

ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ



ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΓΡ. ΚΟΥΒΑΤΣΗΣ
Πτυχιούχος Πολιτικός Μηχανικός Α.Τ.Ε.Ι.Θ.

ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ
ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΓΑΔΟΥΡΑ ΡΟΔΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2023

ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΓΡ. ΚΟΥΒΑΤΣΗΣ

ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Α.Τ.Ε.Ι.Θ.

ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

ΓΑΔΟΥΡΑ ΡΟΔΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ	ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΙΔΡΥΜΑ
ΚΕΡΑΜΑΡΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	ΔΙ.ΠΑ.Ε.
ΣΑΒΒΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΜΕΛΟΣ	ΔΙ.ΠΑ.Ε.
ΤΕΛΟΓΛΟΥ ΗΛΙΑΣ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΜΕΛΟΣ	ΔΙ.ΠΑ.Ε.

*Αφιερώνεται στους αγαπημένους μου γονείς,
Γρηγόριο και Θεοφανή,
στον αδελφό μου Άγγελο,
για τους κόπους και τις θυσίες τόσων ετών,
για το τρίπτυχο της επιτυχίας
ΔΟΥΛΕΙΑ-ΕΠΙΜΟΝΗ-ΥΠΟΜΟΝΗ
που μου δίδαξαν,
για την ικανοποίηση που λαμβάνεις
όταν αυτοί που σου έδωσαν ζωή,
ξαναγεννιούνται κάθε μέρα, βλέποντάς σε
να πετυχαίνεις τους στόχους σου.*

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής διατριβής σημαντική βοήθεια αποτέλεσε η συνεργασία με πρόσωπα του ιδρύματος καθώς και η συνεργασία με την διοίκηση και τους τεχνικούς της κατασκευάστριας εταιρίας του Φράγματος Γαδουρά Ρόδου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ευάγγελο Κεραμάρη, επιβλέπων καθηγητή της παρούσας εργασίας, για την στήριξη, την καθοδήγηση και την ελευθερία που μου έδωσε καθ' όλη την διάρκεια ενασχόλησης μου με αυτήν, με σκοπό και στόχο το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο την υδρολογική μελέτη πλημμυρών του Φράγματος Γαδουρά Ρόδου με βάση τα δεδομένα βροχοπτώσεων και μετεωρολογικών μεταβλητών της ευρύτερης περιοχής και γεωλογικούς σχηματισμούς του φράγματος.

Στο 1^ο Κεφάλαιο δίνονται οι ορισμοί που σχετίζονται με τον κίνδυνο των πλημμυρών, τους παράγοντες που επηρεάζουν τις υδρολογικές εργασίες και το ζήτημα των πλημμυρών.

Στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται μια αναδρομή στο ιστορικό πλημμυρών στον Ελλαδικό χώρο και της ιδιαιτερότητες αυτού.

Στο 3^ο Κεφάλαιο γίνεται μια εκτενής ανάλυση των κύριων τμημάτων του φράγματος, τα υλικά κατασκευής αλλά και των τεχνικών στοιχείων του.

Στο 4^ο Κεφάλαιο πραγματοποιείται ανάλυση των γεωλογικών στοιχείων της περιοχής και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος.

Στο 5^ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο ιστορικό και τη διόρθωση της μελέτης.

Στο 6^ο Κεφάλαιο πραγματοποιείται η εκτίμηση της βροχόπτωσης σχεδιασμού και της ΠΜΚ.

Στο 7^ο Κεφάλαιο γίνεται η εκτίμηση της πλημμύρας σχεδιασμού για διαφορετικές περιόδους επαναφοράς..

Στο 8^ο παρουσιάζεται ο τρόπος διάδευσης της πλημμύρας του υπερχειλιστή.

Περιεχόμενα

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ/ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ	8
1.2 ΤΟ ΖΗΤΗΜΑ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.....	10
1.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.....	12
2. ΤΥΠΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.....	17
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ.....	21
2.2 ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	21
2.3 ΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ	23
2.4 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ	23
2.5 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ.....	28
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	33
3.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	33
3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ	34
3.3 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ	35
3.4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	37
3.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	38
3.6 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	39
3.7 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	40
4. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΦΡΑΓΜΑ ΓΑΔΟΥΡΑ.....	41
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	41
4.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	42
4.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	43
4.4 ΚΥΡΙΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	44
4.4.1 ΣΗΡΑΓΓΑ ΕΚΤΡΟΠΗΣ	44
4.4.2 ΠΡΟΦΡΑΓΜΑ.....	48
4.4.3 ΚΥΡΙΩΣ ΦΡΑΓΜΑ	50
4.4.3.1 ΤΥΠΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΞΗ ΑΞΟΝΑ	50
4.4.3.2 ΠΥΡΗΝΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	50
4.4.3.3 ΚΕΛΥΦΗ.....	54

4.4.3.4	ΦΙΛΤΡΑ ΚΑΙ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΑ	54
4.4.3.5	ΛΙΘΟΡΡΙΠΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	55
4.4.3.6	ΑΥΧΕΝΙΚΟ ΦΡΑΓΜΑ	56
4.4.3.7	ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗΣ	57
4.4.3.8	ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ.....	58
4.5	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΩΝ	59
ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ		61
5.1	Γενικά	61
5.2	ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	63
5.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	64
5.4	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ	66
5.5	ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ	68
6.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	70
6.1	ΠΙΘΑΝΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ – ΜΕΘΟΔΟΣ HERSHFIELD	70
6.2	ΠΙΘΑΝΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ – ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	75
6.2.1	ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	75
6.2.2	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	78
6.2.3	ΜΕΓΙΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΔΡΟΣΟΥ.....	79
6.2.4	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΜΚ.....	81
6.3	ΠΙΘΑΝΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ.....	85
6.3.1	ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	85
6.3.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	89
6.4	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ.....	90
6.5	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	94
7.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	96
7.1	ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ	96
7.2	ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	100
7.3	ΑΠΩΛΕΙΕΣ – ΩΦΕΛΙΜΗ ΒΡΟΧΗ	101
7.4	ΒΑΣΙΚΗ ΡΟΗ – ΤΗΞΗ ΧΙΟΝΙΟΥ	102
7.5	ΠΕΡΙΟΔΟΙ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ	103
7.6	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	103
7.7	ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ.....	104
8.	ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ	106

8.1	ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ	106
8.2	ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΤΑΘΜΗΣ – ΟΓΚΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ.....	108
8.3	ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΤΑΘΜΗΣ – ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ	108
8.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΟΔΕΥΣΕΩΝ	108
9.	ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	112
9.1	ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	112
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	113
10.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	114

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΩΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Σχέση κινδύνου, επικινδυνότητας και τρωτότητας (Disse, et al, 2020)	12
Εικόνα 1.2 Ποσοστό συμμετοχής των πλημμυρών επί του συνόλου των φυσικών καταστροφών σε παγκόσμιο επίπεδο (για την περίοδο 1975-2006) και στον Ευρωπαϊκό χώρο για την περίοδο 1980-2008). Τα ποσοστά αναφέρονται σε απόλυτο βαθμό καταστροφικών γεγονότων, των αριθμό των θανάτων, το κόστος των ζημιών και τον αριθμό ατόμων που επηρεάστηκαν (Hogois et al. 2007, CRED 2008, τροποποιημένα)	13
Εικόνα 1.3 Αριθμός πλημμυρών, θυμάτων, ύψος ζημιών και άτομα που επηρεάστηκαν από πλημμυρικά φαινόμενα στον κόσμο και στην Ευρώπη για τις περιόδους 1975-2006 και 1980-2008 αντίστοιχα (Hogois et al. 2007, CRED 2008, τροποποιημένα).....	13
Εικόνα 1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση πλημμυρών και γενικότερα τις υδρολογικές διεργασίες (Wilson 1990, Smith and Ward 1998, Ward and Robinson 2000, Παπαμιχαήλ 2004, Φουμέλης 2004, Μιμίκου και Μπαλτάς 2006)	15
Εικόνα 1.5 Επίδραση συγκεκριμένων παραγόντων στην υδρολογική απόκριση μιας υδρολογικής λεκάνης σε μια καταιγίδα, όπως αυτή εκφράζεται από το υδρογράφημα στην έξοδο της (τροποποιημένο από Smith & Ward 1998, Ward & Robinson 2000, Gordon et al. 2004).	19
Εικόνα 2.1 Θέσεις ιστορικών πλημμυρικών συμβάντων (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012) .	27
Εικόνα 2.2 Κατηγορίες ανά αριθμό πλημμυρικών γεγονότων στις θέσεις ιστορικών πλημμυρών (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)	28
Εικόνα 2.3 Κατηγορίες ανά έκταση πλημμύρας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012	29
Εικόνα 2.4 Κατηγορίες ανά ύψος αποζημίωσης (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)	29
Εικόνα 2.5 Κατηγορίες ανά Τύπο Καταστροφής (Γενική Γραμματεία Υδάτων, 2012)	30
Εικόνα 2.6 Εποχική κατανομή πλημμυρικών συμβάντων (Διακάκης, κ.α., 2012)	31
Εικόνα 2.7 Μηνιαία κατανομή πλημμυρικών συμβάντων (Διακάκης, κ.α., 2012).....	31
Εικόνα 2.8 Εποχική κατανομή συμβάντων ανάμεσα σε Δυτικές και Ανατολικές Περιφέρειες (Διακάκης, κ.α., 2012)	32
Εικόνα 2.9 Χρονική κατανομή των πλημμυρικών συμβάντων και θυμάτων (Διακάκης, κ.α., 2012)	32
Εικόνα 2.10 Χωρική κατανομή πλημμυρικών συμβάντων ανά Δήμο (Διακάκης, κ.α., 2012) ..	33

Εικόνα 2.11 Χωρική πυκνότητα των πλημμυρικών συμβάντων (Διακάκης, κ.α., 2012)	34
Εικόνα 4.1 Τυπική διατομή του σώματος του φράγματος με διαχωρισμό των ζωνών αναχωμάτων (Ε.Ε.Ν. Γαδουρά).....	44
Εικόνα 4.2 Είσοδος σήραγγας εκτροπής	47
Εικόνα 4.3 Εκσκαφή σήραγγας εκτροπής.....	48
Εικόνα 4.4 Στόμιο εκκένωσης και υδροληψίας	49
Εικόνα 4.5 Βοηθητικό – Κύριο άναντη πρόφραγμα.....	51
Εικόνα 4.6 Τσιμεντενέσεις τάπητα (ΑΕΓΕΚ, 2001)	55
Εικόνα 4.7 Γενική όψη φράγματος κατά την κατασκευή (ΑΕΓΕΚ, 2001)	56
Εικόνα 4.8 Ζώνες φίλτρων – στραγγιστηρίων (ΑΕΓΕΚ, 2001)	57
Εικόνα 4.9 Λιθορριπή προστασίας (ΑΕΓΕΚ, 2001)	58
Εικόνα 4.10 Κατασκευή Αυχενικού φράγματος (ΑΕΓΕΚ, 2001)	59
Εικόνα 4.11 Σύστημα υπερχείλισης (ΑΕΓΕΚ, 2001)	60
Εικόνα 4.12 Αποστραγγιστική σήραγγα (ΑΕΓΕΚ, 2001)	61
Εικόνα 5.1 Υπερχειλιστής τύπου Ogee (ΕΕΝ ΓΑΔΟΥΡΑ)	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Ενδεικτική ταξινόμηση διαφορετικών τύπων πλημμυρών (Martini and Loat 2007, Smith and Ward 1998) σε σχέση με τα πιο συνήθη αίτια και επιπτώσεις.	20
Πίνακας 4.1 Στάδια και πιέσεις μανομέτρου	54
Πίνακας 5.1 Βροχομετρικοί σταθμοί Ρόδου που χρησιμοποιούνται στη μελέτη	70
Πίνακα 6.2 Δείγματα ετήσιων μεγίστων ημερήσιων υψών βροχής (σε mm) των σταθμών της Ρόδου	73
Πίνακα 6.3 Εφαρμογή της μεθόδου Hershfield (1961, 1965) για την εκτίμηση της ΠΜΚ θέσεις των βροχομετρικών σταθμών της Ρόδου (Υψος βροχής σε mm)	74
Πίνακας 6.5 Δεδομένα ισχυρών βροχοπτώσεων στο σταθμό Ρόδου και υπολογισμοί μεγιστοποίησης του ύψους βροχής για την εκτίμηση της ΠΜΚ.	84
Πίνακας 6.6 Παράμετροι της κατανομής ΓΑΤ και εκτιμήσεις του ύψους βροχής για διάφορες περιόδους επαναφοράς.....	91
Πίνακα 6.7 Ετήσια μέγιστα ύψη βροχής διαφόρων διαρκειών στα Λάερμα, όπως προκύπτουν από την επεξεργασία βροχογραφημάτων.	93
Πίνακα 6.8 Βοηθητικοί υπολογισμοί για την αναγωγή της σημειακής ημερήσιας βροχόπτωσης σε επιφανειακή οποιασδήποτε διάρκειας	94
Πίνακα 6.9 Τελικά μεγέθη υψών βροχής σε mm (μετά τις αναγωγές) για χαρακτηριστικές περιόδους επαναφοράς και διάρκειας	96
Πίνακα 7.1 Εκτίμηση συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος στο Γαδουρά ανάντη της θέσης φράγματος (Μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας – επαλήθευση με μεθόδους Snyder και Giandotti).	100
Πίνακας 7.2 Συνοπτικά αποτελέσματα υπολογισμών πλημμυρογραφημάτων σχεδιασμού	105
Πίνακα 7.3 Εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής στη θέση φράγματος Γαδουρά με τις καμπύλες του Creager για διάφορες εναλλακτικές τιμές του συντελεστή C.	106
Πίνακας 8.1 Κύρια χαρακτηριστικά των υδρογραφημάτων εισροής και εκροής του υπερχειλιστή. Περίοδος επαναφοράς T (έτη) 10.000, 20.000, 60.000	110

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ/ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1 Θέση φράγματος (ΕΕΝ ΓΑΔΟΥΡΑ).....	35
Σχήμα 3.2 Γεωλογική τομή στην περιοχή του φράγματος (ΕΕΝ ΓΑΔΟΥΡΑ)	37
Σχήμα 4.1 Γενική διάταξη έργων φράγματος `	46
Σχεδιάγραμμα 4.2 Κοκκομετρικές καμπύλες υλικού Ζώνη 1.....	53
Σχήμα 5.1 Συνοπτικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (ΕΕΝ ΓΑΔΟΥΡΑ).....	66
Σχήμα 5.2 Υψομετρική καμπύλη της λεκάνης απορροής ανάντη της θέσης φράγματος Γαδουρά	67
Σχήμα 5.3 Μηκοτομή του κύριου κλάδου του Γαδουρά ανάντη της θέσης φράγματος.....	68
Σχήμα 5.4 Καμπύλες στάθμης – όγκου και στάθμη επιφάνειας του ταμιευτήρα Γαδουρά	69
Σχήμα 6.1 Εμπειρικές και θεωρητικές (Gumbel) συναρτήσεις κατανομής των ετήσιων μέγιστων ημερήσιων σημείων δρόσου στο σταθμό της Ρόδου.....	81
Σχήμα 6.2 Χαρακτηριστικές τιμές του μέγιστου ημερήσιου σημείου δρόσου για κάθε μήνα	82
Σχήμα 8.1 Υετογράφημα, υδρογραφήματα εισροής και εκροής σχεδιασμού υπερχειλιστή για περίοδο επαναφοράς 10.000 ετών.	112

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πλημμύρες αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους τύπους φυσικών καταστροφών. Η έκθεση της ανθρώπινης ζωής, περιουσίας και χώρων κατοικίας σε κίνδυνο, η καταστροφή έργων υποδομής, βιομηχανικής και γεωργικής δραστηριότητας, η μόλυνση υδατικών μαζών και γενικά η διατάραξη της ομαλής κοινωνικής ζωής είναι μερικές από τις σημαντικότερες επιπτώσεις τους.

Τα πλημμυρικά φαινόμενα αποτελούν μέρος της φυσικής υδρολογικής διεργασίας και συμβαίνουν όταν κατά διαστήματα μέρος του υδρογραφικού δικτύου δεν δύναται να αποστραγγίσει τον όγκο των υδάτων που απορρέουν με αποτέλεσμα να υπερχειλίζει και τα ύδατα αυτά να καταλαμβάνουν εφήμερα, τμήματα χερσαίας περιοχής. Η εγκατάσταση ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε περιοχές που υπόκεινται σε πλημμύρες οδηγεί κατά περιόδους σε καταστροφές τόσο υποδομές αλλά επίσης κοινωνικές και οικονομικές ή ακόμη και για την ζωή του ανθρώπου.

Τα πλημμυρικά φαινόμενα υπόκεινται στην επίδραση φυσικών γεωπεριβαλλοντικών μεταβολών όπως η ερημοποίηση, οι δασικές πυρκαγιές και η μεταβολή κλιματικών παραμέτρων. Επιπρόσθετα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως η ανάπτυξη τεχνικών έργων, η επέκταση του αστικού ιστού και οι μεταβολές στις χρήσεις γης.

1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

Οι πλημμύρες αποτελούν μέρος των φυσικών υδρολογικών εργασιών σε μια υδρολογική λεκάνη. Συμβαίνουν όταν κατά διαστήματα η φυσική κοίτη (ή κάποιος τεχνητός αγωγός) που αποστραγγίζει μια περιοχή δεν δύναται να παροχετεύσει τον όγκο νερού, ο οποίος απορρέει με αποτέλεσμα να υπερχειλίζει τις όχθες της και τα ύδατα να καταλαμβάνουν τμήματα χερσαίας περιοχής, τα οποία συνήθως δεν είναι κατειλημμένα από νερό. Η υπερχειλίση αυτή δημιουργεί ζημιές και εν δυνάμει απειλεί την ανθρώπινη περιουσία και την ανθρώπινη ζωή εφόσον δεν έχει ληφθεί πρόνοια. Οι πλημμύρες αποτελούν φαινόμενο το οποίο εξαρτάται από ένα σημαντικό αριθμό φυσικών παραγόντων (Ward and Robinson 2000). Σε ορισμένες περιπτώσεις έχει δειχθεί ότι σημαντική επίδραση στην εκδήλωση του φαινομένου έχουν και ανθρωπογενείς παράγοντες (Smith and Ward 1998), οι οποίοι επιδρούν

είτε άμεσα μειώνοντας την παροχετευτική ικανότητα των υδατορευμάτων (π.χ. παραποτάμεις κατασκευές απόθεσης στείρων υλικών) είτε έμμεσα επιδρώντας στην υδρολογική λειτουργία των λεκανών (π.χ. αστικοποίηση).

Στον τομέα των ορισμών που σχετίζονται με τον κίνδυνο πλημμυρών μέχρι σήμερα υπάρχει σύγχυση σε ότι αφορά την απόδοση τους στην Ελληνική Γλώσσα (Theoulakis 2010, Πιστρίκα 2010). Στη παρούσα διατριβή υιοθετούνται οι παρακάτω ορισμοί:

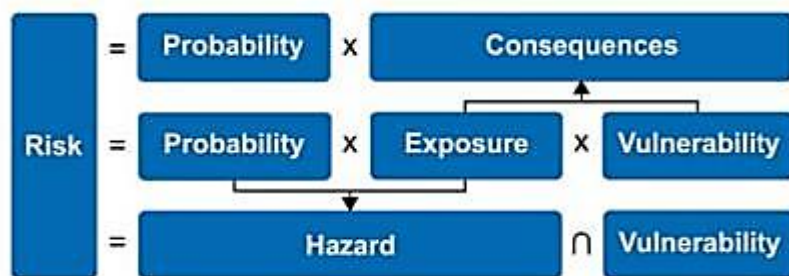
Πλημμύρα: Η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, εφήμερα ρέματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, με τις πλημμύρες όμως από συστήματα αποχέτευσης να εξαιρούνται.

Τρωτότητα: Με την έννοια της τρωτότητας νοείται ο βαθμός ευαλωτότητας ή επιδεκτικότητας ενός συστήματος σ' έναν κίνδυνο. Ως τρωτότητα του φυσικού ή ανθρωπογενούς περιβάλλοντος ορίζεται ένα σύνολο συνθηκών και διαδικασιών που προέρχονται από φυσικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό που είναι ευπαθές το σύστημα αυτό απέναντι σε φυσικούς κινδύνους (Διακάκης, 2012; Πιστρίκα, 2010). Μια επικινδυνότητα μπορεί να γίνει καταστροφική για μία κοινότητα όταν συναντά συνθήκες τρωτότητας και αυτή είναι ανίκανη να επανέλθει και να αποκατασταθεί (Σαπουντζάκη & Δανδουλάκη, 2016). Η τρωτότητα χρησιμοποιείται με τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις. Αρχικά, εκφράζει την έκθεση του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος απέναντι σε φυσικούς κινδύνους. Δεύτερον, συνδέει την τρωτότητα με την ικανότητα του συστήματος στην καταπολέμηση φυσικών κινδύνων, δηλαδή πόσο ανθεκτική είναι μια κοινότητα απέναντι στους κινδύνους. Και τέλος, συνδυάζει της παραπάνω έννοιες, καθώς η έννοια της τρωτότητας έχει δύο διαστάσεις, αποτελείται από την «εξωτερική» πλευρά, δηλαδή την έκθεση σε κινδύνους, και την «εσωτερική» πλευρά, δηλαδή την ανθεκτικότητα του συστήματος στους κινδύνους (Πιστρίκα, 2010).

Σχέση της τρωτότητας με την επικινδυνότητα και τον κίνδυνο: Μια κοινότητα καταλήγει σε καταστροφές όταν συμβαίνουν επικινδυνότητες και αυτή είναι τρωτή στην μείωση των συνεπειών των κινδύνων. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.1, η μαθηματική έκφραση του κινδύνου καταστροφής εκφράζεται ως συνάρτηση της τρωτότητας και της επικινδυνότητας (Σαπουντζάκη & Δανδουλάκη, 2016).

Πλημμυρικός Κίνδυνος (Flood Hazard): Νοείται η συνολική πιθανότητα εκδήλωσης ενός καταστροφικού γεγονότος σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Πλημμυρική Επικινδυνότητα (Flood Risk): Ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη ευημερία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με αυτή την πιθανότητα σε μια συγκεκριμένη περιοχή.



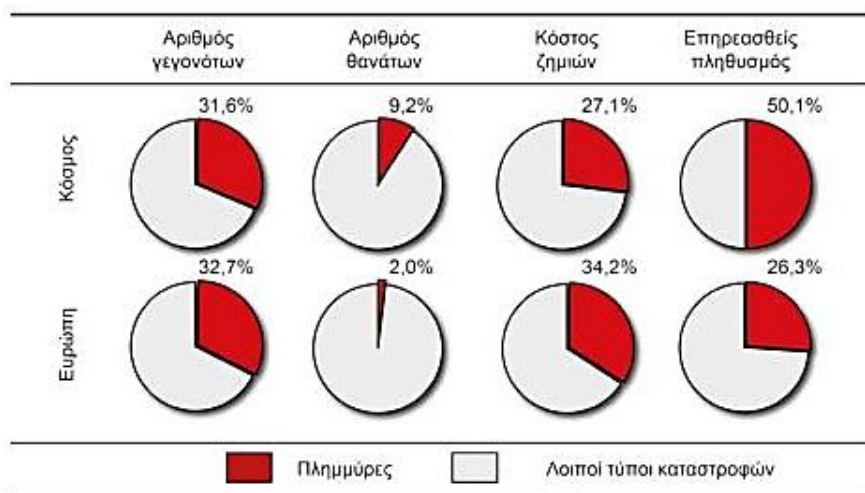
Εικόνα 1.1 Σχέση κινδύνου, επικινδυνότητας και τρωτότητας (Disse, et al, 2020)

1.2 ΤΟ ΖΗΤΗΜΑ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

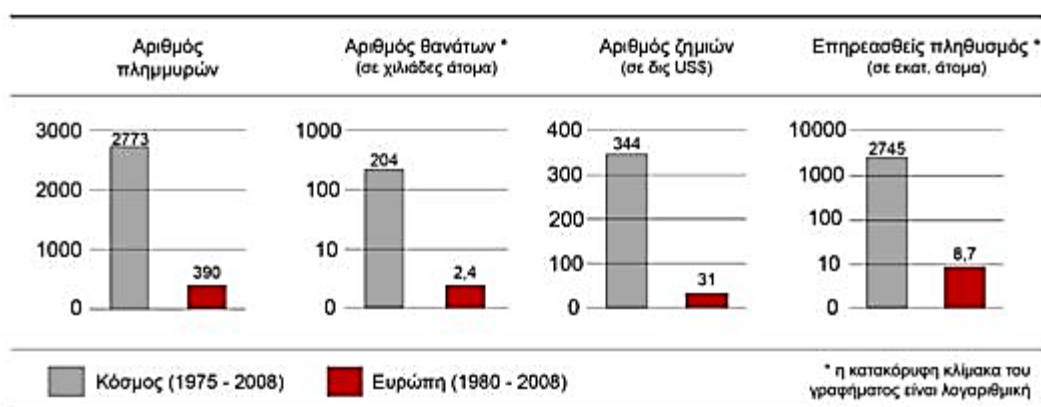
Οι πλημμύρες αποτελούν σημαντικό ζήτημα για την ασφάλεια του παγκόσμιου πληθυσμού καθώς σχετίζονται με σημαντικό τμήμα του συνόλου των ανθρώπινων απωλειών (Kundzewicz and Kundzewicz 2005) και των οικονομικών επιπτώσεων (Barrero 2007, 2009) που οφείλονται σε φυσικές καταστροφές (Εικόνα 1.2). Εκτός από τα σημαντικά ποσοστά που κατέχουν ανάμεσα στους υπόλοιπους τύπους φυσικών καταστροφών, οι πλημμύρες καταγράφουν σημαντικά απόλυτα μεγέθη, τα οποία καταδεικνύουν την εξαιρετική σημασία τους (Εικόνα 1.3).

Παράλληλα, η αύξηση της πληθυσμιακής πυκνότητας και η επέκταση ολοένα και περισσότερων ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε περιοχές υψηλού κινδύνου οδηγούν σε αύξηση των καταγραφόμενων πλημμυρικών φαινομένων. Η έκταση του προβλήματος έχει οδηγήσει τις τελευταίες δεκαετίες στην ενίσχυση του νομοθετικού πλαισίου στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα με κύριες νομοθετικές πράξεις (πχ. Οδηγία 2007/60, Νόμος 3013/2002) οι

οποίες ενισχύουν τους θεσμούς πολιτικής προστασίας και καλούν σε δράσεις μείωσης του κινδύνου των πλημμυρών.



Εικόνα 1.2 Ποσοστό συμμετοχής των πλημμυρών επί του συνόλου των φυσικών καταστροφών σε παγκόσμιο επίπεδο (για την περίοδο 1975-2006) και στον Ευρωπαϊκό χώρο για την περίοδο 1980-2008). Τα ποσοστά αναφέρονται σε απόλυτο βαθμό καταστροφικών γεγονότων, των αριθμό των θανάτων, το κόστος των ζημιών και τον αριθμό ατόμων που επηρεάστηκαν (Hogois et al. 2007, CRED 2008, τροποποιημένα)



Εικόνα 1.3 Αριθμός πλημμυρών, θυμάτων, ύψος ζημιών και άτομα που επηρεάστηκαν από πλημμυρικά φαινόμενα στον κόσμο και στην Ευρώπη για τις περιόδους 1975-2006 και 1980-2008 αντίστοιχα (Hogois et al. 2007, CRED 2008, τροποποιημένα)

Οι δράσεις αυτές μπορεί να είναι δομικού χαρακτήρα όπως τα τεχνικά έργα ή η οριοθέτηση ζωνών κινδύνου, συστήματα έγκαιρης ειδοποίησης κ.α. αντίστοιχα για τις δράσεις. Τα τελευταία χρόνια, λόγω των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και αυξημένου κόστους, η επιλογή των μέτρων μη δομικού χαρακτήρα έχει προκριθεί έναντι των κατασκευαστικού τύπου παρεμβάσεων (Golian et al. 2010). Στο πλαίσιο αυτό έχει αναπτυχθεί μια σειρά τεχνικών και μεθοδολογιών, οι οποίες εστιάζουν στη μελέτη των πλημμυρικών φαινομένων και χρησιμοποιούνται ανάλογα με το εκάστοτε πρόβλημα και τα γεωπεριβαλλοντικά χαρακτηριστικά της περιοχής που μελετάται.

Σκοπός των εφαρμογών αυτής της κατηγορίας είναι αρχικά ο εντοπισμός των περιοχών υδρολογικών λεκανών και των τμημάτων εκείνων του υδρογραφικού δικτύου όπου υπάρχει πλημμυρικός κίνδυνος και η αξιολόγησή του. Επιπρόσθετα, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι οι οποίες έχουν την δυνατότητα οριοθέτησης των ζωνών κινδύνου και προσδιορισμού των φυσικών χαρακτηριστικών μιας πλημμύρας μέσα από την προσομοίωση των υδάτινων συστημάτων.

1.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις υδρολογικές εργασίες και επομένως την απορροή και την εκδήλωση πλημμυρών μπορούν να διαιρεθούν στους στατικούς και στους δυναμικούς. Στατικοί παράγοντες νοούνται εκείνοι που παραμένουν σταθεροί όπως τα φυσικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης (π.χ. υδροπερατότητα, γεωμορφολογία, γεωμετρία ρέματος) αλλά και άλλοι που αλλάζουν σταδιακά σε βάθος χρόνου (π.χ. βλάστηση, χρήσεις γης). Στους δυναμικούς παράγοντες ανήκουν παράμετροι που διαφοροποιούνται κατά την διάρκεια ενός υδρολογικού συμβάντος όπως τα χαρακτηριστικά των κατακρημνισμάτων. Οι παράγοντες αυτοί παρουσιάζονται στην Εικόνα 1.4, ενώ οι σημαντικότεροι εξ' αυτών εξετάζονται αναλυτικότερα παρακάτω.

Δυναμικοί παράγοντες	Σταθεροί παράγοντες		Βραδέως μεταβλητοί παράγοντες
Ένταση βροχόπτωσης	Υδροπερατότητα σχηματισμών	Μήκος κύριου κλάδου	Βλάστηση
Κατευθυντικότητα βροχόπτωσης	Μορφή υδρογραφικού δικτύου	Έκταση λεκάνης	Χρήσεις γης
Χωρική κατανομή βροχόπτωσης	Παράμετροι καναλιών	Κλίσεις πρανών	Τήξη χιονού ή πάγου
Συνθήκες υγρασίας εδάφους	Κοιλοδοκοί παράμετροι	Εδαφικό κάλυμμα	Κλιματικοί παράγοντες
Διάρκεια βροχόπτωσης	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου	Σχήμα λεκάνης	
Κίνηση καταγίδας	Προσανατολισμός λεκάνης	Υπεδαφική απορροή	

Εικόνα 1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση πλημμυρών και γενικότερα τις υδρολογικές διεργασίες (Wilson 1990, Smith and Ward 1998, Ward and Robinson 2000, Παπαμιχαήλ 2004, Φουμέλης 2004, Μιμίκου και Μπαλτάς 2006)

Έκταση υδρολογικής λεκάνης: Η έκταση της λεκάνης είναι μία από της σημαντικότερες παραμέτρους στον καθορισμό του όγκου υδάτων που απορρέει μετά από μια βροχόπτωση. Το μέγεθος μιας λεκάνης σχετίζεται επίσης με τη μορφή υδρογραφήματος στην έξοδο της λεκάνης αυτής, κυρίως σε ότι αφορά το χρόνο συγκέντρωσης των υδάτων και την παροχή αιχμής (Smith and Ward 1998). Κατά συνέπεια οι λεκάνες μικρής έκτασης ευνοούν τους μικρούς χρόνους συγκέντρωσης και αποτελούν συχνά τους χώρους όπου εκδηλώνονται ξαφνικές πλημμύρες (Wilson 1990).

Σχήμα υδρολογικής λεκάνης: Το σχήμα μιας υδρολογικής λεκάνης αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες καθορισμού της μορφής ενός υδρογραφήματος και κατά συνέπεια του τρόπου με τον οποίο διεξάγεται η απορροή. Ο παράγοντας αυτός συσχετίζεται με τον τρόπο και τον χρόνο με τον οποίο συνεισφέρουν διάφορα τμήματα της λεκάνης στην απορροή στην έξοδό της. Για παράδειγμα σε μια υδρολογική λεκάνη, η οποία έχει κυκλικό σχήμα, παρατηρείται ταυτόχρονη αποστράγγιση πολλών τμημάτων. Αυτό δημιουργεί ταυτόχρονη συρροή μεγάλων όγκων νερού στην έξοδό της με αποτέλεσμα να παρατηρούνται μεγαλύτερες παροχές αιχμής απ' ό,τι σε μια μακρόστενου σχήματος λεκάνη (Εικόνα 1.5e). Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφοροι δείκτες για την περιγραφή και την ταυτοποίηση του σχήματος μιας λεκάνης όπως είναι ο δείκτης επιμήκυνσης (Elongation Ratio – R_e) (Bull and McFadden 1977), και έχουν χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό θέσεων υψηλού πλημμυρικού κινδύνου.

Χωρική κατανομή βροχόπτωσης: Η χωρική κατανομή της βροχόπτωσης και ιδίως της έντασής της καθορίζει αποφασιστικά τον τρόπο με τον οποίο κάθε τμήμα μιας λεκάνης συνεισφέρει στην απορροή στην έξοδό της. Έτσι αν μια καταιγίδα επικρατήσει σε ένα τμήμα μιας λεκάνης

στο οποίο επικρατούν υπολεκάνες ιδιαίτερου σχήματος (π.χ. επιμήκεις), τότε στο υδρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης η γρήγορη συγκέντρωση του νερού θα οδηγήσει σε απότομη άνοδο της στάθμης. Αντίθετα, αν εκδηλωθεί σε μια απομακρυσμένη περιοχή τότε θα παρουσιαστούν ηπιότερες αιχμές στο σχήμα του υδρογραφήματος (Εικόνα 1.5 a, c). Ο συγκεκριμένος παράγοντας καθίσταται σημαντικός κυρίως σε μεγαλύτερου μεγέθους υδρολογικές λεκάνες, όπου η ανισοκατανομή της βροχόπτωσης είναι περισσότερο εκτεταμένη.

Κίνηση της καταιγίδας: Ο συγκεκριμένος παράγοντας καθορίζει τη μορφή του υδρογραφήματος καθώς επηρεάζει τον χρόνο στον οποίο αποστραγγίζονται διάφορα τμήματα της λεκάνης. Σε περίπτωση που μια καταιγίδα κινείται προς τα ανάντη μιας λεκάνης, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου συγκέντρωσης (Εικόνα 1.5 b). Αυτό ωθεί το υδρογράφημα να παρουσιάζει μικρότερη αιχμή. Αντίθετα, μια κινούμενη καταιγίδα κατάντη της λεκάνης οδηγεί στη συσσώρευση αυξημένου όγκου υδάτων προς απορροή μειώνοντας τον χρόνο συγκέντρωσης και αυξάνοντας τις παροχές αιχμής. Ο παράγοντας αυτός επηρεάζει περισσότερο τις επιμήκεις υδρολογικές λεκάνες (Wilson 1990, Φούμελης 2004).

Πυκνότητα Υδρογραφικού Δικτύου: Ο τρόπος του υδρογραφικού δικτύου σε ότι αφορά την πυκνότητα των κλάδων διαμορφώνει ως ένα βαθμό τον χρόνο αποστράγγισης μιας λεκάνης. Η καλή αποστράγγιση, η οποία συνοδεύει την μεγαλύτερη πυκνότητα δικτύου, οδηγεί σε μικρότερους χρόνους συγκέντρωσης και επομένως αυξημένη παροχή αιχμής (Wilson 1990).

Προσανατολισμός λεκάνης: Ο παράγοντας αυτός σχετίζεται με τον προσανατολισμό της λεκάνης σε σχέση με αυτή των επικρατούντων κλιματικών συνθηκών και διεύθυνσης βάσει της οποίας εκδηλώνονται σε ένα τόπο οι καταιγίδες. Η παράμετρος αυτή επηρεάζει τη μορφή του υδρογραφήματος καθώς και την συχνότητα και την ποσότητα των βροχοπτώσεων.

Μέση κλίση υδρολογικής λεκάνης: Ο παράγοντας αυτός επιδρά καθορίζοντας την ταχύτητα κίνησης των υδάτων που απορρέουν επιφανειακά. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση τόσο η ταχύτητα αυτή αυξάνεται. Η αύξηση της ταχύτητας συνεπάγεται μείωση των χρόνων συρροής των υδάτων, γεγονός που οδηγεί στη μείωση της χρονικής βάσης του υδρογραφήματος. Έτσι διατηρουμένων των υπολοίπων παραγόντων σταθερών, η αύξηση της κλίσης μειώνει τον χρόνο συρροής οδηγώντας έτσι, στην αύξηση της παροχής αιχμής του υδρογραφήματος (Εικόνα 1.5 f). Επιπρόσθετα η αύξηση της κλίσης επιδρά και στον όγκο απορροής καθώς ο μειούμενος χρόνος παραμονής των υδάτων σε μια θέση φέρεται να μειώνει την κατείσδυση.

Παρόλα αυτά η παράμετρος αυτή δεν έχει μέχρι σήμερα ποσοτικοποιηθεί απόλυτα (Wilson 1990, Φούμελης 2004). Μέσα από τον ίδιο μηχανισμό επιδρά και η κλίση των σημαντικών υδατορευμάτων από την οποία εξαρτάται η ταχύτητα κίνησης των υδάτων προς την έξοδο της λεκάνης.

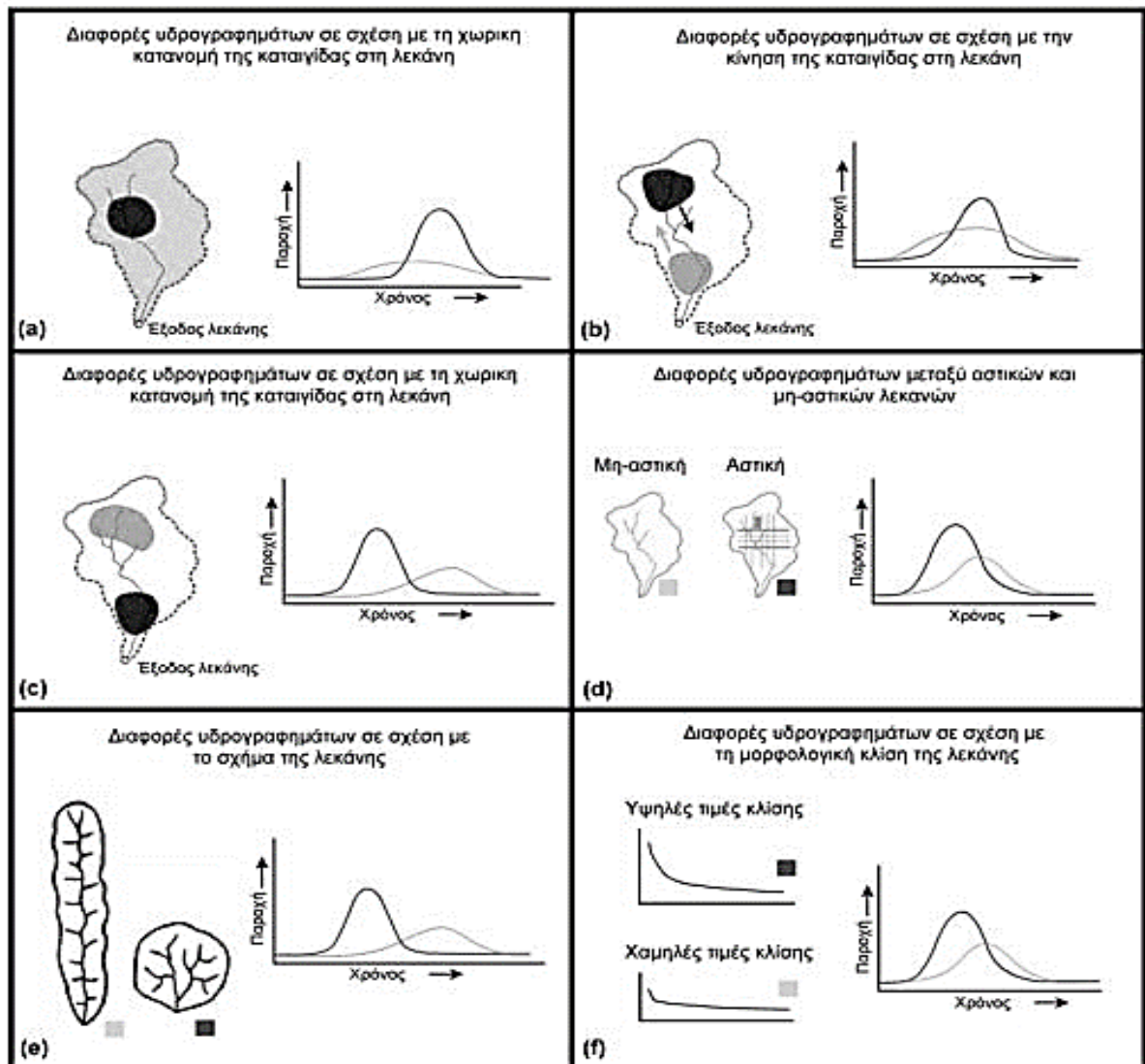
Φυτοκάλυψη: Η Φυτοκάλυψη επιδρά στις υδρολογικές διεργασίες με δυο κυρίως τρόπους. Πρώτον, επηρεάζει την αναλογία βροχόπτωσης/απορροής, καθώς η παρουσία βλάστησης αυξάνει την κατακράτηση ποσοτήτων βροχόπτωσης. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην αλλαγή των ιδιοτήτων του εδαφικού μανδύα λόγω της παρουσίας της βλάστησης και στην κατακράτηση ποσοτήτων της βροχόπτωσης από μέρη των φυτών όπως είναι το φύλλωμα. Δευτερευόντως, η μείωση της απορροής οφείλεται στην εξατμισοδιαπνοή των φυτών, η οποία δρα σε μικρότερο βαθμό.

Ένταση βροχόπτωσης: Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στην εκδήλωση πλημμυρών είναι η ένταση της βροχόπτωσης (Georgakakos 2006, Norbiato et al. 2008). Οι Martin – Vibe et al. (1999) υποστηρίζουν ότι οι καταιγίδες υψηλής έντασης μικρής διάρκειας καταιγίδες τείνουν να δημιουργούν μεγάλου συνολικού ύψους βροχής. Γενικότερα, η αύξηση της έντασης αυξάνει το ρυθμό εισόδου κατακρημνισμάτων στη λεκάνη δημιουργώντας άνοδο της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής. Στην περιοχή της Μεσογείου η πλημμυρογένεση συνδέεται πολύ συχνά με βροχοπτώσεις αυξημένης έντασης και μικρής διάρκειας (Bull et al. 2004, Lana et al. 2004).

Υδροπερατότητα: Ο παράγοντας αυτός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις υδρογεωλογικές και υδρολογικές διεργασίες μιας λεκάνης. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αποτελούν μια λεκάνη, επιδρούν στην ποσότητα του νερού που απορρέει κατά την διάρκεια μιας καταιγίδας και επηρεάζουν μια σειρά από άλλους παράγοντες όπως είναι η ανάπτυξη της Φυτοκάλυψη, το εδαφικό κάλυμμα, ο συντελεστής τραχύτητας του εδάφους, η ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου, η μορφολογία της κοίτης και η στερεομεταφορά των υδάτων οι οποίοι επηρεάζουν με τη σειρά τους την εκδήλωση πλημμυρών. Σε ότι αφορά την κατείσδυση μέρους των κατακρημνισμάτων στη μεν περίπτωση σχηματισμών αυξημένης υδροπερατότητας (όπως για παράδειγμα καρστικοποιημένα ανθρακικά πετρώματα) παρουσιάζεται σημαντική μείωση του όγκου των υδάτων που απορρέουν λόγω αυξημένης κατείσδυσης ενώ στην περίπτωση πετρωμάτων μειωμένης υδροπερατότητας (όπως για παράδειγμα τα αργιλικά πετρώματα) ο όγκος των απωλειών είναι πολύ πιο περιορισμένος. Με δεδομένο ότι ο συνολικός όγκος των υδάτων που απορρέουν προς την έξοδο της λεκάνης είναι καθοριστικός για την εκδήλωση ή

όχι πλημμύρας, ο συγκεκριμένος παράγοντας καθίσταται από τους πλέον σημαντικούς. Επιπρόσθετα, η υδρογεωλογία της περιοχής καθορίζει την υπόγεια απορροή η οποία κατά περίπτωση, ανάλογα με την κατεύθυνση απορροής σε ένα υδατόρευμα. Για την ανάλυση του συγκεκριμένου παράγοντα έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα μεθοδολογίες προσδιορισμού της κίνησης των υπεδαφικών υδάτων και της ποσοτικής σχέσης τους με την επιφανειακή απορροή (SCS 1972).

Ανθρώπινες παρεμβάσεις: Ο ανθρώπινος παράγοντας διαδραματίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στις υδρολογικές διεργασίες μιας λεκάνης με την έκταση των εκάστοτε παρεμβάσεων. Οι παρεμβάσεις επιδρούν στην εκδήλωση πλημμυρών έχοντας άμεσο ή έμμεσο χαρακτήρα. Στην πρώτη περίπτωση τυπικά παραδείγματα είναι η μείωση παροχетеυτικότητας ενός υδατορεύματος λόγω της κατασκευής ενός τεχνικού έργου ή ενός οικοδομήματος ή της διάθεσης υλικών και απορριμμάτων εντός των ρευμάτων. Στη δεύτερη περίπτωση τυπικό παράδειγμα είναι η μείωση της κατείδυσης λόγω μια δασικής πυρκαγιάς (Diakakis 2011d) ή λόγω εκτεταμένης αστικής ανάπτυξης σε μία υδρολογική λεκάνη (Εικόνα 1.4d). Ο ανθρώπινος παράγοντας έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια τόσο σε αύξηση των πλημμυρών σε αστικό περιβάλλον (Guzzeti and Tonelli 2004) όσο και στην αύξηση των οικονομικών επιπτώσεων των πλημμυρών με την εκτεταμένη παρουσία του σε χώρους υψηλού πλημμυρικού κινδύνου (Barrero 2007, 2009)



Εικόνα 1.5 Επίδραση συγκεκριμένων παραγόντων στην υδρολογική απόκριση μιας υδρολογικής λεκάνης σε μια καταιγίδα, όπως αυτή εκφράζεται από το υδρογράφημα στην έξοδο της (τροποποιημένο από Smith & Ward 1998, Ward & Robinson 2000, Gordon et al. 2004).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2. ΤΥΠΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Στη διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται διάφορες ταξινομήσεις και ορισμοί σε σχέση με τη διάκριση διαφορετικών τύπων πλημμυρικών φαινομένων. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται μια τυπική ταξινόμηση. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ταξινομήσεις τέτοιου είδους δεν είναι απόλυτες, αλλά ενδεικτικές καθώς η παρουσία μικτών χαρακτηριστικών, η

ύπαρξη συνδυασμένων αιτιών και έλλειψη μετρήσιμων κριτηρίων δυσχεραίνουν την αντικειμενική κατάταξη των πλημμυρών σε κατηγορίες.

Πίνακας 2.1 Ενδεικτική ταξινόμηση διαφορετικών τύπων πλημμυρών (Martini and Loat 2007, Smith and Ward 1998) σε σχέση με τα πιο συνήθη αίτια και επιπτώσεις.

Τύπος πλημμύρας	Ενδεικτικά αίτια	Ενδεικτικές επιπτώσεις
Ποτάμιες πλημμύρες (Riverine Floods)	Βροχόπτωση μακράς διάρκειας, λιώσιμο χιονιού, αστοχία αντιπλημμυρικών	Πλημμυρικά ύδατα σε πλημμυρικά πεδία (στάσιμα ή ρέοντα)
Αιφνίδιες πλημμύρες (Flash Floods)	Έντονη βροχόπτωση, μικρής διάρκειας	Έντονη διάβρωση, ορμητικά ύδατα, εμπλοπισμός με εδαφικό υλικό, λασπορροές
Αστικές πλημμύρες (Urban Floods)	Αστοχία τεχνικών έργων, έντονη βροχόπτωση	Πλημμυρισμένες κυκλοσκευές
Παράκτιες πλημμύρες (Coastal Floods)	Υψηλές παλίρροιες, έντονη βροχόπτωση	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στην ακτή, υποχώριση της ακτής, υφολιμήριση της γης & των υδάτων
Πλημμύρες που συνδέονται με το υποδαμικό νερό (Groundwater floods)	Υψηλή στάθμη υποδαμικού νερού, κορεσμός υδροφόρου ορίζοντα	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο
Πλημμύρες από αστοχία τεχνικού έργου - (Dam failure floods)	Αστοχία φράγματος, καναλιού κ.α. τεχνικών έργων	Έντονη διάβρωση, λασπορροές, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα
Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων (Mountain torrent floods)	Καταγίδες, αστάθεια πρανών	Λασπορροές, έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα και μεταφερόμενο υλικό, δημιουργία αλλουβιακού ριπιδίου
Πλημμύρες λιμνών (Lake Floods / Ponding Floods)	Ταχεία αύξηση των υδατικών αποθεμάτων	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα πέραν της ακτής

Πλημμύρες πεδίου

Οι πλημμύρες πεδίου, είναι πλημμύρες οι οποίες παρουσιάζουν βραδεία εξέλιξη. Το πλεονέκτημα αυτού του είδους της πλημμύρας είναι ότι έχει μια πιο αργή εκδήλωση, με αποτέλεσμα να εκδίδονται έγκαιρες προειδοποιήσεις και να γίνονται οι απαραίτητες προετοιμασίες. (Μπάιμου, 2019; Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2015). Συνεπώς, δεν προκαλούν μεγάλες καταστροφές καθώς μπορούν προβλεφθούν και είναι ελεγχόμενες.

Ξαφνικές ή αιφνίδιες πλημμύρες

Οι ξαφνικές ή αιφνίδιες πλημμύρες, έχουν βασικά χαρακτηριστικά την ορμητικότητα και τη γρήγορη εξέλιξή τους, αποτελούν το πιο συνηθισμένο είδος πλημμύρας στην χώρα μας καθώς η γεωμορφολογία της ευνοεί την ανάπτυξη ρεμάτων με μικρές λεκάνες απορροής, και επιπλέον οι απότομες κλίσεις συντελούν στη γρήγορη αποστράγγισή της (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2015). Οι παράγοντες που μπορεί να συμβάλλουν σε μια αιφνίδια πλημμύρα είναι: η ένταση της βροχής και η διάρκεια της, η τοπογραφία, οι συνθήκες του εδάφους, η φωτοκάλυψη, η καταστροφή των δασών και η αστικοποίηση (Μπεζιργιαννίδης, 2007). Εντοπίζονται κυρίως σε ορεινές περιοχές με έντονες κλίσεις εδάφους καθώς οι βροχοπτώσεις προκαλούν κατολισθήσεις εδάφους ή υλός (Μαμάσης, χ.χ.(????)). Η διάρκεια της πλημμύρας εξαρτάται από την επιφανειακή απορροή που προκαλείται και ενδέχεται να προκαλέσουν σημαντικές καταστροφές σε κτήρια και υποδομές καθώς η διαβρωτική δύναμη του νερού της βροχής μπορεί να αποδυναμώσει τα θεμέλια των κτηρίων, προκαλώντας σχισμές και ρωγμές (Βοζινάκη, 2014).

Ποτάμιες ή χερσαίες πλημμύρες

Οι χερσαίες ή ποτάμιες πλημμύρες οφείλονται σε έντονες βροχοπτώσεις ή βροχοπτώσεις μακράς διάρκειας, στο λιώσιμο χιονιού, σε αστοχία αντιπλημμυρικών έργων ή στον συνδυασμό όλων αυτών, έχοντας ως συνέπεια να γεμίζουν οι λεκάνες απορροής με μεγάλες ποσότητες νερού σε μικρό χρονικό διάστημα και να δημιουργείται μια ξαφνική κατακράτηση υδάτων στα γειτονικά εδάφη, με αποτέλεσμα να προκαλούνται πλημμύρες (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2015; Madaam, 2016). Επιπλέον, μπορεί να εξαπλώνονται σε μεγάλες εκτάσεις, σε χαμηλά σημεία των ποτάμιων συστημάτων όπου οι κλίσεις του εδάφους είναι πιο μαλακές (Βοζινάκη, 2014). Οι χερσαίες ή ποτάμιες πλημμύρες διακρίνονται σε βραδείας ή ταχείας εξέλιξης πλημμύρες (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2015).

Παράκτιες πλημμύρες

Οι παράκτιες πλημμύρες διακρίνονται σε αυτές που προκαλούνται από έντονους κυματισμούς της θάλασσας και σε αυτές που προκαλούνται από θαλάσσια κύματα βαρύτητας ή τσουνάμι. Οι παράκτιες πλημμύρες συνήθως οφείλονται σε καταιγίδες ή έντονες βροχοπτώσεις και σε μετεωρολογικές παλίρροιες και τσουνάμι που δημιουργούν κύματα τα οποία προκαλούν καταστροφικές πλημμύρες στην στεριά. Οι επιπτώσεις οι οποίες

παρατηρούνται μετά από μια παράκτια πλημμύρα είναι τα στάσιμα πλημμυρικά ύδατα κοντά στην ακτή και η υφαλμύριση της αγροτικής γης κοντά στο παραλιακό μέτωπο (Κατιρτζίδης, 2015; Madaam, 2016).

Πλημμύρες λιμνών

Οι πλημμύρες σε λίμνες λαμβάνουν χώρα όταν έχουν προηγηθεί μεγάλες καταιγίδες και παλίρροιες. Τα ακραία αυτά καιρικά φαινόμενα είναι ικανά να προκαλέσουν υπερχειλίση των λιμναίων υδάτων, τα οποία φτάνουν στην ενδοχώρα με καταστροφική δύναμη, καθώς προκαλούν ζημιές σε υποδομές, γέφυρες, σπίτια και αυτοκίνητα. (Madaam, 2016).

Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων

Ο ορεινός χαρακτήρας της χώρας, τα σημαντικά ύψη κατακρημνισμάτων, το γεωλογικό υπόβαθρο και η έλλειψη του κατάλληλου φυτομανδύα, έχουν δημιουργήσει το πλούσιο δίκτυο χειμάρρων της χώρας μας (ΥΠΕΚΑ, χ.χ.(????)). Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας εκτιμάται ότι κάθε χρόνο 86 περίπου εκατομμύρια κυβικά μέτρα εδάφους αποσπώνται από της ορεινές και ημιορεινές περιοχές, μεταφέρονται και αποθέτονται της πεδινές, προκαλώντας σοβαρές πλημμύρες και καταστροφές. Οι πλημμύρες προκαλούνται λόγω ισχυρών καταιγίδων, είτε από αστάθεια των πρανών, με αποτέλεσμα να προκαλούνται ορμητικά πλημμυρικά ύδατα εμπλουτισμένα με εδαφικό υλικό, έντονη διάβρωση και αλλουβιακά ριπίδια (Παπανικολάου & Διακάκης, 2011).

Πλημμύρα αστικών περιοχών

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται έντονα το φαινόμενο της αστικοποίησης με αποτέλεσμα αγροτική και δασική γη να μετατρέπεται σε αστική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η απορροή των όμβριων υδάτων σε σχέση με την απορροή που θα υπήρχε σε ένα φυσικό περιβάλλον (Λέκκας, 2000; Κατιρτζίδης, 2015). Επίσης, μειώνεται η απορροφητικότητα λόγω της έλλειψης φυσικού πρασίνου σε μια αστική περιοχή. Επιπρόσθετα, η καταστροφή των φυσικών ρευμάτων και η δόμηση τους με οδικούς άξονες και κτίσματα, σε συνδυασμό με τις δυνατές βροχοπτώσεις έχουν προκαλέσει σοβαρές πλημμύρες στις αστικές περιοχές, καθώς διαταράσσεται το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής (Ξανθόπουλος, κ.ά., 1995).

Πλημμύρες που συνδέονται με τους υπόγειους υδροφορείς

Οι πλημμύρες των υπόγειων υδάτων/υδροφορέων προκύπτουν από την απότομη άνοδο της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, την ενεργοποίηση πηγών διαλείπουσας ροής ή από την υψηλή στάθμη του υπόγειου νερού. Οι πλημμύρες υπόγειων υδάτων έχουν σαν αποτέλεσμα στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο (Βοζινάκη, 2014; Παπανικολάου & Διακάκης, 2011).

Πλημμύρες από αστοχία τεχνικού έργου

Οι πλημμύρες που προκύπτουν από αστοχία ενός τεχνικού έργου, όπως για παράδειγμα φράγματα ή κανάλια, προκαλούνται λόγω έντονων καταιγίδων σε συνδυασμό με την αστάθεια των πρανών, με αποτέλεσμα την έντονη διάβρωση, τις λασπορροές, τα ορμητικά πλημμυρικά ύδατα και την δημιουργία αλλουβιακού ριπιδίου (Διακάκης, 2012)

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία για τις πλημμύρες (2007/60/ΕΚ), ως πλημμύρα ορίζεται «η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν είναι καλύπτεται από νερό». «Τα πλημμυρικά φαινόμενα αποτελούν μέρος της φυσικής υδρολογικής διεργασίας, και συμβαίνουν όταν, κατά διαστήματα, μέρος του υδρογραφικού δικτύου δεν δύναται να αποστραγγίσει τον όγκο των υδάτων που απορρέουν με αποτέλεσμα να υπερχειλίζει και τα ύδατα αυτά να καταλαμβάνουν εφήμερα, τμήματα της χέρσου». Οι πλημμύρες, συνήθως αποτελούν φυσικό φαινόμενο καθώς εξαρτώνται κυρίως από γεωπεριβαλλοντικές μεταβολές, αλλά μπορούν να προκληθούν και από την επίδραση ανθρώπινων παρεμβάσεων (Διακάκης, 2012).

2.2 ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Η ανάλυση των πλημμυρικών φαινομένων και οι στρατηγικές εκτίμησης του κινδύνου προσαρμόζονται κάθε φορά στα χαρακτηριστικά του τόπου που μελετάται και στο είδος του προβλήματος. Στον Ελληνικό χώρο, αλλά και γενικότερα στο Μεσογειακό, παρατηρούνται συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες σε ότι αφορά κυρίως τα κλιματικά, γεωτεκτονικά, πληθυσμιακά

και υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής (Gaume et al. 2009, Diez-Herrero et al. 2009, Llasat et al. 2010a, Llasat et al. 2010b). Για το λόγο αυτό το καθεστώς κινδύνου θεωρείται ιδιαίτερο και οι στρατηγικές και οι τεχνικές μελέτης του επιβάλλεται να λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες αυτές (Martini and Loat 2007).

Το γεωτεκτονικό καθεστώς: Οι τεκτονικά ενεργές περιοχές του ελληνικού χώρου παρουσιάζουν ισχυρές διαφοροποιήσεις στις κινήσεις των τεκτονικών τεμαχών και το γεγονός αυτό επιδρά στις λεκάνες, ως προς την κλίση, το υψόμετρο, την ασυμμετρία κλπ., στα υδρογραφικά δίκτυα και στην γεωμορφολογία της περιοχής γενικότερα. Αυτό έχει ως συνέπεια να δημιουργούνται μεγάλες μορφολογικές κλίσεις και ιδιαίτερες λιθολογίες κατά μήκος του υδρογραφικού 20 δικτύου με αποτέλεσμα τα ύδατα να αποκτούν υψηλή ταχύτητα και να προκαλείται έντονη διάβρωση και μεταφορά εδαφικού υλικού. Ακόμη, το νέο ανάγλυφο που δημιουργείται ευνοεί την ύπαρξη μικρών υδρολογικών λεκανών και την δημιουργία ορεινών χειμάρρων. Συνεπώς, το ιδιαίτερο γεωτεκτονικό καθεστώς του ελληνικού χώρου ευνοεί στην εκδήλωση πλημμυρών (Παπανικολάου & Διακάκης, 2011; Διακάκης, 2012; Ανδρεάκης & Φουντούλης, 2007).

Κλίμα: Το ιδιαίτερο κλίμα της Μεσογείου οδηγεί συχνά στην εκδήλωση πλημμυρών εξαιτίας έντονων βροχοπτώσεων μικρής διάρκειας (Bull et al. 2004, Lana et al. 2004, Genoves et al. 2006, Martini and Loat 2007, Gaume et al. 2009). Το κλίμα σε συνδυασμό με το γεωτεκτονικό καθεστώς έχουν διαμορφώσει υδρολογικές λεκάνες με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως το μικρό έως μέσο μέγεθος και ο μικρός χρόνος απόκρισης (Wilson 1990). Παράλληλα, το μικρό ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων καθιστά τα περισσότερα υδρογραφικά δίκτυα εφήμερα. Το γεγονός αυτό οδηγεί, αφενός στη δυσκολία χρήσης μεθόδων που βασίζονται στη στατιστική ανάλυση των απορροών και αφετέρου στην ανάπτυξη ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε θέσεις ενεργών πλημμυρικών πεδίων, όπου όμως λόγω της σπανιότητας με την οποία δραστηριοποιούνται δημιουργούν μια ψεύτικη αίσθηση ασφάλειας. Το καθεστώς αυτό οδηγεί σε ραγδαία αύξηση της τρωτότητας καθώς σημαντικές δραστηριότητες εγκαθίστανται σε περιοχές κινδύνου.

Πληθυσμιακή πυκνότητα: Η υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα σε σχέση με περιοχές, όπως η Βόρεια και Νότια Αμερική, δημιουργεί αυξημένη πίεση για εγκατάσταση ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε περιοχές υψηλού πλημμυρικού κινδύνου. Αυτό εκδηλώνεται κυρίως κατά μήκος της ακτογραμμής καθώς υπάρχουν σημαντικά οικονομικά κίνητρα λόγω του τουρισμού (Llasat et al. 2010a). Είναι σύνηθες φαινόμενο η ανάπτυξη αυτή να βρίσκεται σε περιοχές

επιρρεπείς σε πλημμύρες ή ακόμα να δυσχεραίνει την ομαλή απορροή τμημάτων του υδρογραφικού δικτύου (Diakakis et al. 2011c).

Έλλειψη συστηματικών ενόργανων δεδομένων: Τα ενόργανα υδρολογικά δεδομένα (όπως παροχές και στάθμες) τόσο στον ελληνικό όσο και γενικότερα στο Μεσογειακό χώρο παρουσιάζουν σημαντικές ελλείψεις (Lasat et al. 2010b, Diakakis 2010). Συγκεκριμένα, το εύρος των χρονοσειρών στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ιδιαίτερα περιορισμένο με αποτέλεσμα να μην είναι επαρκές για στατιστική ανάλυση. Επιπρόσθετα το βήμα καταγραφής των οργάνων είναι σε πολλές περιπτώσεις ακατάλληλο για ανάλυση της έντασης και των μεταβολών της βροχόπτωσης. Τέλος λόγω της φύσης των πλημμυρών σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται καταστροφή του εξοπλισμού ή απώλεια μετρήσεων κατά τη διάρκεια πλημμυρικών παροχών (Martini and Loat 2007).

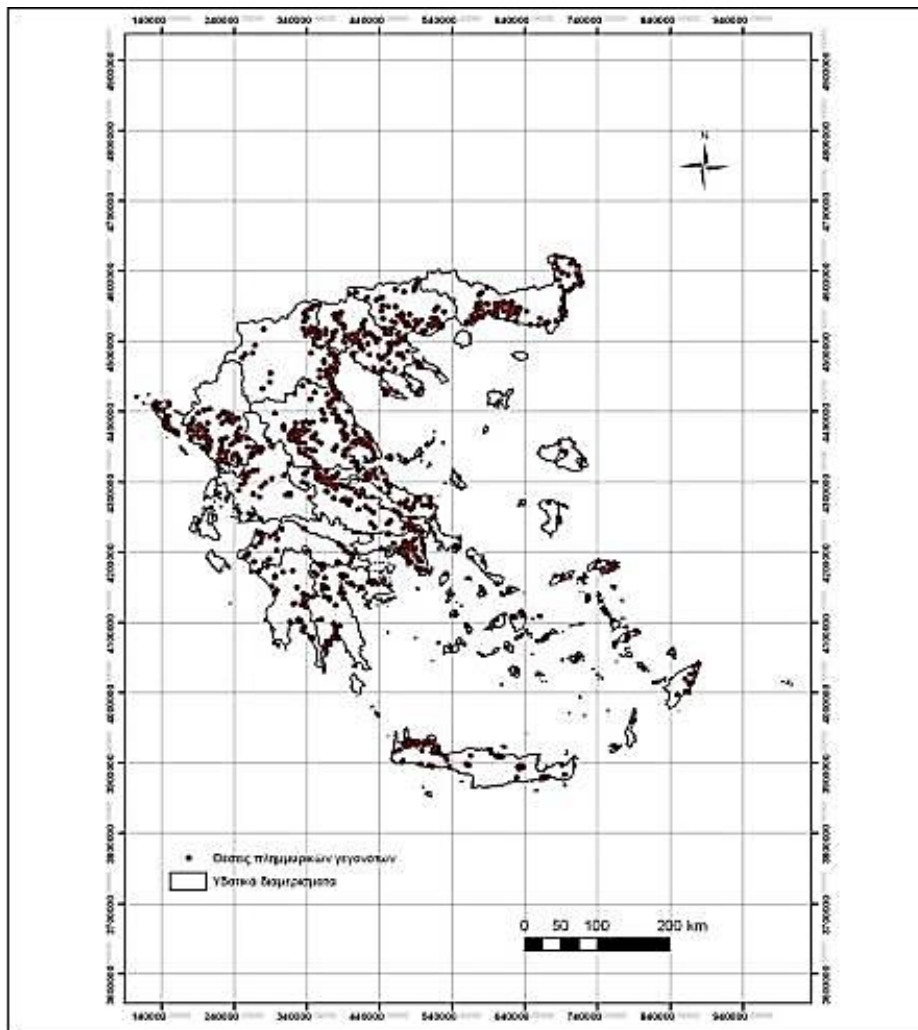
2.3 ΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στον ελληνικό χώρο έχουν καταγραφεί πολλά πλημμυρικά γεγονότα, ακόμη και από την αρχαιότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην Ελλάδα καθώς και σε άλλες Μεσογειακές περιοχές επικρατούν συνθήκες οι οποίες ευνοούν την εκδήλωση πλημμυρικών γεγονότων, όπως, οι κλιματικές συνθήκες, η γεωμορφολογία του εδάφους, το γεωτεκτονικό καθεστώς, η οικιστική επέκταση σε παράκτιες περιοχές και στα δέλτα των ποταμών, τα γεωλογικά και τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των περιοχών αυτών. Το αποστραγγιστικό σύστημα του ελλαδικού χώρου αποτελείται από μικρές έως μεσαίου μεγέθους υδρολογικές λεκάνες που σε συνδυασμό με την εκδήλωση έντονων βροχοπτώσεων κατά τους χειμερινούς μήνες, περιορίζεται η δυνατότητα απορροής, με αποτέλεσμα την εκδήλωση ξαφνικών πλημμυρών. (Παπανικολάου & Διακάκης, 2011; Διακάκης, κ.ά., 2012; Αλεξίου, 2013).

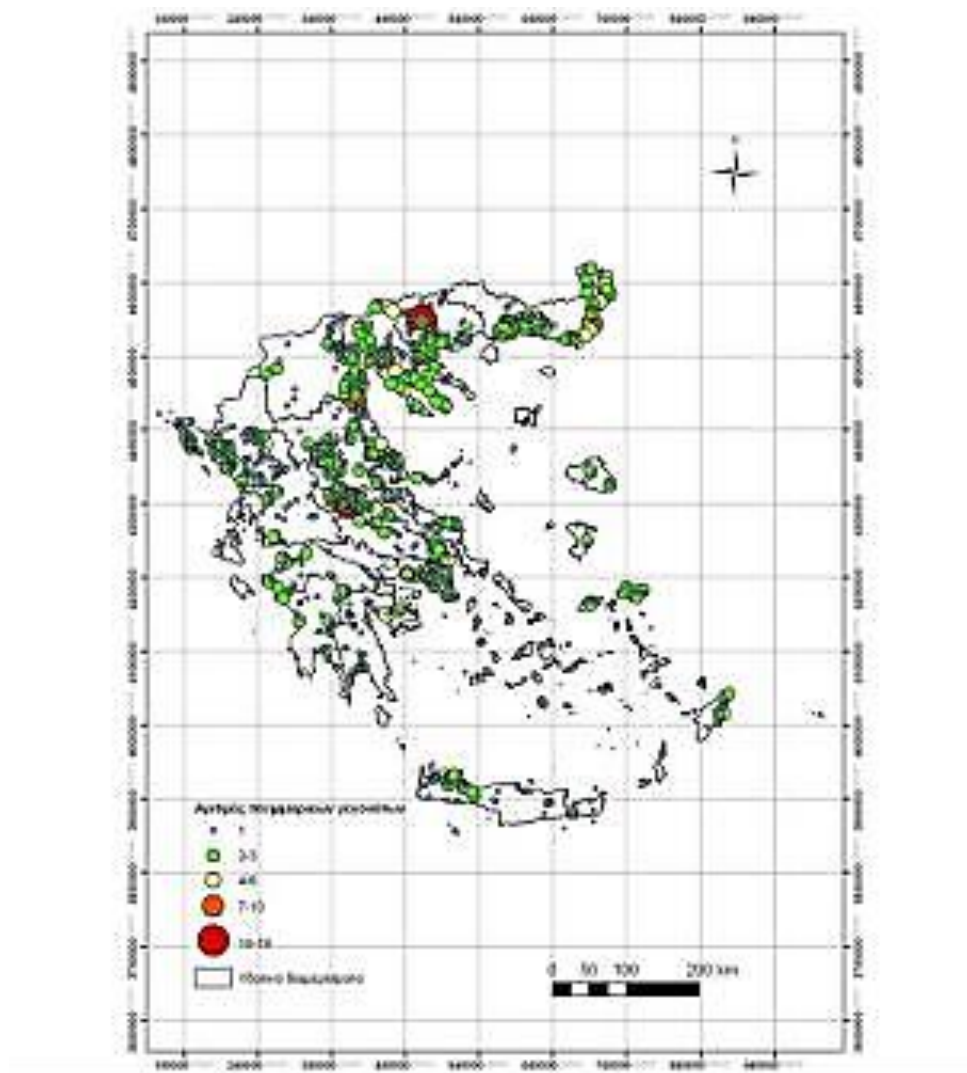
2.4 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ

Στην Ελλάδα, η τακτική καταγραφή πλημμυρικών γεγονότων ξεκίνησε να γίνεται τις τελευταίες δεκαετίες. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για

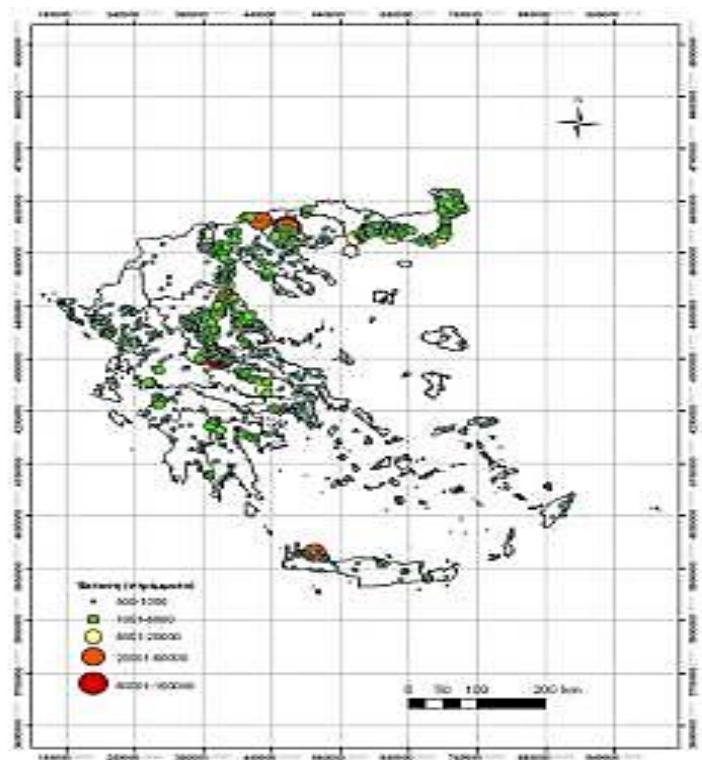
τις πλημμύρες (2007/60/ΕΚ) για την προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας, χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί μια αναλυτική καταγραφή των ιστορικών πλημμυρικών γεγονότων που έχουν συμβεί στην Ελλάδα (Διακάκης, κ.ά., 2012). Αρχικά συμπεριλήφθηκαν στοιχεία από τους φορείς που είναι αρμόδιοι για την διαχείριση κινδύνου των καταστροφών λόγω πλημμύρας, όπως είναι οι Κεντρικοί Φορείς, Αποκεντρωμένες Διοικήσεις και Περιφέρειες (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012). Επιπλέον, αξιοποιήθηκαν στοιχεία από υπηρεσίες Πολιτικής Προστασίας, από αρχεία οργανώσεων αποζημίωσης ζημιών, από αρχεία Πυροσβεστικής Υπηρεσίας καταγραφής πλημμυρικών συμβάντων, από μελέτες και έρευνες του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων και του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, της Αποκεντρωμένης Διοίκησης, των Περιφερειών, των Δήμων και άλλων αρμόδιων φορέων, από δημοσιεύματα σε εφημερίδες και στον ηλεκτρονικό τύπο, και τέλος από Επιστημονικές μελέτες και σχετικές δημοσιεύσεις (Διακάκης, κ.ά., 2012; Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012). Στην συνέχεια, αφού συλλέχθηκαν πληροφορίες για τα συμβάντα, συμπληρώθηκαν όλα τα απαραίτητα πεδία, καταχωρήθηκαν σε σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, έγινε ποιοτικός έλεγχος και οριστική αρχειοθέτηση των δεδομένων. Η μεθοδολογία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μίας βάσης δεδομένων με ιστορικά πλημμυρικά γεγονότα που έχουν καταγραφεί στην χώρα (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012). Παρακάτω, στις Εικόνα 2.1 έως και Εικόνα 2.5 απεικονίζονται ανά κατηγορία και χαρακτηριστικά τα πλημμυρικά γεγονότα που έχουν καταγραφεί σε επίπεδο χώρας στην χρονική περίοδο από το 1896 έως το 2011. Από τους χάρτες παρατηρείται ότι τα πλημμυρικά γεγονότα καταγράφονται κυρίως σε πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές στα βορειοανατολικά της χώρας. Πιο συγκεκριμένα, ο μεγαλύτερος αριθμός συμβάντων ανά θέση καταγράφεται στον ποταμό Έβρο, στις πεδιάδες Ξάνθης-Κομοτηνής, στην πεδιάδα του ποταμού Στρυμόνα, στη Θεσσαλονίκη, στην πεδιάδα Κατερίνης, στη Θεσσαλική πεδιάδα, στην κοιλάδα του ποταμού Σπερχειού στα Χανιά της Κρήτης και στη Ρόδο. Στη δυτική Ελλάδα πλημμύρες καταγράφονται κυρίως στη Κέρκυρα, στην κλειστή λεκάνη των Ιωαννίνων, στις πεδινές περιοχές του ποταμού Καλαμά και των ποταμών Αχέροντα, Λούρου και Αράχθου. Επίσης μεγάλος αριθμός συμβάντων καταγράφεται στο λεκανοπέδιο Αττικής (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012; Διακάκης, κ.ά., 2012).



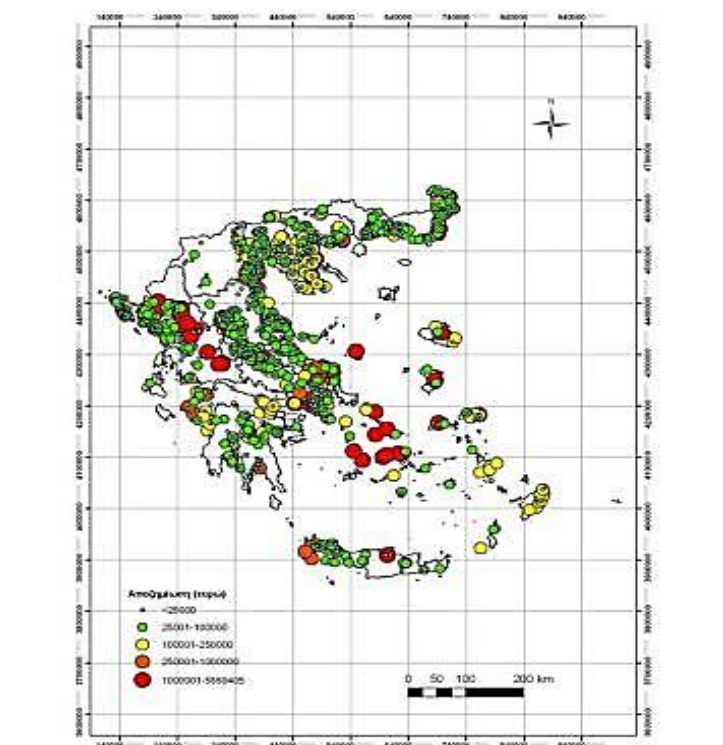
Εικόνα 2.1 Θέσεις ιστορικών πλημμυρικών συμβάντων (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)



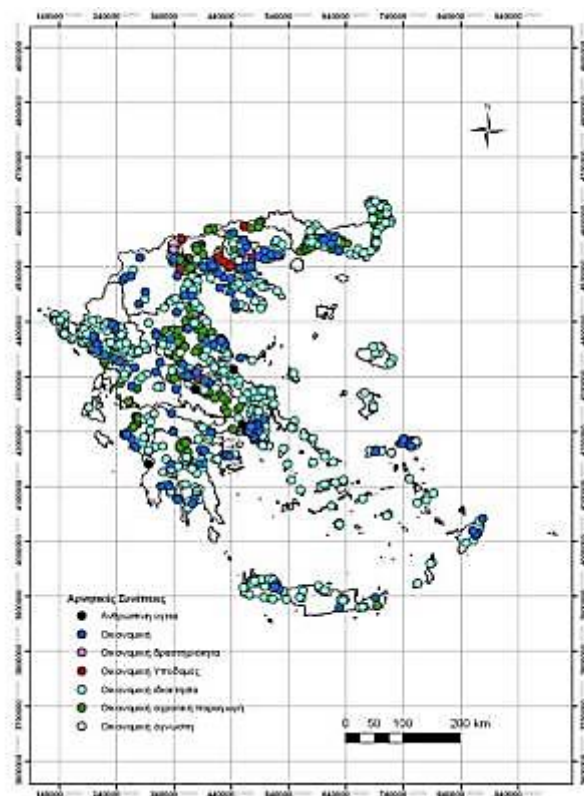
Εικόνα 2.2 Κατηγορίες ανά αριθμό πλημμυρικών γεγονότων στις θέσεις ιστορικών πλημμυρών (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)



Εικόνα 2.3 Κατηγορίες ανά έκταση πλημμύρας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012



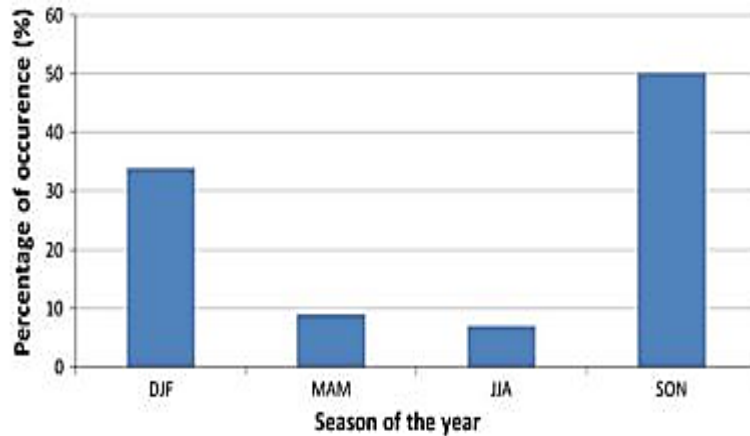
Εικόνα 2.4 Κατηγορίες ανά ύψος αποζημίωσης (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)



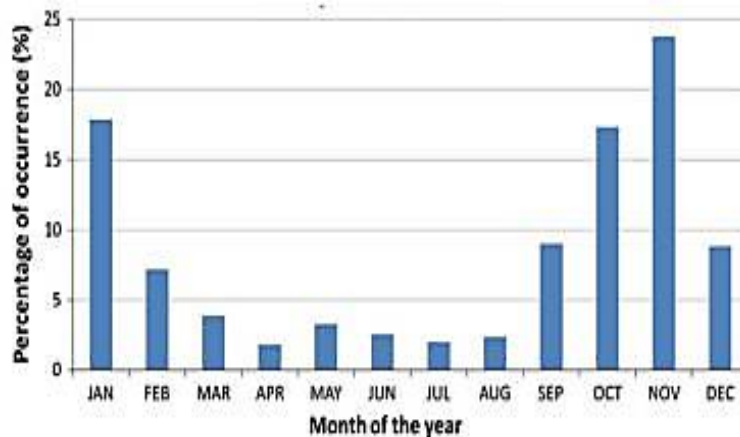
Εικόνα 2.5 Κατηγορίες ανά Τύπο Καταστροφής (Γενική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

2.5 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Στο πλαίσιο της ενίσχυσης της προκαταρκτικής αξιολόγησης του κινδύνου πλημμυρών στην Ελλάδα, διεξάχθηκε μια έρευνα από τους Διακάκη, κ.ά. (2012) η οποία εξετάζει την χωρική και χρονική κατανομή των πλημμυρικών συμβάντων, την εποχικότητα τους και την πιθανή παρουσία οποιωνδήποτε τάσεων στην εμφάνιση πλημμυρών σε χώρο και χρόνο, για την περίοδο 1880-2010. Η ανάλυση δεδομένων έδειξε ότι οι περισσότερες πλημμύρες συνέβησαν κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, με τον Νοέμβριο και αμέσως μετά τον Ιανουάριο να έχουν τις περισσότερες καταγραφές όπως φαίνεται και στις Εικόνα 2.6: Εποχική κατανομή πλημμυρικών συμβάντων και Εικόνα 2.7: Μηνιαία κατανομή πλημμυρικών συμβάντων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο λόγος των θυμάτων ανά συμβάν διαφέρει σε αυτούς τους δύο μήνες, καθώς τον Ιανουάριο καταγράφονται πολύ λιγότερα θύματα από ότι τον Νοέμβριο, παρά την αντίθετη εικόνα που φανερώνει ο αριθμός των πλημμυρικών συμβάντων.

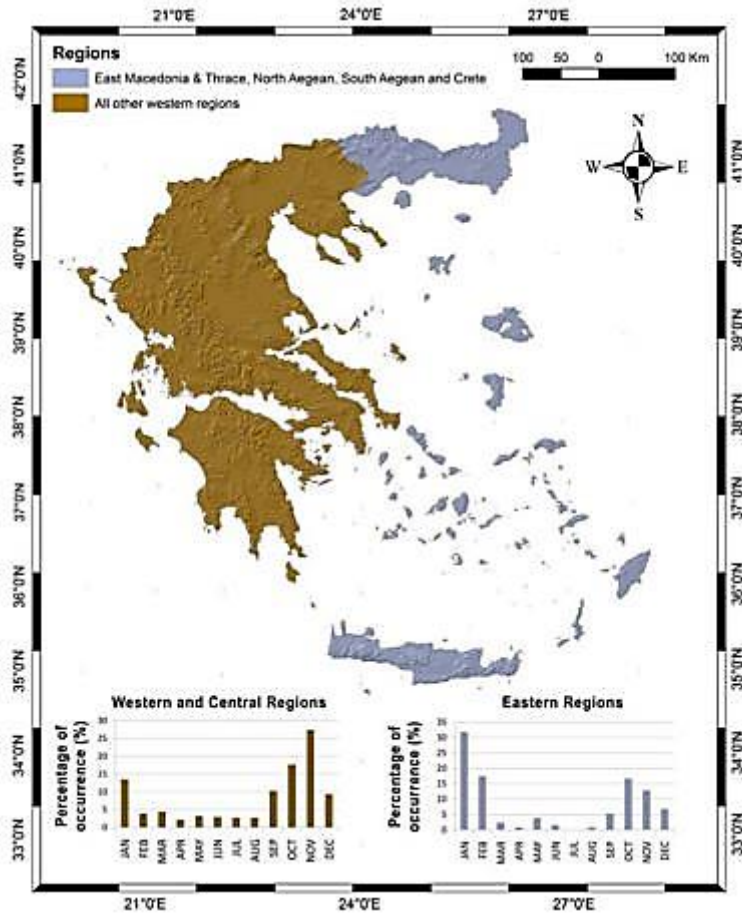


Εικόνα 2.6 Εποχική κατανομή πλημμυρικών συμβάντων (Διακάκης, κ.α., 2012)

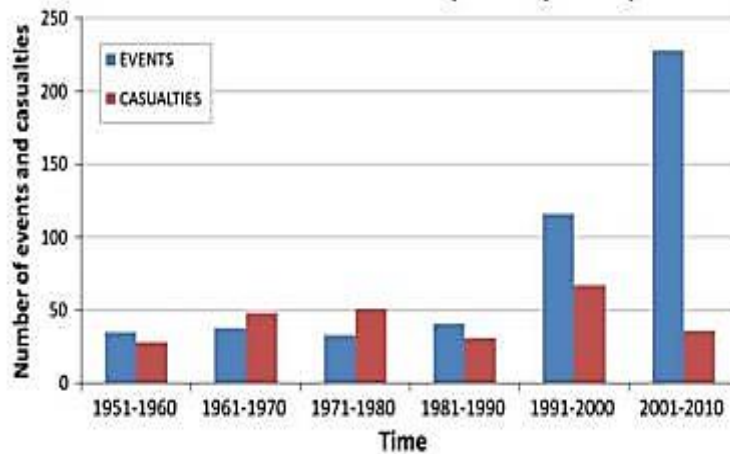


Εικόνα 2.7 Μηνιαία κατανομή πλημμυρικών συμβάντων (Διακάκης, κ.α., 2012)

Επιπλέον, μελετώντας την εποχική κατανομή σε επίπεδο περιφέρειας, παρατηρήθηκε μια διαφορά ανάμεσα στις ανατολικές και δυτικές περιοχές της χώρας, καθώς στις δυτικές και κεντρικές περιφέρειες τα περισσότερα συμβάντα παρατηρούνται τον Νοέμβριο, ενώ στις ανατολικές περιφέρειες τον Ιανουάριο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.8. Όσον αφορά την χρονική κατανομή των πλημμυρικών συμβάντων και των θυμάτων, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.9, τις δύο τελευταίες δεκαετίες της περιόδου μελέτης φαίνεται ότι τα πλημμυρικά συμβάντα έχουν αυξηθεί ραγδαία, ενώ οι απώλειες παραμένουν σε ένα σταθερό επίπεδο.

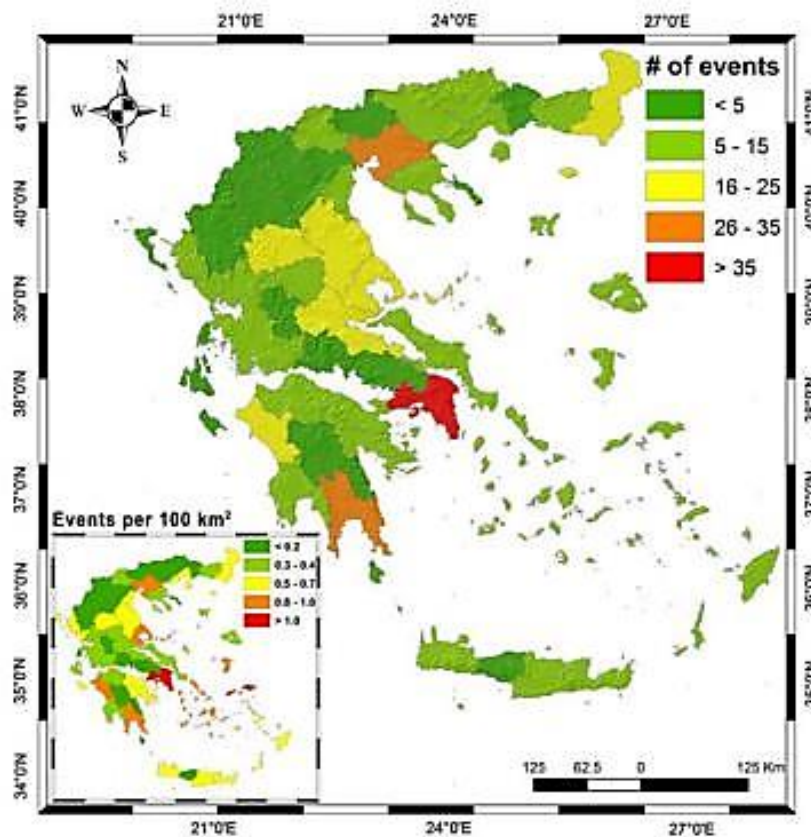


Εικόνα 2.8 Εποχική κατανομή συμβάντων ανάμεσα σε Δυτικές και Ανατολικές Περιφέρειες (Διακάκης, κ.α., 2012)

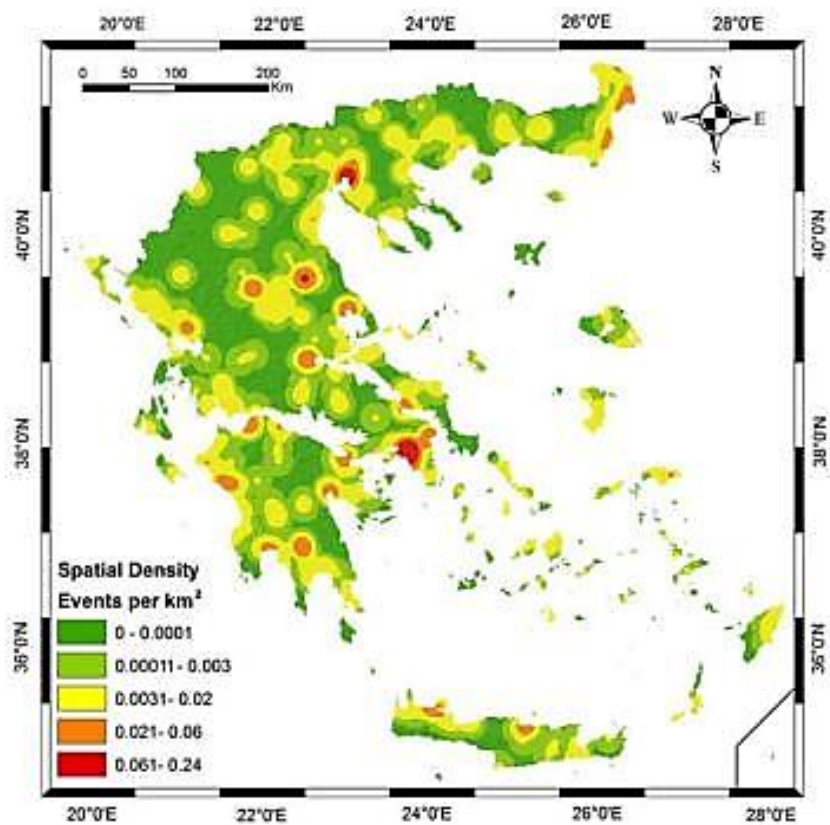


Εικόνα 2.9 Χρονική κατανομή των πλημμυρικών συμβάντων και θυμάτων (Διακάκης, κ.α., 2012)

Σχετικά με την χωρική κατανομή, η οποία έγινε σε επίπεδο Δήμων, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 2.10, τα αποτελέσματα δείχνουν την αυξημένη εμφάνιση πλημμυρικών συμβάντων κοντά σε αστικά κέντρα όπως η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη, η Λάρισα αλλά και την Λακωνία. Επιπλέον, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.11, υπολογίστηκε η χωρική πυκνότητα εμφάνισης πλημμυρικών συμβάντων. Το συμπέρασμα το οποίο προκύπτει είναι ότι εμφανίζεται αυξημένη πυκνότητα κατά μήκος των παράκτιων περιοχών και κοντά σε αστικά κέντρα. Η Αττική, η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, τμήμα της Θεσσαλίας, η Ανατολική Θράκη και η νότια Πελοπόννησος εμφανίζουν αυξημένη πυκνότητα εμφάνισης πλημμυρών. Αντίθετα, παρατηρείται ότι το κεντρικό ορεινό τμήμα της χώρας, η Δυτική Μακεδονία, η Ήπειρος, η κεντρική Πελοπόννησος, η Κρήτη και η Εύβοια εμφανίζουν αρκετά χαμηλότερη πυκνότητα.



Εικόνα 2.10 Χωρική κατανομή πλημμυρικών συμβάντων ανά Δήμο (Διακάκης, κ.α., 2012)



Εικόνα 2.11 Χωρική πυκνότητα των πλημμυρικών συμβάντων (Διακάκης, κ.α., 2012)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

3.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η περιοχή κατασκευής του φράγματος Γαδουρά βρίσκεται στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της νήσου (Σχήμα 3.1)

Η οριστική θέση του φράγματος και των παράλληλων με αυτό έργων τοποθετείται περίπου 10 km ανάντη της εκβολής του ποταμού Γαδουρά.

Η λεκάνη απορροής του φράγματος καλύπτει μια έκταση 147,4 km². Η μορφολογία χαρακτηρίζεται ως λοφώδης έως ημιορεινή εκτεινόμενη σε υψόμετρα από +77,25 m (στάθμη κοίτης φράγματος) έως περίπου +650,00 m.

Σύμφωνα με την οριστική μελέτη του φράγματος Γαδουρά η περιοχή κατασκευής του φράγματος εκτιμάται ότι βρίσκεται σε στάδιο προχωρημένης νεότητας με διαμορφωμένες ομαλές κλιτύες και αναβαθμίδες με αρκετά ανεπτυγμένο υδρολογικό δίκτυο χωρίς ανάπτυξη εκτεταμένου και μόνιμου μαιανδρικού συστήματος. Στις περιοχές αντρεισμάτων του φράγματος τα φυσικά πρηνή αναπτύσσονται με κλίσεις 10 – 20 με ομαλή διαμόρφωση.



Σχήμα 3.1 Θέση φράγματος (EEN ΓΑΔΟΥΡΑ)

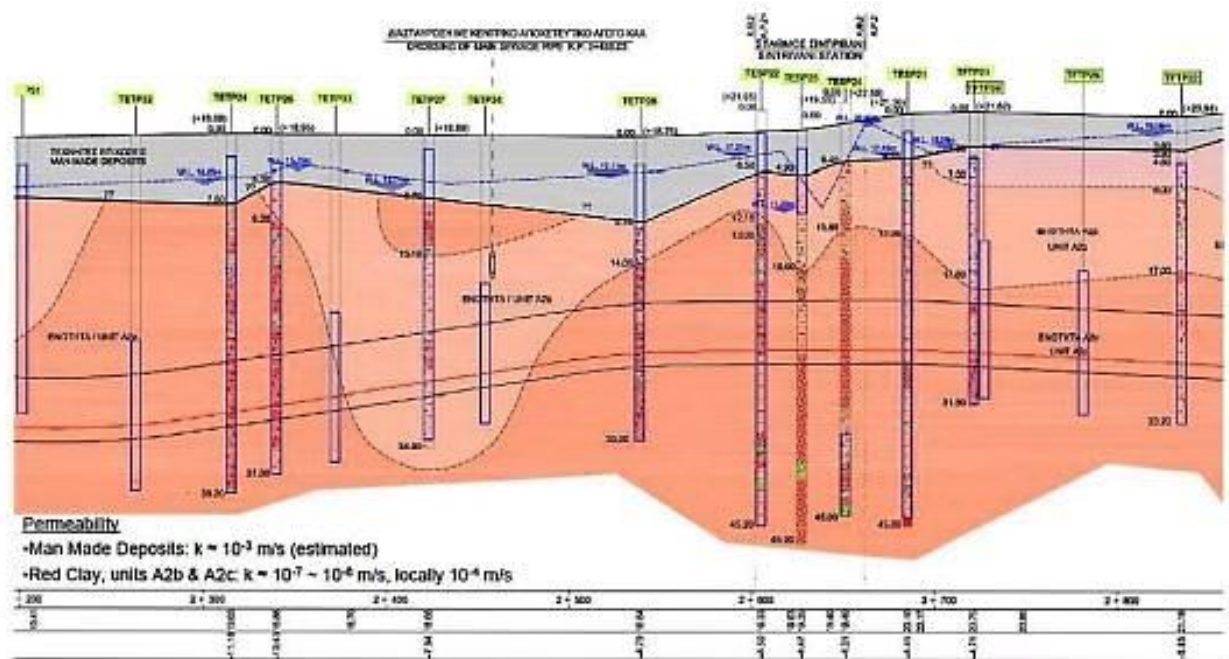
3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Από γεωτεκτονική άποψη, η νήσος Ρόδος αποτελεί τμήμα του νοτιοανατολικού τόξου του Αιγαίου, το οποίο με την σειρά του αποτελεί τμήμα του ευρύτερου ενεργού γεωτεκτονικού τόξου των Εξωτερικών Ελληνικών Ζωνών. Το τόξο αυτό εκτείνεται από τη νήσο Ζάκυνθο έως τις νοτιοδυτικές παρυφές των ακτών της Μικράς Ασίας, περιβάλλοντας τον ελληνικό νότιο θαλάσσιο χώρο και οριοθετώντας στην ουσία την περιοχή σύγκλισης, σύγκρουσης και καταβύθισης της αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την αντίστοιχη ευρασιατική. Σύμφωνα με τις πλέον σύγχρονες γεωλογικές αντιλήψεις, το δυτικό άκρο των Εξωτερικών Ελληνίδων Ζωνών αποτελεί η Ιόνιος τεκτονική ζώνη η οποία σηματοδοτεί την πλέον πρόσφατη κίνηση στον ελλαδικό χώρο, ηλικίας ολιγόκαινου με την ανάδυση του “σχηματισμού” του φλύσχη και των “μεταορογενετικών” μολασσικών αποθέσεων. Η ανάπτυξη των θλιπτικών τάσεων από την αφρικανική προς την ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα αποτελεί γεγονός τουλάχιστον από την εποχή των πρόσφατων αυτών ορογεννητικών κινήσεων έως και σήμερα καθιστώντας τον χώρο του νοτίου και νοτιοανατολικού Αιγαίου πεδίο θλιπτικών τάσεων στην νότια παρειά του και εφελκυστικών στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου. Αυτό είχε ως συνέπεια την ανάπτυξη μορφολογικών και γεωλογικών χαρακτηριστικών τυπικού γεωτεκτονικού τόξου (τάφρος καταβύθισης νότια της Κρήτης και της Ρόδου, ηφαιστειακό τόξο Θήρας κ.λπ.) και την αυξημένη σεισμική δραστηριότητα του Ελλαδικού χώρου.

Με βάση τα παραπάνω επικεντρώνοντας στην περιοχή του έργου, η νήσος Ρόδος αποτελεί το τελευταίο τμήμα των Εξωτερικών Ζωνών πριν από την συναρμογή τους με τις Ταυρίδες οροσειρές στην ενδοχώρα της Τουρκίας.

Η πρόσφατη τεκτονική δράση, όσο και η συνεχής υψηλή σεισμικότητα της νήσου είναι οι βασικοί παράγοντες διαμόρφωσης περίπλοκων στην ανάλυση γεωλογικών δομών. Σ' αυτές τις δομές στρωματογραφικά μέλη της Ιόνιου ζώνης συμπλέκονται με παλαιές και πρόσφατες ιζηματογενείς δομές με ένα πλήθος τεκτονικών και στρωματογραφικών αλληλουχιών.

Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζεται η γεωλογική τομή AA' της ευρύτερης περιοχής του φράγματος.



Σχήμα 3.2 Γεωλογική τομή στην περιοχή του φράγματος (EEN ΓΑΔΟΥΡΑ)

3.3 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Από στρωματογραφικής άποψης τόσο στην λεκάνη απορροής όσο και ειδικότερα στην λεκάνη κατάκλισης του φράγματος, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιγράφονται από τους νεότερους προς τους παλαιότερους ως εξής:

Τεταρτογενές

1. Ενότητα E1 (Πρόσφατες αποθέσεις)

Αλλούβια και κολλούβια πρόσφατων αποθέσεων από άμμους, χαλίκια και κροκάλες της κοίτης του ποταμού, αποθέσεις αναβαθμίδων και πλευρικά κορήματα. Εμφανίζουν χαλαρή δομή και σχετικά πάχος.

2. Ενότητα E2 (Σχηματισμός περιοχής Σγουρού)

Πλειστόκαινα αδιαβάθμητα ιζήματα με ευρύ κοκκομετρικό φάσμα (μάργες, ιλύες, άμμοι και χαλίκια) παράκτιας φάσης που συναντώνται στο ανατολικότερο τμήμα της λεκάνης του φράγματος.

Πλειόκαινο

3. Ενότητα E3 (Λεβαντίνιοι σχηματισμοί)

Ποταμοχειμάρια κροκαλοπαγή στη βάση που μεταβαίνουν σε εναλλαγές ιλιολίθων – ψαμμιτών στα νεότερα μέλη. Παρατηρείται μετάβαση από αδρόκοκκη σε μεσόκοκκη φάση και γωνιώδης ασυμφωνία με τους σχηματισμούς του υποβάθρου.

Κάτω Ολιγόκαινο – Μειόκαινο

4. Ενότητα E5 (Συνορογεννετικός φλύσχης Καταβιάς)

5. Υποενότητα E5.1 (Ψαμμίτες περιοχής Σταφυλιά)

Τουρβιδιτικοί ψαμμίτες, λεπτοπλακώδεις έως παχυπλακώδεις με λεπτές στρώσεις αργιλικού σχιστόλιθου. Αντιστοιχεί στην αδρομερή φάση του φλύσχη.

6. Υποενότητα E5.2 (Εναλλαγές ιλυόλιθων – ψαμμιτών)

Σύστημα εναλλαγών ιλυόλιθου – ψαμμίτη με ποικιλία στρώσεων, έντονα πτυχωμένο και τεκτονισμένο.

7. Υποενότητα E5.3 (Ιλυόλιθοι περιοχής Σιάνα)

Ασβεστιτικοί ιλυόλιθοι με στρώσεις ψαμμίτη και φακούς κλαστικού ασβεστόλιθου.

8. Υποενότητα E5.4 (Αργιλικό σχιστόλιθοι περιοχής Λάερμα)

Ασβεστιτικοί αργιλικό σχιστόλιθοι με λεπτές στρώσεις και σποραδικούς φακούς μικριτικού ασβεστόλιθου και γύψου. Αναφέρεται ως η πλέον επικρατούσα φάση του φλύσχη και αποτελεί το υπέδαφος θεμελίωσης του φράγματος.

Κρητιδικό – Ηώκαινο

9. Ενότητα E6 (Επωθημένα ασβεστολιθικά καλύμματα)

Ασβεστολιθικοί. δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες έως λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι με πυριτικούς κονδύλους με χαρακτηριστική μετάβαση από την ανθρακική στην πυριτική φάση ιζηματογένεσης.

10. Ενότητα Ε7

11. Ασβεστόλιθοι μαργαϊκή ασβεστόλιθοι έως μάργες, λεπτοπλακώδεις έως μεσοπλακώδεις, με λίγους πυριτικούς κονδύλους και με εμφανή μετάβαση από την ανθρακική στην αργιλοπυριτική φάση. Εμφανίζονται στα δυτικά όρια της λεκάνης απορροής.

3.4 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η γενική τεκτονική εικόνα της περιοχής κατασκευής του έργου έχει διαχωριστεί στις ακόλουθες τεκτονικές ακολουθίες γεγονότων.

Ολιγόκαινο

1. Τεκτονική Ακολουθία T1 (Αυτόχθονο σύστημα)

Πτύχωση, κλειστή, ανεστραμμένη και αποκομμένη με εφιππεύσεις και απωθήσεις γενικής παράταξης ΒΑ – ΝΔ κα κλίσης ΝΑ. Επηρεάζει όλα τα μέλη του υποβάθρου με χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση και τεκτονικές μετακινήσεις

2. Τεκτονική Ακολουθία T2 (Αυτόχθονο σύστημα)

Εφίππευση ευρείας κλίμακας, σε μεγάλες αποστάσεις και πιθανόν οριζόντιου χαρακτήρα με χαρακτηριστικές εμφανίσεις τοπικής κλίμακας.

Ανώτερο Μειόκαινο

3. Τεκτονική Ακολουθία T3 (Νεοαυτόχθονο σύστημα)

Πτύχωση ανοιχτή, γενικής παράταξης ΒΑ – ΝΑ και κλίσης ΝΑ

Τεταρτογενές

4. Τεκτονική Ακολουθία T4 (Νεωτεκτονικό σύστημα)

Ρωγμές με μεταπτώσεις κατακόρυφου χαρακτήρα και ανάπτυξη δύο οικογενειών κανονικών ρηγμάτων με προσανατολισμό BBA – NNΔ και BBD - -NNA, χαρακτηριστική δημιουργία νεοτεκτονικών ανυψώσεων και κατακρεούργησης του φυσικού ανάγλυφου.

3.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η υδρογεωλογική εικόνα της περιοχής καθορίζεται με βάση την επιμέρους σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών και την τεκτονική καταπόνηση των σχηματισμών και είναι η εξής:

1. 1^η υδρογεωλογική ενότητα (Σχηματισμοί μεγάλης περατότητας)

Στην ενότητα αυτή κατατάσσονται όλες οι πρόσφατες τεταρτογενείς αποθέσεις του ποταμού, όπως αποθέσεις κοίτης, αποθέσεις αναβαθμίδας και τα πλευρικά κορώματα αδρομερούς σύστασης και χαλαρής δομής που εμφανίζουν πρωτογενές πορώδες και υψηλή διαπερατότητα (>10⁻² cm/sec).

2. 2^η υδρογεωλογική ενότητα (Σχηματισμοί μέσης περατότητας)

Υδρογεωλογική υποενότητα 2.1 (Περατότητα πρωτογενούς – δευτερογενούς πορώδους)

Στην ενότητα αυτή κατατάσσονται οι τριτογενείς αποθέσεις όπως τα πλειστοκαινικά ιζήματα περιοχής Σγουρού, οι Λεβαντίνιοι σχηματισμοί και οι μολασσικοί σχηματισμοί οι οποίοι εμφανίζουν μικτή συμπεριφορά. Αφενός το πρωτογενές πορώδες τους οφείλεται στην αδρομερή κοκκομετρική τους σύνθεση και στην χαλαρή δομή τους με συνέπεια την ανάπτυξη αξιόλογου υδροφόρου ορίζοντα. Αφετέρου όμως η τεκτονική καταπόνηση που έχουν υποστεί, ιδιαίτερα λόγω της νεωτεοκτονικής δράσης οδηγεί στην δημιουργία σημαντικού δευτερογενούς πορώδους με μεγάλη ανάπτυξη κατά μήκος των τεκτονικών αξόνων και μικρή πλευρική διασπορά με συνέπεια την αύξηση της περατότητας και την εμφάνιση μικρών πηγών.

Υδρογεωλογική υποενότητα 2.2 (Περατότητα δευτερογενούς πορώδους)

Στην ενότητα αυτή κατατάσσονται οι ασβεστολιθικοί σχηματισμοί της αυτόχθονης και αλλόχθονης τεκτονικής ακολουθίας, όπου η περατότητα εξαρτάται άμεσα από το βαθμό τεκτονισμού και ρηγμάτωσης. Τα ασβεστολιθικά καλύμματα αναπτύσσουν αξιόλογη

υδροφορία που οφείλεται αφενός στην επιφανειακή τους εξάπλωση και στον βαθμό τεκτονισμού και αφετέρου στην ύπαρξη στεγανού οριζόντιου υποβάθρου και στο μεγάλο βαθμό κατείδυσης (~10%).Οι δε αυτόχθονοι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται και αυτοί έντονα πτυχωμένοι και διερρηγμένα και σε συνδυασμό με την οριζοντιογραφική τους εξάπλωση αναπτύσσουν έντονο δευτερογενές πορώδες δημιουργώντας προϋποθέσεις ανάπτυξης αξιολόγησης υδροφορίας με πιθανή μερική εκφόρτωση στα κορήματα των δυτικών παρυφών της λεκάνης απορροής.

3. 3^η υδρολογική ενότητα (Σχηματισμός μικρής περατότητας)

Στην ενότητα αυτή κατατάσσονται αφενός τα συνεκτικά υγιή < Λεβαντίνοι > κροκαλοπαγή και τα λεπτομερής διαβάθμισης ιζηματογενή τμήματα των σχηματισμών της περιοχής Σγουρού και αφετέρου τα ανδρόκοκκα τμήματά του φλύσχη καθώς και τα περισσότερα αποσαθρωμένα τμήματα του , ανεξαρτήτου σύστασης. Τα χαρακτηριστικά της εν λόγω ενότητας αυτής είναι κυρίως μορφολογικά , με την ανάπτυξη σημαντικής επιφανειακής απορροής και ακανόνιστου ανάγλυφου.

4. 4^η υδρογεωλογική ενότητα (Σχηματισμοί πρακτικά αδιαπέραστοι)

Στην ενότητα αυτή κατατάσσεται ο φλύσχη "Καταβιάς " με κύρια συμμετοχή των επιμέρους λεπτόκοκκων υπόενοτήτων του , όπου η σύσταση και συνοχή του υγιούς σχηματισμού τον καθιστά πρωτογενώς αδιαπέραστο και ο τεκτονισμός του δημιουργεί μερικές ζώνες πολύ μικρής διαπερατότητας (10⁻⁵ ~10⁻⁶ cm/sec).

3.6 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Η ευρύτερη περιοχή θεμελίωσης των έργων του φράγματος Γαδουρά δομείται γεωλογικά από ασβεστόλιθους (αυτόχθονους αλλά και επωθημένους πάνω σε φλύσχη) και ισχυρά αποσαθρωμένους αργιλικούς σχιστόλιθους διαφόρων γεωτεκτονικών ζωνών (Πίνδου, Γαβρόβου, Ιονίου). Επίσης από μετάλλικα μολασσικά νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα που αποτελούνται κυρίως από μάργες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, πλευρικά, κορήματα, υλικά αναβαθμίδων και καλύπτουν ασύμφωνα τους αλπικούς σχηματισμούς. Εξαιτίας της θέσεως

του στην απόληξη του αιγιακού τόξου ο αργιλικός σχιστόλιθος έχει υποστεί μικρή μετακίνηση και εξαιρετική παραμόρφωση με εσωτερική αναδιάταξη της δομής του λόγω του έντονου τεκτονισμού και χαρακτηρίζεται ως παραυτόχθονος. Η πολυπλοκότητα της γεωλογικής δομής έχει ενισχυθεί εξαιρετικά από τη σημαντική νεοτεκτονική δραστηριότητα κατακόρυφου – υποκατακόρυφου χαρακτήρα που βασικά οφείλεται στη γειτονία της νήσου Ρόδου προς το περιθώριο της ζώνης καταβύθισης της αφρικανικής τεκτονικής πλάκας, κάτω από την αιγιακή πλάκα και συνοδεύεται από υψηλή σεισμικότητα. Τα αποτελέσματα της νεοτεκτονικής δραστηριότητας μπορούν να παρατηρηθούν στις μορφοτεκτονικές αναβαθμίδες στις πλευρές της λεκάνης του Γαδουρά αλλά δεν είναι εμφανή στο αντέρεισμα όπου τοποθετείται η σήραγγα εκτροπής λόγω της κάλυψης από τον ελουβιακό μανδύα του φλύσχη.

3.7 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή της νήσου Ρόδου ανήκει στη σεισμικά ενεργή ζώνη του ιζηματογενούς μέρους του Ελληνικού τόξου. Χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμικότητα, μια από τις μεγαλύτερες στον ελλαδικό χώρο. Πρόσφατα δεν εμφανίστηκαν σεισμικές εστίες, ούτε και ενεργά ρήγματα στην περιοχή του έργου. Η μεγαλύτερη σεισμική επιτάχυνση που διαπιστώθηκε ποτέ ήταν 0,17 g για την γειτονική περιοχή της Λίνδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΦΡΑΓΜΑ ΓΑΔΟΥΡΑ

Σήμερα το μεγαλύτερο μέρος της Ρόδου υδρεύεται κυρίως από γεωτρήσεις και λόγω της υπερβολικής εκμετάλλευσης του υδροφόρου ορίζοντα έχει αρχίσει να παρουσιάζει υφαλμύρωση σε πολλές περιοχές , αλλά και μεγάλη πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού. Άμεση συνέπεια των φαινομένων αυτών αποτελούν η μείωση της παροχής των γεωτρήσεων αλλά και η αύξηση του βάθους στις νέες γεωτρήσεις. Τη λύση στο πρόβλημα υδροδότησης έρχεται να δώσει ο χείμαρρος Γαδουρά, που εκβάλλει στην ανατολική πλευρά του νησιού και το φράγμα που κατασκευάζεται.

Η κατασκευή του φράγματος Γαδουρά πρόκειται να λύσει τα σημαντικά και καίρια προβλήματα υδροδότησης της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Ρόδου, όλων των παράκτιων οικισμών της ανατολικής και βορειοδυτικής πλευράς του νησιού αλλά και των γειτονικών άνυδρων νησιών όπως η Χάλκη, Σύμη, το Καστελόριζο κ.α.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται ορισμένα τεχνικά στοιχεία του φράγματος, τα υλικά κατασκευής του σώματος του , καθώς και τα κυριότερα τμήματά του.

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Το Χωμάτινο Φράγμα Γαδουρά Ρόδου κατασκευάζεται από το ΥΠΕΧΩΔΕ και συγχρηματοδοτείται κατά 75% από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο συμβατικός προϋπολογισμός μελέτης ανέρχεται σε 34.600.000 Ευρώ. Δεδομένων των αλλαγών και τροποποιήσεων στις εργασίες που προέβλεπε η αρχική μελέτη καθώς και των νέων εργασιών, που δεν προβλέπονταν και κρίθηκαν αναγκαίες κατά τις διάφορες φάσεις τις διάφορες φάσεις κατασκευής , το κόστος αυξήθηκε σε 43.300.000 Ευρώ.

4.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

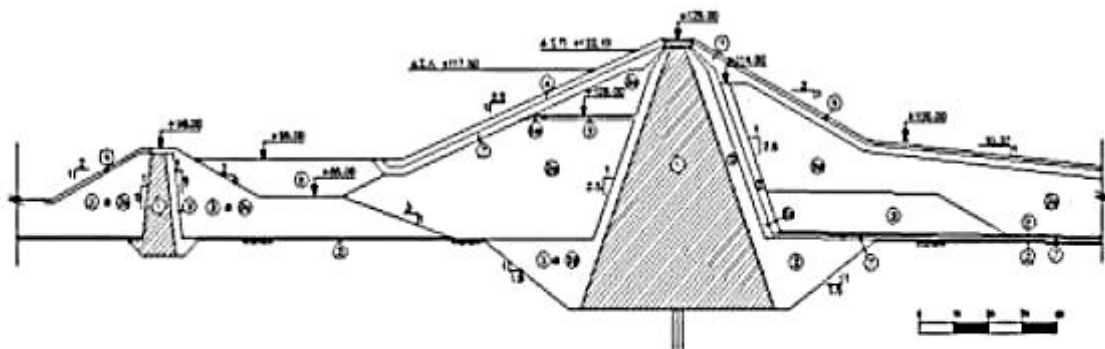
Τα βασικά στοιχεία του ταμιευτήρα είναι:

1. Συνολική χωρητικότητα : $67,5 \times 10^6 \text{ m}^3$
2. Ωφέλιμη χωρητικότητα: $60 \times 10^6 \text{ m}^3$
3. Μέγιστη επιφάνεια: $5,2 \text{ km}^2$
4. Λεκάνη απορροής: 148 km^2 (11% της συνολικής έκτασης του νησιού)
5. Στέψη φράγματος: +125 m
6. Μέγιστη παροχή πλημμύρας: $1.500 \text{ m}^3/\text{sec}$
7. Παροχή υπερχειλιστή: $890 \text{ m}^3/\text{sec}$
8. Μέση ετήσια απορροή: $32,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$
9. Απόληψη νερού: $18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ (με πιθανότητα 98,5%)

Το φράγμα αποτελείται από αργιλικό πυρήνα, σώματα στήριξης και αναβαθμίδες σταθεροποίησης ανάντη και κατόντη

Τα βασικά στοιχεία του φράγματος είναι:

1. Ύψος φράγματος: 67m
2. Μήκος στέψης: 550m
3. Πλάτος στέψης: 10m
4. Όγκος φράγματος: $315 \times 10^6 \text{ m}^3$



1	Πυρήνας	Core
2	Φάρα	Filter
2a	Στραγγιστήριο	Drain
3	Κάλυψη (αμμοχάλικα ποταμού)	Shells (sand and gravel)
3a	Κάλυψη (αεριοκάλυψη)	Shells (conglomerate)
4	Ζώνη κρημνοπροστασίας	Rip-rap
5	Ζώνη προστασίας κατόντη πρανούς	Downstream slope protection zone
6	Αναβήθριδες (τυροκομείο)	Berms (random materials)
7	Κατόντη οριζόντιο στραγγιστήριο	Downstream horizontal drain

Εικόνα 4.1 Τυπική διατομή του σώματος του φράγματος με διαχωρισμό των ζωνών αναχώματων
(Ε.Ε.Ν. Γαδουρά)

4.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Οι ζώνες αναχώματος καθορίζονται ως εξής:

Ζώνη 1: Πυρήνας πάχους στρώσης 20 cm από αδιαπέραστα υλικά που λαμβάνονται από δανειοθάλαμους της γύρω περιοχής.

Ζώνη 2: Φίλτρο – μεταβατική ζώνη πάχους 40 cm από λεπτοκοκκώδη αμμοχάλικα επεξεργασμένα με ανάμιξη, πλύσιμο ή κοσκίνισμα.

Ζώνη 2α: Λεπτόκοκκο στραγγιστήρι πάχους 40 cm από λεπτοκοκκώδη αμμοχάλικα με μέγιστο μέγεθος κόκκου 25 mm που λαμβάνονται από εγκεκριμένους δανειοθάλαμους της γύρω περιοχής.

Ζώνη 2β: Λεπτόκοκκο φίλτρο πάχους 40 cm από λεπτοκοκκώδη αμμοχάλικα με μέγιστο μέγεθος κόκκου 6,35 mm.

Ζώνη 3: Σώμα στήριξης (κέλυφος) πάχους 40 cm από αποθέσεις ποταμού (άμμος, χαλίκια, κροκάλες) μέγιστου κόκκου ή λίθου 40 cm που λαμβάνονται από καθορισμένους δανειοθάλαμους, καθώς και υποπροϊόντα επεξεργασίας των φίλτρων και των αδρανών του σκυροδέματος.

Ζώνη 4: Λιθορριπή προστασίας άνακτη του πρανούς, υλικά διαστάσεων 100 cm από λατομημένο ασβεστόλιθο και ψαμμίτη.

Ζώνη 5: Στρώση προστασίας άνακτη του πρανούς από κροκάλες και λίθους διαστάσεων 20 cm που λαμβάνονται από επεξεργασία δανειοθάλαμων και λατομείων.

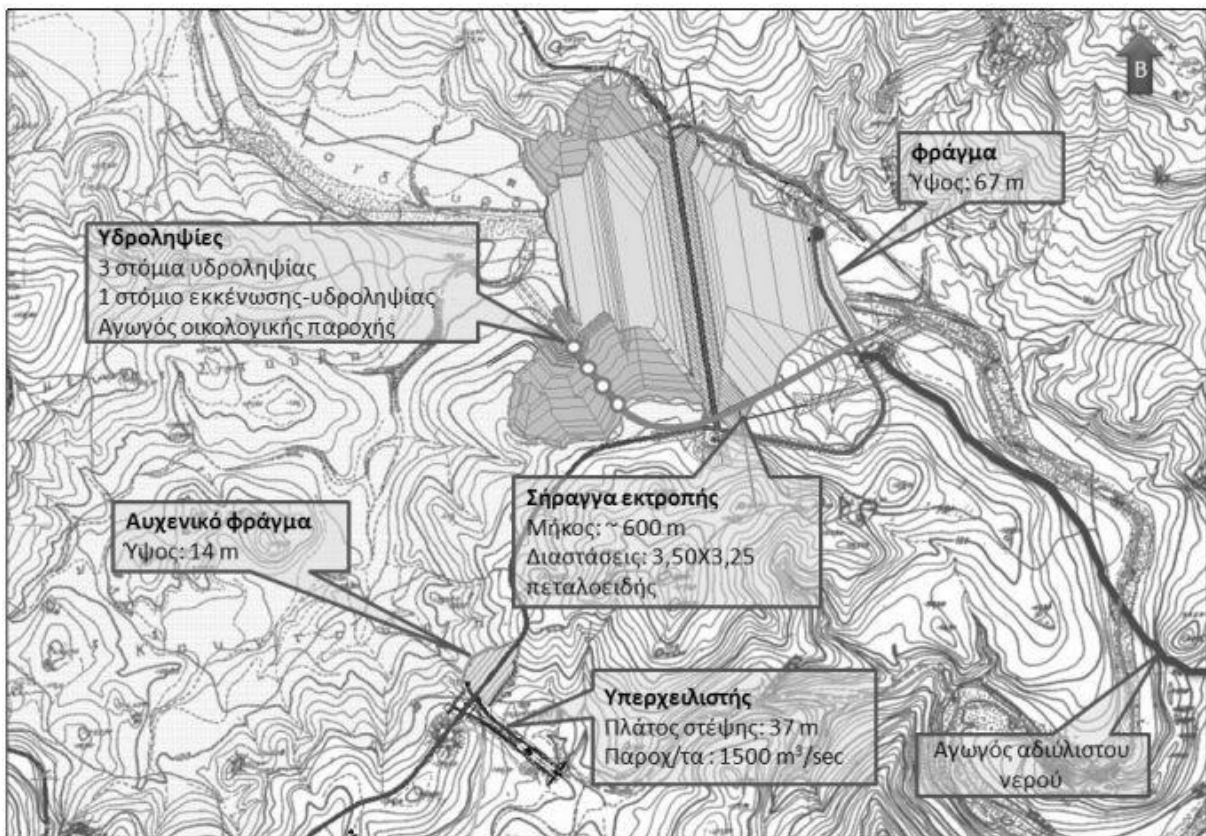
Ζώνη 6: Ζώνη αναχώματος από τυχαία υλικά που λαμβάνονται από εκσκαφές αποθέσεων ποταμού ή δανειοθάλαμους.

Ζώνη 7: Στραγγιστήριο από διαβαθμισμένο αμμοχάλικο πάχους στρώσης 40 cm με μέγεθος κόκκων 76 mm από εγκεκριμένους δανειοθάλαμους ή από υποπροϊόντα παραγωγής αδρανών και Ζώνης 2.

Ζώνη 8: Στρώση βάσεως οδοποιίας διαβαθμισμένων και επεξεργασμένων χαλικιών.

4.4 ΚΥΡΙΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται μια γενική διάταξη των έργων του φράγματος Γαδουρά στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος όπου εμφανίζονται τα κυριότερα τμήματα του έργου.



Σχήμα 4.1 Γενική διάταξη έργων φράγματος `

4.4.1 ΣΗΡΑΓΓΑ ΕΚΤΡΟΠΗΣ

Η σήραγγα εκτροπής κατασκευάστηκε στο δεξιό αντέρεισμα του φράγματος και διέρχεται έξω από το πεδίο φόρτισης του αναχώματος, με σκοπό την αποφυγή παραμορφώσεων λόγω των πτωχών μηχανικών ιδιοτήτων του ισχυρά αποσθρωμένου αργιλικού σχιστόλιθου, που αποτελεί γεωλογικό σχηματισμό του υποβάθρου. Η σήραγγα εκτροπής έχει μήκος 688.48 m. Η μέθοδος διάνοιξης της σήραγγας έγινε με την εφαρμογή της

μεθόδου NATM (New Austrian Tunneling Method). Έχει άνοιγμα εκσκαφής 4.2 m και η μόνιμη επένδυση της γίνεται από οπλισμένο σκυρόδεμα C 20/25 , πάχους 35 cm στο θόλο και στις παρειές και 1 m στο δάπεδο αυτής.



Εικόνα 4.2 Είσοδος σήραγγας εκτροπής

Η σήραγγα εκτροπής αποτελείται από 3 τμήματα όπως φαίνονται στην **Εικόνα 4.2**

1. Το τμήμα εισόδου (Εικόνα 3.2) μήκους 47,5 m από αγωγό σκυροδέματος ο οποίος επανεπιχώνεται έως την αρχική επιφάνεια του εδάφους.
2. Το τμήμα εξόδου μήκους 44,25 m που αποτελείται επίσης από αγωγό από σκυρόδεμα.
3. Το κυρίως και μεγαλύτερο τμήμα μήκους 596,73 m

Στο στόμα εισόδου και εξόδου διατηρήθηκε αργιλικός σχιστόλιθος μέτριας έως υψηλής αποσάθρωσης αντίστοιχα ενώ το μεσαίο τμήμα της σήραγγας ο αργιλικός σχιστόλιθος εμφανίζεται με πολύ φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κρίθηκε επιβεβλημένη η προ ενίσχυση της διατήρησης των στομίων με τη χρήση δοκών πορείας (Εικόνα 4.3) για την αποφυγή πιθανών

ασοχιών, αλλά και προβλημάτων αστάθειας στα μέτωπα κατά πρώτα στάδια της διάτρησης. Η χρήση των δοκών προ πορείας κρίθηκε επιβεβλημένη και στο υπόλοιπο τμήμα της σήραγγας δεδομένου ότι στο μεσαίο τμήμα της σήραγγας διατηρήθηκε αργιλικός σχιστόλιθος με πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με το δυσμενέστερο ύψος υπερκειμένων ($H = 47 \text{ m}$).

Για τον υπολογισμό της μόνιμης επένδυσης από οπλισμένο σκυρόδεμα θεωρείται ότι παράλληλα με την ανάληψη εξωτερικών φορτίων νερού, η επένδυση παραλαμβάνει εξ ολοκλήρου και τα φορτία της περιβάλλουσας βραχώμαζας δεδομένου ότι τα προσωρινά μέτρα προστασίας αδρανούν με την πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 4.3 Εκσκαφή σήραγγας εκτροπής

Για να εξασφαλιστεί η επαφή βραχώμαζας – επένδυσης, ιδιαίτερα στην οροφή, όπου συνήθως παρατηρούνται κενά μετά την της σκυροδέτηση προβλέφθηκε να εκτελεστούν τσμεντενέσεις επαφής στην οροφή.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του φράγματος η σήραγγα εκτροπής θα χρησιμοποιηθεί για υδροληψία και εκκένωση του ταμιευτήρα.

Οι υδροληψίες συνίστανται σε 4 ανεξάρτητα στόμια υδροληψίας – εκκένωσης (**Εικόνα 4.4**)



Εικόνα 4.4 Στόμιο εκκένωσης και υδροληψίας

1. Το στόμιο εκκένωσης και παροχέτευσης φερτών (και υδροληψίας) ΥΕ βρίσκεται σε στάθμη στέψης +99,00 m
2. Τα στόμια υδροληψίας (και εκκένωσης όταν απαιτείται) Υ1, Υ2, και Υ3 με αντίστοιχες στάθμες στέψης +99,00m , +104,50 m, +111,50 m.

Τα στόμια αυτά είναι μικροί κατακόρυφοι χαλύβδινοι πύργοι επενδυμένοι με σπλισμένο σκυρόδεμα οι οποίοι στη στέψη του φέρουν κατάλληλη διαμόρφωση για τοποθέτηση εσχάρων συγκράτησης αλλά και κατάλληλου κινητού χαλύβδινου πώματος έμφραξης του στομίου σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

4.4.2 ΠΡΟΦΡΑΓΜΑ

Η εκτροπή του ποταμού μέσα από τη σήραγγα εκτροπής και η προστασία του χώρου κατασκευής του φράγματος από τα νερά του ποταμού, ώστε η κατασκευή του έργου να πραγματοποιηθεί “εν ξηρό”, έγινε με τη κατασκευή του προφράγματος του οποίου ο άξονας είναι παράλληλος με τον άξονα του φράγματος και σε απόσταση 150 m από αυτόν.

Το κυρίως και το βοηθητικό πρόφραγμα φαίνονται στην **Εικόνα 4.5**

Το βοηθητικό ανάντη πρόφραγμα (ΒΑΠ) έχει στέψη στο υψόμετρο +85,00 m και πλάτος στέψης 6 m από τυχαία υλικά με κλίση πρανών 3:1. Το βοηθητικό πρόφραγμα εξυπηρέτησε την προσωρινή ανάσχεση του ποταμού, μέχρι την ολοκλήρωση του προφράγματος στο οποίο και ενσωματώθηκε.

Το κυρίως ανάντη πρόφραγμα (ΚΑΠ) έχει σχέση στο υψόμετρο +98,00 m και πλάτος στέψης 10 m από αμμοχάλικα ποταμού με κλίση πρανών 3:1 από τη θεμελίωση μέχρι το υψόμετρο +85,00 m, 2:1 πάνω από το υψόμετρο +85,00 m και 2:1 από το υψόμετρο +85,00 m μέχρι τη στέψη +125,00 m.

Το πρόφραγμα εκτός από την προστασία των έργων κατά τη φάση κατασκευής χρησιμοποιήθηκε και ως δοκιμαστικό ανάχωμα για τη μέτρηση της πίεσης των πόρων και των καθιζήσεων στη θεμελίωση του λόγω της επιβολής φορτίου από τα υπερκείμενα υλικά του αναχώματος. Οι μετρήσεις γίνονται στο σώμα του προφράγματος με την εγκατάσταση οργάνων μέτρησης καθιζήσεων, μετακινήσεων και πίεσης πόρων.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι δεν υπάρχει σοβαρός λόγος ανησυχίας για την ευστάθεια του έργου, με την προϋπόθεση διατήρησης της πίεσης των πόρων σε σχετικά χαμηλά επίπεδα.

Για τους παραπάνω λόγους, το πρόφραγμα προβλέφθηκε και κατασκευάστηκε σε τρεις φάσεις που ανέρχονται μέχρι το υψόμετρο +85,00 m, +95,00 m και +98,00 m αντίστοιχα. Με αυτή την διαδικασία καθίσταται δυνατή η συλλογή και αξιολόγηση των μετρήσεων και η εξαγωγή συμπερασμάτων του φράγματος.

Τμήμα του προφράγματος ενσωματώθηκε στο σώμα του φράγματος ενώ το υπόλοιπο σχηματίζει σταθεροποιητικό αναβαθμό που βελτιώνει την ευστάθεια του αναχώματος.



Εικόνα 4.5 Βοηθητικό – Κύριο άναντη πρόφραγμα

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα προϊόντα εκσκαφής για την κατασκευή των επιμέρους τεχνικών έργων είναι κατά κανόνα ακατάλληλα για το ανάχωμα του προφράγματος και δεδομένου ότι ο χρόνος ανέγερσης του προφράγματος δεν συμπίπτει με αυτό των άλλων έργων θεωρήθηκε ότι το πρόφραγμα έπρεπε να κατασκευαστεί από υλικά παρόμοια με αυτά του φράγματος.

Η στεγανότητα του προφράγματος έγινε σε τάφρο βάθους 5 m, που εκσκάφτηκε εγκάρσια στη κοίτη του χειμάρρου. Εκτιμήθηκε πως ήταν απαραίτητη η εκτέλεση τιμεντενέσεων στεγανοποίησης στη θεμελίωση του προφράγματος.

4.4.3 ΚΥΡΙΩΣ ΦΡΑΓΜΑ

4.4.3.1 ΤΥΠΟΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΞΗ ΑΞΟΝΑ

Η παρουσία σχετικά μαλακών πετρωμάτων στην ευρύτερη περιοχή θεμελίωσης του σώματος του φράγματος απέκλεισε τη δυνατότητα κατασκευής φράγματος από σκυρόδεμα και περιόρισε τις επιλογές σε διάφορους άλλους τύπους φραγμάτων.

Ο εντοπισμός ποταμοχειμάρρων και αποθέσεων (αμμοχάλικα κοίτης και παλαιών αναβαθμίδων καθώς και λεπτόκοκκα υλικά) επέβαλλε την κατασκευή χωμάτινου φράγματος με πυρήνα από αδιαπέραστο υλικό και κελύφη φράγματος από αμμοχάλικα.

Η θέση του φράγματος προσδιορίστηκε με στόχο:

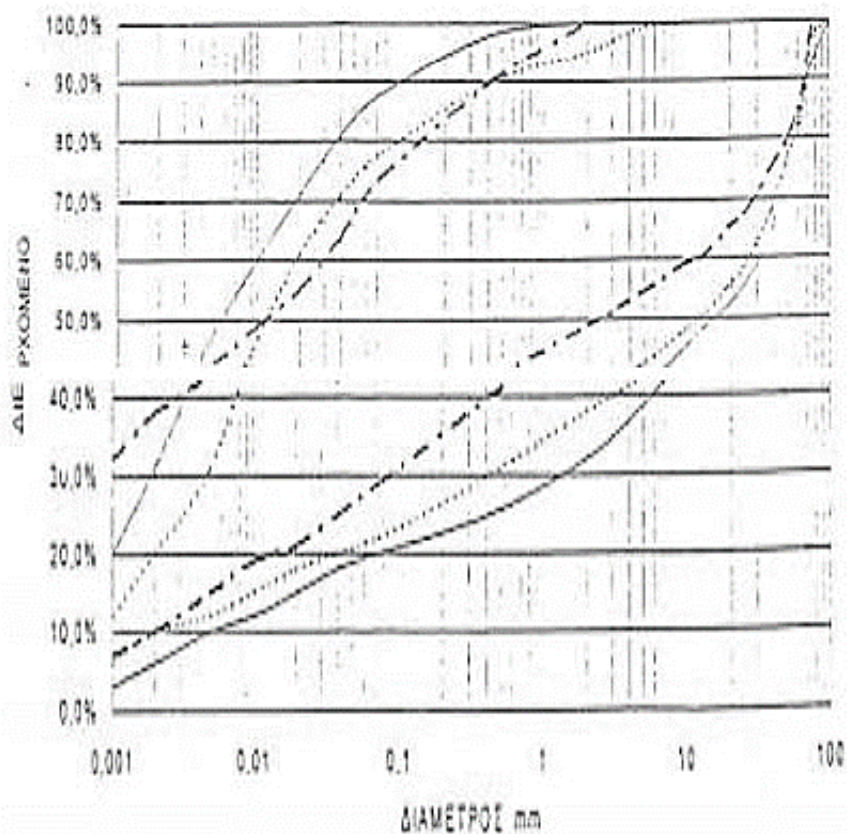
1. Την ελαχιστοποίηση του όγκου αναχώματος
2. Τη μεγιστοποίηση του όγκου του ταμιευτήρα
3. Την καλύτερη διάταξη των επιμέρους τεχνικών έργων

Στις επόμενες ενότητες γίνεται μια απλή περιγραφή των επιμέρους ζωνών του σώματος του φράγματος, των βασικών ιδιοτήτων τους, του τρόπου δειγματοληψίας διαλογής, παρασκευής, μεταφοράς, διάστρωσης και συμπύκνωσης των υλικών στο σώμα του φράγματος και των απαιτήσεων σε υγρασία ή διαβροχή των υλικών κατά περίπτωση.

4.4.3.2 ΠΥΡΗΝΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Το υλικό για τον πυρήνα του φράγματος προέρχεται από δανειοθάλαμους αδιαπέραστου υλικού που βρίσκονται κοντά στην θέση του φράγματος και μέσα στη ζώνη κατάκλισης του ταμιευτήρα. Η διερεύνηση για καταλληλόλητα και επάρκεια του υλικού έγινε με την εκσκαφή σκαμμάτων για προσδιορισμό αφενός του βάθους στο οποίο απαντάται και αφετέρου της μικροσκοπικής του σύστασης. Στα σκάμματα έγινε δειγματοληψία υλικού από διάφορα βάθη για εργαστηριακούς ελέγχους και δοκιμές.

Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων σε δείγματα υλικού από ερευνητικά φρέατα σχεδιάστηκαν σε ενιαίο διάγραμμα, από το οποίο προέκυψαν οι καμπύλες των κοκκομετρικών αναλύσεων που παρουσιάζονται στο Σχεδιάγραμμα 4.2.



Σχεδιάγραμμα 4.2 Κοκκομετρικές καμπύλες υλικού Ζώνη (Τεχνική Έκθεση Φράγματος Γαδουρά)

Στα υλικά των δανειοθάλαμων έγιναν δοκιμές προσδιορισμού των χαρακτηριστικών τους ιδιοτήτων και θεωρήθηκαν κατάλληλα για τοποθέτηση στον πυρήνα του φράγματος (Ζώνη 1). Υλικά που περιέχουν λεπτόκοκκο κλάσμα μεγαλύτερο του 40%, ταξινομούνται στην ομάδα CL (άργιοι χαμηλής πλαστικότητας) στο χάρτη πλαστικότητας και δεν περιέχουν οργανικές ουσίες. Οι έρευνες έδειξαν επάρκεια του αδιαπέραστου υλικού για τις ανάγκες κατασκευής του πυρήνα του φράγματος, του προφράγματος και του αυχενικού φράγματος.

Λαμβάνοντας υπόψη της σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής και την ποιότητα των πετρωμάτων στη περιοχή θεμελίωσης του σώματος εφαρμόστηκαν κλίσεις πρανών πυρήνα 1:2,5. Η στέψη του πυρήνα πρέπει να βρίσκεται πάνω από την ανώτατη στάθμη πλημμύρας και επομένως λήφθηκε στο υψόμετρο +123,00 m δηλαδή 2 m κάτω από την ονομαστική στέψη του σώματος του φράγματος.

Ο πυρήνας θεμελίωσης κατασκευάστηκε σε τάφρο έτσι ώστε η κατά μήκος κλίση της τάφρου να είναι κατά το δυνατόν ενιαία και ίση με 1:1,5 σε κάθε αντέρεισμα.

Ο αργιλικός σχιστόλιθος που εμφανίζεται στον πυθμένα της τάφρου του πυρήνα είναι γενικά κατάλληλος για θεμελίωση του φράγματος. Για να αποφευχθεί πιθανή διάβρωση και διασώληνωση κάτω και σε επαφή με τη βάση του πυρήνα έπρεπε να εκτελεστούν τσιμεντενέσεις επαφής (τάπητα) στην κεντρική ζώνη της θεμελίωσης του πυρήνα σε κάναβο 2,00 x 1,50 m.

Μετά την ομαλοποίηση της επιφάνειας και τον καθορισμό, με υπό πίεση νερό, οι κοιλότητες της επιφάνειας της θεμελίωσης πληρώθηκαν με σκυρόδεμα και οι ρωγμές που υπήρχαν στις βραχώδεις μεμονωμένες μάζες πληρώθηκαν με υδαρές τσιμεντένεμα. Μάζες γύψου εντοπίστηκαν και απομακρύνθηκαν από την περιοχή θεμελίωσης.

Οι διατρήσεις και οι εργασίες των τσιμεντενέσεων εκτελέστηκαν μετά την διάστρωση του τάπητα από σκυρόδεμα πλάτους 8 m. Η τσιμεντένεση των οπών γινόταν σε δύο στάδια (από 0-5 m και 5-10 m αντίστοιχα) και με πιέσεις όπως αυτές αναφέρονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 4.1 Στάδια και πιέσεις μανομέτρου

Στάδιο (m)	Πίεση (kPa)
0-5	50-100
05/10/16	150-400

Η σύνθεση του ενέματος είναι νερό – τσιμέντο σε αναλογία 1:1 κατά βάρος. Το τσιμέντο είναι κατηγορίας Π 32,5 με ειδική επιφάνεια μεγαλύτερη από 4.500 cm²/g. Σε περιπτώσεις που απαιτήθηκε προσθήκη μπετονίτη από μείγμα του τσιμεντένεματος, αυτός προστέθηκε σε αναλογία με το νερό ίση με 2% κατά βάρος. Η ενεργοποίηση του μπετονίτη γινόταν βαθμιαία και ο χρόνος ανάμιξης δεν ήταν μικρότερος των 15 min. Η ανάμιξη έπρεπε να γίνει τουλάχιστον έξι ώρες πριν τη χρήση του αιωρήματος.

Σε κάθε σειρά γινόταν διατήρηση των οπών και τσιμεντένεση ανά 6,00 m και σε δεύτερη φάση ακολούθησε η εκτέλεση τσιμεντενέσεων στις υπόλοιπες οπές τις σειράς. Κατά

κανόνα για την κατασκευή των τσιμεντενέσεων τάπητα εφαρμόστηκε η μέθοδος κατά ανιόντα στάδια (Packer grouting). Αμέσως μετά την τσιμεντένεση του δευτέρου σταδίου (5 – 10 m) και μετά από τον μηδενισμό της πίεσης στο μανόμετρο, το παρέμβυσμα (packer) μετατοπιζόταν στο πρώτο στάδιο για να γίνει τσιμεντένεση χωρίς να μεσολαβεί άλλος χρόνος αναμονής.

Κατά την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων στον τάπητα της τάφρου πυρήνα (Εικόνα 4.6) δεν υπήρχαν ιδιαίτερες απορροφήσεις πλην του αριστερού αντερείσματος με αποτέλεσμα να απαιτηθεί γεωλογική έρευνα με την εκτέλεση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και δοκιμών πίεσης (Lungeon).



Εικόνα 4.6 Τσιμεντενέσεις τάπητα (ΑΕΓΕΚ, 2001)

Πριν την έναρξη της θεμελίωσης του πυρήνα και προκειμένου να εξεταστεί το υλικό της Ζώνης 1 (άργιλος) καθώς επίσης και ο τρόπος διάστρωσης, διαβροχής και επεξεργασίας όπως και τα χρησιμοποιούμενα μέσα (Δισκοσβάρνα, κατσικοπόδαρο, CAT – 852), αριθμός διελεύσεων πραγματοποιήθηκε κατασκευή δοκιμαστικού αναχώματος. Μετά από εργαστηριακό έλεγχο της επιτυγχανόμενης συμπύκνωσης και της υγρασίας της αργίλου του δοκιμαστικού αναχώματος εγκρίθηκε η χρήση του αργιλικού υλικού των μέσων καθώς και της διαδικασίας που ακολούθησε στην κατασκευή του δοκιμαστικού αναχώματος.

4.4.3.3 ΚΕΛΥΦΗ

Το υλικό για τα κελύφη (σώματα στήριξης) του φράγματος προήλθε από δανειοθάλαμους αμμοχάλικων που βρίσκονται κοντά στη θέση του φράγματος. Η διερεύνηση για καταλληλότητα και επάρκεια του υλικού έγινε με την εκσκαφή σκαμμάτων. Διερευνήθηκε αφενός το βάθος του κατάλληλου υλικού και αφετέρου η μακροσκοπική του σύσταση. Στα σκάμματα έγινε δειγματοληψία υλικού από διάφορα βάθη για εργαστηριακούς ελέγχους και δοκιμές. Η μέγιστη διάσταση κροκάλας που ενσωματώθηκε στα κελύφη του φράγματος είναι 0,40 m ίση με το πάχος της στρώσης μετά την συμπίκνωση της.



Εικόνα 4.7 Γενική όψη φράγματος κατά την κατασκευή (ΑΕΓΕΚ, 2001)

4.4.3.4 ΦΙΛΤΡΑ ΚΑΙ ΣΤΡΑΓΓΙΣΤΗΡΙΑ

Σκοπός των φίλτρων είναι να επιτρέπουν στο νερό των πόρων να διαφεύγει από τις ζώνες μικρής διαπερατότητας (αργιλικός πυρήνας) χωρίς να μεταφέρει εδαφικούς κόκκους.

Οι ζώνες φίλτρων και στραγγιστηριών (Εικόνα 4.8) κατασκευάστηκαν από υλικά με κοκκομετρική διαβάθμιση που δεν θα μεταβληθεί με την επιβολή φορτίων από το ίδιο βάρος

του αναχώματος ή με την πάροδο του χρόνου. Τα υλικά των ζωνών αυτών προήλθαν από επεξεργασία (κοσκίνισμα, πλύσιμο, ανάμιξη κ.λπ.) προϊόντων εκσκαφής δανειοθάλαμου με αμμοχάλικα ποταμού.

Η διάστρωση και συμπύκνωση των υλικών έγινε σε οριζόντιες στρώσεις, πάχους 0,4 m. Σύμφωνα με την μελέτη, το υλικό πρέπει να είναι ελαφρώς υγρό κατά τη μεταφορά, εκφόρτωση και διάστρωση ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευση μεγάλων κόκκων στις παρυφές των σωρών εκφόρτωσης.



Εικόνα 4.8 Ζώνες φίλτρων – στραγγιστηρίων (ΑΕΓΕΚ, 2001)

4.4.3.5 ΛΙΘΟΡΡΙΠΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Η προστασία έναντι του πρηνούς από τους κυματισμούς του νερού στον ταμιευτήρα επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση μια ζώνης από φυσικούς λίθους κατάλληλων διαστάσεων.

Ο προσδιορισμός του μεγέθους των τεμαχίων βράχου βασίζεται στον προσδιορισμό του ύψους κύματος που αναπτύσσεται στον ταμιευτήρα. Η μέγιστη διάσταση τεμαχίων που τοποθετήθηκαν είναι $D_{max} = 0,70$ m. Το πάχος της λιθορριπής προστασίας ορίζεται σε 1m, προκειμένου τα μεγαλύτερα τεμάχια βράχου να ενσωματώνονται πλήρως.

Το κατάντη πρανές του σώματος του φράγματος προστατεύεται από τη διαβρωτική επίδραση των βροχοπτώσεων και κυρίως από την επιφανειακή ροή του νερού με την επικάλυψη του από κροκάλες ποταμού (Ζώνη 5). Η μέγιστη διάσταση κροκάλας είναι 20 cm.



Εικόνα 4.9 Λιθορριπή προστασίας (ΑΕΓΕΚ, 2001)

4.4.3.6 ΑΥΧΕΝΙΚΟ ΦΡΑΓΜΑ

Το αυχενικό φράγμα (Εικόνα 4.10) τοποθετείται 700 m περίπου νοτιοδυτικά από το κυρίως φράγμα και μαζί με τη στέψη του υπερχειλιστή κλείνουν την ισούψη των +117,50 m που είναι η ανώτατη στάθμη λειτουργίας της λεκάνης κατάκλισης. Το καθαρό μήκος του αυχενικού φράγματος είναι περίπου 140m και η στέψη του στα +125 m.

Η κλίση των πρανών του αυχενικού φράγματος είναι 2:1 ενώ στο επίπεδο +115.00 m του ανάντη πρανούς δημιουργήθηκε σταθεροποιητικός αναβαθμός πλάτους 10m με κλίση πρανών 2,5:1. Η στέψη του κεντρικού πυρήνα τοποθετείται στο +123.00 m με πλάτος 3.00 m και κλίση πρανών 1:2,5. Προκειμένου να βελτιωθεί η στεγανότητα της θεμελίωσης του

αυχενικού φράγματος χωρίς την κατασκευή πετάσματος τσιμεντενέσεων προβλέφθηκε η κατασκευή αδιαπέραστου τάπητα ανάντη του πυρήνα, πάχους 1.00 m που θα εκτείνεται μέχρι 20.00 m από τον άξονα του σώματός του. Στην κατάντη παρειά του πυρήνα τοποθετείται ζώνη φίλτρου πάχους 2m με στέψη στα +121.00 m .



Εικόνα 4.10 Κατασκευή Αυχενικού φράγματος (ΑΕΓΕΚ, 2001)

4.4.3.7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗΣ

Το σύστημα υπερχειλίσης (Εικόνα 4.11) του έργου αποτελείται από την διώρυγα προσαγωγής τον υπερχειλιστεί, την διώρυγα πτώσης , την λεκάνη ηρεμίας και την διώρυγα φυγής. Η διώρυγα προσαγωγής καθοδηγεί ομαλά τη ροή του νερού προς το έργο υπερχειλίσης. Ο πυθμένας της διώρυγας κατασκευάστηκε στο υψόμετρο +115.00 m . Το τμήμα της διώρυγας πλησίον του έργου υπερχειλίσης επενδύεται με σπλισμένο σκυρόδεμα αγκυρωμένο στο πέτρωμα με ράβδους αγκύρωσης. Το νερό καθοδηγείται στο έργο υπερχειλίσης με δύο πλευρικούς τοίχους από σκυρόδεμα. Ο υπερχειλιστείς είναι μετωπικός πλάτους 36.60 m και ύψους σχεδιασμού 4.50 m. Η στέψη του υπερχειλιστείς τοποθετήθηκε στο +117.50 m ενώ η θεμελίωση του στο υψόμετρο +111.00 m. Το μήκος του σώματος του υπερχειλιστείς είναι 17.95 m. Η διώρυγα πτώσης προβλέπεται όταν ολοκληρωθεί, να έχει

μήκος 111.00 m με πλάτος κυμαινόμενο μεταξύ 31.00 και 15.00 m. Η διώρυγα θα έχει κλίση 8% και μετά μια συναρμογή μήκους 7 m θα περνάει σε κλίση 20%. Η διατομή θα αποτελείται από πλάκες με εγκάρσιες και διαμήκειες οδοντώσεις και κατακόρυφους πλευρικούς τοίχους αντιστήριξης με αρμούς περίπου ανά 10 m. Η διώρυγα θα εδράζεται σε στρώση διαπερατής επίχωσης πάχους 1.50 m. Η λεκάνη ηρεμίας θα κατασκευασθεί ως ανάποδο Π πλάτους 15.00 m και θα έχει συνολικό μήκος 96.50 m. Κατάντη του έργου εξόδου της λεκάνης ηρεμίας τα νερά θα οδηγούνται μέσω της διώρυγας φυγής σε φυσικό χείμαρρο που εκβάλλει στον ποταμό Γαδουρά. Το μήκος του χείμαρρου μεταξύ του έργου εξόδου και της συμβολής του με τον ποταμό Γαδουρά θα είναι 950 m. Λόγω των δυσμενέστερων επιπτώσεων από πιθανή διάβρωση του εδάφους στη περιοχή του έργου εξόδου από τη λεκάνη ηρεμίας, κρίθηκε σκόπιμη η προστασία της κοίτης της διώρυγας φυγής και επί μήκους 200 m με συρματοκιβώτια.



Εικόνα 4.11 Σύστημα υπερχείλισης (ΑΕΓΕΚ, 2001)

4.4.3.8 ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Για την αποστράγγιση των αντερεισμάτων κατάντη του άξονα του φράγματος κατασκευάστηκε σύστημα σηράγγων αποστράγγισης και στα δύο αντερείσματα. Οι σήραγγες έχουν κυκλικό θόλο και ορθογωνικό δάπεδο, εσωτερικού πλάτους 2,5 m. Στο αριστερό αντερείσμα κατασκευάστηκε σήραγγα συνολικού μήκους 380 m, από τα οποία τα 230 m είναι για προσπέλαση και τα υπόλοιπα 150 m για αποστράγγιση. Στο δεξιό αντερείσμα η σήραγγα

έχει μήκος 330 m (130 m προσπέλασης και 200 m αποστράγγισης) και θα παροχετεύει τα νερά της αποστράγγισης στη σήραγγα υδροληψίας – εκκένωσης. Στις σήραγγες αποστράγγιση ο σχεδιασμός προέβλεπε τοποθέτηση χαλύβδινων πλαισίων σε αποστάσεις 1.0 m μεταξύ τους και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με μεταλλικές ίνες ελαχίστου πάχους 5 cm στο θόλο και στις παρειές. Απαιτήθηκε πύκνωση των πλαισίων και νέες στρώσεις εκτοξευμένου σκυροδέματος στο θόλο, τις παρειές και το δάπεδο, πάχους 15 cm. Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας έγινε από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 και πάχους 10 cm στο θόλο ενώ στο δάπεδό κατασκευάστηκε μικρό κανάλι για την απορροή των υδάτων αποστράγγισης.



Εικόνα 4.12 Αποστραγγιστική σήραγγα (ΑΕΓΕΚ, 2001)

4.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΟΡΓΑΝΩΝ

Τα συστήματα οργάνων που εγκαταστάθηκαν πάνω στην κατασκευή του σώματος του φράγματος για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της συμπεριφοράς του φράγματος είναι τα εξής

1. Πέντε κλισιόμετρα για τη μέτρηση των πλευρικών μετακινήσεων.

2. Δεκατέσσερα (14) όργανα για συνδυασμένη μέτρηση πλευρικών μετακινήσεων και καθιζήσεων.
3. Δώδεκα (12) πιεζομετρικά φρέατα, πλήρη με σωλήνες και εξαρτήματα συμπεριλαμβανομένου ηλεκτρικού σταθμήμετρου.
4. Έξι (6) πιεζόμετρα φρέατα τύπου Casagrande πλήρη με σωλήνες και εξαρτήματα συμπεριλαμβανομένου ηλεκτρικού σταθμήμετρου.
5. Σύστημα μέτρησης της πίεσης των πόρων με 40 ηλεκτρικά πιεζόμετρα τύπου δονούμενης χορδής, το οποίο περιλαμβάνει πιεζομετρικά κύτταρα, καλώδια, εξαρτήματα και συσκευή ανάγνωσης μετρήσεων.
6. Έξι (6) βάθρα τριγωνομετρικών σημείων, πλήρη με όλα τα εξαρτήματα.
7. Δεκαοχτώ (18) βάθρα για μετρήσεις κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.1 Γενικά

Αρχικά θα γίνει μια αναφορά στην μελέτη που έγινε το 1979 και στην συνέχεια θα γίνει σύγκριση με μεταγενέστερη μελέτη. Η υδρολογική έρευνα πλημμυρών έτους 1979 που βασίστηκε σε στοιχεία που υπήρχαν σε διάφορους σταθμούς της περιοχής (Μαριτσά, Αρχίπολις, Σιάννα, Απολακκιά, Κατταβιά) ενώ μερικά στοιχεία που είχαν ληφθεί σε σταθμούς της λεκάνης (Απόλλωνας, Εμπωνας, Λάερμα) ήταν τελείως ανεπαρκή αφού κάλυπταν μόνο μια μικρή περίοδο 1976-79. Οι σταθμοί αυτοί είχαν εγκατασταθεί τότε από τους αναδόχους μελετητές οι οποίοι είχαν την ευθύνη για την εγκατάσταση και τη λειτουργία τους για μια μικρή μόνο περίοδο, ενώ στην συνέχεια την ευθύνη της λειτουργίας τους ανέλαβε το Ν.Τ. Δωδεκανήσου (Υ.Ε.Β). Στην υδρολογική έρευνα που έγινε τότε ελήφθησαν κυρίως υπόψη τα υφιστάμενα στοιχεία του Μ.Σ Μαριτσών (Ε.Μ.Υ) της περιόδου 1951-1976.

Ορίζονται τα εξής για τον καθορισμό του μεγέθους των πλημμυρικών παροχών.

Καθορισμός μέγιστης πιθανής πλημμύρας και ειδικότερα:

1. Την συλλογή και επεξεργασία των μέγιστων ετήσιων εντάσεων (υψών) βροχής του δείγματος 1950 – 1997.
2. Τον έλεγχο της παροχής πλημμύρας με βάση τις σχέσεις έντασης – διάρκειας (όμβριες καμπύλες) της μελέτης 1979 και τον προσδιορισμό της τάξης μεγέθους της ΡΜΡ με στατιστικές μεθόδους (π.χ. Hershfield) ώστε να διασφαλίζεται πλήρως η επάρκεια του υπερχειλιστή που προτάθηκε στην μελέτη του 1983 (φρ. Γαδουρά).

Υπήρξαν όμως τότε σημαντικές δυσχέρειες καταγραφής των στοιχείων από τα αρχεία της Ε.Μ.Υ. και κυρίως στη δεκαετία 1951 – 1960.

Στη μελέτη αυτή (1979) έγινε προσπάθεια να εκτιμηθεί η μέγιστη πιθανή βροχόπτωση με δυο μεθόδους.

1. Με στατιστική μέθοδο του D. Hershfield

2. Με υδρογεωλογική μεθοδολογία και με στοιχεία που ελήφθησαν από το σταθμό Μαριτσών (Ε.Μ.Υ.)

Επίσης εκτιμήθηκαν τα υδρογραφήματα και οι μέγιστες παροχές τόσο για τη μέγιστη πιθανή βροχόπτωση όσο και για τις διαφορές περιόδους επαναφοράς. Η σχέση έντασης - διάρκειας που διαμορφώθηκε τότε ήταν της μορφής $i = At^{-0.60}$ όπου $A=8,64 (1+2,83 \log T)$ και με τη σύσταση να εφαρμόζεται για $T \leq 100$ έτη.

Τα τελικά αποτελέσματα σε ότι αφορούσε τις μεγάλες βροχοπτώσεις στη μελέτη 1979 για τα Μαριτσά ήταν εξής :

1. Μέγιστη πιθανή βροχόπτωση στο σταθμό Μαριτσών κατά Hershfield 531 mm/24hr
2. Μέγιστη πιθανή βροχόπτωση με την υδρομετεωρολογική μέθοδο 545 mm/24hr
3. Η κατανομή της 24ωρης βροχής είχε ληφθεί από γενικές οδηγίες του Design of Small Dams (1η έκδοση ,1961) και με βήμα 2 ωρών
4. Το μοναδιαίο υδρογράφημα διαμορφώθηκε συνθετικά με τη μέθοδο Snyder

Το τελικό μέγεθος μέγιστης πιθανής βροχόπτωσης (PMP) ελήφθη για τη λεκάνη Γαδουρά μειωμένο , θεωρώντας ότι το ύψος βροχής στη λεκάνη ΗΛ συνδέεται με το ύψος βροχής στο σταθμό Μαριτσών ΗΜ με τη σχέση:

$$H_A = 0,72 H_M \quad (1)$$

Αφού έγιναν ορισμένες στρογγυλεύσεις προς τα άνω ελήφθη:

$$H(\text{PMP}) = 410 \text{ mm}$$

Για τις μέγιστες βροχές των λοιπών περιόδων επαναφοράς

$$H = A t^{0.40} \quad (2)$$

Δηλαδή $H_{100} = 205 \text{ mm}$

$$H_{20} = 144 \text{ mm}$$

$$H_{10} = 118 \text{ mm}$$

Παρατηρείται ότι η μείωση της PMP από 545 σε 410 mm έγινε γιατί με κάποια (όχι επαρκή πάντως) στοιχεία πρόκυπτε γραμμική σχεδόν μείωση της PMP από Βορρά (Μαριτσά) προς Νότο (Κατταβιά),σε συνάρτηση με την απόσταση από Ρόδο. Τα μεγέθη των πλημμυρών των διαφόρων περιόδων επαναφοράς υπολογίστηκαν τότε με βάση το μοναδιαίο υδρογράφημα και με παραμέτρους και μεθοδολογίες που εφαρμόζονταν στην χρονική εκείνη περίοδο εκπόνησης της μελέτης.. Οι πλημμυρικές τότε (1979) παροχές εισροής στον ταμιευτήρα που υπολογίστηκαν και ελήφθησαν υπόψη για τον σχεδιασμό των έργων υπερχείλισης και σήραγγας εκτροπής ήταν:

Μέγιστη πιθανή $683 \text{ m}^3/\text{sec}$ ($633 + \text{παροχή βάσης}=683$)

T=100 έτη $262 \text{ m}^3/\text{sec}$ (χωρίς παροχή βάσης)

T=20 έτη $162 \text{ m}^3/\text{sec}$ (χωρίς παροχής βάσης)

T=10 έτη $125 \text{ m}^3/\text{sec}$ (χωρίς παροχή βάσης)

το πρόφραγμα και η σήραγγα εκτροπής υπολογίστηκαν για T=100 και Q=262 m^3/sec

Μετά από παρέλευση περίπου 20 ετών από τη σύνταξη της υδρολογικής έρευνας (1979),τη βελτίωση των συνθηκών καταγραφής αρχειοθέτησης και επεξεργασίας των στοιχείων, υπήρξε απόλυτη ανάγκη για την εκ νέου σύνταξη μιας υδρολογικής έρευνας η οποία θα βασίζεται και σε σύγχρονες μεθοδολογίες έρευνας του σημαντικού αυτού θέματος. Δυστυχώς όμως παρά τις προσπάθειες που έχουν γίνει και σε τοπικό επίπεδο για τη λήψη κατάλληλων και ικανής διάρκειας στοιχείων δεν κατέστη δυνατό να χρησιμοποιηθούν βásiμα τα στοιχεία των σταθμών της λεκάνης Γαδουρά και κυρίως του σταθμού Λάερμα. Είναι φανερό και απαρχής αναμενόταν ότι τα αποτελέσματα από πλευράς μεγέθους παροχών πλημμυρών θα ήταν δυσμενέστερα των αρχικών (1979) και κυρίως λόγω εφαρμογής δυσμενέστερων παραμέτρων , νέων μεθόδων έρευνας και της μη εφαρμογής μειώσεων στις βροχοπτώσεις από Βορρά προς Νότο.

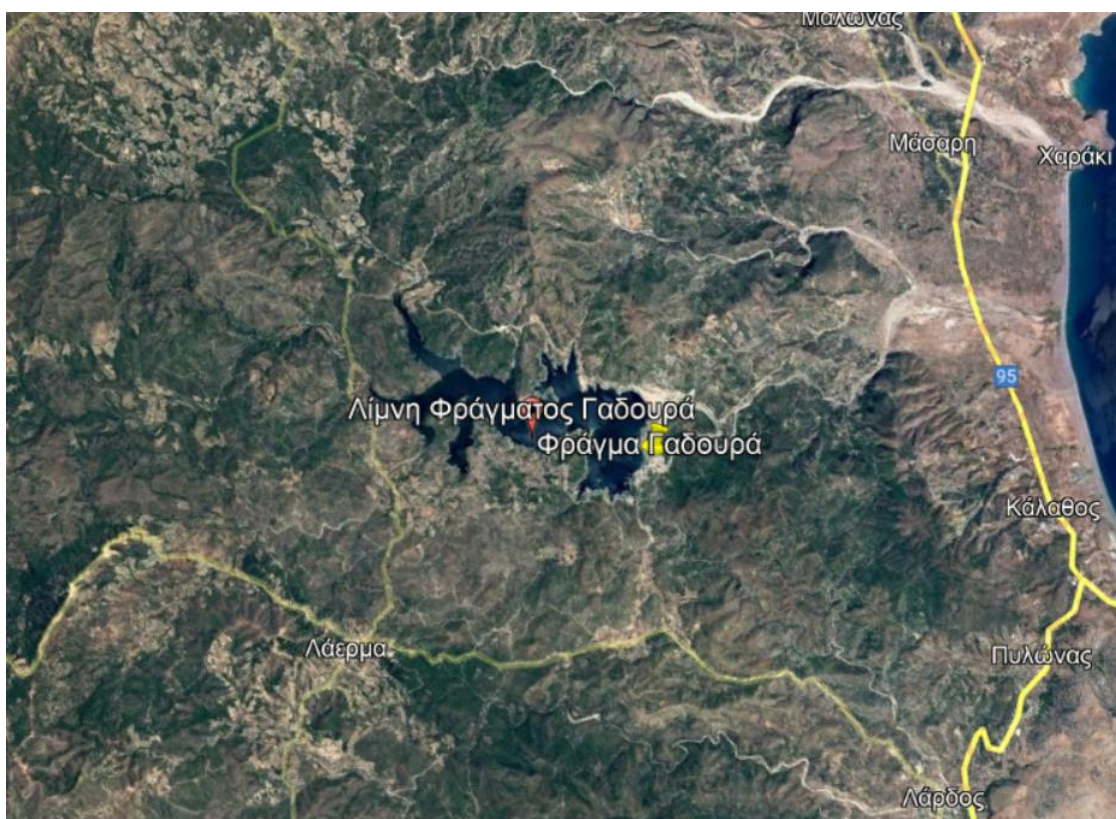
5.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μελέτη στηρίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα βροχοπτώσεων και μετεωρολογικών μεταβλητών της ευρύτερης περιοχής, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις

παροχής στο χείμαρρο Γαδουρά. Στη συνέχεια γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων βροχοπτώσεων με στόχο την εκτίμηση των χαρακτηριστικών των βροχοπτώσεων σχεδιασμού. Μετέπειτα καταρτίζεται συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης και με βάση αυτό και τις καταιγίδες σχεδιασμού εκτιμώνται οι πλημμύρες σχεδιασμού στη θέση του φράγματος για διάφορες περιόδους επαναφοράς. Καταλήγουμε στη διόδευση των πλημμυρών από τον υπερχειλιστή αν και δεν έχουν καθοριστεί ακριβώς, σε αυτό το στάδιο της μελέτης, οι διαστάσεις και η υδραυλική λειτουργία του υπερχειλιστή, θεωρήθηκε χρήσιμο να δοθεί στην παρούσα μελέτη μια προσεγγιστική εικόνα της ανάλυσης που προκαλείται κατά τη διόδευση της πλημμύρας μέσω του υπερχειλιστή.

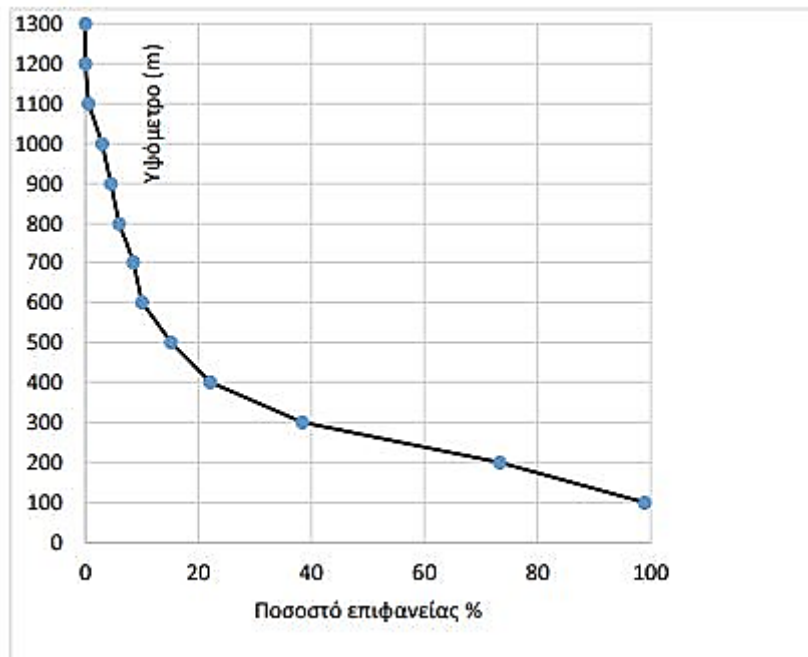
5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η λεκάνη απορροής του Γαδουρά ανάντη της θέσης φράγματος και η ένταξη της στο νησί της Ρόδου. Η έκταση της λεκάνης μέχρι τη θέση φράγματος είναι 147.7 km² (εμβαδομετρητής της Προμελέτης Λαζαρίδης κ.α, 1979α).

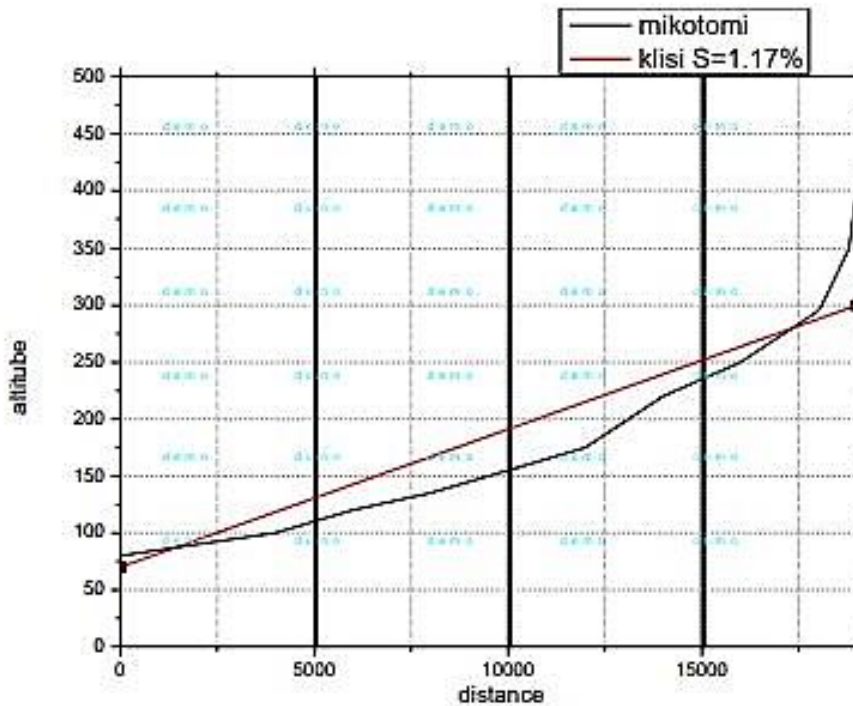


Σχήμα 5.1 Συνοπτικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (ΕΕΝ ΓΑΔΟΥΡΑ)

Το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης είναι 1300 m. και το ελάχιστο υψόμετρο , στη θέση του φράγματος , στη θέση του φράγματος είναι 75 m. Η υψογραφική καμπύλη της λεκάνης δίνεται στο Σχήμα 3.1 όπου φαίνεται ότι το μεγαλύτερο τμήμα της (62.5%) αναπτύσσεται σε ημιορεινά εδάφη (υψόμετρα 200-600 m), ενώ μικρότερα τμήματα της αναπτύσσονται σε λοφώδη ή πεδινά εδάφη (ποσοστό 26.7% - υψόμετρα μικρότερα των 200m) και ορεινά εδάφη (ποσοστό 10.8% - υψόμετρα μεγαλύτερα των 600 m). Το μήκος του κύριου κλάδου του χειμάρρου δίνεται στο Σχήμα 5.2 απ' όπου φαίνεται ότι ο χειμάρρος χαρακτηρίζεται από σχετικά ήπιες κλίσεις. Άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία της λεκάνης και διάφορων υπολεκάνων της δίνονται στον Πιν.10. Από πλευράς χαρακτηριστικών εδάφους η λεκάνη καλύπτεται σε μεγάλο μέρος από επιφανειακές αργίλους με μικρό συντελεστή διαπερατότητας και κατά την κατάταξη του Αμερικανικού Soil Conservation Service (1972) μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει στην κατηγορία C. Από πλευράς επικάλυψης η λεκάνη χαρακτηρίζεται από θάμνους και χαμόκλαδα που απαντούν σε μεγάλο ποσοστό της επιφάνειάς της.



Σχήμα 5.2 Υψομετρική καμπύλη της λεκάνης απορροής ανάντη της θέσης φράγματος Γαδουρά (ΕΕΝ ΓΑΔΟΥΡΑ)



Σχήμα 5.3 Μηκοτομή του κύριου κλάδου του Γαδουρά ανάντη της θέσης φράγματος (ΕΕΝ ΓΑΔΟΥΡΑ)

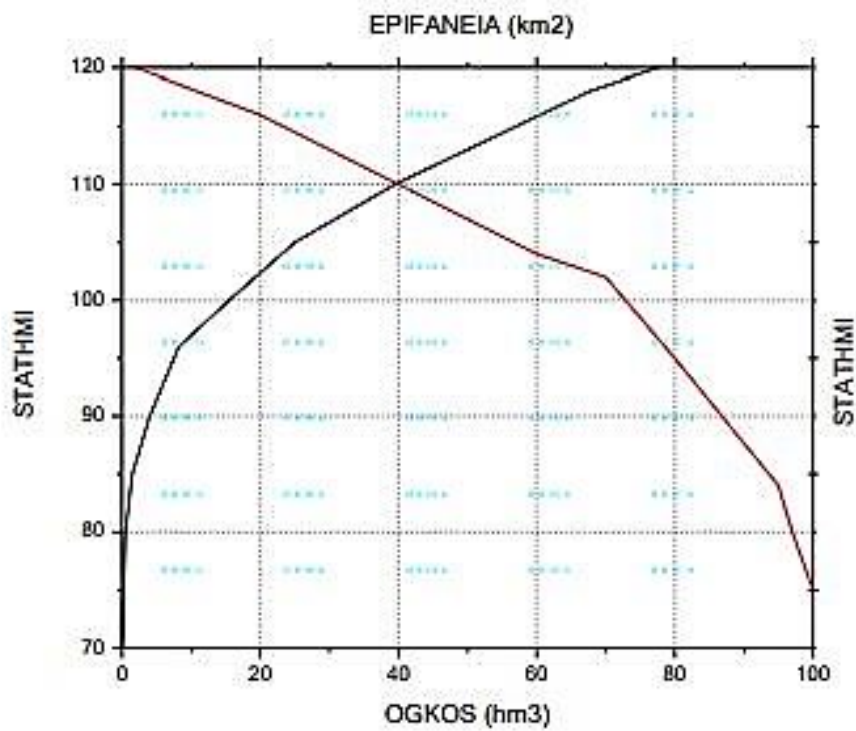
5.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ

Στο Σχήμα 5.3 δίνονται οι καμπύλες στάθμης – όγκου (ολικού αποθέματος) και στάθμης – επιφανείας του ταμιευτήρα Γαδουρά. Η κατώτερη στάθμη λειτουργίας τοποθετείται στα +90m, όπου αντιστοιχεί νεκρός όγκος ταμιευτήρα 4.0 hm³, ή εναλλακτικά στα +95 m, όπου αντιστοιχεί νεκρός όγκος ταμιευτήρα 8.2 hm³. Η ανώτερη (κανονική) στάθμη λειτουργίας που ταυτίζεται με τη στάθμη της στέψης του υπερχειλιστή, τοποθετείται στα +116.5 m και αντιστοιχεί σε συνολική χωρητικότητα 63.2 hm³ (στα οποία συμπεριλαμβάνεται

και ο νεκρός όγκος) και σε επιφάνεια ταμιευτήρα 4.14 km² .Ο υπερχειλιστής θεωρείται για τις ανάγκες εργασίας αυτής ότι έχει στέψη τύπου Ogee με μήκος 65 m.



Εικόνα 5.1 Υπερχειλιστής τύπου Ogee (ΕΕΝ ΓΑΔΟΥΡΑ)



Σχήμα 5.4 Καμπύλες στάθμης – όγκου και στάθμη επιφάνειας του ταμιευτήρα Γαδουρά (ΕΕΝ ΓΑΔΟΥΡΑ)

5.5 ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Όπως προαναφέρθηκε, δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις παροχής του χειμάρρου και έτσι η μελέτη βασίζεται αποκλειστικά σε βροχομετρικά δεδομένα. Οι βροχομετρικοί και μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιούνται στη μελέτη φαίνονται στον Πίνακα 5.1. Οι περίοδοι για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα εν γένει είναι μικρότερες από αυτές που εμφανίζονται στον Πίνακα 5.1. Στις θέσεις Απολακκιά και Σιάννα φαίνεται ότι είχαν προϋπάρξει βροχομετρικοί σταθμοί πριν την έναρξη λειτουργίας που δηλώνεται στον Πίν. 1, όπως προκύπτει από παλιότερα δεδομένα που δίνονται στην Προμελέτη (Λαζαρίδης κ.α. 1979β). Ειδικότερα, στη θέση Σιάννα λειτούργησε σταθμός από ιδιώτη που η λειτουργία ξεκινά το 1946. Πάντως, στην παρούσα μελέτη δεν χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αυτών των προγενέστερων περιόδων, για τις οποίες δεν είναι γνωστές οι συνθήκες λειτουργίας.

Πίνακας 5.1 Βροχομετρικοί σταθμοί Ρόδου που χρησιμοποιούνται στη μελέτη

Θέση	Γεωγρ. Πλάτος	Γεωγρ. Μήκος	Υψόμετρο	Περίοδος λειτουργίας	Υπεύθυνος φορέας
Μαριτσά	36° 24''00''	28° 07'' 00''	12	1947-1977	ΕΜΥ
Παραδείσι	36° 24''20''	28° 05''50''	12	1977-σήμερα	ΕΜΥ
Απόλλωνα	36°15''24.5''	27° 57''52''	314	1977-80	ΥΠΓΕ
Έμπωνας	36°13''34''	27° 51'' 24.5''	447	1977-80	ΥΠΓΕ
Λάερμα	36° 09''16.5''	27° 56''03.5''	318.5	1977-80	ΥΠΓΕ
				1985-σήμερα	
Σιάννα	36° 09''17.5''	27° 46''48.5''	451	1985-σήμερα	ΥΠΓΕ
Απολακκιά	36° 03''59''	27° 47''16''	64	1977-σήμερα	ΥΠΓΕ
Κατταβιά	35° 58'' 17.5''	27° 48'' 11''	78	1967-σήμερα	ΥΠΓΕ

Ο σταθμός της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) στα Μαριτσά μεταφέρθηκε το 1977 στην κοντινή θέση Παραδείση (αεροδρόμιο Ρόδου) στο ίδιο υψόμετρο. Έτσι για τις ανάγκες αυτής της μελέτης οι δύο θέσεις θεωρούνται ότι αναφέρονται σε ενιαίο σταθμό (Ρόδος) τα δεδομένα του οποίου προκύπτουν από τη συνένωση των δεδομένων των δύο περιόδων που αντιστοιχούν στη λειτουργία του σταθμού στις θέσεις Μαριτσά (1951-77) και Παραδείση (1977-σήμερα). Τα βροχομετρικά και λοιπά μετεωρολογικά δεδομένα των σταθμών του Υπουργείου Γεωργίας (ΥΠΓΕ) που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη αυτή και παρουσιάζονται στη συνέχεια έχουν ληφθεί από συστηματική έκδοση του Φαντίδη (1977). Τα βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού έχουν ληφθεί από τα Μηνιαία Κλιματολογικά Δελτία της ΕΜΥ. Παρόλο που οι περισσότεροι από τους σταθμούς του Πιν.1 είναι εξοπλισμένοι με βροχογράφο, δεν έγινε δυνατό να ανευρεθούν και να αναλυθούν βροχογραφήματα ιστορικών βροχοπτώσεων, γεγονός που αποδίδεται στην πλημμελή λειτουργία των βροχογράφων. Μόνο ορισμένα βροχογραφήματα ισχυρών βροχοπτώσεων του σταθμού Λάερμα εντοπίστηκαν, τα οποία και μας χορηγήθηκαν από το ΥΠΓΕ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

6. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Λόγω της μεγάλης κλίμακας και σημασίας των έργων που μελετώνται, οι αναλύσεις που επιχειρούνται γίνονται με δύο προσεγγίσεις με την προσέγγιση της πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης (ΠΜΚ) και με πιθανοτική προσέγγιση. Για την εκτίμηση της ΠΜΚ ακολουθούνται δύο εναλλακτικές μεθοδολογίες: α) στατιστική και β) υδρομετεωρολογική.

Στην πιθανοτική προσέγγιση υιοθετείται η γενική κατανομή ακραίων τιμών (ΓΑΤ) και επιχειρείται η σύνδεση των δυο διαφορετικών προσεγγίσεων.

6.1 ΠΙΘΑΝΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ – ΜΕΘΟΔΟΣ HERSHFIELD

Μεταξύ των διαφόρων μεθόδων εκτίμησης της ΠΜΚ, η πλέον δεδομένη στην Ελλάδα είναι η μέθοδος Hershfield (1961, 1965 και World Meteorological Organization, 1986). Η μέθοδος αυτή είναι απλούστερη στην εφαρμογή, τόσο λόγω των απλών υπολογισμών που περιλαμβάνει, όσο και λόγω των λίγων δεδομένων εισόδου που απαιτεί συγκεκριμένα για να εφαρμοστεί η μέθοδος μόνο ένα ιστορικό δείγμα ετήσιων μέγιστων υψών βροχής. Σύμφωνα με τη μέθοδο Hershfield το ύψος βροχής της πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης H_m προκύπτει από την εξίσωση.

$$h_m = \bar{h} + k_m S_h \quad (3)$$

όπου \bar{h} και S_h είναι η δειγματική μέση τιμή και η δειγματική τυπική απόκλιση αντίστοιχα του ετήσιου μέγιστου ύψους βροχής για διάρκεια d , και k_m είναι ένας συντελεστής συχνότητας που δίνεται από εμπειρικό νομογράφημα του Hershfield ως συνάρτηση των d και \bar{h} . Αυτό το νομογράφημα μπορεί να προσεγγιστεί από την απλή αναλυτική σχέση (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997)

$$k_m = 20 - 8,6 \ln \left(\frac{\bar{h}}{130} + 1 \right) \left(\frac{24}{d} \right)^{0,4} \quad (d \text{ σε } h, \bar{h} \text{ σε } mm) \quad (4)$$

Πλην του νομογραφήματος που δίνει το συντελεστή k_m η μέθοδος περιλαμβάνει και άλλα νομογραφήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση της δειγματικής μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης.

Τα δεδομένα που επιτρέπουν την εφαρμογή της μεθόδου στο νησί της Ρόδου φαίνονται στον Πίνακα 6.1 (δείγματα ετήσιων μέγιστων υψών βροχής των σταθμών του νησιού). Για το σταθμό της Ρόδου διατίθεται ένα ικανοποιητικού μεγέθους δείγμα (45 χρόνια), ενώ το αμέσως μικρότερο σε μέγεθος δείγμα είναι αυτό του σταθμού Κατταβιάς (25 χρόνια). Τα υπόλοιπα δείγματα έχουν πολύ μικρά μεγέθη (11 – 18 χρόνια). Γενικά παρατηρούμε ότι έχουν καταγραφεί αρκετά μεγάλα ρεκόρ ημερήσιου ύψους βροχής που πλησιάζουν τα 200mm (και δισε ένα σταθμό τα ξεπερνούν).

Πίνακας 6.2 Δείγματα ετήσιων μεγίστων ημερήσιων υψών βροχής (σε mm) των σταθμών της Ρόδου

<u>Υδρολ.έτος</u>	<u>Ρόδος</u>	<u>Καταβιά</u>	<u>Απόλλωνα</u>	<u>Λάερμα</u>	<u>Απολακκιά</u>	<u>Σιάννα</u>	<u>Έμπυνας</u>
1951-52	123.0						
1952-53	73.0						
1953-54	126.2						
1954-55	126.2						
1955-56	62.0						
1956-57	66.2						
1957-58	89.2						
1958-59	124.6						
1959-60	61.0						
1960-61	126.7						
1961-62	70.2						
1962-63	53.1						
1963-64	50.3						
1964-65	65.4						
1965-66	53.4						
1966-67	67.1						
1967-68	72.6						
1968-69	146.4						

1969-70	49.5						
1970-71	59.6	31.0					
1971-72	37.8	75.0					
1972-73	124.4	194.0					
1973-74	39.1	37.5					
1974-75	60.4	151.0					
1975-76	48.0	75.0					
1976-77	51.7	57.0					
1977-78	90.8	42.0	125	23	27		154
1978-79	117.5	95.0	103		84		90
1979-80	92.4	49.0	55		47		
1980-81	47.3	41.0			34		
1981-82	76.9	118.5			97		
1982-83	54.1	23.0			36		
1983-84	124.1	50.0			45		
1984-85	65.3	79.0	46	71	98	60	93
1985-86	85.6	79.0	25	33	54	41	90
1986-87	50.1	45.0	16	46	46	32	60
1987-88	75.2	75.0	39	107	70	42	100
1988-89	178.8	71.0	54	125	111	68	92
1989-90	158.0	36.0	186	232	82	55	80
1990-91	62.7	61.0	96	106	90	85	179
1991-92	55.5	39.5	48	73	72	41	65
1992-93	35.0	43.5	30	28	29	26	47
1993-94	174.7	78.5	120	126	82	43	158
1994-95	104.4	73.0	71	200	69	60	180
1995-96	92.4		105	107			135
1996-97				90			

Μέγεθος δείγματος	45	25	15	14	18	11	14
Μέση τιμή	83.7	68.8	74.6	97.6	65.2	50.3	108.8
Μέγιστη τιμή	178.8	194.0	186.0	232.0	111.0	85.0	180
Τυπική απόκλιση	37.1	38.0	45.2	59.1	25.4	16.4	42.6

Πίνακας 6.3 Εφαρμογή της μεθόδου Hershfield (1961, 1965) για την εκτίμηση της ΠΜΚ θέσεις των βροχομετρικών σταθμών της Ρόδου (Υψος βροχής σε mm)

Σταθμός	Ρόδος	Κατταβιά	Απόλλωνα	Λάερμα	Απολακκιά	Σιάννι	Έμπενιας
Υψόμετρο	12	78	314	318,5	64	451	447
Μέγεθος δείγματος n	45	25	15	14	18	11	14
<u>Στατιστικά χαρακτηριστικά δείγματος με βάση το σύνολο των δεδομένων</u>							
Μέση τιμή, $\mu(n)$	83,7	68,8	74,6	97,6	65,2	50,3	108,8
Τυπική απόκλιση, S_n	37,1	38,0	45,2	59,1	25,4	16,4	42,6

<u>Στατιστικά χαρακτηριστικά δείγματος χωρίς τη μεγαλύτερη τιμή</u>							
Μέση τιμή \bar{x} (n-m)	81,6	63,6	66,6	87,3	62,5	46,8	103,3
Τυπική απόκλιση S n-m	34,6	28,7	35,3	47,7	23,5	12,7	39,2
<u>Λόγοι στατιστικών χαρακτηριστικών</u>							
$\bar{x}(n-m) / \bar{x} (n)$	0,974	0,924	0,893	0,894	0,959	0,931	0,950
$S n-m / S n$	0,933	0,755	0,779	0,806	0,925	0,778	0,919
<u>Συντελεστές αναγωγής για τη μεγαλύτερη παρατηρημένη βροχόπτωση</u>							
Για τη μέση τιμή	0,99	0,96	0,94	0,94	1,01	1	1
Για την τυπική απόκλιση	1,03	0,87	0,92	0,95	1,04	0,94	1,08
<u>Συντελεστές αναγωγής για το μέγεθος δείγματος</u>							
Για τη μέση τιμή	1	1,01	1,03	1,03	1,02	1,04	1,03
Για την τυπική απόκλιση	1,01	1,06	1,12	1,13	1,1	1,25	1,13
<u>Ανοιγμένα στατιστικά χαρακτηριστικά</u>							
Μέση τιμή, \bar{x}	82,9	66,7	72,2	94,5	67,1	52,3	112,0
Τυπική απόκλιση, S	38,6	35,0	46,6	63,5	29,1	19,2	52,0
<u>Τελική εκτίμηση της ΠΜΚ</u>							
Παράμετρος Km	15,76	16,44	16,20	15,30	16,42	17,09	14,65
ΠΜΚ	691,1	642,9	827,4	827,4	1065,9	544,6	873,8

Οι υπολογισμοί της μεθόδου Hershfield δίνονται στον Πίνακα 6.3. Οι τιμές της ΠΜΚ που προκύπτουν για τους σταθμούς Ρόδου και Κατταβιάς (691 και 643 mm, αντίστοιχα) είναι παρόμοιες, παρόλο που οι δυο σταθμοί βρίσκονται σε αντιδιαμετρικά αντίθετες θέσεις του νησιού. Οι τιμές αυτές κρίνονται ως τις ασυνήθιστα (για τα ελληνικά δεδομένα) υψηλές τιμές της τυπικής απόκλισης (Πίνακα 6.2, Πίνακα 6.3). Για τους υπόλοιπους σταθμούς (Απόλλωνα, Λάερμα, Απολακκιά, Σιάννα, Έμπωνας) προκύπτουν τιμές της ΠΜΚ που εμφανίζουν μεγάλη διακύμανση, από 381 μέχρι 1066 mm. Όμως, το μικρό μέγεθος των δειγμάτων, σε συνδυασμό με τις μεγάλες τυπικές αποκλίσεις που παρατηρούνται στην περιοχή (οι οποίες συνεπάγονται και μεγάλη αβεβαιότητα στην εκτίμηση της ΠΜΚ) που υπολογίστηκαν, προήλθαν από επεξεργασία ημερήσιων μετρήσεων βροχόμετρου. Οι τιμές αυτές θα πρέπει να αναχθούν σε μέγιστες τιμές 24ώρου από τη βιβλιογραφία (π.χ. World Meteorological Organization, 1986) είναι γνωστό ότι ο συντελεστής αναγωγής έχει τιμή 1,13. Εξάλλου, οι τιμές αυτές αναφέρονται σε σημειακή βροχόπτωση και θα πρέπει να αναχθούν σε επιφανειακή βροχόπτωση και θα

πρέπει να αναχθούν σε επιφανειακή βροχόπτωση. Για την αναγωγή χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση :

$$\varphi = 1 - \frac{0,048 A^{0,36-0,01 \ln A}}{d^{0,35}} \geq 0.25 \quad (5)$$

Όπου φ ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής (α διαστατός αριθμός), η A έκταση σε km^2 και d η διάρκεια βροχής σε h . Η σχέση αυτή βασίστηκε σε πινακοποιημένα αποτελέσματα του National Environmental Research Council (1975), και αναφέρεται σε εύρος μεταβολής της διάρκειας 1 min έως 25 ημέρες και της έκτασης από 1 έως 30.000 km^2 . Στην προκειμένη περίπτωση, για $A=147,7 \text{ km}^2$ και $d=24h$ προκύπτει $\varphi=0,93$. Το γινόμενο των δυο συντελεστών αναγωγής είναι ίσο με 1,05.

6.2 ΠΙΘΑΝΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ – ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

6.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Ως δεύτερη προσέγγιση στην εκτίμηση της ΠΜΚ χρησιμοποιήθηκε η υδρομετεωρολογική μεθοδολογία που βασίζεται στην αναγωγή καταγραμμένων βροχοπτώσεων με μεγιστοποίηση της διαθέσιμης ατμοσφαιρικής υγρασίας. Η μέθοδος χρησιμοποιεί μια σειρά ιστορικών ισχυρών βροχοπτώσεων, τις οποίες ανάγει σε συνθήκες μεγιστοποιημένης ατμοσφαιρικής υγρασίας με βάση τη σχέση:

$$h_m = h \frac{W_m}{W} \quad (6)$$

Όπου h το καταγραμμένο ύψος βροχής, h_m το μεγιστοποιημένο ύψος βροχής, W το ύψος κατακρημνίσμου νερού στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης και W_m το μεγιστοποιημένο ύψος κατακρημνίσμου νερού στην ατμόσφαιρα. Το ύψος του κατακρημνίσμου νερού ορίζεται ως η συνολική ποσότητα υδρατμών που περιέχεται σε

κατακόρυφη στήλη αέρα ύψους που εκτείνεται από τη στάθμη εδάφους Z_0 μέχρι το υψόμετρο της τροπόπαυσης Z_1 , εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος νερού και δίνεται από την εξίσωση:

$$W = \frac{1}{p_w} \int_{z_0}^{z_1} p_v dz \int_{p_1}^{p_0} q dp \quad (7)$$

όπου με το z και p συμβολίζονται το υψόμετρο και η ατμοσφαιρική πίεση, αντίστοιχα p_0 και p_1 είναι η ατμοσφαιρική πίεση στις στάθμες z_0 (επιφάνεια εδάφους) και z_1 αντίστοιχα , p_n και p_w είναι η πυκνότητα των υδρατμών και του νερού σε υγρή μορφή, αντίστοιχα και g η επιτάχυνση βαρύτητας . Για την εκτίμηση του χρειάζονται δεδομένα θερμοκρασίας, πίεσης και σχετικής υγρασίας καθ' ύψος της ατμόσφαιρας , τα οποία αποκτώνται με ραδιοβολίσεις. Βεβαίως , το δίκτυο των θέσεων ραδιοβολίσεων είναι εξαιρετικά αραιό (π.χ. στην Ελλάδα γίνονται ραδιοβολίσεις μόνο σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη) και έτσι η εκτίμηση του κατακρημνίσμου νερού βασίζεται μόνο σε μετεωρολογικές παρατηρήσεις εδάφους. Έτσι , γίνεται η παραδοχή της κορεσμένης ψευδο-αδιαβατικής ατμόσφαιρας , οπότε είναι δυνατό να εκτιμηθεί θεωρητικά το ύψος του κατακρημνίσμου νερού συναρτήσει του υψομέτρου αναφοράς και του σημείου δρόσου στην περιοχή που ενδιαφέρει . Για τη διευκόλυνση της εκτίμησης ο World Meteorological Organization (1986) έχει συντάξει πίνακες τιμών , με βάση τις τιμές των οποίων προσαρμόστηκε η σχέση (Κουτσογιάννης , 1998).

$$W = \exp(2,29 + 0.086Td - 0.0005z_0 + 0.0000075Tdzo) - 1.82 \quad (8)$$

Όπου T_d το σημείο δρόσου στην επιφάνεια σε $^{\circ}C$ και Z_0 το υψόμετρο του εδάφους σε m (το W υπολογίζεται σε mm). Το σημείο δρόσου T_d υπολογίζεται από τις μετρήσεις θερμοκρασίας T και σχετικής υγρασίας U με βάση τις σχέσεις

$$e' = 6.11 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 273.3}\right) \quad (9)$$

Όπου e η πίεση κορεσμού υδρατμών σε hPa και T η θερμοκρασία σε $^{\circ}C$.

$$e = \exp\frac{17.27Td}{Td + 237.3} \quad (10)$$

Όπου e η πίεση κορεσμού υδρατμών σε hPa και T_d το σημείο δρόσου σε $^{\circ}\text{C}$, και

$$U = 100 \frac{e}{e_s} \quad (11)$$

Όπου U σχετική υγρασία σε %. Η επίλυση ως προς T_d δίνει

$$T_d = \frac{237.3t}{17.27t} \quad (12)$$

Όπου $t = (17,27 T/t + 237.3) + \ln (U/100) \quad (13)$

Το μεγιστοποιημένο ύψος κατακρημνίσμου νερού στην ατμόσφαιρα W_m εκτιμάται από την (8) (ή από πίνακες ή, ακόμη, από άλλη παρόμοια σχέση που τυχόν έχει προκύψει από τοπικά δεδομένα), με βάση το μέγιστο σημείο δρόσου που έχει παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια πολλών ετών στην περιοχή την υπόψη περίοδο (μήνα ή δεκαπενθήμερο) του έτους (δεδομένου ότι υπάρχει έντονη εποχιακή διακύμανση του σημείου δρόσου). Το μέγιστο σημείο δρόσου θα πρέπει να εκτιμηθεί από ιστορικό δείγμα 50 ή περισσότερων ετών αν το διαθέσιμο δείγμα είναι μικρότερου μεγέθους τότε συστήνεται η επέκταση με στατιστικές μεθόδους για περίοδο επαναφοράς της τάξης των 100 ετών. Εξάλλου, η τιμή που χρησιμοποιείται δεν είναι το στιγμιαίο μέγιστο αλλά η μέγιστη τιμή που το σημείο δρόσου υπερβαίνει επί ένα διάστημα 12 h. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις ισχυρές καταιγίδες το ύψος βροχής που πραγματοποιείται είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το ύψος του κατακρημνίσμου νερού. Αυτό συμβαίνει επειδή η κύρια πηγή που συντηρεί μια ισχυρή βροχόπτωση δεν είναι η διαθέσιμη υγρασία σε μια δεδομένη κατακόρυφη στήλη της ατμόσφαιρας (η οποία ουσιαστικά ισοδυναμεί με το ύψος του κατακρημνίσμου νερού και άλλωστε δεν είναι φυσικώς δυνατό να υγροποιηθεί εξ ολοκλήρου και να πέσει ως κατακρήμνιση) αλλά η συνεχής τροφοδοσία της περιοχής με νέους υδρατμούς που μεταφέρονται από το πεδίο των ανέμων.

Έτσι, ο λόγος

$$E = \frac{h}{W} \quad (14)$$

που ονομάζεται αποτελεσματικότητα της καταιγίδας (storm efficiency) είναι κατά κανόνα μεγαλύτερος της μονάδας στις ισχυρές βροχοπτώσεις.

6.2.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Στη ευρύτερη περιοχή της Ρόδου, ο μόνος σταθμός που διαθέτει δεδομένα σχετικώς ικανοποιητικά για την εφαρμογή της μεθόδου είναι αυτός της ΕΜΥ (Μαριτσά – Παραδείσι). Τα δεδομένα που έγινε δυνατό να αποκτηθούν από το σταθμό αυτό είναι τα εξής:

1. Για την πρώτη φάση της μεθόδου που αποσκοπεί στην εκτίμηση των μέγιστων σημείων δρόσου:
 - Δεδομένα μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για το διάστημα 1968 – 1988 (21 χρόνια).
 - Δεδομένα μετρήσεων σχετικής υγρασίας στις 08:00, 14:00 και 20:00 κάθε μέρας για το ίδιο διάστημα 1968 – 1988.

2. Για τη δεύτερη φάση της μεθόδου που αποσκοπεί στην εκτίμηση της ΠΜΚ:
 - Δεδομένα ύψους και διάρκειας βροχής για επιλεγμένες ισχυρές βροχοπτώσεις για το διάστημα 1952 – 1996 (45 χρόνια).
 - Μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες για τις ημέρες των επιλεγμένων ισχυρών βροχοπτώσεων.
 - Μέσες ημερήσιες σχετικές υγρασίες για τις ημέρες των επιλεγμένων ισχυρών βροχοπτώσεων.

Ειδικότερα τα δεδομένα για την πρώτη φάση έχουν ληφθεί από τα Μηνιαία Κλιματολογικά δελτία της ΕΜΥ. Τα δεδομένα για τη δεύτερη φάση έχουν ληφθεί από την

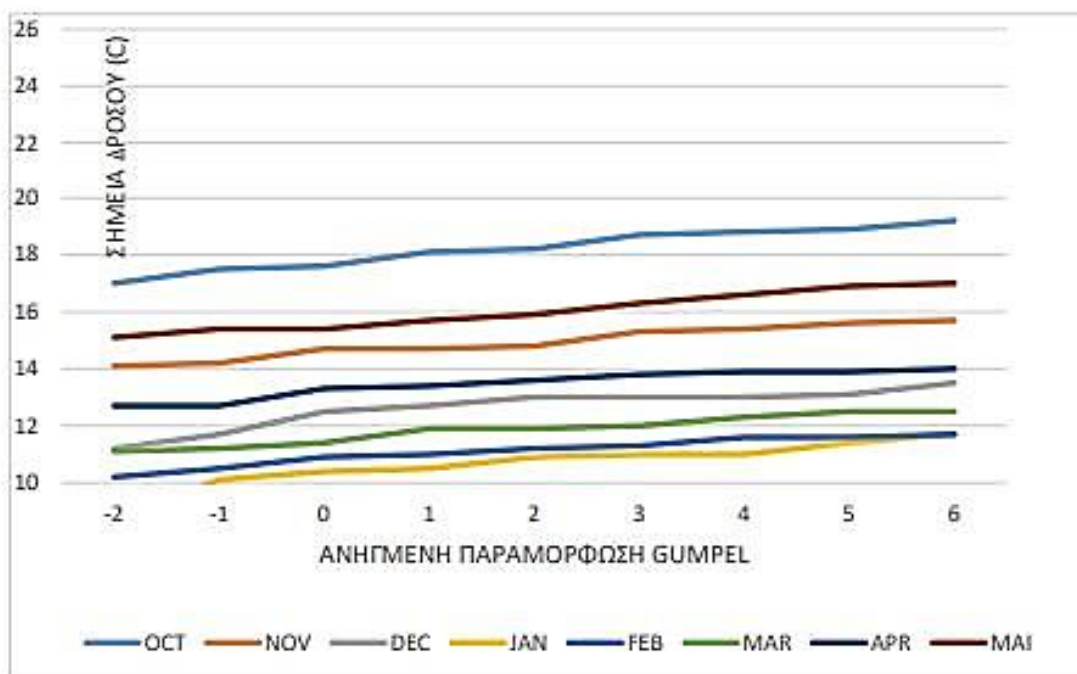
Προμελέτη (Λαζαρίδης κ.α. 1979β) για την περίοδο 1952 – 1976 ενώ τα υπόλοιπα (1977 – 1996) μας χορηγήθηκαν από την ΕΜΥ μετά από επεξεργασία που έκανε η ίδια.

6.2.3 ΜΕΓΙΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΔΡΟΣΟΥ

Από τα δεδομένα που αναφέρονται παραπάνω για την πρώτη φάση της μεθόδου εκτιμήθηκε για κάθε μέρα η μέση ημερήσια θερμοκρασία ως μέσος όρος της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας και η μέση ημερήσια σχετική υγρασία ως ο σταθμισμένος μέσος των μετρήσεων στις 08:00 , 14:00 και 20:00 κάθε μέρας, χρησιμοποιώντας συντελεστές βάρους ανάλογους με τους χρόνους επιρροής (δηλαδή 3,6 και 9 h, αντιστοίχως). Ακολουθώντας με βάση τις σχέσεις του εδάφους 4.2.1, εκτιμήθηκε για κάθε μέρα μια «μέση» τιμή του ημερήσιου σημείου δρόσου και για κάθε μήνα λήφθηκε η μέγιστη από τις τιμές του ημερήσιου σημείου δρόσου, η οποία και καταχωρείται στον Πίνακα 6.4. Ας σημειωθεί ότι ο παραπάνω τρόπος υπολογισμού της «μέσης» ημερήσιας τιμής δίνει μόνο κατά χονδροειδή προσέγγιση το μέσο ημερήσιο σημείο δρόσου. Για ακριβέστερο υπολογισμό θα έπρεπε να είναι γνωστά τα σημεία δρόσου σε διάφορες χρονικές στιγμές της ημέρας και από αυτά θα έπρεπε να γίνει η εξαγωγή του ημερήσιου (σταθμισμένου) μέσου όρου. Ακόμη παρατηρούμε ότι η μεθοδολογία αυτή δεν συμβαδίζει ακριβώς με την υπόδειξη του [World Meteorological Organization (1986, σ.11)] για μέγιστα 12ωρα σημεία δρόσου. Όμως τα διαθέσιμα δεδομένα δεν επιτρέπουν ακριβέστερη ανάλυση δεδομένου ότι δεν είναι διαθέσιμες ταυτόχρονες μετρήσεις της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας (εξάλλου δεν είναι γνωστοί οι χρόνοι στους οποίους αντιστοιχούν η ελάχιστη και η μέγιστη θερμοκρασία). Στον Πίνακα 6.4 δίνονται τα δείγματα μεγίστων ημερήσιων σημείων δρόσου, μαζί με τα στατιστικά χαρακτηριστικά τους για τους μήνες Οκτώβριο-Μάιο οι υπόλοιποι μήνες δεν ενδιαφέρουν γιατί στη διάρκεια τους δεν έχουν σημειωθεί αξιόλογες βροχοπτώσεις. Παρατηρούμε ότι, ενώ η μέση τιμή μεταβάλλεται σημαντικά από μήνα σε μήνα, η τυπική απόκλιση παρουσιάζει σχετική σταθερότητα και γι' αυτό υιοθετήθηκε σταθερή τιμή της όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.4. Εξάλλου στον ίδιο πίνακα δίνονται οι παράμετροι των κατανομών μεγίστων Gumbel που προσαρμόστηκαν στα δείγματα μεγίστων σημείων δρόσου, καθώς και οι προβλέψεις αυτής της κατανομής για περιόδους επαναφοράς 2,50, 100 και 250 χρόνια. Η συνάρτηση κατανομής μεγίστων Gumbel περιγράφεται από την εξίσωση:

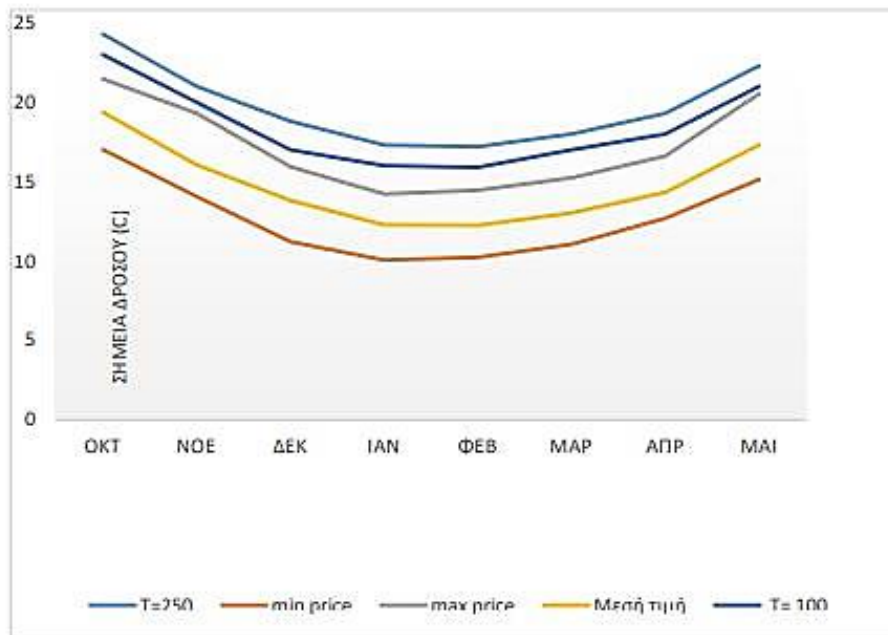
$$F(x) = \exp - \left(e^{\left(-\frac{x}{\lambda} + \psi \right)} \right) \quad (15)$$

οπού x η τιμή της υπόψη τυχαίας μεταβλητής (εν προκειμένω του σημείου δρόσου), $F(x)$ η συνάρτηση κατανομής (ή πιθανότητα μη υπέρβασης), και λ και ψ παράμετροι κλίμακας και θέσης αντίστοιχα που εν προκειμένω εκτιμήθηκαν με τη μέθοδο των ροπών. Ενδεικτικό της καταλληλότητας της κατανομής Gumbel είναι στο Σχήμα 6.1, στο οποίο έχουν απεικονιστεί οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής των μέγιστων σημείων δρόσου σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συναρτήσεις κατανομής Gumbel.



Σχήμα 6.1 Εμπειρικές και θεωρητικές (Gumbel) συναρτήσεις κατανομής των ετήσιων μέγιστων ημερήσιων σημείων δρόσου στο σταθμό της Ρόδου.

Για τους παραπάνω λόγους και με στόχο την ασφαλέστερη εκτίμηση της ΠΜΚ, αλλά και για αντιστάθμιση των αποκλίσεων από τις συστάσεις του World Meteorological Organization που υποχρεωτικές έγιναν κατά σχηματισμό των δειγμάτων μέγιστων σημείων δρόσου (βλ. Εδάφιο 6.2.2) οδηγούμαστε στην αποδοχή των τιμών των επεκτάσεων 250ετίας ως μέγιστων σημείων δρόσου για τους περαιτέρω υπολογισμούς της μεθόδου (αντί της υιοθέτησης των τιμών 100ετίας που συζητήθηκε στο εδάφιο 6.2.1).



Max price: Μέγιστη τιμή δείγματος 21 ετών Επέκταση – T = 100

Min price: Ελάχιστη τιμή δείγματος 21 ετών Επέκταση – T = 250

Μέση τιμή: Μέση τιμή δείγματος 21 ετών

Σχήμα 6.2 Χαρακτηριστικές τιμές του μέγιστου ημερήσιου σημείου δρόσου για κάθε μήνα

6.2.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΜΚ

Η δεύτερη φάση εφαρμογής της μεθόδου περιλαμβάνει τους υπολογισμούς που περιγράφηκαν στο εδάφιο 6.2.1 και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.4. Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι η βροχόπτωση που καταγράφηκε στις 05/10/1989 με ύψος βροχής 158 mm και διάρκεια 9,17 h μετά τη μεγιστοποίηση της σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο οδηγεί σε ύψος βροχής 359,2 mm που είναι και το μεγαλύτερο από τα μεγιστοποιημένα ύψη βροχής. Για την αναγωγή του ύψους αυτού που αναφέρεται σε διάρκεια 9,17 h σε 24ωρο ύψος γίνεται η παραδοχή μεταβολής του ύψους h με τη διάρκεια d σύμφωνα με σχέση δύναμης της μορφής:

$$H(d) \sim d^v \quad (16)$$

Όπου ο εκθέτης n μπορεί να θεωρηθεί ίσος με 0,35, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις που παρατίθενται στην 6.4. Με αυτή την παραδοχή προκύπτει ότι το αντίστοιχο 24ωρο μεγιστοποιημένο ύψος βροχής είναι $359,2 \times \left(\frac{24}{9,17}\right)^{0,35} = 503,1$ mm. Από την τελευταία στήλη του Πιν. 6.4 παρατηρούμε ότι το ύψος των 503,1 mm (05/10/1989) είναι και το μεγαλύτερο απ' όλα τα μεγιστοποιημένα και ταυτόχρονα ανοιγμένα σε 24ωρη διάρκεια ύψη βροχής. Το αμέσως μικρότερο ύψος φτάνει τα 442,2 mm και αντιστοιχεί στη βροχόπτωση της 07/05/1994.

Πίνακας 6.5 Δεδομένα ισχυρών βροχοπτώσεων στο σταθμό Ρόδου και υπολογισμοί μεριστοποίησης του ύψους βροχής για την εκτίμηση της ΠΜΚ.

Ημερομηνία μεγ.	Υψος βροχής (mm)	Διάρκεια βροχής Δh	Σχετική υγρασία U(%)	Θερμοκρασία T _a (°C)	Σημείο Ύψους δρόσου Td (°C)	Αποτέλε σματικότητα βροχής E=	Μέγιστο Μεγ. ύψος σημείο δρόσου	Μεγ. ύψος καταρ. νερού	Λόγος W _{max} /W	Μέγιστος ημέριος ύψος βροχής	Αντιστάθμιση ύψος h m. d	
	h(mm)	Δh	U(%)	T _a (°C)	Td (°C)	E=	W _{max} (mm)	h / W	T _a (m. °C)	W _{max} (mm)	h m. d (mm)	
23/12/1952	64.0	16.25	81	13.5	10.3	22.1	2.89	18.8	47.9	2.16	138.5	158.8
06/11/1953	88.9	9.75	83	19.7	16.7	39.8	2.23	21.0	58.3	1.46	130.1	178.4
08/03/1954	126.2	12.92	89	10.5	8.8	19.2	6.58	18.0	44.6	2.33	293.7	364.8
22/01/1955	126.2	16.75	97	15.4	14.9	33.8	3.73	17.3	41.7	1.23	155.6	176.5
30/11/1956	66.2	6.58	88	18.2	16.2	37.9	1.75	21.0	58.3	1.54	101.8	160.2
20/10/1957	26.8	8.25	94	21.2	20.2	54.3	0.49	24.3	78.0	1.44	38.5	56.0
06/12/1958	124.6	5.75	91	20.0	18.5	46.6	2.67	18.8	47.9	1.03	128.2	211.3
07/12/1959	61.0	6.17	95	16.2	15.4	35.3	1.73	18.8	47.9	1.36	82.8	133.2
04/01/1960	54.2	19.53	95	15.0	14.2	31.7	1.71	17.3	41.7	1.32	71.4	76.7
26/11/1960	72.0	8.38	95	18.6	17.8	43.8	1.65	21.0	58.3	1.33	95.9	138.6
24/12/1960	126.7	16.20	99	16.2	16.0	37.4	3.39	18.8	47.9	1.28	162.3	186.2
08/12/1961	70.2	16.75	87	13.7	11.6	24.9	2.82	18.8	47.9	1.92	135.1	153.2
27/10/1962	49.1	18.35	96	18.6	17.9	44.4	1.11	24.3	78.0	1.76	86.2	94.7
01/11/1962	53.1	9.17	87	20.2	18.0	44.5	1.19	21.0	58.3	1.31	69.6	97.4
02/01/1964	50.3	14.45	95	10.6	9.8	21.2	2.37	17.3	41.7	1.97	99.0	118.3
28/12/1964	50.7	4.50	98	16.6	16.3	38.2	1.33	18.8	47.9	1.25	63.5	114.2
18/01/1965	52.4	10.10	95	13.2	12.4	26.9	1.95	17.3	41.7	1.55	81.2	110.0
06/02/1965	65.4	14.50	94	9.0	8.1	18.0	3.64	17.2	41.6	2.31	151.2	180.4
21/03/1965	65.4	14.10	97	15.2	14.7	33.2	1.97	18.0	44.6	1.34	87.8	105.8
22/12/1965	49.0	12.40	95	15.2	14.4	32.3	1.52	18.8	47.9	1.49	72.8	91.7
24/01/1966	53.4	17.30	97	14.6	14.1	31.5	1.70	17.3	41.7	1.33	70.8	79.4
25/02/1966	53.1	5.30	97	16.0	15.5	35.7	1.49	17.2	41.6	1.16	61.8	104.9
04/10/1966	52.8	3.35	91	25.0	23.4	72.2	0.73	24.3	78.0	1.08	57.0	113.5
02/11/1967	48.9	17.20	99	18.0	17.8	44.0	1.11	21.0	58.3	1.33	64.8	72.8
02/01/1968	72.6	11.40	85	15.0	12.5	27.1	2.68	17.3	41.7	1.54	111.7	144.9
02/12/1968	146.4	16.33	100	15.8	15.8	36.6	4.00	18.8	47.9	1.31	191.6	219.3
11/01/1969	50.4	11.75	93	14.6	13.5	29.7	1.70	17.3	41.7	1.41	70.9	91.0
20/12/1969	49.5	17.55	93	14.4	13.3	29.1	1.70	18.8	47.9	1.65	81.4	90.9
23/12/1970	59.6	9.67	91	17.4	15.9	37.0	1.61	18.8	47.9	1.30	77.2	106.1

06/02/1971	44.2	14.17	94	11.8	10.9	23.3	1.90	17.2	41.6	1.78	78.8	94.1
05/10/1972	124.4	8.17	94	23.2	22.2	64.7	1.92	24.3	78.0	1.21	150.0	218.7
26/01/1973	83.0	9.75	92	13.2	11.9	25.7	3.23	17.3	41.7	1.62	134.6	184.4
27/02/1973	49.5	7.45	95	13.8	13.0	28.4	1.74	17.2	41.6	1.46	72.4	109.9
05/11/1974	57.2	14.92	93	15.2	14.1	31.3	1.83	21.0	58.3	1.86	106.5	125.7
14/05/1975	60.4	22.08	94	16.2	15.2	34.8	1.74	22.3	65.4	1.88	113.6	116.9
23/10/1975	48.0	3.45	91	18.4	16.9	40.4	1.19	24.3	78.0	1.93	92.6	182.6
02/02/1976	47.0	16.42	88	13.4	11.5	24.6	1.91	17.2	41.6	1.69	79.3	90.6
10/01/1977	51.7	10.75	78	11.0	7.3	16.7	3.09	17.3	41.7	2.50	129.1	171.0
03/11/1977	90.8	8.25	81	12.0	8.8	19.3	4.70	21.0	58.3	3.02	274.1	398.2
07/12/1978	117.5	14.25	84	14.0	11.3	24.4	4.82	18.8	47.9	1.97	231.0	277.3
06/03/1979	67.2	15.17	90	12.8	11.2	24.1	2.79	18.0	44.6	1.85	124.6	146.3
21/10/1979	66.5	7.17	91	18.6	17.1	41.2	1.62	24.3	78.0	1.90	126.0	192.4
20/02/1980	92.4	15.92	89	10.7	9.0	19.5	4.73	17.2	41.6	2.13	196.7	227.1
02/01/1981	47.3	8.75	90	11.5	9.9	21.4	2.22	17.3	41.7	1.95	92.4	131.5
15/11/1981	76.9	9.08	86	15.1	12.8	27.8	2.77	21.0	58.3	2.10	161.1	226.4
23/03/1982	76.9	10.17	84	12.2	9.6	20.7	3.72	18.0	44.6	2.16	165.8	224.0
06/11/1982	51.0	3.75	82	17.5	14.4	32.2	1.58	21.0	58.3	1.81	92.2	176.6
03/03/1983	54.1	12.67	90	11.2	9.6	20.8	2.60	18.0	44.6	2.15	116.2	145.3
28/10/1983	124.1	15.25	92	15.0	13.7	30.3	4.10	24.3	78.0	2.58	319.6	374.5
31/12/1984	65.3	6.58	76	14.5	10.3	22.2	2.94	18.8	47.9	2.16	141.1	221.9
04/03/1985	60.4	11.00	87	10.6	8.5	18.7	3.22	18.0	44.6	2.38	143.8	188.9
05/01/1986	85.6	13.83	87	15.3	13.2	28.8	2.97	17.3	41.7	1.45	124.1	150.5
09/03/1987	37.0	12.00	94	4.7	3.8	11.9	3.11	18.0	44.6	3.75	138.8	176.9
26/02/1988	75.2	16.25	77	13.2	9.3	20.1	3.75	17.2	41.6	2.07	155.7	178.4
05/11/1988	178.8	17.33	92	15.9	14.6	32.8	5.44	21.0	58.3	1.77	317.2	355.5
05/10/1989	158.0	9.17	80	18.6	15.1	34.3	4.60	24.3	78.0	2.27	359.2	503.1
23/11/1989	105.5	12.15	80	18.1	14.6	32.8	3.21	21.0	58.3	1.78	187.3	237.7
02/01/1990	36.5	11.50	88	12.3	10.4	22.3	1.64	17.3	41.7	1.87	68.4	88.4
13/02/1991	62.7	13.08	89	13.6	11.8	25.5	2.46	17.2	41.6	1.63	102.3	126.5
17/03/1992	54.8	9.33	91	12.3	10.9	23.3	2.35	18.0	44.6	1.91	104.8	145.8
30/11/1993	174.7	13.50	87	15.5	13.3	29.3	5.96	21.0	58.3	1.99	347.5	425.0
07/05/1994	138.5	8.58	86	15.7	13.4	29.4	4.72	22.3	65.4	2.23	308.6	442.2
20/11/1994	104.4	12.42	90	15.3	13.7	30.2	3.46	21.0	58.3	1.93	201.6	253.9
19/12/1995	84.6	23.17	89	14.1	12.3	26.7	3.17	18.8	47.9	1.80	152.1	154.0
28/01/1996	92.4	17.17	89	13.1	11.3	24.3	3.80	17.3	41.7	1.71	158.3	178.0
10/10/1996	91.0	2.67	82	20.2	17.0	40.9	1.22	24.3	78.0	1.91	95.4	205.8

Συμπερασματικά το ύψος των 503,1 mm μπορεί να θεωρηθεί ως η εκτίμηση της ΠΜΚ με την υπόψη υδρομετεωρολογική μεθοδολογία. Κατά μια άλλη συναφή προσέγγιση, η οποία εφαρμόστηκε στην προμελέτη (Λαζαρίδης κ.α., 1979β) η εκτίμηση της ΠΜΚ μπορεί να θεωρηθεί ως γινόμενο της μέγιστης παρατηρημένης τιμής της αποτελεσματικότητας της βροχής επί το μέγιστο πιθανό ύψος κατακρημνίσιμου νερού. Ως μέγιστη παρατηρημένη αποτελεσματικότητα μπορεί να θεωρηθεί η τιμή 6,58 που αντιστοιχεί στη βροχόπτωση της

08/03/1954 διάρκειας 12,92 ωρών και ύψους 126,2 mm. Με αναγωγή της τιμής 6,58 σε 24ωρη διάρκεια προκύπτει τιμή 8,18 που είναι η μέγιστη μεταξύ των ανοιγμένων 24ωρων τιμών. Θεωρώντας ότι το μέγιστο πιθανό ύψος κατακρημνίσιμου νερού είναι 88,2 mm (τιμή που κατά τον Πίνακα 6.5 αντιστοιχεί στο μήνα Οκτώβριο) προκύπτει το ύψος της ΠΝΚ 24ωρης διάρκειας ίσο με $8,18 \times 88,2 = 721,5$ mm. Η τιμή αυτή είναι αρκετά μεγαλύτερη (κατά 43%) από την παραπάνω τιμή των 503,1 mm που προέκυψε από την πιο καθιερωμένη μεθοδολογία μεγιστοποίησης της διαθέσιμης ατμοσφαιρικής υγρασίας.

6.3 ΠΙΘΑΝΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

6.3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Για λόγους σύγκρισης, αλλά και για λόγους συμπληρωματικών εκτιμήσεων λιγότερο ακραίων υψών βροχής, εφαρμόζεται και καθαρώς πιθανοτική προσέγγιση, η οποία ως γνωστόν δεν δέχεται ότι υπάρχει μια μη μηδενική πιθανότητα υπέρβασης. Η μέθοδος εφαρμόζεται στο δείγμα ετήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων της Ρόδου που φαίνεται στον Πίνακα 6.2 βάσει του οποίου έγινε και η εκτίμηση της ΠΜΚ.

Μια συνάρτηση κατανομής που αποδεικνύεται κατάλληλη για το μέγιστο ύψος βροχής σε μεγάλο εύρος περιπτώσεων είναι η κατανομή Γενικά Ακραίων Τιμών (ΓΑΤ διεθνώς General Extreme Value – GEV distribution). Αυτή η κατανομή ενσωματώνει τις κατανομές ακραίων τιμών τύπου I, II, III και έχει την έκφραση

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 + k \left(\frac{x-\psi}{\lambda} \right) \right)^{\frac{1}{\xi}} \right], \quad x \geq \psi \left(\psi - \frac{1}{\kappa} \right) \quad (17)$$

Όπου $F(x)$ η συνάρτηση κατανομής για τιμές της μεταβλητής x και $k > 0$, $\lambda < 0$ και ψ οι παράμετροι σχήματος, κλίμακας και θέσης αντίστοιχα (η περίπτωση $k < 0$, αν και μαθηματικά είναι δυνατή, δεν είναι κατάλληλη για μέγιστα ύψη βροχής, γιατί συνεπάγεται άνω φραγμένη τιμή της έντασης, γεγονός που αντίκειται στη φυσική πραγματικότητα). Η μεταβλητή x εδώ αντιπροσωπεύει το ύψος βροχής h .

Η (15) επιλύεται άμεσα ως προς x , οπότε με την προϋπόθεση ότι $F(x) = 1 - 1/T$ όπου T η περίοδος επαναφοράς (προϋπόθεση που ισχύει για σειρές ετήσιων μέγιστων) προκύπτει

$$X_T = \lambda \left\{ \psi + \frac{\left[-\ln \left(1 - \frac{1}{t} \right) \right]^2 - 1}{K} \right\}$$

$$\lambda' = \left\{ \left[-\ln \left(\frac{1}{T} \right) \right]^2 - \psi' \right\} \quad (18)$$

Όπου για απλοποίηση έχει τεθεί $\lambda' = \lambda/k$ και $\psi' = 1 - k\psi$.

Για $k = 0$ η κατανομή ΓΑΤ μεταπίπτει στην κατανομή μέγιστων τύπου I (Gumbel), οπότε η (17) παίρνει τη ειδική μορφή (18) ενώ αντίστοιχα, η (18) παίρνει τη μορφή

$$X_T = \lambda \{ \psi - \ln [-\ln (1-1/t)] \} \quad (19)$$

Για $k = 1 / \psi$ (η ισοδύναμα $\psi' = 0$) η κατανομή ΓΑΤ μετατρέπεται στην κατανομή μέγιστων τύπου II.

Η κατανομή Gumbel έχει γίνει αποδεκτή ευρύτατα στην Ελλάδα και διεθνώς για την περιγραφή μεγίστων υψών ή εντάσεων βροχής, χρησιμοποιώντας συνήθως δείγματα μήκους λίγων δεκάδων ετών. Ωστόσο, η μελέτη ενός δείγματος αρκετά μεγαλύτερου μήκους, του δείγματος μεγίστων ημερησίων βροχοπτώσεων του Αστεροσκοπείου Αθηνών, μήκους 136 ετών, έδειξε ότι η κατανομή Gumbel απορρίπτεται στατικώς, παρόλο που δεν θα απορρίπτονταν αν το μήκος του δείγματος ήταν μικρότερο. Αντίστοιχα είναι τα συμπεράσματα για την κατανομή μεγίστων τύπου II. Αντίθετα, η κατανομή ΓΑΤ με παράμετρο σχήματος $k = 0.16$ έως 0.19 φάνηκε να είναι κατάλληλη για το υπόψη δείγμα.

Εξάλλου, από πρόσφατη στατιστική διερεύνηση των δεδομένων από 2645 σταθμούς όλου του κόσμου, με συνολικό πλήθος μετρήσεων 95.000 σταθμών – ετών, τα οποία είχαν μελετηθεί παλαιότερα από τον Hershfield (1961, 1965) και αποτέλεσαν τη βάση για τη διατύπωση της φερόμενης μεθόδου εκτίμησης της ΠΜΚ διαπιστώθηκε ότι (α) η κατανομή ΓΑΤ είναι γενικά κατάλληλη για ετήσιες σειρές μεγίστων βροχοπτώσεων, (β) η τιμή που υπολογίζεται με τη μέθοδο Hershfield (1961, 1965) ως ΠΜΚ, αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς περίπου 60.000 ετών και (γ) η τιμή της παραμέτρου σχήματος της κατανομής ΓΑΤ δίνεται ως συνάρτηση της μέσης τιμής της ετήσιας μέγιστης 24ωρης βροχόπτωσης \bar{h} , από τη σχέση:

$$K = 0.183 - 0.00049\bar{h} \quad (\bar{h} \text{ σε mm}) \quad (20)$$

Η σύγκριση της παραπάνω εναλλακτικής διατύπωσης της μεθόδου Hershfield με την κατανομή που προκύπτει από το δείγμα 136 ετών του Αστεροσκοπείου Αθηνών έδειξε πλήρη συμφωνία. Τα παραπάνω συνηγορούν αρχικά στην αποδοχή της ΓΑΤ ως κατάλληλης κατανομής για μέγιστες βροχοπτώσεις. Σε περίπτωση που υπάρχει μεγάλου μήκους δείγμα η παράμετρος σχήματος της κατανομής μπορεί να εκτιμάται άμεσα από το δείγμα. Σε αντίθετη περίπτωση είναι προτιμότερο να εκτιμάται από την (20). Η εκτίμηση των παραμέτρων κ , λ , ψ της κατανομής ΓΑΤ μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους της στατιστικής από τις οποίες εδώ παρουσιάζονται οι δύο συνηθέστερες που χρησιμοποιούνται παρακάτω.

Η πρώτη είναι η διαδομένη μέθοδος των ροπών, η οποία βασίζεται στις εξισώσεις

$$\frac{\Gamma(1-3\kappa) - \Gamma(1-2\kappa)\Gamma(1-\kappa) + 2\Gamma^3(1-\kappa)}{[\Gamma(1-2\kappa) - \Gamma^2(1-\kappa)] \frac{3}{2}} = C_s \quad (21)$$

$$\lambda = \frac{\kappa\sigma}{\sqrt{\Gamma(1-2\kappa) - \Gamma^2(1-\kappa)}} \quad (22)$$

$$\psi = \frac{\mu}{\lambda} - \frac{\Gamma(1-\kappa) - 1}{\kappa} \quad (23)$$

όπου μ η μέση τιμή, σ η τυπική απόκλιση και C_s ο συντελεστής ασυμμετρίας της κατανομής ενώ η (21) είναι η συνάρτηση γάμα. Η (21) λύνεται μόνο αριθμητικά και δίνει την παράμετρο κ . Στην περίπτωση που εξετάζουμε αντί της (21) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη (20) για τους λόγους που προαναφέρθηκαν.

Η δεύτερη είναι η μέθοδος των L – ροπών, μια σχετικά νέα μέθοδος εκτίμησης παραμέτρων.

Σε αντίθεση με την κλασική μέθοδο ροπών, η μέθοδος των L – ροπών αποφεύγει την ύψωση στο τετράγωνο ή στον κύβο των τιμών του δείγματος για το λόγο αυτό οδηγεί σε πιο εύρωστες εκτιμήσεις, αφού δεν αποδίδει υπερβολική σημασία σε τυχόν εμφάνιση μια ή περισσότερων εξαιρετικά ασυνήθιστων τιμών στο δείγμα. Η μέθοδος στηρίζεται στις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\kappa = 7,8 c - 1,43 c^2 \quad (24)$$

$$\lambda = \frac{\kappa \lambda_2}{\Gamma(1-\kappa)(2^{\kappa}-1)} \quad (25)$$

$$\psi = \frac{\lambda_1}{\lambda} - \frac{\Gamma(1-\kappa) - 1}{K} \quad (26)$$

$$\text{Όπου } c = \frac{\ln 2}{\ln 3} - \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 - 3\lambda_2} \quad (27)$$

*Οι συντελεστές που φαίνονται στην (24) είναι ακριβέστεροι από αυτούς της βιβλιογραφίας (π.χ. Stedinger et al, 1993) για θετικές τιμές του κ που είναι και η συνηθέστερη περίπτωση . Για $\kappa < 0$ είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται οι συντελεστές της βιβλιογραφίας , δηλ. $\kappa = 7.859 c - 2.9554 c^2$.

Και λ_1, λ_2 και λ_3 οι τρεις πρώτες L – ροπών της κατανομής. Αμερόληπτες εκτιμήσεις των L – ροπών δίνονται από τις εξισώσεις (βλ. Stedinger et al, 1993)

$$\bar{\lambda}_1 = b_0 \quad (28)$$

$$\bar{\lambda}_2 = 2b_1 + b_0 \quad (29)$$

$$\bar{\lambda}_3 = 6b_2 + 6b_1 + b_0 \quad (30)$$

Όπου b_0, b_1 και b_2 οι εκτιμήσεις των πιθανοτικά σταθμισμένων ροπών (probability – weighted moments) που δίνονται από τις εξισώσεις

$$b_0 = \bar{x} = \sum_{j=1}^n x(j) \quad (31)$$

$$b_1 = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum_{j=1}^{n-2} (n-j)(n-j-1)x_j \quad (32)$$

$$b_2 = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum_{j=1}^{n-2} (n-j)(n-j-1)x_j \quad (33)$$

Όπου n το μέγεθος του δείγματος και $x_{(j)}$ ($j=1,2,\dots,n$) η τιμή του δείγματος που έχει σειρά j στο δείγμα που έχει καταταχθεί σε φθίνουσα σειρά.

6.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Χρησιμοποιείται το δείγμα των ετήσιων μέγιστων ημερήσιων υψών βροχής στη Ρόδο που φαίνεται στον Πίνακα 6.2. Υιοθετείται η κατανομή ΓΑΤ και εφαρμόζονται δυο εναλλακτικές μέθοδοι εκτίμησης παραμέτρων: η μέθοδος των ροπών με την παραλλαγή της χρήσης της (20) αντί της (21), σε τρόπο ώστε τα αποτελέσματα να είναι συμβιβαστικά με τις παραπάνω παρατηρήσεις που αφορούν στη μέθοδο Hershfield, και η μέθοδος των L – ροπών.

Οι τιμές των παραμέτρων φαίνονται στον Πίνακα 6.6 μαζί με τις εκτιμήσεις του ετήσιου μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής για χαρακτηριστικές τιμές της περιόδου επαναφοράς όπως προκύπτουν από την κατανομή ΓΑΤ. Όπως παρατηρούμε, τα δύο σύνολα παραμέτρων εκτιμημένα με τις δύο μεθόδους που προαναφέρθηκαν, καθώς και τα δύο σύνολα εκτιμήσεων του μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής δεν διαφέρουν σημαντικά.

Ακόμη παρατηρούμε ότι το ύψος της ΠΜΚ που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Hershfield (691.1 mm) βρίσκεται περίπου στο ίδιο επίπεδο με το μέγιστο ημερήσιο ύψος περιόδου επαναφοράς 60.000 ετών (677.2 mm για τη μέθοδο ροπών). Η μικρή διαφορά ($\approx 2\%$) οφείλεται στις διορθώσεις και αναγωγές της τυποποιημένης μεθόδου Hershfield στα δείγματα στατιστικά χαρακτηριστικά. Εξάλλου, το ύψος της ΠΜΚ που υπολογίστηκε με την υδρομετεωρολογική μέθοδο (503.1 mm) συμπίπτει με το μέγιστο ημερήσιο ύψος περιόδου επαναφοράς 10.000 ετών (503.7 mm για τη μέθοδο ροπών). Θα πρέπει να παρατηρούμε ότι και οι εκτιμήσεις του ύψους βροχής της πιθανοτικής μεθόδου υπόκεινται στις ανάγωγες που έχουν συζητηθεί στην ενότητα 6.1. Ο τελικός συντελεστής αναγωγής για το 24ωρο σημειακό ύψος βροχής είναι 1.05.

Πίνακας 6.6 Παράμετροι της κατανομής ΓΑΤ και εκτιμήσεις του ύψους βροχής για διάφορες περιόδους επαναφοράς

<u>Μέθοδος</u>		<u>Ροπές</u>
<u>Εκτίμησης</u>	<u>L – ροπές</u>	
<u>Παραμέτρων</u>		
Παραμέτρων κατανομής		
κ	0.114	0.142
λ	26.5	23.0
ψ	2.455	2.901
λ'	233.2	162.0
ψ'	0.721	0.588
Εκτίμηση ύψους βροχής		
για T =		
2	75.0	75.4
5	108.5	105.2
10	133.1	127.7
20	158.8	151.7
50	195.3	186.6
100	225.4	216.0
200	257.7	248.3
500	304.6	296.2
1000	343.4	336.7
2000	385.4	381.3
5000	446.2	447.6
10000	496.5	503.7
20000	551.1	565.7
50000	630.1	657.5
60000	646.8	677.2

6.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Η σχέση που συνδέει το ύψος βροχής με τη διάρκεια βροχής στην περιοχή μελέτης είναι πολύ χρήσιμη τόσο για την κατάρτιση καταιγίδων σχεδιασμού, όσο και διάφορες

αναγωγές μεταξύ υψών διαφορετικής διάρκειας. Η μελέτη αυτής της σχέσης προϋποθέτει τη διαθεσιμότητα βροχομετρικής πληροφορίας για διάρκειες βροχής μικρότερες της ημερησίας. Όμως όπως προαναφέρθηκε, παρόλο που οι περισσότεροι από τους βροχομετρικούς σταθμούς στο νησί της Ρόδου είναι εξοπλισμένοι με βροχογράφο, δεν έγινε δυνατό να ανευρεθούν και να αναλυθούν βροχογραφήματα ιστορικών βροχοπτώσεων, γεγονός που αποδίδεται στην πλημμελή λειτουργία των βροχογράφων. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης εντοπίστηκαν μόνο ορισμένα βροχογραφήματα πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων στο σταθμό Λάερμα που καλύπτουν την περίοδο 1989-97. Από αυτά έγινε δυνατό να εκτιμηθούν τα ετήσια μέγιστα ύψη βροχής διαφόρων διαρκειών για 7 υδρολογικά έτη, τα οποία φαίνονται στον πίνακα 6.7. Λόγω έλλειψης άλλων δεδομένων, γίνεται η παραδοχή ότι η σχέση ύψους – διάρκειας που προσδιορίζεται από τα δεδομένα του σταθμού Λάερμα είναι αντιπροσωπευτική για το σύνολο του νησιού και επομένως παραμένει η ίδια τόσο στο σταθμό της Ρόδου, όσο και στη λεκάνη απορροής του Γαδουρά. Ακόμη, θεωρείται ότι η σχέση ύψους – διάρκειας είναι της μορφής:

$$H = \omega d^{\nu} \quad (34)$$

όπου η παράμετρος ω εξαρτάται από την περίοδο επαναφοράς, ενώ ο εκθέτης ν είναι σταθερός. Είναι καταφανές ότι τα δεδομένα του πίνακα 6.7 είναι τελείως ανεπαρκή για την εκτίμηση της μεταβαλλόμενης ω , αλλά μπορούν να θεωρηθούν οριακά επαρκή για τον προσεγγιστικό προσδιορισμό της σταθεράς ν . Για τον προσδιορισμό της ν έχει προταθεί πρόσφατα (Κουτσογιάννης, 1997 Koutsoyiannis et al.1998) μια στατιστική μέθοδος, η οποία αφενός αποφεύγει τη χρήση εμπειρικών τεχνικών που χρησιμοποιούνταν παλιότερα και αφετέρου κάνει δυνατό τον ξεχωριστό προσδιορισμό της ν χωρίς να προαπαιτείτε ο προσδιορισμός της ω . Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια τεχνική βελτιστοποίησης προκειμένου να προσδιορίσει την άγνωστη παράμετρο, στην οποία η αντικειμενική συνάρτηση είναι η στατιστική συνάρτηση Kruskal – Wallis, όπως ορίζεται για τα δείγματα της μεταβλητής h/d ν για τις διάφορες τιμές της διάρκειας d . Η εφαρμογή της μεθόδου με βάση τα δείγματα που προκύπτουν από τον Πίν. 7 έδωσε την τιμή $\nu = 0.35$, η οποία είναι αρκετά κοντά στην τιμή 0.40 που είχε προσδιοριστεί στην Προμελέτη (Λαζαρίδης, 1979β).

Πίνακα 6.7 Ετήσια μέγιστα ύψη βροχής διαφόρων διαρκειών στα Λάερμα, όπως προκύπτουν από την επεξεργασία βροχογραφημάτων.

Διάρκεια (h)	0.5	1	2	4	6	12	24
1989 – 90	27	42	46	49	55	72	82
1990 – 91	39	60	67	78	87	100	100
1991 – 92	29	36	46	55	57	58	70
1992 – 93	5	7	9	11	14	24	28
1993 – 94	22	32	38	47	72	104	105
1994 – 95	60	75	90	120	180	180	198
1996 – 97							
1997 – 98	17	28	33.5	34	34	38	40

* Τα ύψη αυτά δίνονται με επιφύλαξη για τις μεγάλες διαρκείας 12 και 24 h δεδομένου ότι δεν ήταν διαθέσιμες οι ταινίες βροχογράφου της προηγούμενης και επόμενης μέρας.

* Για το λόγο που αναφέρεται στην προηγούμενη υποσημείωση, κατά την εκτίμηση της παραμέτρου δεν λήφθηκε υπόψη το δείγμα των 24ωρων ενώ έγινε και στρογγυλεύσει του εξαγόμενου προς τα πάνω.

*Σημειώνεται ότι η μικρότερη τιμή του n που υιοθετείται στην παρούσα εργασία είναι δυσμενέστερη ως προς την καταιγίδα και πλημμύρα σχεδιασμού που συνεπάγεται.

Η παράμετρος $n = 0.35$ αναφέρεται προφανώς σε σημειακή βροχόπτωση, ενώ για την επιφανειακή βροχόπτωση στο σύνολο της λεκάνης η τιμή της είναι μεγαλύτερη. Πράγματι, για την εκτίμηση του n σε επιφανειακή βάση θα πρέπει να συνυπολογιστεί και η μεταβολή του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής ϕ με τη διάρκεια d , όπως προκύπτει από την εξίσωση (5). Πιο συγκεκριμένα, ενδιαφέρει η μεταβολή του γινομένου $\phi d_{0,35}$ είναι περίπου ανάλογος του $d_{0,42}$. Κατά συνέπεια, η ζητούμενη τιμή της παραμέτρου n σε επιφανειακή βάση είναι $n = 0.42$.

Συνδυάζοντας και όσα επιπλέον έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες παραγράφους για τις απαραίτητες αναγωγές των μέγιστων ημερήσιων υψών βροχής h_{σ} που έχουν προκύψει από επεξεργασία δεδομένων από βροχόμετρα, καταλήγουμε ότι ο προσδιορισμός του επιφανειακού μέγιστου ύψους βροχής h_{ϵ} (d) για διάρκεια d θα πρέπει να γίνεται από την εξίσωση.

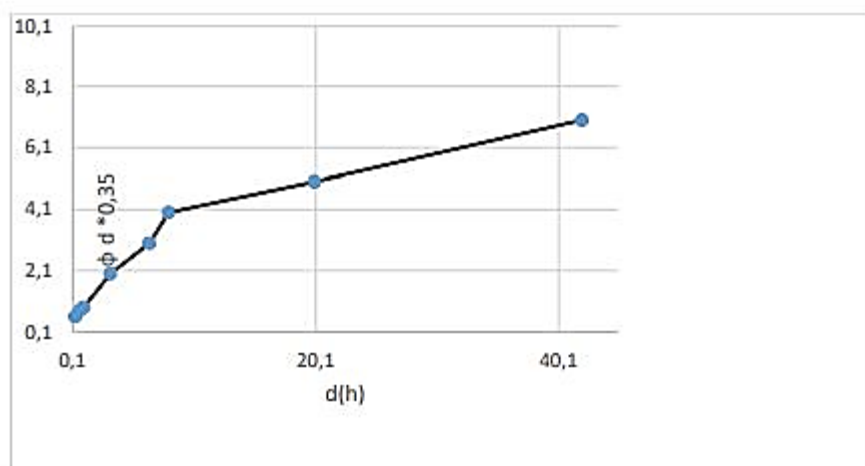
$$h_{\epsilon}(d) = \psi(d) h_{\sigma} \quad (35)$$

Όπου ο τελικός συντελεστής αναγωγής $\psi(d)$ πρέπει να είναι ανάλογος $d^{0.42}$ και επιπλέον για $d = 24h$ πρέπει να παίρνει την τιμή 1,05, οπότε προκύπτει

$$\psi(d) = 0,276 d^{0.42} \quad (d \text{ σε } h) \quad (36)$$

Πίνακα 6.8 Βοηθητικοί υπολογισμοί για την αναγωγή της σημειακής ημερήσιας βροχόπτωσης σε επιφανειακή οποιασδήποτε διάρκειας

d (h)	ϕ	$d^{0.35}$	$\phi d^{0.35}$	$\psi = 0.276 d^{0.42}$
0.5	0.712	0.785	0.599	0.206
1	0.774	1.000	0.774	0.276
2	0.823	1.275	1.049	0.369
4	0.861	1.625	1.399	0.494
6	0.879	1.872	1.646	0.586
12	0.905	2.386	2.160	0.784
24	0.926	3.041	2.816	1.049



$$\phi d^{0,35} = 0,77 d^{0,42} \quad (37)$$

$$R^2 = 0.9986$$

6.5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα διαθέσιμα δεδομένα για την εκτίμηση των βροχοπτώσεων σχεδιασμού για τα έργα προστασίας του φράγματος Γαδουρά είναι αρκετά ικανοποιητικά σε ότι αφορά στα ημερήσια ύψη βροχής αλλά όχι ικανοποιητικά σε ότι αφορά ύψη βροχής μικρότερων διαρκειών. Ειδικότερα οι αναλύσεις βασίστηκαν σε 45 χρόνια ημερησίων βροχοπτώσεων στη Ρόδο και 7 μόνο χρόνια βροχοπτώσεων μικρότερων διαρκειών στα Λάερμα, ενώ παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν και άλλα μετεωρολογικά δεδομένα από το σταθμό της Ρόδου.

Όπως προκύπτει από τα διαθέσιμα δεδομένα τόσο του σταθμού της Ρόδου , όσο και των άλλων σταθμών, η περιοχή χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα ισχυρά επεισόδια βροχής, από τα ισχυρότερα που έχουν παρατηρηθεί στον Ελλαδικό χώρο. Συνακόλουθα και τα ύψη βροχής σχεδιασμού, τα οποία προκύπτουν από την επεξεργασία που έγινε, είναι πολύ μεγάλα.

Η επεξεργασία που έγινε ακολούθησε δυο εναλλακτικές προσεγγίσεις: α) την προσέγγιση της πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης και την πιθανοτική προσέγγιση, ενώ επιχειρήθηκε να συνδυαστούν οι δύο προσεγγίσεις και να αποδοθούν πιθανότητες υπέρβασης (ή ισοδύναμα , περίοδοι επαναφοράς) στα ύψη βροχής που εκτιμώνται με την

προσέγγιση της μέγιστης πιθανής κατακρήμνισης. Υπάρχουν βεβαίως κάποιες θεωρητικές επιφυλάξεις για τη μέγιστη πιθανή κατακρήμνιση, τόσο ως προς την συνολική λογική (δηλαδή την υπόθεση ότι υπάρχει ανώτατο φυσικό όριο στην κατακρήμνιση) όσο και ως τις μεθόδους εκτίμησης (δεδομένου ότι διαφορετικές μέθοδοι οδηγούν σε διαφορετικές εκτιμήσεις). Έτσι, θεωρείται ως συνεπέστερη την πιθανοτική προσέγγιση.

Με αυτή τη λογική, για την μελέτη του υπερχειλιστή του φράγματος προτείνονται τρεις εναλλακτικές περίοδοι επαναφοράς ίσες με 10.000, 20.000 και 60.000 χρόνια. Αντίστοιχα, για τη μελέτη της σήραγγας εκτροπής του φράγματος προτείνονται τρεις πολύ μικρότερες εναλλακτικές περίοδοι επαναφοράς, ίσες με 10, 20 και 50 χρόνια. Τα τελικά ύψη βροχής που αντιστοιχούν σε αυτές τις περιόδους επαναφοράς και σε διάρκειες βροχής 1 h και 24 h, όπως έχουν εκτιμηθεί με βάση την πιθανοτική προσέγγιση, και μετά την εφαρμογή των συντελεστών αναγωγής, φαίνονται στον Πίνακα 6.9.

1 **Πίνακας 6.9** Τελικά μεγέθη υψών βροχής σε mm (μετά τις αναγωγές) για χαρακτηριστικές περιόδους επαναφοράς και διάρκειας.

T	d = 1 h	d = 24 h	Παρατηρήσεις
10	35.3	133.9	
20	41.9	159.1	
50	51.5	195.7	
10000	139.1	528.3	Μεγέθη αντίστοιχα με την ΠΜΚ που εκτιμάται με την υδρομετεωρολογική μέθοδο
20.000	156.2	593.3	
60.000	187.0	710.4	Μεγέθη αντίστοιχα με την ΠΜΚ που εκτιμάται με την μέθοδο <u>Hershfield</u>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

7.1 ΜΟΝΑΔΙΑΙΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ

Για την εκτίμηση των πλημμυρών σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Η άμεση κατάρτιση μοναδιαίων υδρογραφημάτων, δεν είναι δυνατή στο χείμαρρο Γαδουρά λόγω έλλειψης υδρομετρητών, σταθμογραφικών και βροχογραφικών δεδομένων. Έτσι καταρτίστηκε συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα για τις θέσης φράγματος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, το οποίο επαληθεύουμε και με τη μέθοδο Snyder.

Η μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας χρησιμοποιεί τοπογραφικά, υδρολογικά και άλλα δεδομένα της λεκάνης, τα οποία φαίνονται μαζί με τους σχετικούς υπολογισμούς στον Πίνακα 6.10. Τα δεδομένα κλίσεων προέκυψαν από τη μηκοτομή του ποταμού που φαίνεται στο (Σχήμα 5.3). Η μέθοδος Snyder χρησιμοποιεί δεδομένα μόνο από την οριζοντιογραφία της λεκάνης, τα οποία φαίνονται, μαζί με τους σχετικούς υπολογισμούς στον Πίνακα 6.10.

Πιο συγκεκριμένα το Βρετανικό Ινστιτούτο Υδρολογίας (Sutcliffe, 1978) συνιστά τη σύνθεση μοναδιαίου υδρογραφήματος (για διάρκεια βροχής $d = 1h$) τριγωνικής μορφής, με χρόνο ανόδου (σε h).

$$t_p = \frac{46.6L^{0.14}}{S1085^{0.38}(1 + URBAN)^{1.99}RSMD^{0.4}} \quad (38)$$

και διάρκεια πλημμύρας (ή χρόνος βροχής)

$$t_p = 2,52 t_p \quad -(39)$$

Στην (38), L είναι το μήκος της κύριας μισγάγκειας σε km και είναι S1085 η μέση κλίση υδατορεύματος σε m/km που υπολογίζεται μεταξύ των 10% και 85% του μήκους του. Η παράμετρος URBAN είναι η αναλογία των αστικών περιοχών μέσα στη λεκάνη απορροής και η RSMD είναι παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, που πρακτικά για ορεινές ή ημιορεινές λεκάνες απορροής είναι ίση με το ύψος της μέγιστης 24ωρης βροχής για περίοδο επαναφοράς 5 ετών (σε mm).

Η πλημμυρική παροχή αιχμής όπως προκύπτει από την εξίσωση συνέχειας ($h_0 A = \frac{1}{2} t_p Q_p$ όπου $h_0 = 10$ mm το μοναδιαίο ύψος βροχής), είναι σε διαστατικά ομογενή μορφή,

$$Q_p = 0.794 \frac{h_{0A}}{t_p} \quad (40)$$

Ή για Q_p σε m^3/s , A σε km^2 και t_p σε h

$$Q_p = 2,2 \frac{h_{0A}}{t_p} \quad (41)$$

Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα του Snyder βασίζεται στις σχέσεις

$$t_p = C_t (LLC)^{0.3} \quad (39)$$

$$Q_p = C_Q \frac{A}{t_p} \quad (42)$$

Όπου L_c το μήκος υδατορεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κέντρου βάρους της λεκάνης (km) και C_t και C_Q συντελεστές που βρέθηκε να έχουν μέσες τιμές 1,5 και 1,72 (στομετρικό σύστημα μονάδων), αντίστοιχα σε λεκάνες απορροής των Αππαλαχίων. Όμως ο ίδιος ο Snyder στην Ελλάδα (Αραχθος, Πουρνάρι) έχει υιοθετήσει πολύ δυσμενέστερες τιμές $C_t = 0,76$ και $C_Q = 2,0$, τιμές τις οποίες δεχτήκαμε και στην παρούσα μελέτη. Τα παραπάνω μεγέθη αναφέρονται σε μοναδιαίο υδρογράφημα με διάρκεια βροχής $t_p/5.5$ και χρειάζονται κατάλληλη αναγωγή για διάρκεια βροχής 0.5 h.

Τα απαιτούμενα δεδομένα και οι σχετικοί υπολογισμοί για τη σύνθεση του μοναδιαίου υδρογραφήματος δίνονται στον Πίνακα 6.10 (η παράμετρος URBAN θεωρήθηκε μηδενική).

Ο χρόνος ανόδου t_p που υπολογίζεται με τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας επαληθεύεται από τη μέθοδο Snyder, με αρκετά μικρή απόκλιση (14%). Ως μια περαιτέρω επαλήθευση χρησιμοποιείται ο τύπος του Giandotti, ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στην Ελλάδα. Ο τύπος αυτός δίνει το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης:

$$t_\sigma = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0.8\sqrt{\Delta H}} \quad (43)$$

Πίνακα 7.1 Εκτίμηση συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος στο Γαδουρά ανάντη της θέσης φράγματος (Μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας – επαλήθευση με μεθόδους Snyder και Giandotti).

<u>Μέγεθος</u>	<u>Τιμή</u>
Έκταση, A (km ²)	147,7
Μήκος υδατορεύματος, L (km)	19.6
Μήκος υδατορεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κ.β της λεκάνης L _c (km)	11
Υψόμετρο υδατορεύματος στην έξοδο της λεκάνης, Z _E (m)	74
Υψόμετρο υδατορεύματος στην αρχή του, Z _A (m)	400
Μέσο υψόμετρο λεκάνης, Z _μ (m)	327
Υψόμετρο υδατορεύματος στο 10% του μήκους του, Z ₁₀ (m)	89
Υψόμετρο υδατορεύματος στο 85% του μήκους του, Z ₈₅ (m)	261
Κλίση υδατορεύματος μεταξύ των σημείων 10% και 85% του μήκους του, S ₁₀₈₅ (m/km)	11.7
Παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, RSMD (mm)	105
Χρόνος ανόδου (για βροχή 1 h) σύμφωνα με τον τύπο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, t _p (h)	4.3
Διάρκεια πλημμύρας, T _b (h)	10.8
Παροχή αιχμής, Q _p (m ³ /s)	76.0
Επαλήθευση του χρόνου ανόδου σύμφωνα με τον τύπο του Snyder, αρχική τιμή t _{p0} (h)	3.8
Τελική τιμή χρόνου ανόδου σύμφωνα κατά Snyder (για βροχή 1h), t _p (h)	3.7
Επαλήθευση σύμφωνα με τον τύπο του Giandotti, Χρόνος συγκέντρωσης t _σ (h)	6.1
<u>Χρόνος ανόδου (για βροχή 1h) κατά Giandotti t_p (h)</u>	<u>4.2</u>

Όπου t_σ ο χρόνος συγκέντρωσης σε h, A η έκταση της λεκάνης σε km², L το μήκος της κύριας μισγάγκειας σε km και ΔH η διαφορά του μέσου υψόμετρου της λεκάνης από το υψόμετρο της εξόδου της σε m. Από το γνωστό εμπειρικό τύπο:

$$t_p = 0,6 t_\sigma + d/2 \quad (44)$$

Προκύπτει ότι η τιμή του χρόνου ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος σχεδόν ταυτίζεται με αυτή που έχει προκύψει από τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας (Πίνακα 7.1)

7.2 ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η βασικότερη παραδοχή στην κατάρτιση της καταιγίδας σχεδιασμού αφορά στη χρονική κατανομή του συνολικού ύψους βροχής. Στην πράξη χρησιμοποιούνται διάφορες απλοποιημένες μέθοδοι, μια κατάταξη των οποίων δίνεται από τον (Koutsoyiannis, 1994), όπου εισάγεται και μια συνθετότερη στοχαστική μέθοδος. Από τις απλοποιημένες μεθόδους της πράξης θεωρείται ως πλεονεκτικότερη αυτή της δυσμενέστερης διάταξης του υετογραφήματος σχεδιασμού. Με τη μέθοδο προσδιορίζονται τα τμηματικά ύψη βροχής των επιμέρους διαρκειών με βάση την καμπύλη ύψους – διάρκειας βροχής (όμβρια καμπύλη) της υπό μελέτη λεκάνης, που αντιστοιχεί στη περίοδο επαναφοράς της μελέτης. Τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται στη συνέχεια σε τρόπο ώστε να προκύπτει ο δυσμενέστερος δυνατός συνδυασμός, δηλαδή αυτός που προκαλεί τη δυσμενέστερη αιχμή της παραγόμενης πλημμύρας. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σοβαρά πλεονεκτήματα έναντι άλλων συνήθων μεθόδων της πράξης (π.χ. αδιάστατων αθροιστικών καμπυλών). Πρώτον, βασίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα που έχουν μετρηθεί στην περιοχή μελέτης (όμβριες καμπύλες) και όχι σε διαγράμματα της βιβλιογραφίας. Δεύτερον, οδηγεί σε ένα μοναδικό υετογράφημα σχεδιασμού χωρίς να απαιτεί καμία πρόσθετη παραδοχή. Τρίτον, έχει δειχτεί μέσω σύγκρισης με πληρέστερα στοχαστικά μοντέλα ότι τα αποτελέσματα της είναι σαφώς πιο εύλογα και συνεπή, σε σχέση με αυτά της μεθόδου των αδιάστατων αθροιστικών καμπυλών. Η βασική παραδοχή της μεθόδου του δυσμενέστερου συνδυασμού είναι ότι σε κάθε επιμέρους διάρκεια το ύψος βροχής που προκύπτει έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής, (βεβαίως η παραδοχή αυτή είναι ρεαλιστική, πράγμα που αποτελεί και σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου). Ο δυσμενέστερος συνδυασμός των τμηματικών υψών προκύπτει με την εξής μεθοδολογία: Τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται σε χρονική αντιστοιχία με τις τεταγμένες του μοναδιαίου υδρογραφήματος, το αμέσως μικρότερο απέναντι από την αμέσως μικρότερη τεταγμένη κ.ο.κ. Η διάταξη αυτή στη συνέχεια αντιστρέφεται και έτσι προκύπτει το τελικό υετογράφημα. Η τεχνική αυτή υπακούει βέβαια σε κάποια λογική και αποδεικνύεται θεωρητικά ότι πράγματι δίνει τη μέγιστη παροχή αιχμής όταν συνδυαστεί με το μοναδιαίο υδρογράφημα. Όταν υιοθετείται αυτή η μέθοδος κατάρτισης της καταιγίδας σχεδιασμού, η διάρκεια βροχής θεωρείται σημαντικό πολλαπλάσιο (αρκετά μεγαλύτερο του διπλάσιου) του χρόνου υστέρησης της λεκάνης. Για την παρούσα μελέτη υιοθετήσαμε ολική διάρκεια βροχής 24 ωρών.

7.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ – ΩΦΕΛΙΜΗ ΒΡΟΧΗ

Για το διαχωρισμό υδρολογικών ελλειμμάτων και καθαρού υετογραφήματος στο ολικό υετογράφημα χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εμπειρική σχέση του Αμερικάνικου Soil Conservation Service (1972 – βλ. και US Department of the Interior ,1977) ή μέθοδος SCS:

$$h_c = \begin{cases} 0 & h \leq h_{a0} \\ \frac{(h - h_{a0})^2}{h - h_{a0} + S} & h > h_{a0} \end{cases} \quad (45)$$

Όπου h το ολικό και h_c το αντίστοιχο ενεργό ύψος βροχής σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, h_{a0} το αρχικό έλλειμα, δηλαδή μια αρχική ποσότητα βροχής που μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έλλειμα και S και δυνητικά μέγιστη κατακράτηση (potential maximum retention), δηλαδή το επιπλέον, πέραν του αρχικού h_{a0} , ελλειμματικό ύψος που μπορεί κατά μέγιστο να πραγματοποιηθεί σε μια βροχόπτωση σε μεγάλο ολικό ύψος h . Για περαιτέρω απλοποίηση, υιοθετείται η επιπλέον παραδοχή ότι $h_{a0} = 0.2 S$, η οποία θεωρείται ως η βέλτιστη προσέγγιση από δεδομένα παρατηρήσεων, οπότε η μέθοδος χρησιμοποιεί τελικώς μια μόνο παράμετρο, την S . Με αυτή την επιπλέον παραδοχή, η (43) τελικώς διαμορφώνεται:

$$h_c = \begin{cases} 0 & h \leq 0.2S \\ \frac{(h - 0.2S)^2}{h + 0.8S} & h > 0.2S \end{cases} \quad (46)$$

Η σχέση (46) εφαρμόζεται και για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του , και έτσι προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου. Το τελικό ύψος ελλειμμάτων μπορεί να φτάσει ασυμπτωτικά (για βροχόπτωση μεγάλου ύψους) την τιμή $0.2 S + S = 1.2S$.

Αν δεν υπάρχουν μετρήσεις απορροής ακολουθείται η ακόλουθη εμπειρική μεθοδολογία εκτίμησης της S . Συγκεκριμένα, η παράμετρος S συνδέεται με μια άλλη χαρακτηριστική παράμετρο, την CN η οποία είναι γνωστή ως αριθμός καμπύλης απορροής (runoff curve number) ,με τη σχέση:

$$S[mm] = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (47)$$

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100 και επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους και χρήσης γης στη λεκάνη απορροής, καθώς τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας οι τελευταίες συναρτώνται με τη χρονική απόσταση της υπό μελέτη καταιγίδας από προηγούμενες. Η SCS κατατάσσει τα εδάφη σε τέσσερις ομάδες, ανάλογα με τη διαπερατότητα τους και ορίζει τρεις τύπους προηγούμενων συνθηκών υγρασίας I, II και III. Για τις συνθήκες υγρασίας τύπου II, η SCS δίνει αναλυτικούς πίνακες με τιμές του CN για κάθε ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης, ενώ για τις άλλες συνθήκες δίνει τύπους αναγωγής των συνθηκών τύπου II. Στην παρούσα εργασία υιοθετήθηκε η τιμή CN=75 για περίοδο επαναφοράς 10.000 χρόνια ή μεγαλύτερη, η οποία οδηγεί σε ποσοστά απωλειών 13-17%. Τα ποσοστά αυτά δεν θεωρούνται υπερβολικά, ιδίως αν ληφθούν υπόψη οι σχετικά ήπιες κλίσεις της λεκάνης και το γεγονός ότι, σύμφωνα με τις αναλύσεις της υδρομετεωρολογικής μεθόδου (ενότητα 6.2), βροχοπτώσεις αυτού του μεγέθους είναι πιο πιθανό να συμβούν τους μήνες Μάιο ή Οκτώβριο. Για περίοδο επαναφοράς μικρότερη των 100 ετών υιοθετήθηκε κάπως μικρότερη τιμή της εν λόγω παραμέτρου, δηλαδή CN=70.

7.4 ΒΑΣΙΚΗ ΡΟΗ – ΤΗΞΗ ΧΙΟΝΙΟΥ

Η βασική ροή είναι πολύ μικρό ποσοστό της αιχμής της πλημμυρικής απορροής. Με έρευνα από άλλες λεκάνες του ελληνικού χώρου, χρησιμοποιήθηκε μια σταθερή τιμή της βασικής ροής ίση με $0.05 \text{ m}^3/\text{s} / \text{km}^2$ για μεγάλες τιμές της περιόδου επαναφοράς, τιμή η οποία είναι δύο φορές μεγαλύτερη από τη μέση απορροή του Φεβρουαρίου που είναι ο μήνας με το μεγαλύτερο ύψος επιφανειακής απορροής (Λαζαρίδης κ.α., 1998). Είναι σκόπιμο να συμπεριλάβουμε στη βασική ροή και την απορροή από την τήξη του χιονιού, δεδομένου ότι και αυτή παρουσιάζει σχετικά ήπια μεταβολή στο χρόνο. Η λεκάνη Γαδουρά, λόγω υψηλών θερμοκρασιών και χαμηλών υψομέτρων δεν αναμένεται να παρουσιάζει ιδιαίτερα αυξημένη απορροή από τήξη χιονιού. Άλλωστε, η υδρομετεωρολογική ανάλυση έδειξε ότι η πλημμυρική επικινδυνότητα είναι ιδιαίτερα αυξημένη τον Οκτώβριο, οπότε δεν υπάρχουν χιόνια στη λεκάνη. Πάντως για λόγους μεγαλύτερης ασφάλειας, θα δεχτούμε την πιθανότητα απορροής τήξης χιονιού και θα εκτιμήσουμε ένα δυσμενή αλλά σχετικά εύλογο ρυθμό. Έτσι, δεχόμαστε μια ποσότητα απορροής από τήξη χιονιού 100 mm (αντιστοιχεί σε περίπου 1 m φρέσκου χιονιού) για το ορεινό τμήμα της λεκάνης (αυτό που βρίσκεται σε υψόμετρο > 600 m, το οποίο αποτελεί ποσοστό 10.8% του συνολικού εμβαδού, ενώ θεωρούμε ότι η τήξη πραγματοποιείται σε διάστημα 12 h αν ληφθεί υπόψη και ο χρόνος απάντησης της λεκάνης. Αυτή την τιμή τη

χρησιμοποιούμε για τις υψηλές τιμές της περιόδου επαναφοράς που αντιστοιχούν στο σχεδιασμό του υπερχειλιστή, ενώ για της χαμηλότερες τιμές που αντιστοιχούν στο σχεδιασμό της σήραγγας δεχόμαστε το 1/3 αυτής της τιμής, δηλαδή 11 m³/s.

7.5 ΠΕΡΙΟΔΟΙ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε, για την μελέτη του υπερχειλιστή του φράγματος εξετάζονται τρεις εναλλακτικές περιόδους επαναφοράς ίσες με 10.000, 20.000 και 60.000 χρόνια. Αντίστοιχα, για τη μελέτη της σήραγγας εκτροπής του φράγματος εξετάζονται τρεις πολύ μικρότερες εναλλακτικές περιόδους επαναφοράς, ίσες με 10, 20 και 50 χρόνια. Δεν υποθέσαμε διαφοροποίηση των περιόδων επαναφοράς βροχής και παροχής. Αν και κατά μια άποψη (π.χ. Sutcliffe, 1978) χρειάζεται να γίνεται διάκριση των περιόδων επαναφοράς σχεδιασμού βροχής και πλημμύρας, η εμπειριστατωμένη μελέτη των Larson and Reich (1973) έδειξε ότι αυτή η διαφοροποίηση δεν είναι ορθή, δεδομένου ότι κατά μέσο όρο οι δύο περιόδους επαναφοράς συμπίπτουν (πράγμα που άλλωστε είναι σχεδόν αυτονόητο). Έτσι, στην παρούσα εργασία δεν έγινε τέτοια διάκριση.

7.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι υπολογισμοί έγιναν με ειδικά διαμορφωμένα υπολογιστικά φύλλα Excel. Το πρόγραμμα συνθέτει το υετογράφημα σχεδιασμού, υπολογίζει το ωφέλιμο υετογράφημα και συνδυάζοντας το τελευταίο με το μοναδιαίο υδρογράφημα εξάγει το πλημμυρογράφημα. Τα συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά των πλημμυρών σχεδιασμού φαίνονται στον Πίνακα 7.2.

Πίνακας 7.2 Συνοπτικά αποτελέσματα υπολογισμών πλημμυρογραφημάτων σχεδιασμού

Περίοδος επαναφοράς , T (έτη)	10	20	50	10.000	20.000	60.000
Διάρκεια βροχής , d (h)	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Ολικό ύψος βροχής , h (mm)	134.1	159.2	195.7	528.5	593.4	710.4
Ωφέλιμο ύψος βροχής , h _c (mm)	57.1	76.7	106.9	438.9	502.7	618.1
Απώλειες (%)	57.5	51.8	45.3	17.0	15.3	13.0
Παροχή αιχμής (m ³ / s)	316.0	410.6	551.8	1931.2	2182.4	2632.7
Χρόνος πραγματοποίησης αιχμής (h)	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Καθαρός όγκος πλημμύρας (hm ³)	8.43	11.3	15.8	64.84	74.27	91.31
Συνολικός όγκος πλημμύρας (hm ³)	9.74	12.6	17.1	68.88	78.31	95.35

Με βάση τις τιμές της πλημμυρικής παροχής που υπολογίστηκαν με την παραπάνω διαδικασία και δίνονται στον Πίνακα 7.2 , προσαρμόστηκε (με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων) η ακόλουθη απλή εξίσωση , κατάλληλη για παρεμβολή της πλημμυρικής παροχής Q_{max} για διαφορετικές τιμές της περιόδου επαναφοράς T.

$$Q_{\max}(T) = 711(T^{0.14} - 0.943) \quad (Q_{\max} \text{ σε } m^3/s) \quad (48)$$

7.7 ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

Αναμφίβολα, οι μέγιστες βροχές και συνακόλουθα οι πλημμυρικές παροχές που εκτιμήθηκαν παραπάνω είναι πολύ υψηλές αν συγκριθούν με αντίστοιχα μεγέθη σε άλλες περιοχές της Ελλάδας (για παρόμοιο μέγεθος λεκάνης). Μια γνωστή είναι η Κρήτη όπου έχουν καταγραφεί βροχοπτώσεις πάνω από 250 mm και έχουν εκτιμηθεί 24ωρα ύψη βροχής σχεδιασμού της τάξης των 650 mm για περίοδο επαναφοράς 2000 ετών.

Επίσης, τα μεγέθη βροχής και παροχής της παρούσας μελέτης είναι πολύ υψηλότερα από τα αντίστοιχα μεγέθη που είχαν εκτιμηθεί για το φράγμα Γαδουρά στην προμελέτη (Λαζαρίδης κ.α.,1979 β). Συγκεκριμένα στην προμελέτη υιοθετήθηκε τιμή της ΠΜΚ ίση με 410 mm για 24ωρη διάρκεια έναντι αντίστοιχου ύψους 530 mm της παρούσας εργασίας. Ανάλογες διαφορές παρατηρούνται και στο μοναδιαίο υδρογράφημα της παρούσας εργασίας σε σχέση με εκείνο της προμελέτης, με τελικό αποτέλεσμα τη διαμόρφωση της παροχής αιχμής σχεδιασμού της παρούσας εργασίας σε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα (1931 m³/s για

περίοδο επαναφοράς 10.000 ετών ή ισοδύναμα για εκτίμηση της ΠΜΚ που προκύπτει από την υδρομετεωρολογική μέθοδο, έως και 2633 m³/s για περίοδο επαναφοράς 60.000 ετών ή ισοδύναμα για εκτίμηση της ΠΜΚ που προκύπτει από τη μέθοδο Hershfield).

Για μια ακόμη σύγκριση, χρησιμοποιούνται οι γνωστές καμπύλες του Creager, οι οποίες αποτελούν περιβάλλουσες εξαιρετικά υψηλών τιμών της παροχής που έχουν καταγραφεί σε διάφορες περιοχές της υδρογείου . Οι καμπύλες του Creager περιγράφονται από την εξίσωση (Viessman et ,1989).

$$Q = 1,3C(0,386A)^{0,936A^{-0,048}} \quad (49)$$

Όπου Q η πλημμυρική παροχή αιχμής σε m³/s, A η έκταση της λεκάνης σε km² και C συντελεστής που εξαρτάται από την περιοχή με εύρος τιμών 30 – 200. Στην Ελλάδα οι καμπύλες αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά συχνά για την εκτίμηση παροχών σχεδιασμού σε φράγματα, με τιμές του C στο διάστημα 50 – 80.

Πίνακα 7.3 Εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής στη θέση φράγματος Γαδουρά με τις καμπύλες του Creager για διάφορες εναλλακτικές τιμές του συντελεστή C.

C	60	65	70	75	80	95	90	95	100	105	110
Q_{max}	1532	1660	1787	1915	2043	2426	2298	2426	2553	2681	2809

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 7.3, όπου έχει γίνει η εφαρμογή της εξίσωσης (50), οι τιμές παροχής σχεδιασμού του υπερχειλιστή που εκτιμήθηκαν στην παρούσα εργασία (1931 – 2633 m³/s) αντιστοιχούν σε τιμές του C από 75 έως 105, οι οποίες υπερβαίνουν τις συνήθεις τιμές που έχουν χρησιμοποιηθεί στην Ελλάδα, παρότι βέβαια είναι πολύ χαμηλότερες από το "παγκόσμιο" μέγιστο (200).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

8. ΔΙΟΔΕΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ

Στο κεφάλαιο αυτό αντιμετωπίζεται το πρόβλημα της διόδευσης του πλημμυρογραφήματος σχεδιασμού του υπερχειλιστή του φράγματος προκειμένου να καθοριστούν τα μεγέθη σχεδιασμού του έργου αυτού.

8.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη διόδευση βασίζεται στην εξίσωση συνέχειας και την καμπύλη στάθμης – παροχής του υπερχειλιστή ή της σήραγγας εκτροπής.

Η εξίσωση συνέχειας για τον ταμιευτήρα γράφεται:

$$\frac{dV}{dt} + Q = I \quad (50)$$

Όπου $V = V(z, t)$ η αποθήκευση στον ταμιευτήρα $Q = Q(z, t)$ η παροχή εκροής από τον υπερχειλιστή $I = I(t)$ η παροχή εισροής στον ταμιευτήρα, z η στάθμη της στέψης του υπερχειλιστή και H το καθαρό ύψος νερού υπεράνω της στέψης του υπερχειλιστή.

Η παραπάνω διαφορική εξίσωση μπορεί να γραφεί υπό μορφή πεπερασμένων διαφορών.

Αν θεωρήσουμε το χρονικό διάστημα $\Delta t_n = t_{n+1} - t_n$, θα έχουμε:

$$I \sim \frac{I_n + I_{n+1}}{2} \quad (51)$$

$$Q \sim \frac{Q_n + Q_{n+1}}{2} \quad (52)$$

$$\frac{dV}{dt} \sim \frac{V_{n+1} - V_n}{\Delta t_n} \quad (53)$$

Όπου η (48) γράφεται

$$\frac{V_{n+1} - V_n}{\Delta t_n} = \frac{I_n + I_{n+1}}{2} - \frac{Q_n + Q_{n+1}}{2} \quad (54)$$

Όταν η ολοκλήρωση προχωρεί από το χρόνο t_n στο χρόνο t_{n+1} , οι άγνωστοι στην πιο πάνω εξίσωση είναι τα V_{n+1} και Q_{n+1} . Και οι δύο άγνωστοι μπορούν να εκφραστούν ως

συναρτήσεις της στάθμης z_{n+1} (μέσω της καμπύλης στάθμης – όγκου και της καμπύλης στάθμης – παροχής, αντίστοιχα). Κατά συνέπεια μπορεί σε κάθε βήμα να προσδιορίζεται με κάποια κατάλληλη αριθμητική μέθοδο η στάθμη z_{n+1} (μέσω της καμπύλης στάθμης – όγκου και της καμπύλης στάθμης – παροχής αντίστοιχα). Κατά συνέπεια μπορεί σε κάθε βήμα να προσδιορίζεται με κάποια κατάλληλη αριθμητική μέθοδο η στάθμη z_{n+1} από την παραπάνω εξίσωση διαφορών, και στη συνέχεια τα V_{n+1} και Q_{n+1} .

Η υπολογιστική εφαρμογή της μεθόδου γίνεται με αριθμητική μέθοδο. Για την εφαρμογή χρησιμοποιούνται:

(α) η εξίσωση (54) γραμμένη στη μορφή:

$$V_{n+1} - \frac{\Delta t_n}{2} Q_{n+1} = V_n + \frac{\Delta t_n}{2} (l_{n+1} + l_n - Q_n) \quad (55)$$

(β) η σχέση στάθμης – όγκου ταμειυτήρα:

$$V = V(z) \quad (56)$$

(γ) η σχέση στάθμης – παροχής του υπερχειλιστή:

$$Q = Q(z) \quad (57)$$

Το δεξιό μέλος της (55) είναι γνωστό σε κάθε βήμα ολοκλήρωσης. Η υπολογιστική διαδικασία στοχεύει στον προσδιορισμό των δύο όρων του πρώτου μέλους και περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

1. Επιλέγονται ως υποθετικές συνθήκες οι $z_{n+1} = z_n$, $Q_{n+1} = Q_n$ και V_{n+1}
2. Υπολογίζεται η νέα τιμή του V_{n+1} με επίλυση της (55). Η αριθμητική μέθοδος συγκλίνει ταχύτερα αν χρησιμοποιηθεί ως νέα τιμή του V_{n+1} το ημίαθροισμα της προηγούμενης
3. Από την (56) υπολογίζεται η νέα τιμή της στάθμης z_{n+1} .
4. Από την (57) υπολογίζεται η νέα τιμή της παροχής Q_{n+1} .
5. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 2 έως 4 μήνες μέχρις ότου η νέα τιμή του V_{n+1} (ή ισοδύναμα του z_{n+1} ή του Q_{n+1}) δεν διαφέρει πολύ από την αμέσως επόμενη προηγούμενη τιμή. Συνήθως σε κάθε βήμα χρειάζονται αρκετές επαναλήψεις.

8.2 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΤΑΘΜΗΣ – ΟΓΚΟΥ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Οι συντεταγμένες της καμπύλης στάθμης – όγκου του ταμιευτήρα δίνονται στο Σχήμα 5.4

8.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΣΤΑΘΜΗΣ – ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ

Όπως προαναφέρθηκε, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης εξετάζεται ενδεικτικά υπερχειλιστής με κατασκευή στέψης υπερχειλίστη τύπου Ogee, υψόμετρο στέψης $z\Sigma = +116,5$ m και μήκος $L = 65,0$ m. Η καμπύλη στάθμης – παροχής προσεγγίζεται από τη σχέση

$$Q = c L H^k \quad (58)$$

όπου Q η παροχή εκροής (m^3/s), H το ολικό ύψος ενέργειας (m) που είναι ίσο με τη στάθμη νερού στον ταμιευτήρα μετρούμενη από τη στέψη του υπερχειλίστη και c και k συντελεστές που θεωρήθηκαν ίσοι με 2,2 και 3/2, αντίστοιχα.

8.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΟΔΕΥΣΕΩΝ

Τα αναλυτικά αποτελέσματα των διοδεύσεων στο παράρτημα στον παρακάτω Πίνακα 8.1 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των υδρογραφημάτων εκροής του υπερχειλίστη. Τα υδρογραφήματα εισροής και εκροής (μαζί με το αντίστοιχο υετογράφημα) που αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς 10.000 ετών φαίνονται στο Σχήμα 8.1.

Πίνακας 8.1 Κύρια χαρακτηριστικά των υδρογραφημάτων εισροής και εκροής του υπερχειλιστή. Περίοδος επαναφοράς T (έτη) 10.000, 20.000, 60.000.

Μέγιστος όγκος στον ταμιευτήρα V_{\max} (hm ³)	83.499	85.468	88.877
Μέγιστος όγκος ανάσχεσης $V_{\max} - V_0$ (hm ³)	20.336	22.305	25.714
<u>Μέγιστη στάθμη ταμιευτήρα Z_{\max} (m)</u>	<u>121.41</u>	<u>121.86</u>	<u>122.62</u>
<u>Λόγος παροχών αιχμής εκροής / εισροής</u>	<u>80.6%</u>	<u>81.3%</u>	<u>82.3%</u>

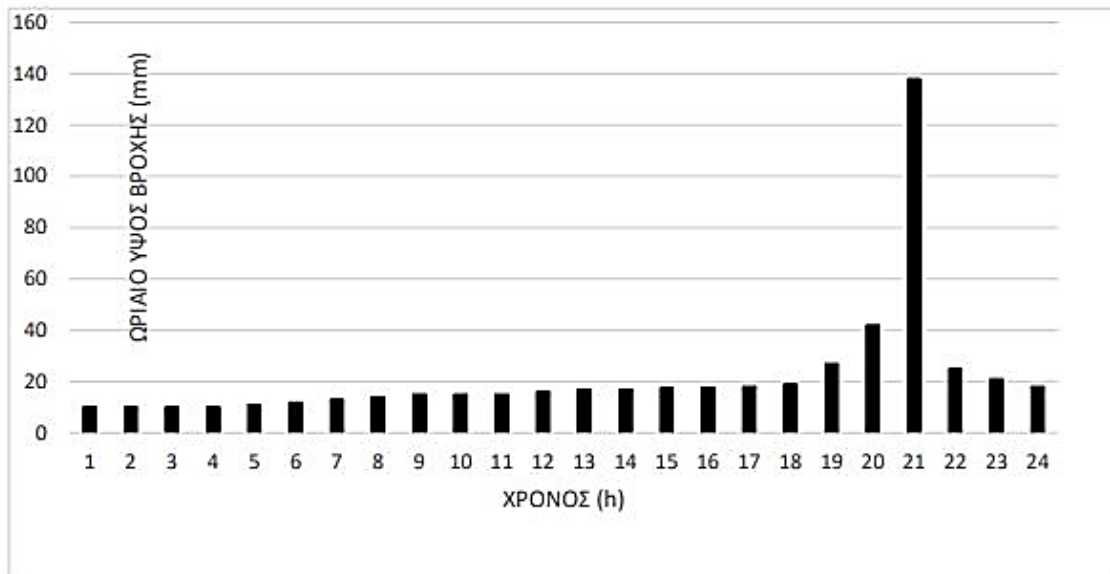
ΕΙΣΡΟΗ:

Παροχή αιχμής I_{\max} (m ³ /s)	1931.2	2182.4	2632.7
Χρόνος πραγματοποίησης αιχμής t_1 (h)	24.0	24.0	24.0
<u>Συνολικός όγκος εισροής V_1 (hm³)</u>	<u>68.882</u>	<u>78.306</u>	<u>95.352</u>

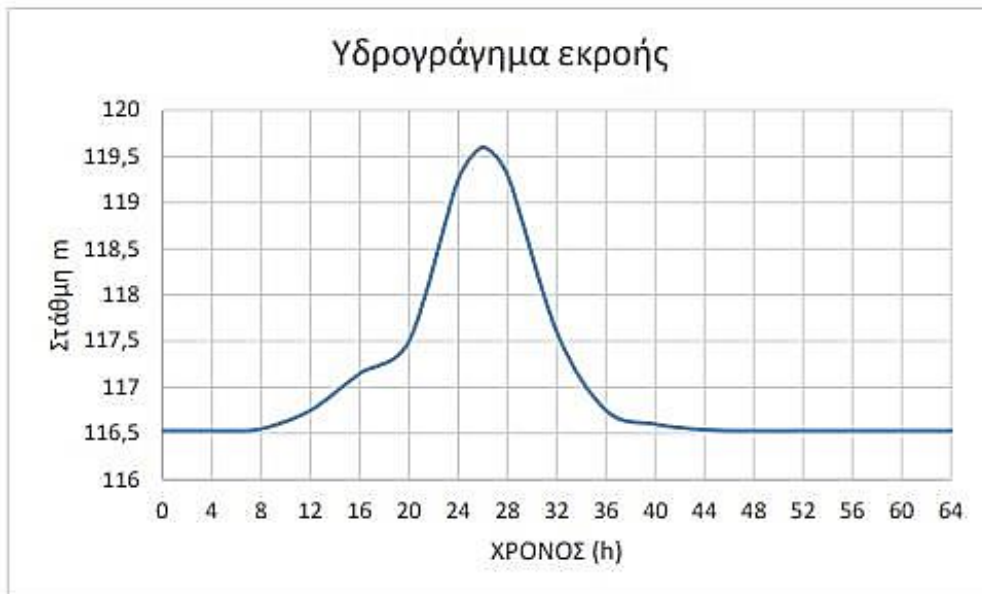
ΕΚΡΟΗ:

Παροχή αιχμής Q_{\max} (m ³ /s)	1555.7	1774.3	2167.1
Χρόνος πραγματοποίησης αιχμής t_2 (h)	26.0	26.0	26.0

Σημείωση: Ο όγκος V_1 αναφέρεται στο διάστημα μεταξύ των ωρών 1,0 και 34,0



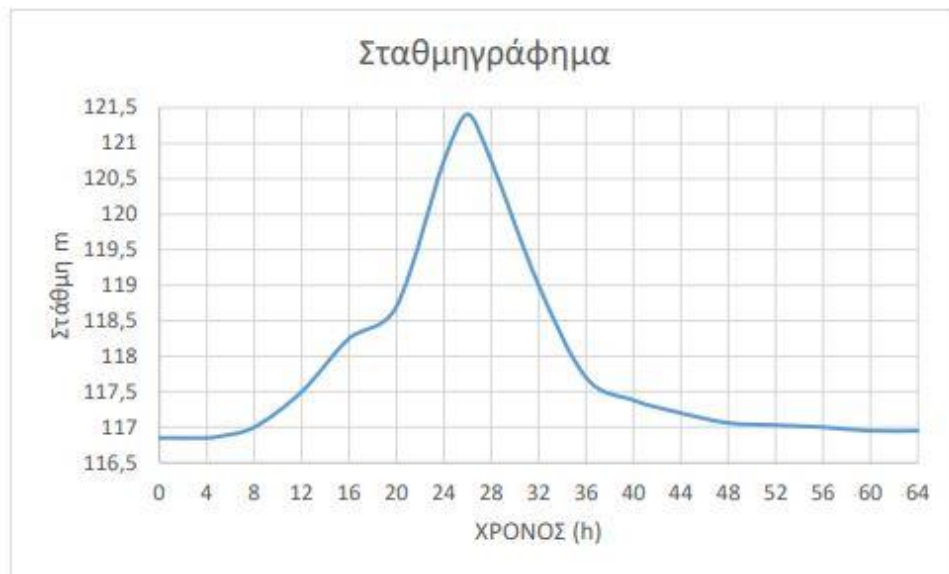
Υετογράφημα σχεδιασμού



Παροχή εκροής 1555,7 m³/s



Παροχή εισροής 1931,2 m³/s



Μέγιστη στάθμη ταμειυτήρα 121,41 m

Σχήμα 8.1 Υετογράφημα, υδρογραφήματα εισροής και εκροής σχεδιασμού υπερχειλιστή για περίοδο επαναφοράς 10.000 ετών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

9. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

9.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Από στοιχεία που συλλέχθηκαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω ενέργειες εξάχθηκαν κάποιες παρατηρήσεις – προτάσεις.

Τα μεγέθη των βροχοπτώσεων 24ωρών βροχών διαφόρων περιόδων επαναφοράς δεν μεταβάλλονται ουσιαδώς για περιόδους μέχρι $T=100$ σε σχέση με τα μεγέθη της έρευνας (1979). Όπου η μέγιστη πιθανή βροχόπτωση στο σταθμό Μαριτσών εκτιμάται από την υδρομετεωρολογική μέθοδο (για την αντίστοιχη περίοδο Hershfield $T=10.000$) σε περίπου 528mm. Ο υπολογισμός της P.M.P. της λεκάνης δεν ενδείκνυται να γίνει με 410 mm. Στην οποία έγινε η παραδοχή γραμμικής μείωσης της P.M.P. από Βορρά (Μαριτσά) προς Νότο (Κατταβιά). Η σύνθεση του μοναδιαίου υδρογραφήματος πρέπει να τεθεί σε νέες βάσεις (από το δυσμενέστερο) λόγω της εφαρμογής νέων παραμέτρων αλλά και της δυσμενούς κατανομής της 24ωρης βροχής. Έτσι μειώνεται σημαντικά ο χρόνος t_p και αντίστοιχα το χρονικό βήμα λαμβάνεται 1,0 ώρα αντί 2,0 ώρες, ενώ μετατίθεται η ωριαία αιχμή της βροχής στην δυσμενέστερη θέση. Η κατανομή των 24ωρών βροχών (ανά ώρα) έγινε με βάση τη σχέση $h=A t^{0,42}$ αντί $h=A t^{0,40}$ της σχέσης μελέτης (1979). Η εκτίμηση των πλημμυρικών παροχών έγινε με τη δυσμενέστερη χρονική διάταξη εντός του 24ωρου των επιμέρους υψών βροχής σε κάθε περίοδο επαναφοράς ώστε να προκύπτει η μεγαλύτερη δυνατή αιχμή του υδρογραφήματος. Τα μεγέθη πλημμυρών διάφορων περιόδων επαναφοράς και της μέγιστης πιθανής πλημμύρας προέκυψαν με την εφαρμογή των δυσμενέστερων συνδυασμών παραμέτρων.

Όπως αναφέρεται, οι παροχές πλημμυρών που υπολογίστηκαν είναι πολύ υψηλές για να συγκριθούν με αντίστοιχα μεγέθη σε άλλες περιοχές της Ελλάδας με παρόμοιο μέγεθος λεκάνης με εξαίρεση την Κρήτη στην οποία εφαρμόστηκε η ίδια μεθοδολογία υπολογισμού. Προέκυψε ότι η P.M.F. είναι σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερης από εκείνης της μελέτης (1979).

Στην παραπάνω παράγραφο της παρούσας αναφέρεται ότι εάν η πλημμυρική παροχή εκφράζεται ως:

$$Q = c f(A) \quad (59)$$

Όπου A είναι η έκταση της λεκάνης σε km^2 και Q η πλημμυρική παροχή σε (m^3/s) το c κυμαίνεται από 30-200 (200 το παγκόσμιο μέγιστο)

Στην Ελλάδα ο αντίστοιχος δείκτης C κυμαίνεται από 50 μέχρι 80.

Για την προτεινόμενη πλημμυρική παροχή ($P.M.P. = 528,5\text{mm}$ που αντιστοιχεί σε $(T = 10.000)$ $Q = 1931,2$ και $c = 75$, δηλαδή βρίσκεται στα ανώτερα όρια για την Ελλάδα.

Από υδρολογικές μελέτες που έχουν εκπονηθεί στον Ελληνικό χώρο προκύπτει ότι η μέγιστη πιθανή αιχμή πλημμύρας εκφράζεται από την σχέση

$$Q = c f(A) \quad (60)$$

Όπου A είναι η έκταση της λεκάνης απορροής σε mm^2 , Q η πλημμυρική παροχή σε (m^3/s) και το K να λαμβάνει μέγιστες τιμές από 130 έως 140. Για την περίπτωση $Q = 1931,2$ το K είναι περίπου 160.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Οι παροχές πλημμυρών στην περιοχή έρευνας είναι εξαιρετικά υψηλές και υπερβαίνουν σημαντικά τις αντίστοιχες πλημμυρικές παροχές σε άλλες περιοχές της Ελλάδας. Αυτό είναι εμφανές από την σύγκριση των πλημμυρικών παροχών που υπολογίστηκαν στην αρχική μελέτη του φράγματος το 1979 με αυτές που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα. Συγκεκριμένα, η πλημμυρική παροχή που υπολογίστηκε είναι σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερη της αρχικής μελέτης. Αυτό υποδηλώνει ότι η περιοχή βρίσκεται σε υψηλό κίνδυνο πλημμυρών και ότι οι υδρολογικές συνθήκες έχουν αλλάξει σημαντικά έκτοτε. Επιπλέον είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι η πλημμυρική παροχή που υπολογίστηκε είναι στο ανώτερο όριο των παροχών που έχουν καταγραφεί στις υπόλοιπες περιοχές στην Ελλάδα. Αυτό υποδηλώνει ότι η περιοχή αντιμετωπίζει ιδιαίτερα υψηλό κίνδυνο πλημμυρών, και απαιτείται προσεκτική και συνεχής παρακολούθηση και διαχείριση του υδρολογικού συστήματος της περιοχής. Η μέγιστη πιθανή αιχμή πλημμύρας προκύπτει από μια σχέση που λαμβάνει υπόψη την έκταση της λεκάνης απορροής. Η πλημμυρική παροχή εξαρτάται επίσης από τον παράγοντα c , ο οποίος κυμαίνεται από 30 έως 200, με τον δείκτη στην Ελλάδα να κυμαίνεται από 50 έως 80. Για την προτεινόμενη πλημμυρική παροχή της έρευνας ($P.M.P. = 528,5\text{mm}$, $T = 10.000$), η

πλημμυρική παροχή Q υπολογίστηκε στα 1931,2 m³/s και ο παράγοντας c στα 75, βρισκόμενος στα ανώτερα όρια για τον Ελλαδικό χώρο.

Παρόλο που η θραύση του φράγματος Γαδουρά δεν χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα επικίνδυνη, υπάρχει πιθανότητα να προκληθούν σοβαρές ζημιές σε ορισμένες περιοχές. Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι πιθανές συνέπειες και να εκπονηθούν σχέδια έκτακτης αντιμετώπισης για την προστασία των κατοίκων και των υποδομών στην περίπτωση πλημμύρας. Επίσης, η ενίσχυση των υδρολογικών μέτρων προστασίας, όπως η κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων όπως και η βελτίωση της υποδομής αποστράγγισης, είναι απαραίτητη για τη μείωση του κινδύνου πλημμυρών.

Συνολικά, τα ευρήματα της έρευνας υποδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω μελέτες και προσεκτική διαχείριση του υδρολογικού συστήματος στην περιοχή και οι υψηλές παροχές πλημμυρών και οι αλλαγές στις υδρολογικές συνθήκες απαιτούν τη λήψη αποτελεσματικών μέτρων πρόληψης και προστασίας.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βοζινάκη Α., Ένα Ολοκληρωμένο Σύστημα Εκτίμησης της Επικινδυνότητας και των Επιπτώσεων Πλημμυρικών Φαινομένων, Αθήνα 2014

Διακάκης Μ., Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2012

Διακάκης Μ., Μεταβολές στην Ένταση και την Κατανομή των φυσικών καταστροφών, Αθήνα 2011

Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία Ε.Μ.Υ.

Κωνσταντινίδης Δ. και Δ. Κουτσογιάννης, Υδρολογική μελέτη – Υπουργείο Γεωργίας Αθήνα 1986

Λαζαρίδης Λ., Δανιήλ Α., Μίχας Σ. και Κουτσογιάννης, Υδρολογική Μελέτη Ύδρευσης Ευρύτερης περιοχής Ρόδου, Υδραγωγείου και εγκαταστάσεων

καθαρισμού νερού από Φράγμα Γαδουρά, Γραφεία μελετών: Γραφείο Μαχαίρα, Καφετζόπουλος Γ. – Μπεκάκης Δ. – Πριντάτκο Ι. – Υπουργείο Περιβάλλοντος, χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Αθήνα 1998.

Θεουλάκης Κ., Δημιουργία Χαρτών Κινδύνου Πλημμύρας και Χαρτών Διακινδύνευσης Πλημμύρας με βάση την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2007/60 για τα νερά Αθήνα 2010

Κουτσογιάννης Δ., Στατιστική Υδρολογία έκδοση 3, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997

Κουτσογιάννης Δ., Σημειώσεις υδρομετεωρολογίας, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1998

Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος, Τεχνική Υδρολογία, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997

Λαζαρίδης Λ., Υδρολογική έρευνα υδατικού ισοζυγίου, Προμελέτη φράγματος Γαδουρά – Νομαρχιακό Ταμείο Δωδεκανήσου, Ρόδος 1979^α

Λαζαρίδης Λ., Υδρολογική έρευνα υδατικού ισοζυγίου, Προμελέτη φράγματος Γαδουρά – Νομαρχιακό Ταμείο Δωδεκανήσου, Ρόδος 1979^β

Λιτσίου Τζένη, Επικινδυνότητα Πλημμύρας και Αστική Ανθεκτικότητα, 2020

Φαντίδης θ., Ανάλυση μετεωρολογικών στοιχείων νομού Δωδεκανήσου, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Δωδεκανήσου, Ρόδος, 1997

ΑΕΓΕΚ, Φωτογραφικό Υλικό

Μαρίνος Π., Εργαστηριακές ασκήσεις τεχνικής γεωλογίας, Ε.Μ.Π. 1991

Μαρίνος Π. Αργιλικοί σχιστόλιθοι του φλύσχη και συμπεριφορά τους, Ε.Μ.Π. 2004

Μαρίνος Π., Γεωλογικά και Γεωτεχνικά θέματα κατά την κατασκευή του φράγματος Γαδουρά Ρόδου – Τεχνικά στοιχεία του έργου, Ε.Μ.Π. 2.000

Μίχας Σ., Δερματάς Δ. και Ευστρατιάδης Α., Διάλεξη 2^η: Γενική διάταξη φραγμάτων και συναφών έργων, Φράγματα – Υδραυλικές κατασκευές

Μίχας Σ., Δερματάς Δ. και Ευστρατιάδης Α., Διάλεξη 3^η: Γενική διάταξη φραγμάτων και συναφών έργων, Φράγματα – Υδραυλικές κατασκευές

Μίχας Σ., Δερματάς Δ. και Ευστρατιάδης Α., Διάλεξη 4^η: Γενική διάταξη φραγμάτων και συναφών έργων, Φράγματα – Υδραυλικές κατασκευές

Μίχας Σ., Δερματάς Δ. και Ευστρατιάδης Α., Διάλεξη 8^η: Γενική διάταξη φραγμάτων και συναφών έργων, Φράγματα – Υδραυλικές κατασκευές

Μαρίνος Π. Χριστοδουλοπούλου Τ. και Περγλέρος Β., Αργιλικόι σχιστόλιθοι του φλύσχη. Συμπεριφορά τους στη διάνοιξη της σήραγγας εκτροπής του φράγματος Γαδουρά Ρόδου. Οριστική μελέτη Φράγματος Γαδουρά 2.000 (Τεχνική Έκθεση)

Πιστρίκα Α., Εκτίμηση Άμεσης Πλημμυρικής Ζημιάς σε Δομημένο Περιβάλλον, Αθήνα 2010

Σαπουντζάκη κ., Δανδουλάκη Μ. Κίνδυνοι και Καταστροφές: Έννοιες και Εργαλεία Αξιολόγησης, Προστασίας, Διαχείρισης

ΥΑΣ (2012) Πλημμύρες: Οριοθετήσεις και Πιστωτικά Μέτρα. Υπηρεσία Αποκατάστασης Σεισμόπληκτων. Υπουργείο Μεταφορών και Δικτύων.

Φαντίδης .Θ Ανάλυση Μετεωρολογικών Στοιχείων Νομού Δωδεκανήσου , Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας , Τμήμα Δωδεκανήσου , Ρόδος , 1997^α

Λαζαρίδης , Λ , Υδρολογική έρευνα πλημμυρών , Προμελέτη φράγματος γαδουρά -Νομαρχιακό Ταμείο Δωδεκανήσου , Ρόδος 1979^β

Barrero JI, Major flood disasters in Europe: 1950-2005-2005.

Barrero JI, Normalized flood losses in Europe: 1970-2006

Guzzeti F., Tonelli G (2004) Information system on hydrological and geo

Martini F., Loat R., Handboook on good practices for flood mapping in Europe, Paris/Bern 2007

Method Hershfield – American Waterworks Association 1965

National Environmental Research Council (NERC) 1975

World Meteorological Organization 1986

Llasat M.C., Llasat-Botija M., Prat M.A., Porcu F., Price C., Mugnai A., Lagouvardos K., Kotroni V., Katsanos D., Michaelides S., Yair Y., Savvidoy K., Nicolaidis K., (2010b) High impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database. *Adv. Geosci.* 23, 47-55

Smith, K., & Ward, R. *Floods: Physical Processes and Human Impacts*, 1998

Ward & Robinson *Principles of Hydrology* 2000

Hoyois P., Scheuren J-M., Below R., Guha-Sapir D. *Annual Disaster Statistical Review: Numbers and Trends*, 2006

Kundzewicz and Kundzewicz: *Natural flood reduction strategies*, 2005

Barrer: *Journal of Fluids and Structures*, 2009

Genoves: *False Discovery Control in Large-Scale Spatial Multiple Testing*, 2006

Golian: *Monte Carlo analysis of the effect of spatial distribution of storms on prioritization of flood source areas*, 2010

<https://www.itia.ntua.gr/el/documents/2/>

https://www.hydroviz.org/Lessons/Index/UT/DryCanyonFFP?sectionID=2_5_3

