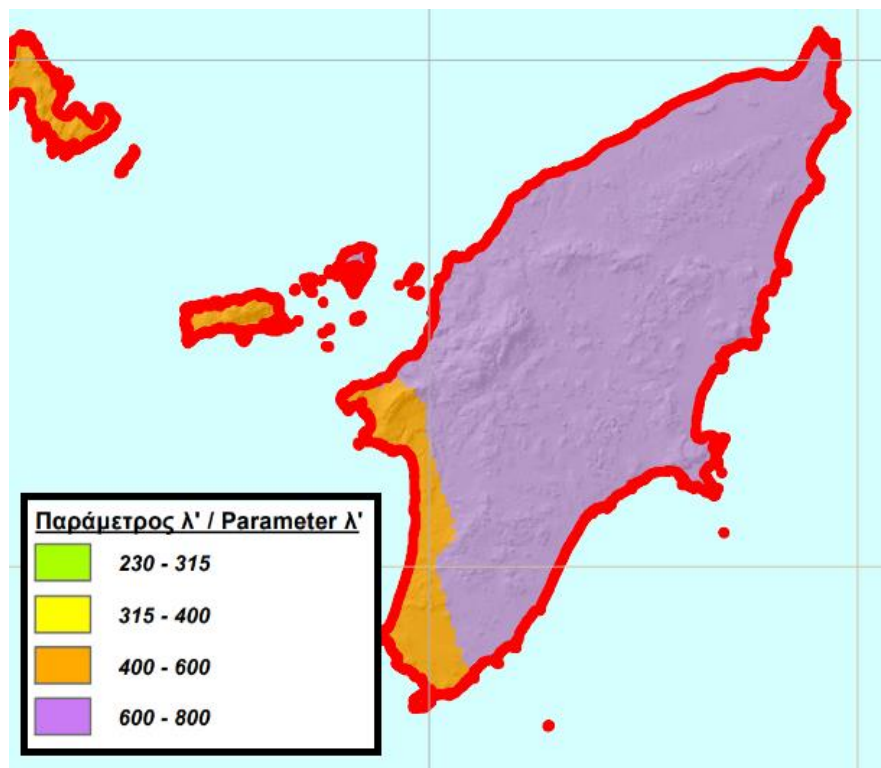
Σταθμός	Γεωγραφικός Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος	Υψόμετρο
Έμπωνας	847469.678	4014627.704	+ 447
Λάερμα	855266.683	4007530.323	+ 315
Απολλώνων	857810.965	4018753.099	+ 314

Η μελέτη των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων της περιοχής μελέτης έγινε μέσω των όμβριων καμπυλών που έχουν παραχθεί στις τεχνικές εκθέσεις του Υπουργείου

Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ). Πιο αναλυτικά, για τις παραμέτρους  $\kappa$ ,  $\lambda'$  και  $\psi'$  των επιλεγμένων βροχομετρικών σταθμών, έχουν παραχθεί και χάρτες χωρικής μεταβολής όπως παρουσιάζονται στα Σχήμα 4.4, Σχήμα 4.5 και Σχήμα 4.6.

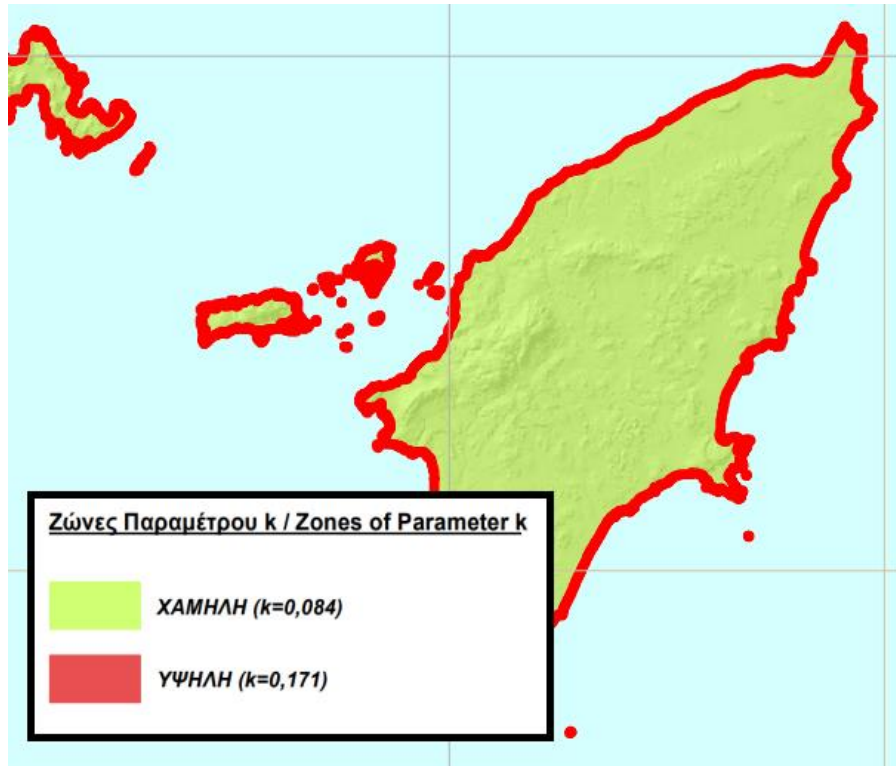
Πίνακας 4.3: Παράμετροι όμβριων καμπυλών των βροχογράφων του ΥΔ Νήσων Αιγαίου

Σταθμός	$\theta$	$\eta$	$\kappa$	$\lambda'$	$\psi'$
Έμπωνας	0.134	0.741	0.093	668.5	0.771
Λάερμα	0.134	0.741	0.093	875.9	0.831
Απολλώνων	0.134	0.741	0.093	811.5	0.821

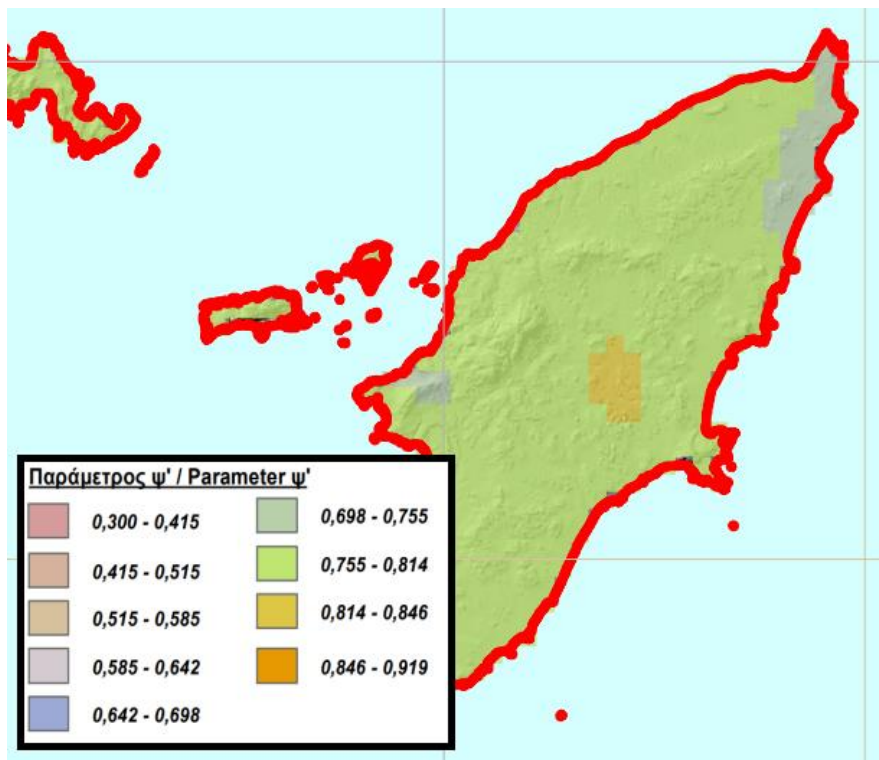


Σχήμα 4.4: Χωρική μεταβολή ανηγμένης παραμέτρου  $\lambda'$  (πηγή: [www.floods.ypeka.gr](http://www.floods.ypeka.gr))





Σχήμα 4.6: Ζώνες παραμέτρου k (πηγή: [www.floods.ypeka.gr](http://www.floods.ypeka.gr))

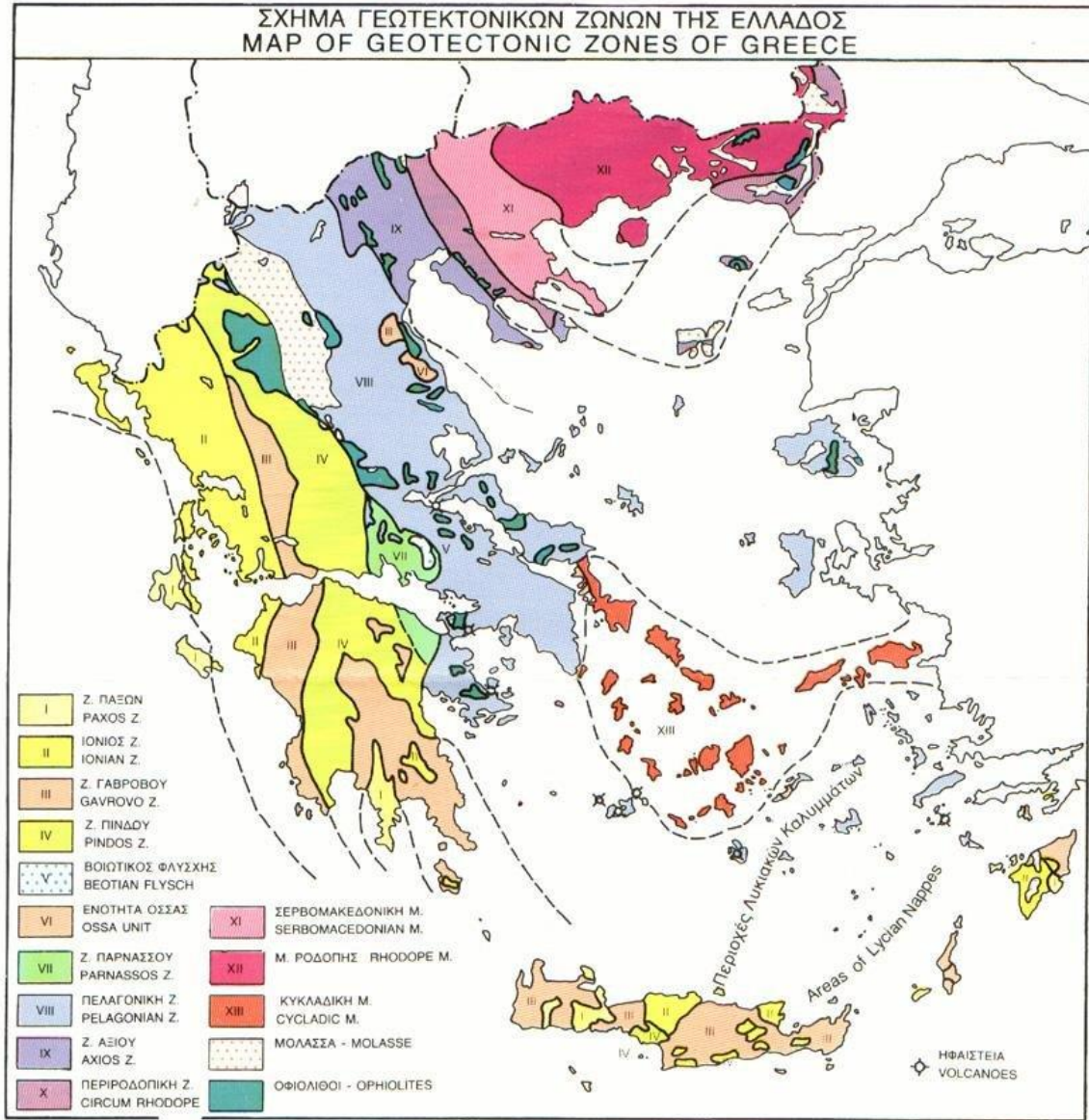


Σχήμα 4.5: Χωρική μεταβολή ανηγμένης παραμέτρου  $\psi'$  (πηγή: [www.floods.ypeka.gr](http://www.floods.ypeka.gr))

### 4.3 Γεωλογικά Χαρακτηριστικά

Το τόξο του Αιγαίου που υπάγεται το νησί της Ρόδου, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.7, είναι ανατολικό, το οποίο με τη σειρά του υπάγεται στο ενεργό γεωτεκτονικό τόξο των Εξωτερικών Ελληνικών Ζωνών (ΕΕΖ). Το τόξο αυτό οριοθετείται από το νησί της Ζακύνθου έως τα παράκτια της Μικράς Ασίας και περιβάλλει όλο τον ελληνικό νότιο θαλάσσιο χώρο.

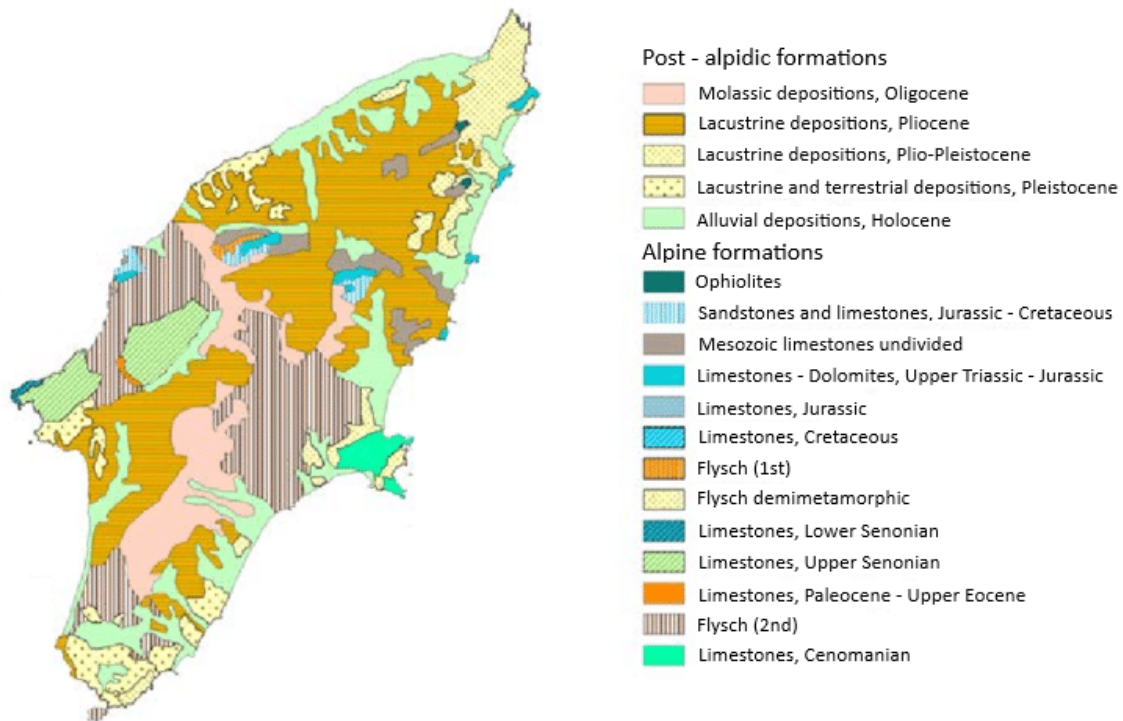
Λόγω της ανάπτυξης των θλιπτικών τάσεων μεταξύ αφρικανικής και ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας, το νότιο και νοτιοανατολικό Αιγαίο θεωρείται περιοχή θλιπτικών τάσεων, ενώ εφελκυστικές τάσεις αναπτύσσονται στο κεντρικό Αιγαίο. Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν σημαντικά στην αυξημένη σεισμικότητα της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα, στο νησί της Ρόδου αναπτύχθηκαν μορφολογικά και γεωλογικά στοιχεία τυπικού γεωτεκτονικού τόξου όπως για παράδειγμα είναι και το ηφαιστειακό τόξο της Σαντορίνης και η τάφρος καταβύθισης νότια της Ρόδου και της Κρήτης.



Σχήμα 4.7: Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας (πηγή: [www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr))

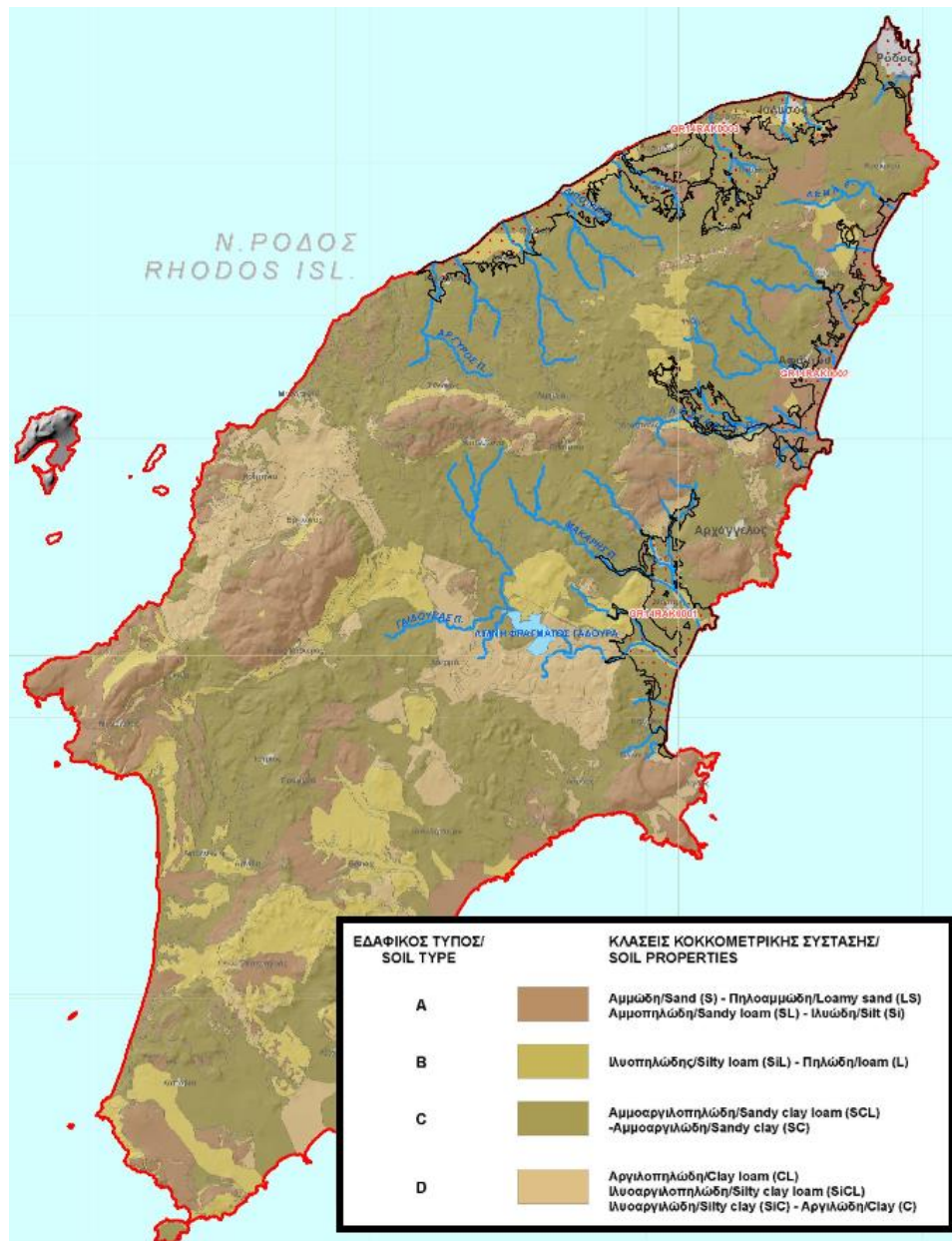
Ο παραπάνω χάρτης υποδεικνύει ότι στο νησί της Ρόδου εμφανίζονται γεωλογικοί σχηματισμοί που ανήκουν στην Ενότητα Όσας, στην Ιόνιο Ζώνη και διάσπαρτες περιοχές από Μολάσσα. Όπως φαίνεται και από το έργο των Anagnostou C. et al, το 2011, στο παρακάτω Σχήμα 4.8, στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του φράγματος Γαδουρά παρατηρούνται γεωλογικοί σχηματισμοί τύπου μολασικών αποθέσεων στα βόρεια, λιμναίες αποθέσεις στα βορειο-ανατολικά, αλλουβιακές αποθέσεις στα ανατολικά, ενώ στις νότιες παρειές εντοπίζεται φλύσχος.





Σχήμα 4.8: Γεωλογικοί σχηματισμοί στη νήσο Ρόδο (πηγή: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net))

Πιο αναλυτικά, όπως υποδεικνύεται και στον εδαφολογικό χάρτη που έχει δημοσιευθεί από το ΥΠΕΚΑ (βλ. Σχήμα 4.9), στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Γαδουρά εντοπίζονται ημιπερατοί σχηματισμοί (εδαφικός τύπος B & C), ενώ στο νότιο τμήμα παρατηρούνται αδιαπέρατοι σχηματισμοί (εδαφικός τύπος D), όπως αυτοί ορίζονται από τον Πίνακα 3.2. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ισόποση παρουσία των σχηματισμών με διαφορετικές υδατοπερατότητες, όπως αυτές ορίζονται και στο κεφάλαιο 3.4, στην υπό εξέταση λεκάνη απορροής.

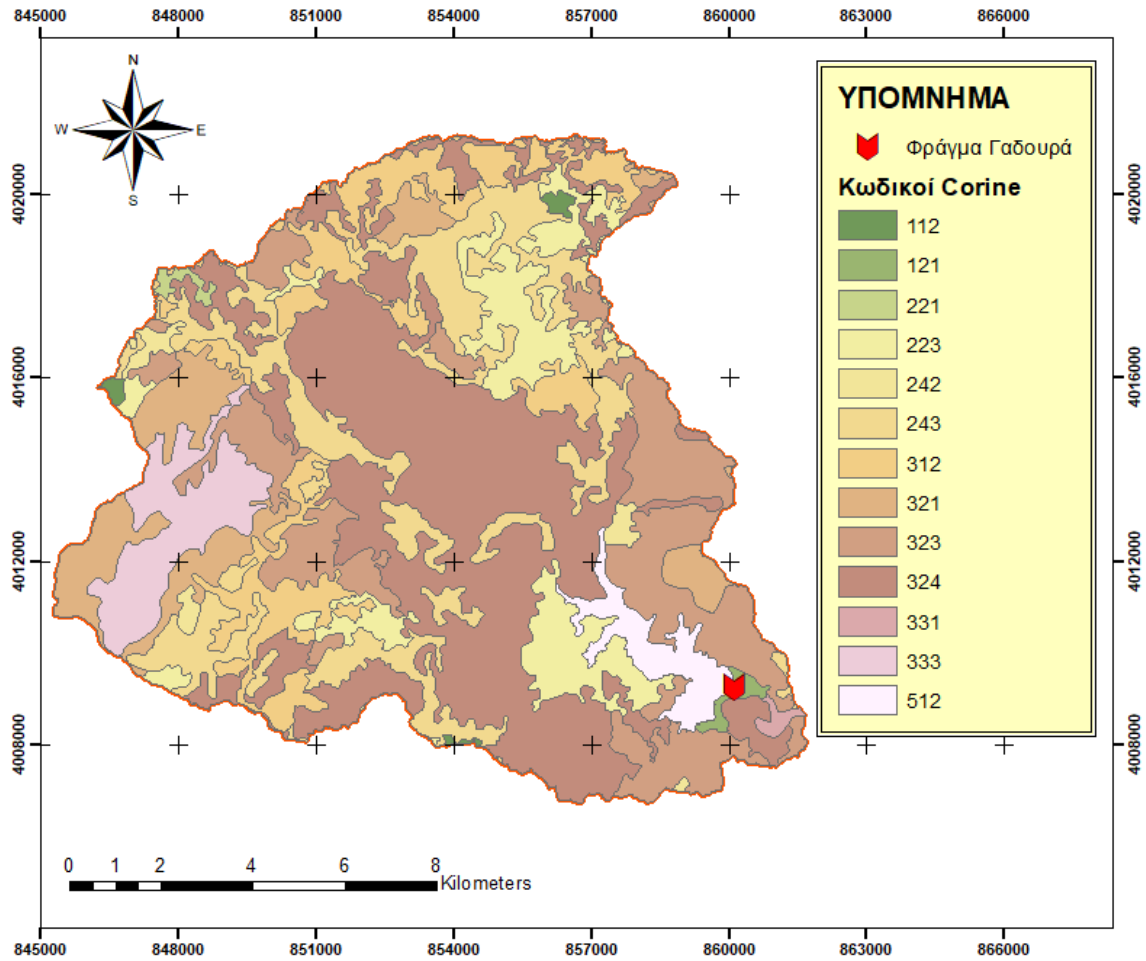


Σχήμα 4.9: Εδαφολογικός χάρτης της νήσου Ρόδου (πηγή: [www.floods.ypeka.gr](http://www.floods.ypeka.gr))

#### 4.4 Χρήσεις Γης

Μια ακόμα σημαντική παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη κατά την υδρολογική ανάλυση μιας λεκάνης απορροής οι δραστηριότητες που αναπτύσσονται στην έκταση της λεκάνης, ή αλλιώς οι χρήσεις γης. Οι κωδικοί CORINE για τις καλύψεις/ χρήσεις γης αποτελούν έργο του Ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus Land Monitoring Service, το

οποίο διατίθεται ελεύθερα στους μελετητές. Για την εν λόγω περιοχή, οι καλύψεις γης όπως αυτές αποδίδονται από το προγραμματιστικό περιβάλλον ArcGIS, παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.10 και στον Πίνακα 4.4.



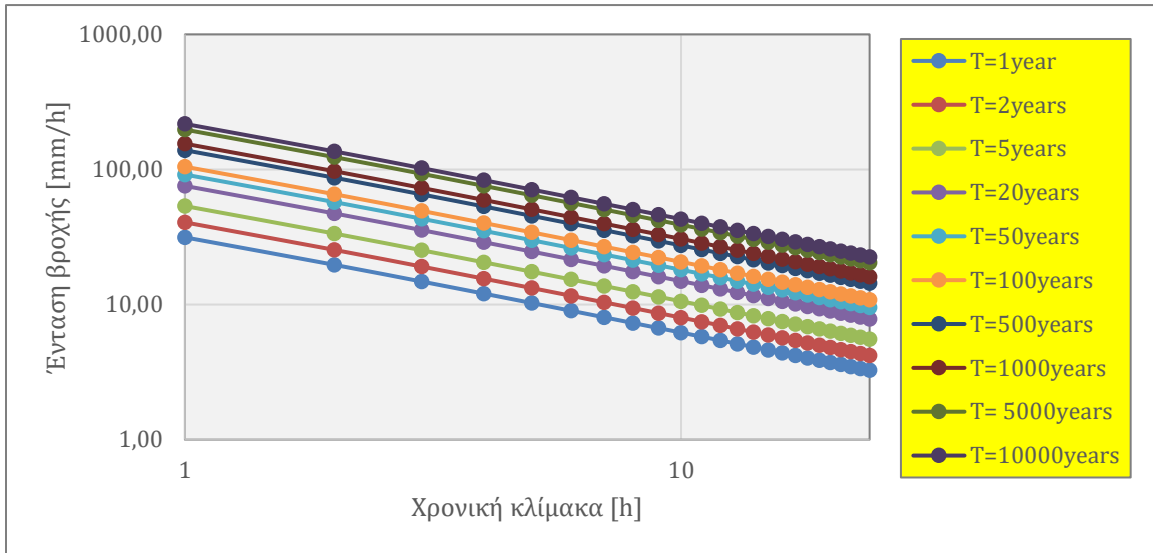
Σχήμα 4.10: Χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης

Πίνακας 4.4: Ανάλυση χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης

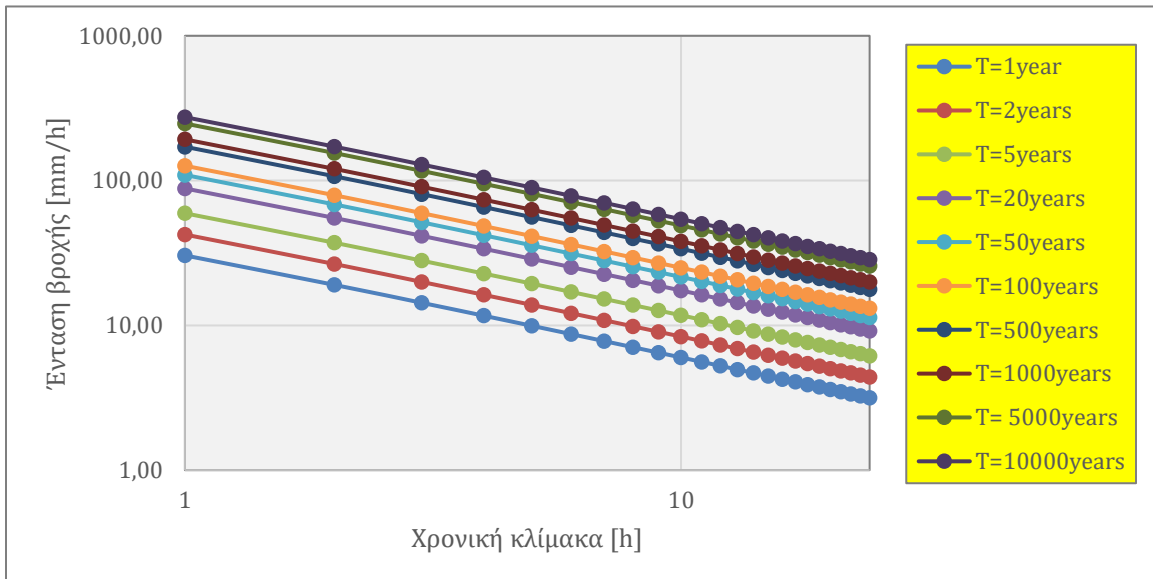
Κωδικός	Περιγραφή	Έκταση	
		(km <sup>2</sup> )	(%)
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	0.57	0.37
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	0.62	0.40
221	Αμπελώνες	0.45	0.29
223	Ελαιώνες	13.51	8.73
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	1.49	0.96
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	22.97	14.83
312	Δάσος κωνοφόρων	15.37	9.92
321	Φυσικοί βοσκότοποι	11.40	7.36
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	23.96	15.47
324	Μεταβατικές δασώδεις – θαμνώδεις εκτάσεις	51.94	33.54
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.40	0.26
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	8.06	5.20
512	Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	4.12	2.66
Sum		154.86	100.00

## 5 Αποτελέσματα

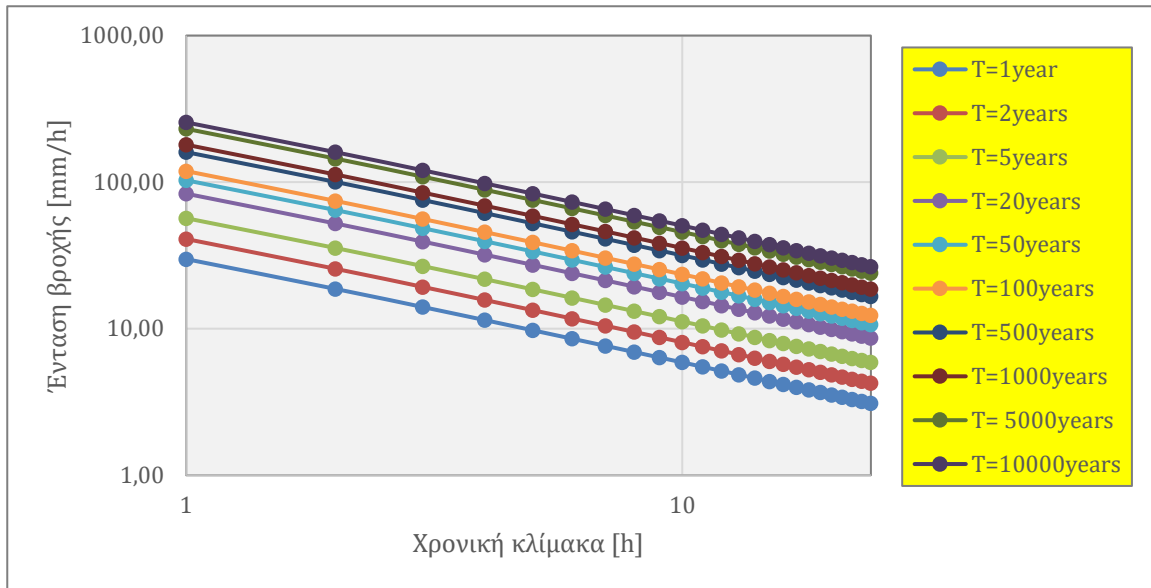
Οι όμβριες καμπύλες για τους διαθέσιμους βροχομετρικούς σταθμούς, πλησίον της περιοχής μελέτης, ανεξαρτήτως σεναρίου εξέτασης, έχουν τις μορφές που παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.1, στο Σχήμα 5.2 και στο Σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.1: Όμβριες καμπύλες βροχομετρικού σταθμού Έμπωνα



Σχήμα 5.2: Όμβριες καμπύλες βροχομετρικού σταθμού Λάερμα

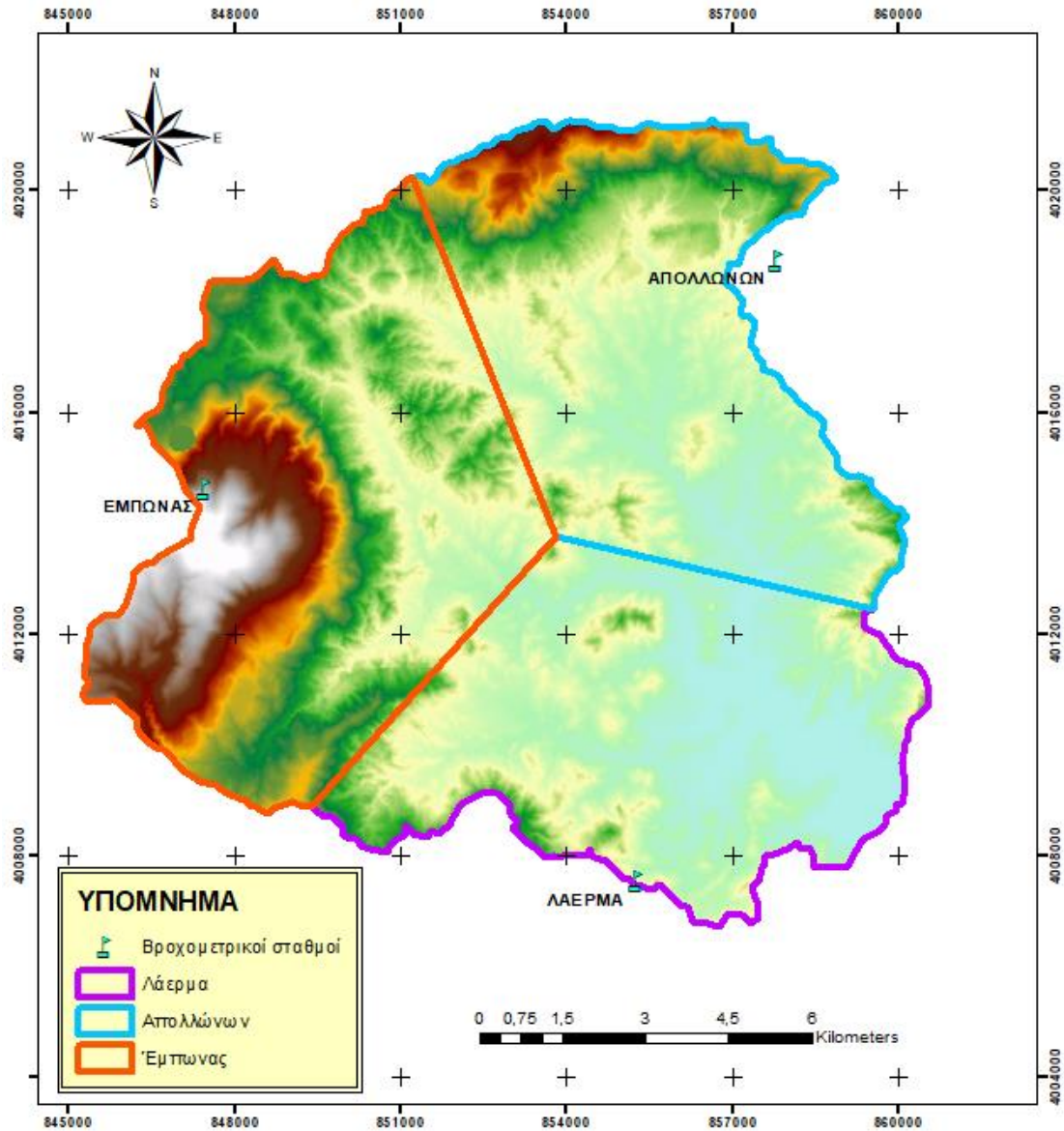


Σχήμα 5.3: Όμβριες καμπύλες βροχομετρικού σταθμού Απολλώνων

### 5.1 Σενάριο ύπαρξης του φράγματος Γαδουρά

Η διερεύνηση της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης απορροής, που ορίζεται από το σημείο υπερχείλισης του φράγματος Γαδουρά ως το σημείο εξόδου της υπολεκάνης, έγινε για δύο επεισόδια με περιόδους επαναφοράς 1000 και 10000 έτη. Τα πολύγωνα Thiessen που εξήχθησαν από το ArcGIS, για αυτό το σενάριο έχουν τη μορφή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.4, και αναλυτικότερα στον Πίνακα 5.1.



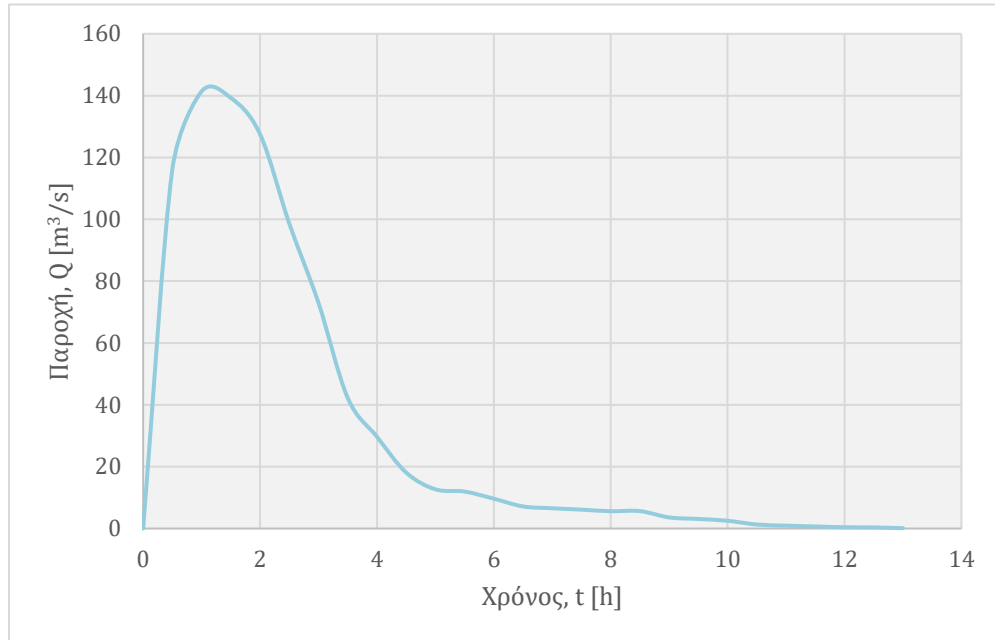


Σχήμα 5.4: Πολύγωνα Thiessen για λεκάνη απορροής φράγματος Γαδουρά

Πίνακας 5.1: Βαρύτητες βροχομετρικών σταθμών στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά

Βροχομετρικός Σταθμός	Έκταση Επιρροής (km <sup>2</sup> )	Βαρύτητα Σταθμού (%)
Έμπωνας	55.903	37.68
Λάερμα	46.250	31.17
Απολλώνων	46.218	31.15

Ακολουθώντας την μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών στο προγραμματιστικό περιβάλλον του ArcGIS προκύπτει το Μοναδιαίο Υδρογράφημα της λεκάνης απορροής του φράγματος Γαδουρά, όπως αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.5.

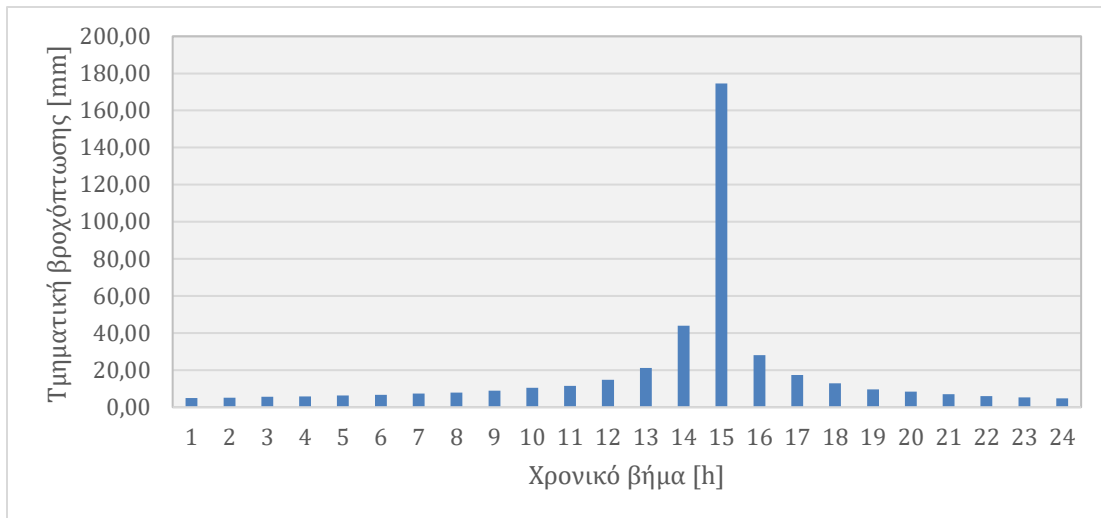


Σχήμα 5.5: Μοναδιαίο Υδρογράφημα λεκάνης απορροής φράγματος Γαδουρά

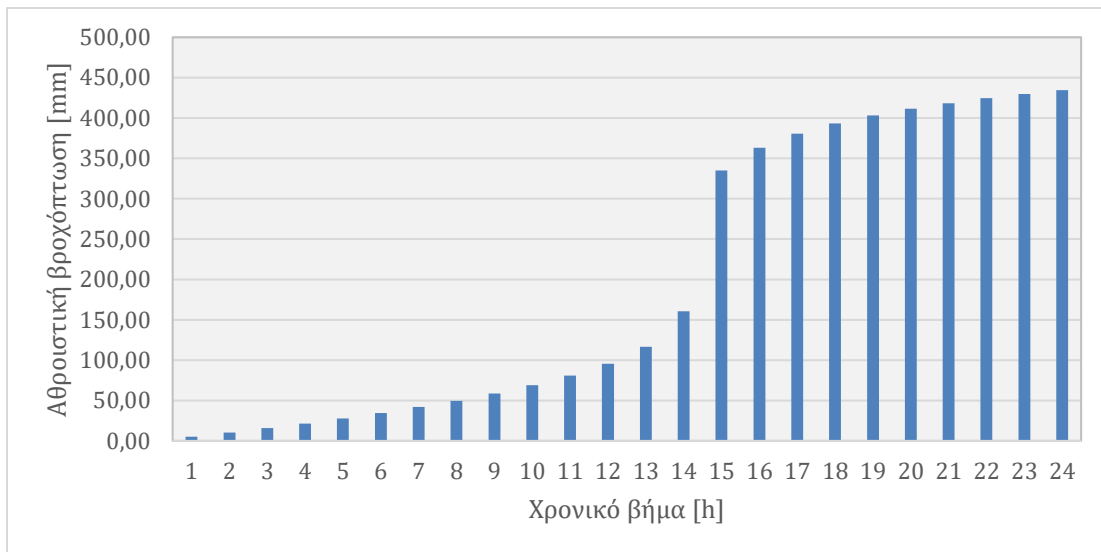
### 5.1.1 Περίοδος επαναφοράς $T = 1000$ έτη

Η εξέταση του επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς 1000 έτη ξεκινάει από την παραγωγή του υετογραφήματος, όπως αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.6 και στο Σχήμα 5.7, σύμφωνα με τη μέθοδο της δυσμενέστερης διάταξης.



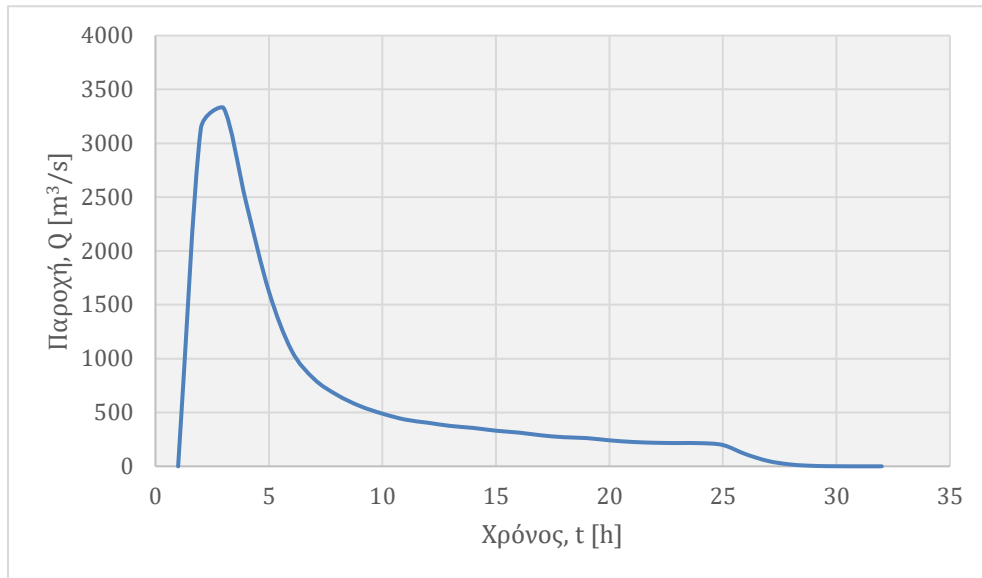


Σχήμα 5.6: Υετόγραμμα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 1000$  έτη, στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά



Σχήμα 5.7: Καμπύλη  $S$  επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 1000$  έτη, στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά

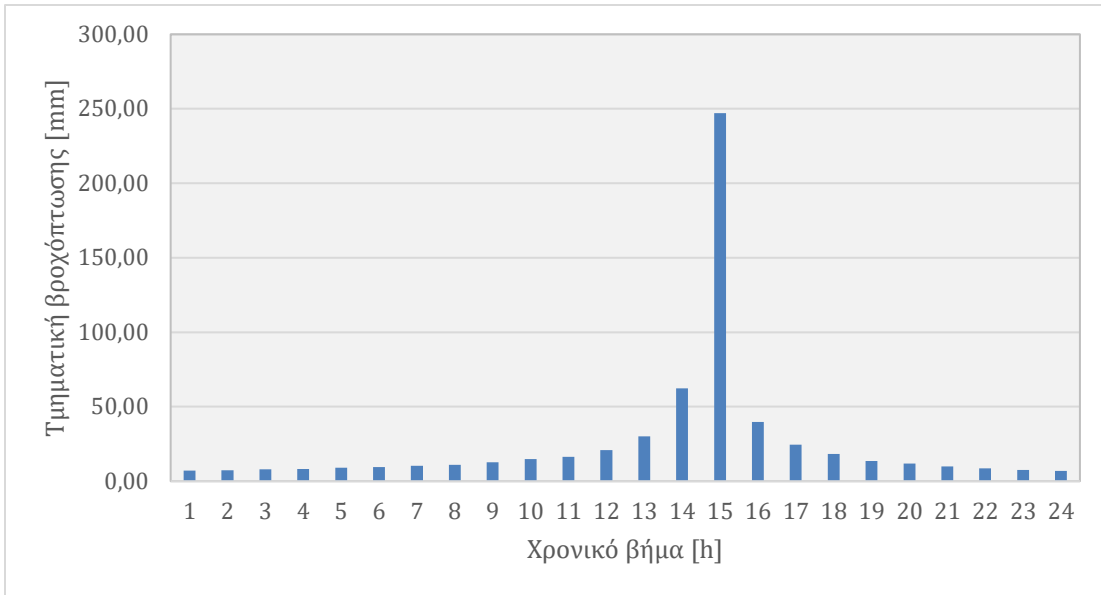
Ακολουθώντας τις αρχές σύνθεσης του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος και εισαγάγοντας στο προγραμματιστικό περιβάλλον του HEC-HMS όλα τα χωρικά και μη δεδομένα που απαιτούνται, εξάγουμε το τελικό πλημμυρογράφημα του επεισοδίου (βλ. Σχήμα 5.8), με τη συγκεκριμένη πιθανότητας εμφάνισης, αυτού του σεναρίου.



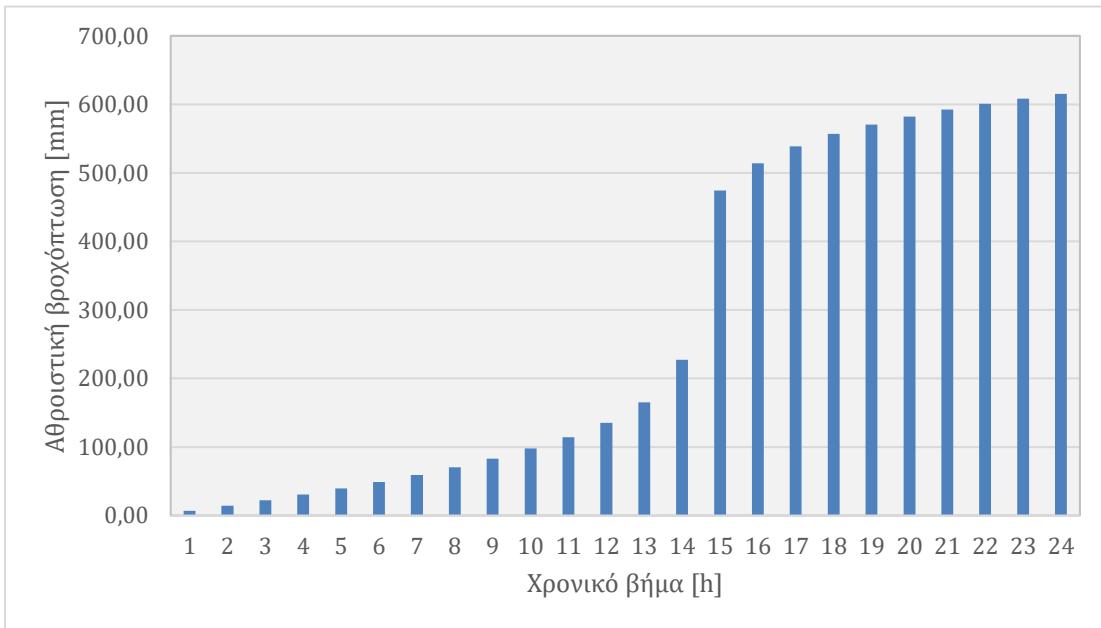
Σχήμα 5.8: Πλημμυρογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 1000$  έτη, στην έξοδο της λεκάνης απορροής του φράγματος Γαδουρά

### 5.1.2 Περίοδος επαναφοράς $T = 10000$ έτη

Η εξέταση του επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς 10000 έτη ξεκινάει, όπως και πριν, με την παραγωγή του υετογραφήματος, σύμφωνα με τη μέθοδο της δυσμενέστερης διάταξης, και παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.9 και Σχήμα 5.10.

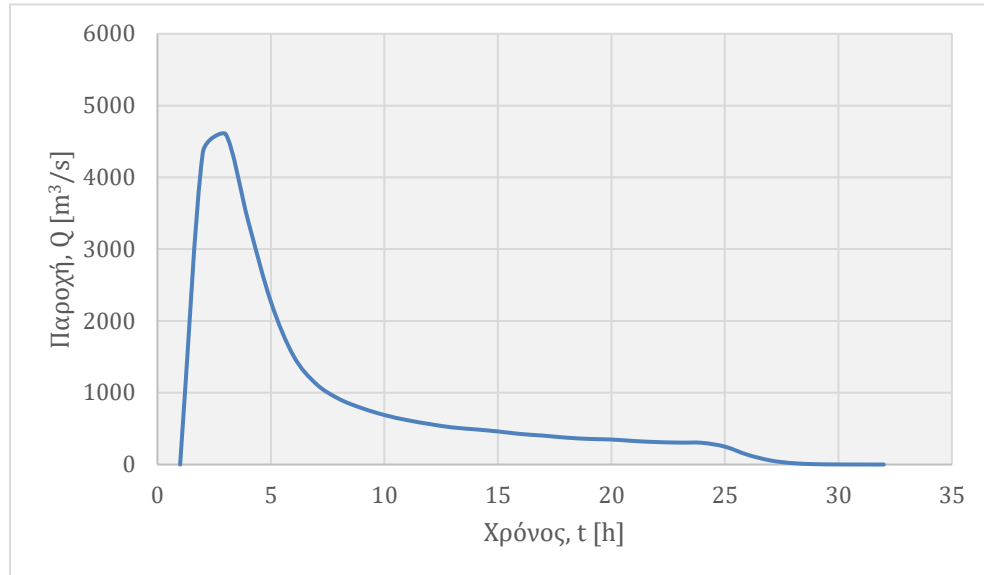


Σχήμα 5.9: Υετογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 10000$  έτη, στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά



Σχήμα 5.10: Καμπύλη S επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 10000$  έτη, στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά

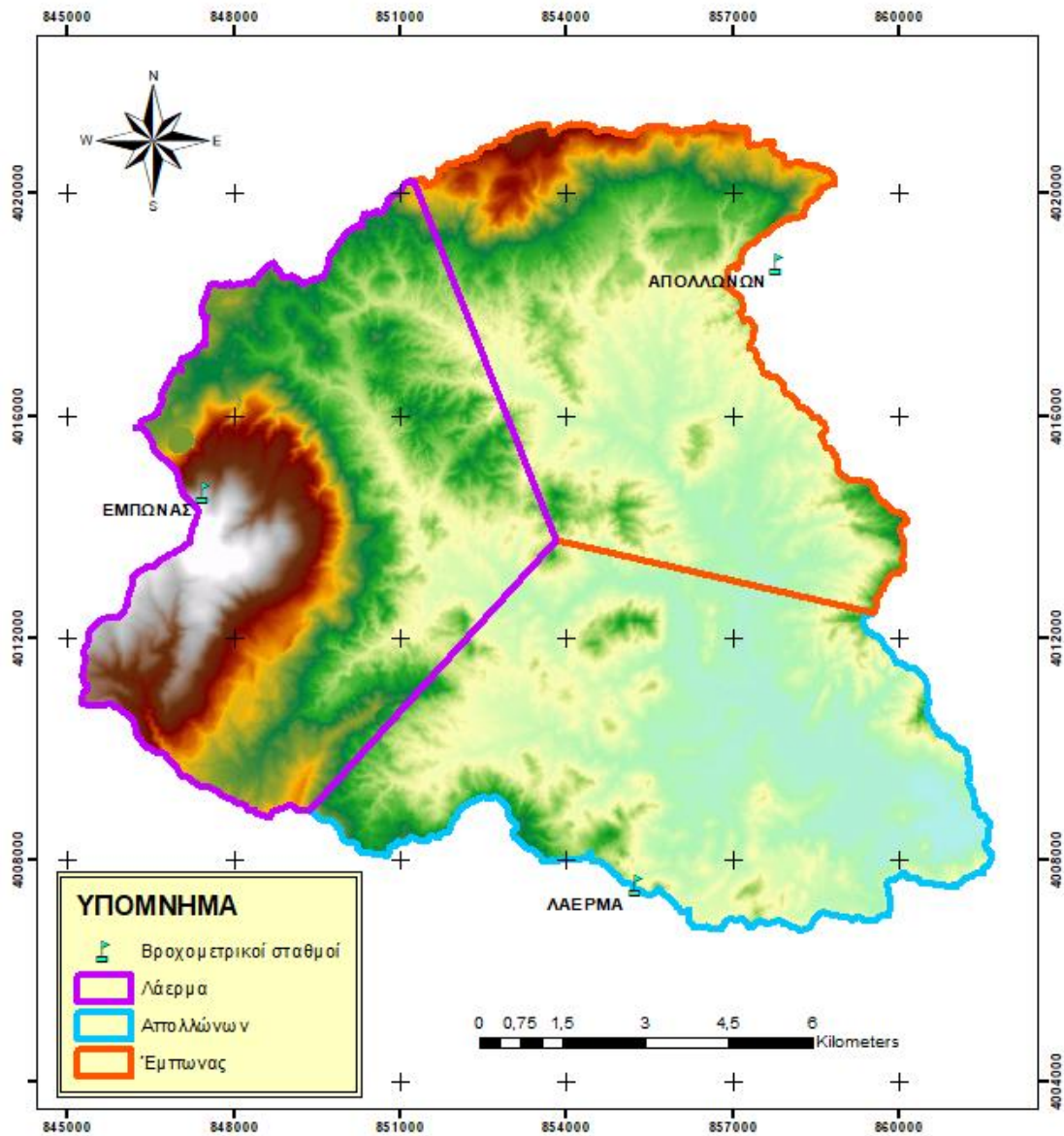
Ακολουθώντας τις αρχές σύνθεσης του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος στο πρόγραμμα HEC-HMS, εξάγουμε το τελικό πλημμυρογράφημα του επεισοδίου (βλ. Σχήμα 5.11), με τη συγκεκριμένη πιθανότητας εμφάνισης, αυτού του σεναρίου.



Σχήμα 5.11: Πλημμυρογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 10000$  έτη, στην έξοδο της λεκάνης απορροής του φράγματος Γαδουρά

## 5.2 Σενάριο μη – ύπαρξης του φράγματος Γαδουρά

Η διερεύνηση της υδρολογικής απόκρισης της ευρύτερης λεκάνης απορροής, έγινε και αυτή για δύο επεισόδια με περιόδους επαναφοράς 1000 και 10000 έτη. Σχετικά με τα πολύγωνα Thiessen που εξήχθησαν από το ArcGIS, για αυτό το σενάριο, έχουν τη μορφή του Σχήμα 5.12 και τα στοιχεία του Πίνακας 5.2.

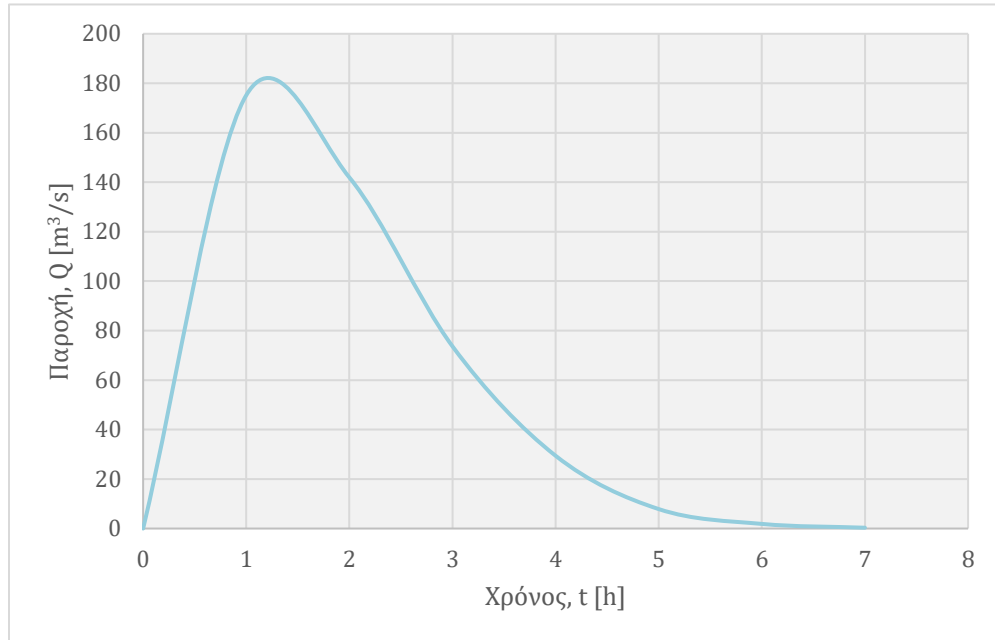


Σχήμα 5.12: Πολύγωνα Thiessen για την φυσική λεκάνη απορροής

Πίνακας 5.2: Βαρύτητες βροχομετρικών σταθμών στη φυσική λεκάνη απορροής

Βροχομετρικός Σταθμός	Έκταση Επιρροής (km <sup>2</sup> )	Βαρύτητα Σταθμού (%)
Έμπωνας	55.903	36.10
Λάερμα	52.741	34.05
Απολλώνων	46.218	29.85

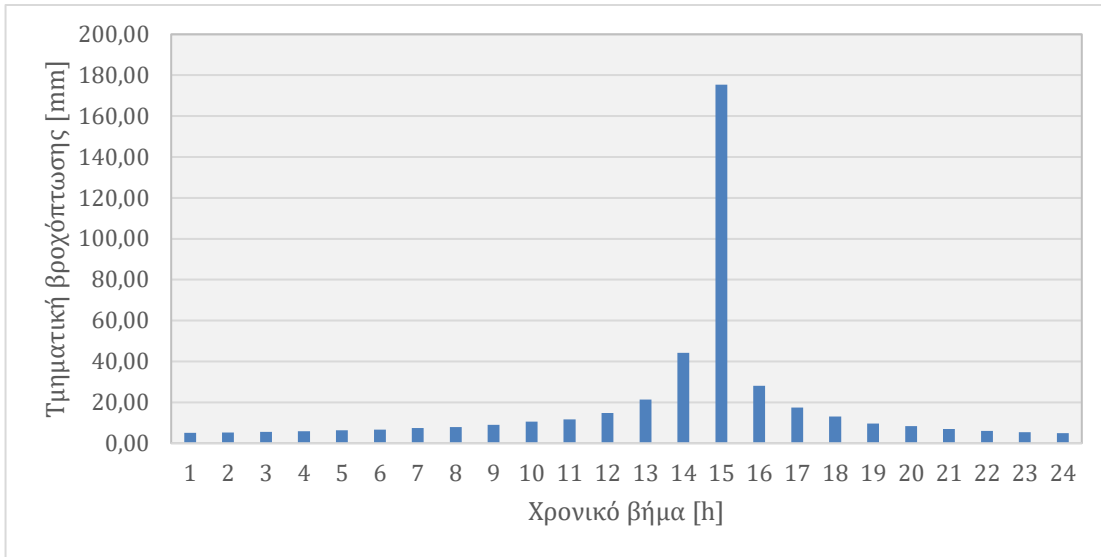
Ακολουθώντας ξανά την μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών στο προγραμματιστικό περιβάλλον του ArcGIS προκύπτει το Μοναδιαίο Υδρογράφημα της ευρύτερης λεκάνης απορροής, στην περιοχή του φράγματος Γαδουρά, ως εξής:



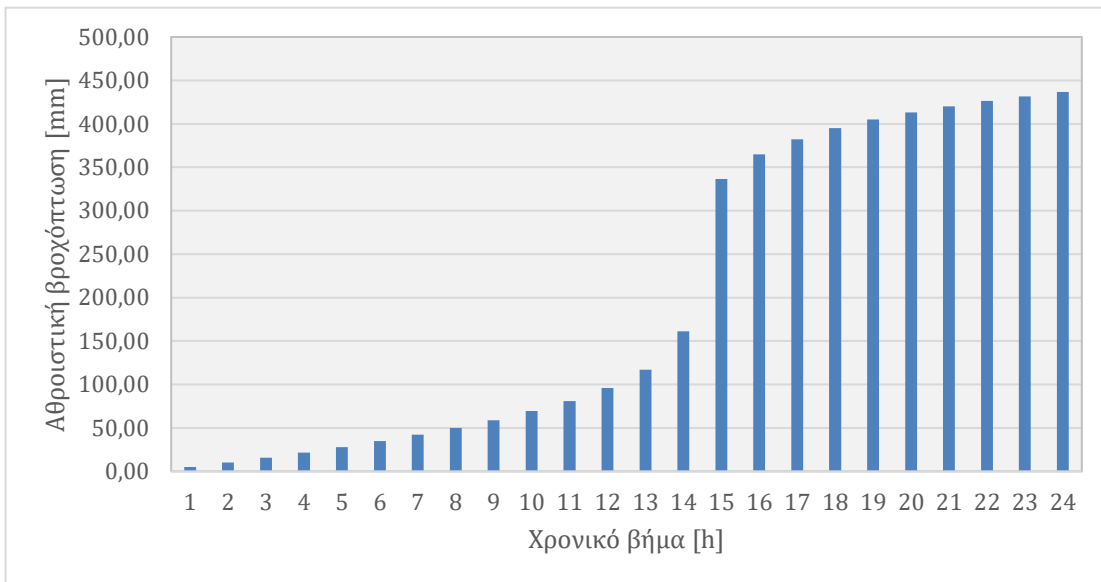
Σχήμα 5.13: Μοναδιαίο Υδρογράφημα φυσικής λεκάνης απορροής

### 5.2.1 Περίοδος επαναφοράς $T = 1000$ έτη

Η εξέταση του επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς 1000 έτη ξεκινάει από την παραγωγή του υετογραφήματος, σύμφωνα με τη μέθοδο της δυσμενέστερης διάταξης, το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.14 και στο Σχήμα 5.15.



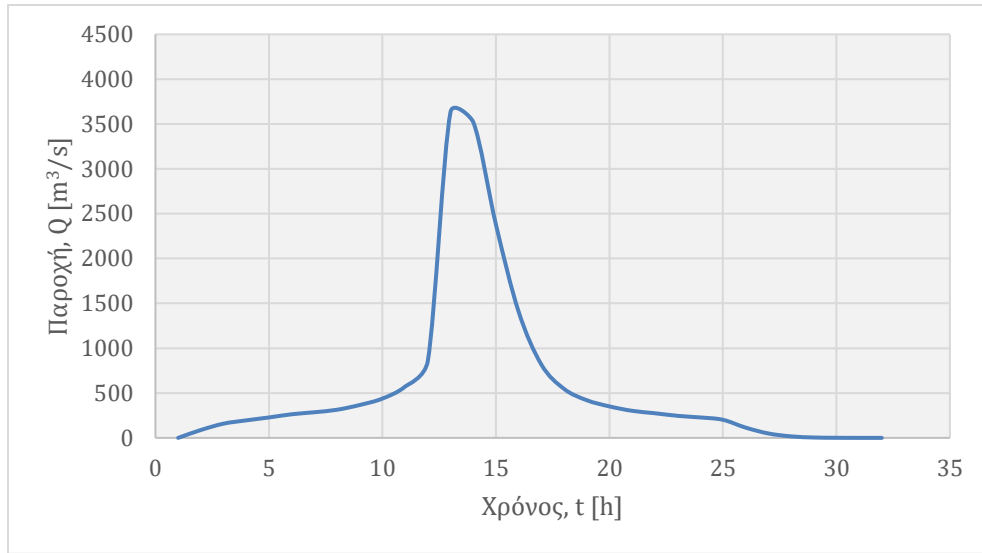
Σχήμα 5.14: Υετογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 1000$  έτη, στη φυσική λεκάνη απορροής



Σχήμα 5.15: Καμπύλη S επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 1000$  έτη, στη φυσική λεκάνη απορροής

Ακολουθώντας τις αρχές σύνθεσης του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος, εξάγουμε το τελικό πλημμυρογράφημα του επεισοδίου, με τη συγκεκριμένη πιθανότητας εμφάνισης, αυτού του σεναρίου.

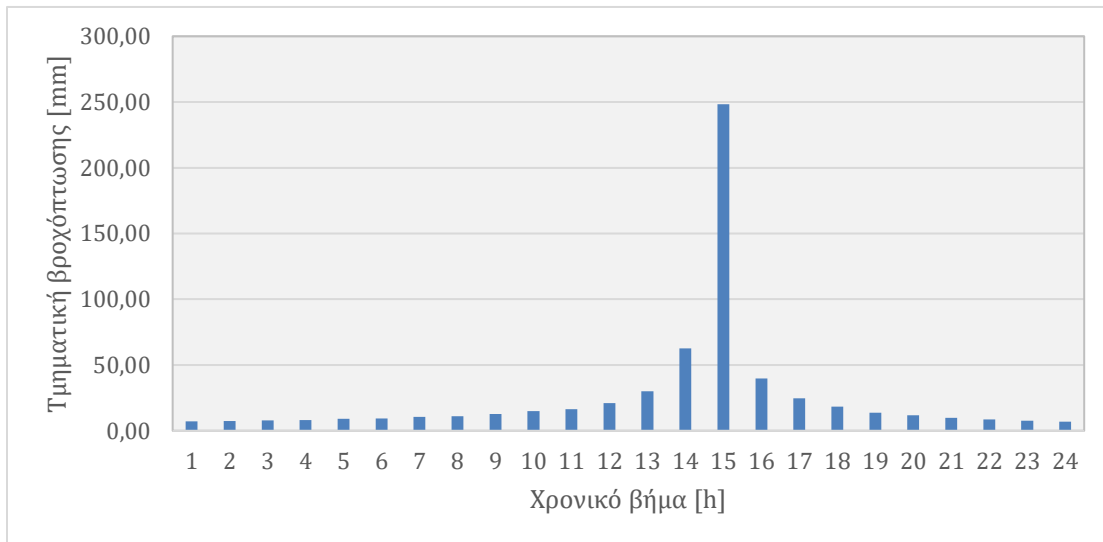




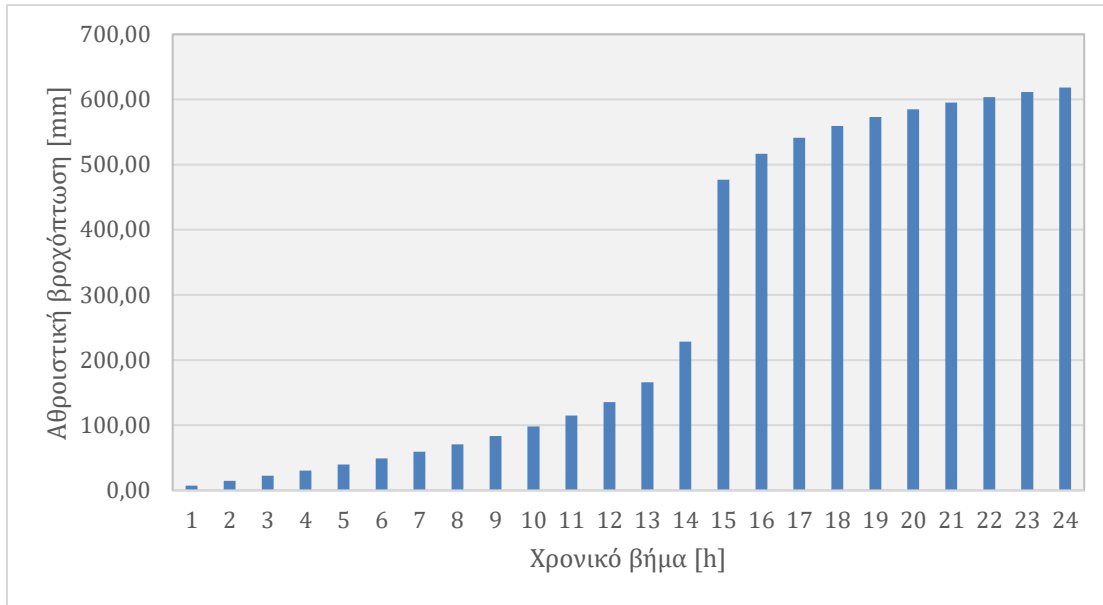
Σχήμα 5.16: Πλημμυρογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 1000$  έτη, στην έξοδο της φυσικής λεκάνης απορροής

### 5.2.2 Περίοδος επαναφοράς $T = 10000$ έτη

Η εξέταση του επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς 10000 έτη ξεκινάει, όπως και πριν, με την παραγωγή του υετογραφήματος, σύμφωνα με τη μέθοδο της δυσμενέστερης διάταξης.

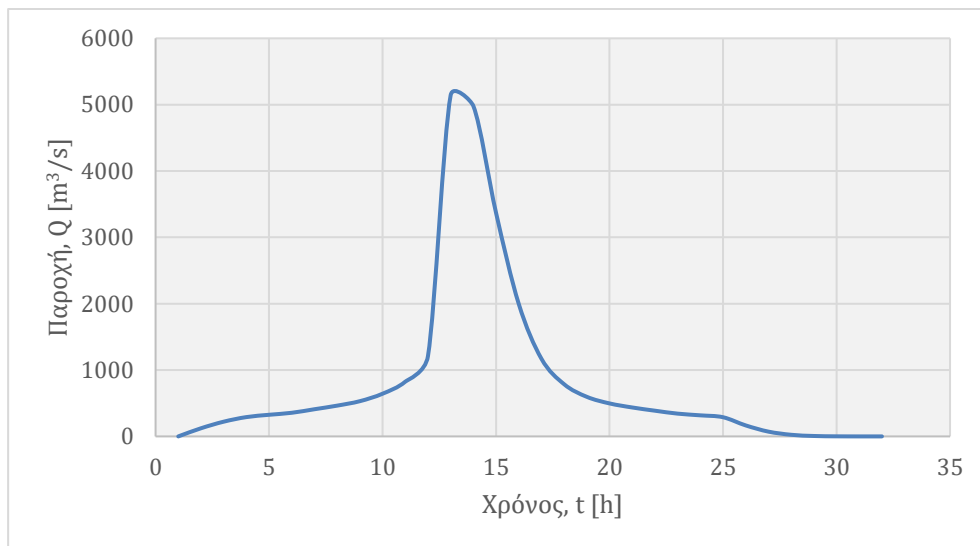


Σχήμα 5.17: Υετογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 10000$  έτη, στη φυσική λεκάνη απορροής



Σχήμα 5.18: Καμπύλη S επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 10000$  έτη, στη φυσική λεκάνη απορροής

Ακολουθώντας τις αρχές σύνθεσης του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος στο προγραμματιστικό περιβάλλον HEC-HMS, εξάγουμε το τελικό πλημμυρογράφημα του επεισοδίου, με τη συγκεκριμένη πιθανότητας εμφάνισης, αυτού του σεναρίου.



Σχήμα 5.19: Πλημμυρογράφημα επεισοδίου με περίοδο επαναφοράς  $T = 10000$  έτη, στη φυσική λεκάνη απορροής

## 6 Συμπεράσματα

### 6.1 Σύνοψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή μελέτης. Αρχικά, υλοποιήθηκε η γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής μέσω του προγράμματος ArcGIS και της εργαλειοθήκης HEC-GeoHMS. Έπειτα, ακολούθησε η υδρολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης μέσω του λογισμικού HEC-HMS αξιοποιώντας τη μέθοδο *Ορισμένου Μοναδιαίου Υδρογραφήματος*. Έγινε θεώρηση συγκεντρωτικού μοντέλου λεκάνης απορροής, δηλαδή η περιοχή μελέτης αντιμετωπίστηκε ως μια ενιαία οντότητα. Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής ήταν η παραγωγή πλημμυρογραφήματος. Η διαδικασία εύρεσης πλημμυρογραφήματος έγινε για τέσσερις (4) διαφορετικές περιπτώσεις. Ειδικότερα, στις πρώτες δύο (2) περιπτώσεις λήφθηκε υπόψη η ύπαρξη του φράγματος και μελετήθηκαν οι κατακρημνίσεις με περίοδο επαναφοράς 1000 έτη και 10000 έτη. Στις επόμενες δύο (2) περιπτώσεις το φράγμα θεωρήθηκε πως δεν έχει κατασκευαστεί και ελέγχθηκαν οι βροχοπτώσεις με περιόδους επαναφοράς 1000 και 10000 έτη στην ευρύτερη λεκάνη απορροής. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν η εύρεση του δυσμενέστερου συνδυασμού κατά τον οποίο η λεκάνη παρουσιάζει τη μέγιστη πλημμυρική αιχμή σύμφωνα με τα πλημμυρογραφήματα.

### 6.2 Γενικά Συμπεράσματα

Από τη διερεύνηση της πλημμυρικής διακινδύνευσης στην περιοχή μελέτης εξάγονται τα παρακάτω γενικά συμπεράσματα:

- Από τη γεωμορφολογική ανάλυση γίνεται αντιληπτό ότι η Ρόδος αποτελείται από πυκνό υδρογραφικό δίκτυο με πολλές επιμέρους λεκάνες απορροής.

- Είναι φανερό, από τον εδαφολογικό χάρτη, πως το νησί της Ρόδου αποτελείται κατά κύριο λόγο από ημι-διαπερατά πετρώματα και σε ένα μικρό μόνο ποσοστό από αδιαπέρατα.
- Η πολυκριτηριακή ανάλυση σε περιβάλλον GIS αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την προκαταρκτική εκτίμηση των πλημμυρικά ευάλωτων περιοχών σε ευρείες περιοχές. Τα αποτελέσματά της υποδεικνύουν στο μελετητή εκείνες τις θέσεις οι οποίες έχουν αυξημένη επιδεκτικότητα σε πλημμύρες για τη διενέργεια λεπτομερέστερης ανάλυσης με υδρολογικά και υδραυλικά εργαλεία. Όσο περισσότερα κριτήρια επιλέγονται για την πολυκριτηριακή ανάλυση τόσο πολυδιάστατο και πιο ακριβές είναι το αποτέλεσμα της σύνθεσης των κριτηρίων. Λόγω της απλότητας της αναλυτικής ιεραρχικής διαδικασίας, η πρόσθεση κριτηρίων δεν επιβαρύνει σημαντικά την υπολογιστική διαδικασία, ενώ ταυτόχρονα συμβάλει στην εύρεση μιας καλύτερης λύσης για το κάθε πρόβλημα που ικανοποιεί ένα ευρύ σύνολο παραμέτρων.

### 6.3 Ειδικά Συμπεράσματα

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας στην περιοχή μελέτης οδηγεί στα παρακάτω ειδικότερα συμπεράσματα:

- Οι χρήσεις γης διαδραματίζουν καταλυτικό ρόλο στο τελικό χαρτογραφικό αποτέλεσμα διότι συνδέονται με πολλαπλούς τρόπους με την πλημμυρική διακινδύνευση, επηρεάζοντας και το κριτήριο της αδιαπερατότητας.
- Όσον αφορά στην εφαρμογή της μεθόδου των *Ισόχρονων Καμπυλών* για την παραγωγή μοναδιαίων υδρογραφημάτων, αυτή κρίνεται ικανοποιητική. Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημά της είναι ότι δίνεται στο μελετητή η δυνατότητα προσαρμογής των δεδομένων για την ακριβέστερη περιγραφή των χαρακτηριστικών της λεκάνης.

- Υπάρχει μικρή διαφοροποίηση της συνεισφοράς κάθε βροχομετρικού σταθμού στο αποτέλεσμα στην έξοδο της εκάστοτε λεκάνης απορροής. Στη λεκάνη απορροής του φράγματος Γαδουρά η συνεισφορά των σταθμών Έμπωνα, Λαέρμα και Απολλώνων είναι 37.68%, 31.17% και 31.15% αντίστοιχα, ενώ στη φυσική λεκάνη απορροής είναι μόλις 36.10%, 34.05% και 29.85%. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως τα πολύγωνα Thiessen λαμβάνουν υπόψιν τους μόνο τη χωροθέτηση ενός σημείου στην έκταση της λεκάνης.
- Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα στο σενάριο ύπαρξης του φράγματος παρουσιάζει μέγιστο στα 141,36 m<sup>3</sup>/s και στο σενάριο μη ύπαρξης του φράγματος εντείνεται στα 175,15 m<sup>3</sup>/s.
- Από τις τέσσερις (4) διαφορετικές μελέτες που έγιναν στην εξεταζόμενη υπολεκάνη, η μεγαλύτερη πλημμυρική αιχμή, σύμφωνα με τα πλημμυρογραφήματα που παράχθηκαν, εμφανίζεται στην τρίτη (3<sup>η</sup>) περίπτωση (υπάρχει το φράγμα, περίοδος επαναφοράς: 10000 έτη) με μέγιστη πλημμυρική παροχή 5140.48 m<sup>3</sup>/s. Έπειτα ακολουθεί η πρώτη (1<sup>η</sup>) μελέτη (δεν υπάρχει το φράγμα, περίοδος επαναφοράς: 10000 έτη) με μέγιστη πλημμυρική παροχή 4605.55 m<sup>3</sup>/s, προτελευταία είναι η τέταρτη (4<sup>η</sup>) μελέτη (υπάρχει το φράγμα, περίοδος επαναφοράς: 1000 έτη) με μέγιστη πλημμυρική παροχή 3632.56 m<sup>3</sup>/s, και τέλος η δεύτερη (2<sup>η</sup>) μελέτη (δεν υπάρχει το φράγμα, περίοδος επαναφοράς: 1000 έτη) με μέγιστη πλημμυρική παροχή 3328.54 m<sup>3</sup>/s.
- Αξιοσημείωτες είναι οι πολύ μικρές αποκλίσεις στα αθροιστικά ύψη βροχόπτωσης που προκύπτουν: 434.7 mm στην τέταρτη (4<sup>η</sup>) περίπτωση με 436.58 mm στην δεύτερη (2<sup>η</sup>) περίπτωση, δηλαδή απόκλιση 0.43%, και 615.3 mm στην τρίτη (3<sup>η</sup>) περίπτωση με 618.13 mm στην πρώτη (1<sup>η</sup>) περίπτωση, δηλαδή απόκλιση 0.46%. Αν λάβουμε υπόψη ότι στα πρώτα δύο σενάρια η επιφάνεια είναι 154.86 km<sup>2</sup> και στα τελευταία δύο σενάρια η επιφάνεια είναι 148.37 km<sup>2</sup>, δηλαδή απόκλιση 4.37%, τότε ίσως μπορούμε να πούμε ότι το 10% της όποιας αλλαγής στην επιφάνεια κατακρήμνισης μεταφράζεται στην ίδιου πρόσημου αλλαγή στο συνολικό ύψος της βροχόπτωσης.

- Όσον αφορά τα ύψη βροχόπτωσης, σύμφωνα με τα παραχθέντα υετογράμματα, οι μέγιστες κατακρημνίσεις είναι 248.3 mm και 247.1 στην πρώτη (1<sup>η</sup>) και τρίτη (3<sup>η</sup>) περίπτωση αντίστοιχα, και 175.4 mm και 174.6 mm στην δεύτερη (2<sup>η</sup>) και τέταρτη (4<sup>η</sup>) περίπτωση. Οι ανεπαίσθητες αυτές αποκλίσεις κρίνονται ορθές σύμφωνα με τον ορισμό της επίδρασης από τη μέθοδο Thiessen.

#### **6.4 Προτάσεις μελλοντικής έρευνας**

Όσον αφορά την επέκταση της μελέτης της συγκεκριμένης περιοχής, ενδιαφέρον θα είχε η σύγκριση της διοχέτευσης του πλημμυρικού κύματος στις δύο περιπτώσεις μέσω της προσομοίωσής του από το προγραμματιστικό περιβάλλον HEC-RAS. Παράλληλα, δύναται να γίνει εξέταση των δυσμενών και ευμενών συνθηκών, υπό την έννοια του βαθμού κορεσμού του εδάφους της λεκάνης απορροής που δέχεται τις κατακρημνίσεις με περιόδους επαναφοράς 1000 και 10000 έτη. Φυσικά, η διερεύνηση της συσχέτισης της επιφάνειας με την αθροιστική βροχόπτωση είναι κάτι που πρέπει να εξεταστεί περαιτέρω.

## Ελληνική Βιβλιογραφία

- Ανδρικοπούλου Θ. Ζ. (2021). *Ανάπτυξη και συγκριτική αξιολόγηση ενός καταναμημένου μοντέλου βροχής - απορροής με χρήση μεθόδων GIS, Μεταπτυχιακή Διατριβή*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Γαμβρούδης Χ. (2006). *Διερεύνηση υδραυλικής συμπεριφοράς και ευστάθειας πρανών φράγματος Γαδουρά Ρόδου, Προπτυχιακή Διατριβή*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Γινόπουλος Ζ. (2012). *Πρόληψη και διαχείριση πλημμυρικών κινδύνων από τσουνάμι και μετεωρολογική παλίρροια στην παράκτια ζώνη, Μεταπτυχιακή Διατριβή*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΤΕ, & ΜΕΤΩΝ ΑΕ. (2002). *Μελέτη προσωρινών μέτρων υποστήριξης σήραγγας εκτροπής φράγματος Γαδουρά Ρόδου*.
- Κουτσογιάννης Δ. (1996). *Στατιστική Υδρολογία, 3η Έκδοση*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κουτσογιάννης Δ. (2011). *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης, 4η Έκδοση*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κουτσογιάννης Δ., & Ξανθόπουλος Θ. (1999). *Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- Κουτσογιάννης Δ., & Ξανθόπουλος Θ. (2016). *Τεχνική Υδρολογία, 4η Έκδοση*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Κουτσογιάννης Δ., Μαρκόνης Γ., Κουκουβίνος Α., Παπαλεξίου Σ., Μαμάσης Ν., & Δημητριάδης Π. (2010). *Υδρολογική μελέτη ισχυρών βροχοπτώσεων στη λεκάνη του Κηφισού*.
- Μαμάσης Ν. (2014). *Πλημμύρες κι Αντιπλημμυρικά Έργα: Φυσικό πλαίσιο - Γεωμορφολογία και απορροή*. Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Ε.Μ.Π.

- Μαρίνος Π. (2002). Απόψεις επί των συνθηκών εκσκαφής της σήραγγας εκτροπής, φράγματος Γαδουρά, περιοχή εξόδου. *Αδημοσίευτη έκθεση εμπειρογνώμονος Τεχνικού Συμβούλου.*
- Μαρίνος Π., Καββαδάς Μ., Κοτσώνης Α., Σωμάκος Λ., Περλέρος Β., & Λαζαρίδου Σ. (χ.χ.). *Γεωλογικά και γεωτεχνικά θέματα κατά την κατασκευή του φράγματος Γαδουρά Ρόδου.* Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.
- Μαρίνος Π., Χριστοδουλοπούλου Τ., & Περλέρος Β. (2004). Αργιλικοί σχιστόλιθοι του φλύσχη, συμπεριφορά τους στη διάνοιξη της σήραγγας εκτροπής φράγματος Γαδουρά Ρόδου. *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 36.*
- Μιμίκου Μ., & Μπαλτάς Ε. (2012). *Τεχνική Υδρολογία, 5η Έκδοση.* Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Μπαλτάς Ε. (2004). Η Ανάλυση των Υδατικών Διαμερισμάτων της Χώρας στην Εφαρμογή της Οδηγίας - Πλαίσιο για τα Νερά. *Αειχώρος, 3(1).*
- Μπαλτάς Ε., & Μιμίκου Μ. (χ.χ.). Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά - Επαναπροσδιορισμός Νέω Υδρολογικών Περιφερειών. Στο *Υδροτεχνικά ΕΥΕ, Τόμος 15.*
- Μπαλτάς Ε., & Μιμίκου Μ. (χ.χ.). Σύγκριση Μοντέλων Βροχής - Απορροής με Βάση τη Χωρική Κατανομή της Βροχής. Στο *Υδροτεχνικά ΕΥΕ, Τόμος 9.*
- Μπενέκου Π. (2014). *Εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS στην ορεινή πειραματική λεκάνη Βαρετάδας Αμφιλοχίας, Μεταπτυχιακή Διατριβή.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Νικολός Α. (2021). *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις τεχνο-ατυχημάτων: μελέτη περίπτωσης περιβαλλοντικών επιπτώσεων τεχνο-ατυχήματος στο φράγμα Γαδουρά στη νήσο Ρόδο, Μεταπτυχιακή Διατριβή.* Ρόδος: Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Ξανθόπουλος Θ. (1984). *Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.



Οδηγία 2000/60/ΕΚ. (2000). Πλαίσιο Κοινοτικής Δράσης Στον Τομέα Της Πολιτικής Των Υδάτων. *Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο.*

Οδηγία 2007/60/ΕΚ. (2007). Αξιολόγηση και Διαχείριση Πλημμυρικών Κινδύνων. *Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο.*

(2000). *Οριστική Μελέτη Φράγματος Γαδουρά (Τεύχος 2 - Τεχνική Έκθεση).*

(2000). *Οριστική Μελέτη Φράγματος Γαδουρά (Τεύχος 3 - Γεωλογική Έκθεση).*

Σωτηροπούλου Κ. (2012). *Κατάρτιση πλημμυρικών χαρτών σύμφωνα με την οδηγία 2007/60/ΕΕ. Η εφαρμογή στη λεκάνη του Σπερχειού, Μεταπτυχιακή Διατριβή.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Τρίγενης Ε. (2016). *Ανάλυση τεχνικών χαρακτηριστικών και υδρολογική μελέτη φράγματος Γαδουρά Ρόδου, Πτυχιακή Διατριβή.* Πάτρα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας.

ΥΔΡΟΕΡΕΥΝΑ ΑΕ. (1980). *Μελέτη υδρεύσεως ευρύτερας περιοχής πόλεως Ρόδου μετά των κοινοτήτων Τριάντα και Κοσκινού. Στο Ερευνητικά - Γεωτεχνικά Έργα Προμελέτης Φράγματος, Τεύχος 10.* Νομαρχιακό Ταμείο Δωδεκανήσου.

ΥΠΕΝ. (2010). *Προδιαγραφές Μελετών.* Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας.

ΥΠΕΝ. (χ.χ.). *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας - Πλημμυρικά Υδρογραφήματα.* Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας.

## Διεθνής Βιβλιογραφία

- Anagnostou C., Sioulas A., Hatiris G. A., Karageorgis A. P., & Chronis G. (2011). *Erosion: A human induced threat for the NW coasts of Rhodes Island (SE Greece)*. ResearchGate.
- Baltas E., & Karaliolidoy M. C. (2007). Hydrological effects of land use and climated change in northern Greece. *Journal of Land Use Science*, 2(4).
- Dingman S.L. (2015). *Physical Hydrology, 3rd Edition*. Waveland Press Inc.
- Efstratiadis A., & Rozos E. (2010). *Water supply works from Gadouras dam - Phase B*. Ministry of Environment, Planning and Public Works.
- Giandotti M. (1934). *Previsione delle piene e delle magre dei corsi d' acqua*. Roma: Ministero dei Lavori Pubblici.
- Koutsoyiannis D. (1994). A stochastic disaggregation method for design storm and flood synthesis. *Journal of Hydrology*.
- Koutsoyiannis D., & Baloutsos G. (2000). *Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences*. Athens: Natural Hazards.
- Koutsoyiannis D., Kozonis D., & Manetas A. (1998). A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology* 206.

## Διαδικτυακές Πηγές

<https://www.een-gadoura.gr/>

<https://www.scholar.google.com/>

<https://www.itia.ntua.gr/>

<https://www.pergamos.lib.uoa.gr/>

<https://www.e-nomothesia.gr/>

<https://www.repository.kallipos.gr/>

<https://www.helanicus.lib.aegean.gr/>

<https://www.dspace.lib.ntua.gr/>

<https://www.researchgate.net/>

<https://www.didaktorika.gr/>

<https://www.floods.ypeka.gr/>

<https://www.ypen.gov.gr/>

<https://www.portal.tee.gr/>