

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ : ΣΤΕ**  
**ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΓΑΔΟΥΡΑ  
ΡΟΔΟΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΤΡΙΓΕΝΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : Δρ. ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ**

**ΠΑΤΡΑ 2016**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας σημαντική βοήθεια αποτέλεσε η συνεργασία από πρόσωπα του Ιδρύματος καθώς και η συνεργασία με την διοίκηση και τους τεχνικούς της κατασκευάστριας εταιρίας του Φράγματος Γαδουρά Ρόδου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της και ιδιαίτερα την επιβλέπουσα καθηγήτρια Δρ. Βγενοπούλου Ειρήνη , για την εμπιστοσύνη και συμπαράσταση που μου έδειξε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας καθώς και για την πολύτιμη βοήθεια που προσέφερε σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Στόχος της εργασίας είναι υδρολογική έρευνα πλημμυρών συγκριτικά με παλαιότερα αποτελέσματα και οι αποκλίσεις που προκύπτουν από τότε μέχρι σήμερα. Όμως γίνεται και ανάλυση του Φράγματος και των επιμέρους λειτουργιών του. Με την ολοκλήρωση του έργου και την λειτουργία του αυτομάτως λύνει σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της υδροδότησης του νησιού αλλά και των γύρω περιοχών. Ένα πρόβλημα το οποίο οξύνεται τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω του υπέρογκου αριθμού τουριστών που επισκέπτονται το νησί της Ρόδου.

Κλείνοντας δίνονται οι τελικές απόψεις που συλλέχθηκαν από τους αναδόχους μελετητές οι οποίες είναι οι παρατηρήσεις τους και οι προτάσεις τους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται ανάλυση και επεξεργασία των κύριων τμημάτων του φράγματος, τα υλικά κατασκευής του και των τεχνικών στοιχείων του.

Στο Κεφάλαιο 2 μελετάμε την μορφολογία του εδάφους στο οποίο κατασκευαστικέ το φράγμα αλλά και γενικά της ευρύτερης περιοχής του νησιού.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων των βροχοπτώσεων με στόχο την εκτίμηση των χαρακτηριστικών των βροχοπτώσεων σχεδιασμού.

Στο κεφάλαιο 5 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.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται η διόδευση των πλημμυρών από τον υπερχειλιστή του φράγματος με στόχο την εκτίμηση εκροής του υπερχειλιστή.

Στο κεφάλαιο 7 αναγράφονται κάποιες παρατηρήσεις και συμπεράσματα – σύγκρισης με αποτελέσματα παλαιότερων υδρολογικών μελετών που έχουν γίνει για το φράγμα γαδουρά.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>6</b>
1.1 Γενικά στοιχεία του έργου.....	6
1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά φράγματος.....	7
1.3 Υλικά κατασκευής φράγματος.....	8
1.4 Κύρια τμήματα του έργου.....	9
1.4.1 Σήραγγα εκτροπής.....	10
1.4.2 Πρόφραγμα.....	13
1.4.3 Κυρίως φράγμα.....	15
1.4.3.1 Τύπος φράγματος και χάραξη άξονα.....	15
1.4.3.2 Πυρήνας φράγματος .....	16
1.4.3.3 Κελύφη.....	19
1.4.3.4 Φίλτρα και στραγγιστήρια.....	21
1.4.3.5 Λιθορριπή προστασίας.....	22
1.4.4. Αυχενικό φράγμα.....	23
1.4.5. Σύστημα υπερχείλισης.....	26
1.4.6. Σήραγγες αποστάγισης.....	27
1.4.7 Οδοποιία.....	28
1.5 Σύστημα οργάνων.....	29

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Γεωμορφολογία.....	30
2.2 Γεωλογία.....	31
2.3 Στρωματογραφία.....	32
2.4 Τεκτονική.....	34
2.5 Υδρογεωλογία.....	35
2.6 Γεωλογία στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος.....	37
2.7 Σεισμικότητα περιοχής.....	37

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

#### ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

3.1 Γενικά ιστορικό και Διόρθωση μελέτης.....	38
3.2 Χαρακτηρίστηκα λεκάνης απορροής.....	41
3.3 Χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα και του υπερχειλιστεί.....	43
3.4 Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί .....	45

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Εκτίμηση βροχόπτωσης σχεδιασμού.....	46
4.1 Πιθανή μέγιστη κατακρήμνιση – Μέθοδος Hershfield.....	46
4.2 Πιθανή μέγιστη κατακρήμνιση – Υδρομετεωρολογική μεθοδολογία... ..	50
4.2.1 Γενική περιγραφή της μεθόδου.....	50
4.2.2 Δεδομένα για την εφαρμογή της μεθόδου .....	52
4.2.3 Μέγιστα σημεία δρόσου.....	52
4.2.4 Εκτίμηση της ΠΜΚ.....	56
4.3 Πιθανότητα ανάλυση ακραίων βροχοπτώσεων.....	59

4.3.1 Γενική περιγραφή της μεθόδου.....	59
4.3.2 Εφαρμογή της μεθόδου.....	63
4.4 Επίδραση της διάρκειας βροχής στο μέγεθος της βροχόπτωσης.....	65
4.5 Συζήτηση και συμπεράσματα του κεφαλαίου.....	68
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	
5. Εκτίμηση πλημμύρας σχεδιασμού.....	69
5.1 Μοναδιαίο υδρογράφημα.....	69
5.2 Καταιγίδες σχεδιασμού.....	72
5.3 Απώλειες – Ωφέλιμη βροχή.....	73
5.4 Βασική ροή – Τήξη χιονιού.....	74
5.5 Περίοδοι επαναφοράς.....	75
5.6 Υπολογισμοί και αποτελέσματα.....	75
5.7 Συγκρίσεις.....	76
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	
6 Διόδευση πλημμύρας υπερχειλιστή.....	77
6.1 Μέθοδος διόδευσης.....	77
6.2 Καμπύλη στάθμης – όγκου ταμιευτήρα.....	79
6.3 Καμπύλη στάθμης - παροχής υπερχειλιστή.....	79
6.4 Αποτελέσματα διοδεύσεων.....	79
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b>	
7. Γενικές Παρατηρήσεις και προτάσεις.....	82
7.1 Γενικές Παρατηρήσεις.....	82
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ.....</b>	<b>84.</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

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 υπογείου 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.

#### **1.1. Γενικά στοιχεία του έργου**

Το Χωμάτινο Φράγμα Γαδούρα 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 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.

## 1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά φράγματος

Τα βασικά στοιχεία του ταμιευτήρα είναι :

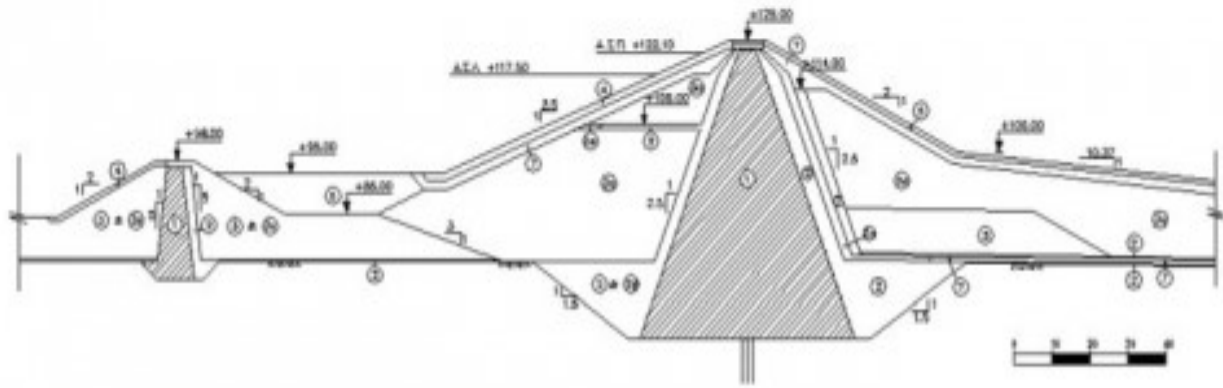
- Συνολική χωρητικότητα :  $67.5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Ωφέλιμη χωρητικότητα :  $60 \times 10^6 \text{ m}^3$
- Μέγιστη επιφάνεια :  $5.2 \text{ km}^2$
- Λεκάνη απορροής :  $148 \text{ km}^2$   
( 11 % της συνολικής έκτασης του νησιού)
- Στέψη φράγματος : + 125 m
- Μέγιστη παροχή πλημμύρας :  $1.500 \text{ m}^3/\text{sec}$
- Παροχή υπερχειλιστεί:  $890 \text{ m}^3/\text{sec}$
- Μέση ετήσια απορροή:  $32.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$
- 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 :

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

Τυπική διατομή του σώματος του φράγματος , όπου φαίνονται οι διαφορές ζώνες αναχωμάτων , παρατίθεται στο **Σχήμα 1.1**



1	Πυρήνας	Core
2	Φίλτρο	Filter
2a	Στραγγιστήριο	Drain
3	Κάλυψη (αμμοχάλικο ποταμού)	Shells (sand and gravel)
3a	Κάλυψη (κροσκόλιθος)	Shells (conglomerate)
4	Ζώνη κυματοπροστασίας	Rip-rap
5	Ζώνη προστασίας κατόντη πρανής	Downstream slope protection zone
6	Ανορθώμαδος (τυχαία υλικά)	Berms (random materials)
7	Κατόντη οριζόντιο στραγγιστήριο	Downstream horizontal drain

### 1.3 Υλικά κατασκευής φράγματος

Οι ζώνες αναχώματος καθορίζονται ως εξής :

Ζώνη 1 : Πυρήνας πάχους στρώσης 20 cm από αδιαπέραστα υλικά που λαμβάνονται

από δανειοθαλάμους της γύρω περιοχής.

Ζώνη 2 : Φίλτρο – μεταβατική ζώνη πάχους 40 cm από λεπτοκοκκώδη αμμοχάλικα

επεξεργασμένα με ανάμιξη, πλύσιμο ή και κοσκίνισμα.

Ζώνη 2α : Λεπτόκοκκο στραγγιστήριο πάχους 40 cm από λεπτοκοκκώδη αμμοχάλικα

με μέγιστο μέγεθος κόκκου 25 mm που λαμβάνονται απλό εγκεκριμένους δανειοθαλάμους της γύρω περιοχής .

Ζώνη 2β : Λεπτόκοκκο φίλτρο πάχους 40 cm απλό λεπτόκοκκώδη 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 δανειοθαλάμους , καθώς και υποπροϊόντα επεξεργασίας των φίλτρων και των αδρανών του σκυροδέματος,

Ζώνη 4 : Λιθορριπή προστασίας ανάντη πρανούς , υλικά διαστάσεως 100 cm, από λατομημένο ασβεστόλιθο και ψαμμίτη.

Ζώνη 5 : Στρώση προστασίας ανάντη πρανούς , από κροκάλες και λίθους διάστασης 20 cm , που λαμβάνονται από επεξεργασμένα υλικά εγκεκριμένων δανειοθαλάμων ή και λατομείων.

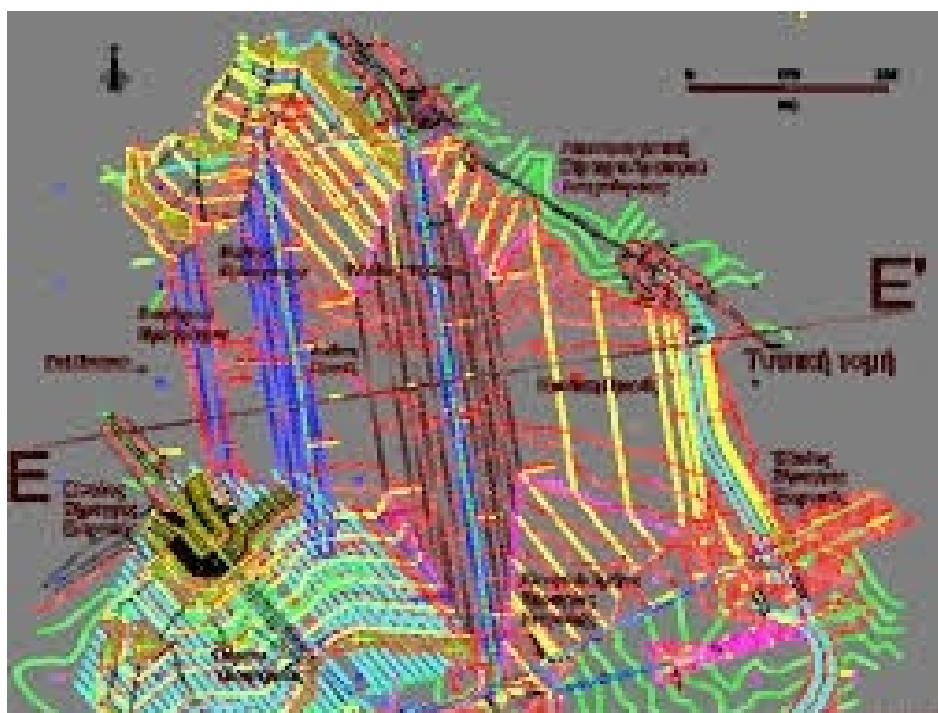
Ζώνη 6 : Ζώνη αναχώματος από τυχαία υλικά που λαμβάνονται από εκσκαφές αποθέσεων ποταμού ή δανειοθαλάμους.

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

Ζώνη 8 : Στρώση βάσεως οδοποιίας διαβαθμισμένων και επεξεργασμένων χαλικιών.

#### **1.4 Κύρια τμήματα του έργου**

Στο **Σχήμα 1.2** παρουσιάζεται μια κάτοψη της ευρύτερης περιοχής του φράγματος, όπου εμφανίζονται τα κυριότερα τμήματα του έργου



Σχ. .1.2 Κάτοψη τυπικής διατομής της ευρύτερης περιοχής του φράγματος

#### 1.4.1. Σήραγγα εκτροπής

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 αποσαθρωμένου αργλικού 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 1.1 Είσοδος σήραγγας εκτροπής

Η σήραγγα αποτελείται από 3 τμήματα όπως φαίνονται και στο Σχήμα 1.2

- Το τμήμα εισόδου ( Εικόνα 1.1 ) μήκος 47.50 m αποτελείται από αγωγό σκυροδέματος ο οποίος επανεπιχώνεται έως την αρχική επιφάνεια του εδάφους.
- Το τμήμα εξόδου, μήκους 44.25 m που αποτελείται επίσης από αγωγό από σκυρόδεμα.
- Το κυρίως και μεγαλύτερο τμήμα , μήκους 596.73 m

Στα στόμια εισόδου και εξόδου διατηρήθηκε αργιλικός σχιστόλιθος μέτριας έως υψηλής αποσάθρωσης αντίστοιχα ενώ στο μεσαίο τμήμα της σήραγγας ο αργιλικός σχιστόλιθος εμφανίζεται με πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κρίθηκε επιβεβλημένη η προ ενίσχυση της διάτρησης των στομιών με τη χρήση δοκών προ πορείας ( Εικόνα 1.2 ) , για την αποφυγή πιθανών αστοχιών, αλλά και προβλημάτων ευστάθειας στα μέτωπα , κατά τα 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 υπερκείμενων (  $H = 47$  m).

Για τον υπολογισμό της μόνιμης επένδυσης από οπλισμένο σκυρόδεμα θεωρείται ότι , παράλληλα με την ανάληψη των 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 1.2 : Εκσκαφή σήραγγας εκτροπής

Για να εξασφαλιστεί η επαφή βραχώμαζας – επένδυσης ιδιαίτερα στην οροφή της σήραγγας όπου συνήθως παρατηρούνται κενά μετά την σκυροδέτηση, προβλέφθηκε να εκτελεστούν τσιμεντενέσεις 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 1.3 )



Εικόνα 1.3 : Στόμιο εκκένωσης και υδροληψίας

- Το στόμιο εκκένωσης και παροχέτευσης φερτών ( αλλά και υδροληψίας ) ΥΕ , που βρίσκεται σε στάθμη στέψης +99.00 m
- Τα στόμια υδροληψίας ( αλλά και εκκένωσης όταν απαιτείται ) Υ1 , Υ2 και Υ3 με αντίστοιχες στάθμες στέψης +99.00 , +104.50 , +111.50 m.

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

#### 1.4.2 Πρόφραγμα

Η εκτροπή του ποταμού μέσα από τη σήραγγα εκτροπής και η προστασία του χώρου κατασκευής του φράγματος από το νερά του ποταμού , ώστε η κατασκευή του έργου να πραγματοποιηθεί “εν ξηρό “, έγινε με την 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 1.4:**

- 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 + 85.00m και 2:1 πάνω από το υψόμετρο + 85.00m μέχρι και 2:1 πάνω από το υψόμετρο + 85.00m μέχρι τη στέψη + 125.00m.

Το πρόφραγμα εκτός από την προστασία των έργων κατά τη φάση κατασκευής , χρησιμοποιήθηκε και ως δοκιμαστικό ανάχωμα για μέτρηση της πίεσης των πόρων και των καθιζήσεων στη θεμελίωση του, λόγω της επιβολής του φορτίου από τα υπερκείμενα υλικά του αναχώματος. Οι μετρήσεις γίνονταν 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 , +95.00 και +98.00 m, αντίστοιχα. Με αυτήν τη διαδικασία καθίσταται δυνατή η συλλογή και αξιολόγηση των μετρήσεων και η εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατασκευή του φράγματος.

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



Εικόνα 1.4 Βοηθητικό - κύριο ανάντη 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 αυτόν των άλλων έργων, θεωρήθηκε ότι το πρόφραγμα έπρεπε να κατασκευαστεί από υλικά παρόμοια με αυτά του φράγματος.

Η στεγανότητα του προφράγματος εξασφαλίστηκε με κεντρική ζώνη πυρήνα από αδιαπέραστο υλικό. Η θεμελίωση του προφράγματος έγινε σε τάφρο βάθους 5m, που εκσκάφτηκε εγκάρσια στην κοίτη του χειμάρρου. Εκτιμήθηκε πως δεν ήταν απαραίτητη η εκτέλεση τσιμεντενέσεων στεγανοποίησης στη θεμελίωση του προφράγματος.

### **1.4.3 Κυρίως φράγμα**

#### **1.4.3.1. Τύπος φράγματος και χάραξη άξονα**

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 αποθέσεων ( αμμοχάλικα κοίτης και παλαιών αναβαθμίδων καθώς και λεπτόκοκκα υλικά ) επέβαλλε την κατασκευή χωμάτινου φράγματος με πυρήνα από

αδιαπέρατο υλικό και κελύφη φράγματος από αμμοχάλικα.

Η θέση του φράγματος προσδιορίστηκε με στόχο:

- Την ελαχιστοποίηση του όγκου του αναχώματος .
- Τη μεγιστοποίηση του όγκου του ταμιευτήρα .
- Την καλύτερη διάταξη των επιμέρους τεχνικών έργων .

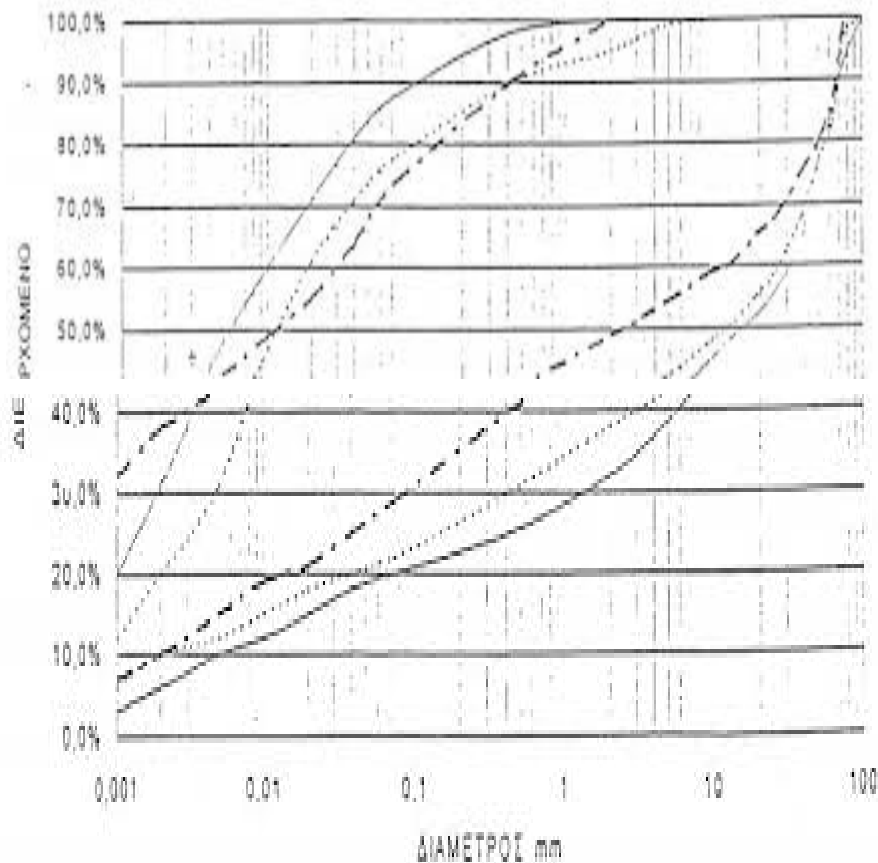
Στις επόμενες ενότητες γίνεται μια απλή περιγραφή των επιμέρους ζωνών του σώματος του φράγματος , των βασικών ιδιοτήτων τους , του τρόπου δειγματοληψίας διαλογής , παρασκευής , μεταφοράς , διάστρωσης και συμπύκνωσης των υλικών στο σώμα του φράγματος και των απαιτήσεων σε υγρασία ή διαβροχή των υλικών,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

#### 1.4.3.2. Πυρήνας φράγματος

Το υλικό για τον πυρήνα του φράγματος προέρχεται από δανειοθαλάμους αδιαπέρατου υλικού , που βρίσκονται κοντά στη θέση του φράγματος και μέσα στη ζώνη κατάκλισης του ταμιευτήρα. Η διεύρυνση για καταλληλόλητα και επάρκεια του υλικού έγινε με την εκσκαφή σκαμμάτων , για προσδιορισμό αφενός του βάθους στο οποίο απαντάται και αφετέρου της μακροσκοπικής του σύστασης. Στα σκάμματα έγινε δειγματοληψία υλικού από διαφορά 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 **Σχήμα 1.3**.





Σχήμα 1.3 Κοκκομετρικές καμπύλες υλικού Ζώνη 1

Στα υλικά των δανειοθαλάμων έγιναν εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού των χαρακτηριστικών τους ιδιοτήτων και θεωρήθηκαν κατάλληλα για τοποθέτηση στον πυρήνα του φράγματος ( Ζώνη 1 ).Υλικά που περιέχουν λεπτόκοκκο κλάσμα ( διερχόμενο από το κόσκινο Νο.4 ) μεγαλύτερο του 40% ταξινομούνται στην ομάδα CL (άργιοι χαμηλής πλαστικότητας) στο χάρτη πλαστικότητας και δεν περιέχουν οργανικές ουσίες. Οι έρευνες έδειξαν επάρκεια του αδιαπέρατου υλικού για τις ανάγκες κατασκευής του πυρήνα του φράγματος του προφράγματος και του αυχενικού φράγματος.

Λαμβάνοντας υπόψιν τη σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής και την ποιότητα των πετρωμάτων στην 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 φράγματος .

Ο πυρήνας θεμελίωσης σε τάφρο ώστε η θεμελίωση να γίνει σε καλύτερης ποιότητας πέτρωμα. Η εκσκαφή της τάφρου του πυρήνα σχεδιάστηκε έτσι ώστε η κατά μήκος κλίση της τάφρου

να είναι κατά το δυνατόν ενιαία και ίση με 1:1.5 σε κάθε αντέρισμα.

Ο αργιλικός σχιστόλιθος που εμφανίζεται στον πυθμένα της τάφρου 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 2.00x1.50 m.

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

Οι διατρήσεις των οπών τσιμεντενέσεων και η εργασία τσιμεντενέσεων εκτελέστηκαν μετά τη διάστρωση του τάπητα από σκυρόδεμα πλάτους 8m. Η τσιμεντένεση των οπών γινόταν σε δύο στάδια ει πίεσης ( από 0-5 m και 5-10 m αντίστοιχα ) και με πιέσεις όπως αυτές αναφέρονται στον

### Πίνακα 1.1

Πίνακας 1.1 Στάδια και πιέσεις μονομέτρου

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 4500 cm<sup>2</sup>/g. Σε περιπτώσεις που απαιτήθηκε προσθήκη μπετονίτη από μίγμα 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 από τη χρήση του αιωρήματος .

Σε κάθε σειρά γινόταν διατήρηση των οπών και τσιμεντένεση ανά 6.00 m και ακολουθήθηκε , σε δεύτερη φάση , η εκτέλεση τσιμεντενέσεων στις υπόλοιπες οπές της 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 1.5** ) δεν υπήρχαν ιδιαίτερες απορροφήσεις πλην του αριστερού αντερείσματος με αποτέλεσμα να απαιτηθεί περαιτέρω γεωλογική έρευνα με την εκτέλεση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και δοκιμών ει πίεσης ( Lugeon ).

Εικόνα 1.5 :Τσιμεντενέσεις τάπητα (ΑΕΓΕΚ , 2001)



Πριν την έναρξη θεμελίωσης του πυρήνα και προκειμένου να εξεταστεί το υλικό της Ζώνης 1 ( άργιλος ) καθώς επίσης και ο τρόπος διάστρωσης , διάβροχης και επεξεργασίας όπως και τα χρησιμοποιούμενα μέσα ( δισκοσβάρνα , κατσκοπόδαρο CAT -852 ), αριθμός διελεύσεων πραγματοποιήθηκε κατασκευή δοκιμαστικού αναχώματος .Μετά από εργαστηριακό έλεγχο της επιτυγχανόμενης συμπίκνωσης και της υγρασίας της αργίλου του δοκιμαστικού αναχώματος εγκρίθηκε η χρήση του αργλικού υλικού των μέσων καθώς και της διαδικασίας που ακολουθήθηκε στην κατασκευή του δοκιμαστικού αναχώματος.

Η παρακάτω διαδικασία ( **Εικόνα 1.6** ) περιλαμβάνει :

- Άνοιγμα της υπάρχουσας στρώσης αργίλου με διέλευση κατσκοπόδαρου
- Απόθεση αργλικού υλικού με ταυτόχρονο υδροψεκασμό
- Διάστρωση της σωρού αργλικού υλικού σε στρώσεις πάχους 20 cm με ταυτόχρονο υδροψεκασμό από προώθηση CAT -D8R.
- Άνοιγμα της νεοδιαστρωμένης αργίλου με μια διέλευση δισκοσβάρνας
- Διαβροχή της νεοδιαστρωμένης αργίλου με διελεύσεις του βυτίου νερού ( ο αριθμός διελεύσεων εξαρτάται από την φυσική υγρασία της αργίλου , σε σχέση με την βέλτιστη που έχει εξακριβωθεί εργαστηριακά).
- Συμπύκνωση με 12 διελεύσεις κατσκοπόδαρου CAT-825

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται από την αρχή όταν ολοκληρωθεί η στρώση της αργίλου σε όλη την επιφάνεια της εκάστοτε στέψης του πυρήνα.

Το υλικό στο δανειοθάλαμο έχει φυσική υγρασία κοντά στη βέλτιστη. Σε πολλές περιπτώσεις απαιτήθηκε ελαφρά ύγρανση στο δανειοθάλαμο και στο ανάχωμα του φράγματος κατά την διάστρωση . Η υγρασία κατά τη συμύκνωση πρέπει να βρίσκεται μεταξύ 2% και 3% της βέλτιστης.

#### 1.4.3.3. Κελύφη

Το υλικό για τα κελύφη ( σώματα στήριξης ) του φράγματος προήλθε από δανειοθαλάμους αμμοχάλικων που βρίσκονται κοντά στη θέση του φράγματος . Η διερεύνηση για καταλληλόλητα 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 0.40m ίση με το πάχος της στρώσης μετά την συμύκνωση της.



Εικόνα 1.6 Γενική άποψη φράγματος κατά την κατασκευή του

Το υλικό στα σώματα στήριξης του , φράγματος διαστρώνεται και συμπυκνώνεται σε οριζόντιες στρώσεις , πάχους μικρότερου ή ίσου με 0.40m ( μετά την συμπύκνωση ), με τέσσερις τουλάχιστον διελεύσεις δονητικού κυλινδροσυμπυκνωτή ( από πλήρη δόνηση ), ώστε να επιτυγχάνεται ο βαθμός συμπύκνωσης που προβλέπεται στη σχετική μελέτη.

Η θεμελίωση του σώματος του φράγματος έγινε στην επιφάνεια του πετρώματος , το οποίο αποκαλύφθηκε μετά από μικρού βάθους ( της τάξης του 1.0m ) επιφανειακό καθαρισμό των χαλαρών , αποσαθρωμένων και οργανικών υλικών. Τοπικά απαιτήθηκε ελαφρά εξομάλυνση της επιφάνειας ώστε να μην υπάρχουν τμήματα με απότομες κλίσεις.

#### **1.4.3.4. Φίλτρα και στραγγιστήρια**

**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 1.7** ) 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 δανειοθαλάμου με αμμοχάλικα ποταμού.

Η διάστρωση και συμπύκνωση των υλικών έγινε σε οριζόντιες στρώσεις , πάχους 0.4m. Σύμφωνα με την μελέτη , το υλικό του φίλτρου πρέπει να είναι ελαφρώς υγρό κατά τη μεταφορά, εκφόρτωση και διάστρωση ώστε να αποφευχθεί η συσσώρευση μεγάλων κόκκων στις

παρυφές των σωρών εκφόρτωσης.



**Εικόνα 1:7 Ζώνες φίλτρων – στραγγιστηριών**

#### **1.4.3.5. Λιθορριπή προστασίας**

Η προστασία του ανάντη πρανούς του αναχώματος από τους κυματισμούς του νερού στον ταμιευτήρα επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση μιας 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  $D_{max} = 0.70m$ . Το πάχος της λιθορριπής προστασίας ορίζεται σε 1 m, 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 1.8. Λιθορριπή προστασίας

#### 1.4.4. Αυχενικό φράγμα

Το αυχενικό φράγμα ( Εικόνα 1.9 ) τοποθετείται 700m περίπου νοτιοδυτικά από το κυρίως φράγμα και μαζί με τη στέψη του υπερχειλιστεί κλείνουν την ισοϋψή των +117.5m που είναι η ανώτατη στάθμη λειτουργίας της λεκάνης κατάκλισης . Το καθαρό μήκος του αυχενικού φράγματος είναι περίπου 140m και η στέψη του στο +125m .

Η κλίση των πρανών του αυχενικού φράγματος είναι 2:1 ενώ στο επίπεδο +115.00m 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 3.00m 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 1.00m που θα εκτείνεται μέχρι 20.00m από τον άξονα του σώματός του. Στην

κατάντη παρειά του πυρήνα τοποθετείται ζώνη φίλτρου πάχους 2m με στέψη στα +121.00m .



(Εικόνα 1.9) Κατασκευή Αυχενικού φράγματος





#### 1.4.5 Σύστημα υπερχειλίσης

Το σύστημα υπερχειλίσης ( **Εικόνα 1.10** ) 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 +115.00m . Το τμήμα της διώρυγας πλησίον του έργου υπερχειλίσης επενδύεται με οπλισμένο σκυρόδεμα αγκυρωμένο στο πέτρωμα με ράβδους αγκύρωσης. Το νερό καθοδηγείται στο έργο υπερχειλίσης με δύο πλευρικούς τοίχους από σκυρόδεμα. Ο υπερχειλιστείς είναι μετωπικός πλάτους 36.60m και ύψους σχεδιασμού 4.50m. 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 111.00m με πλάτος κυμαινόμενο μεταξύ 31.00 και 15.00m. Η διώρυγα θα έχει κλίση 8% και μετά μια συναρμογή μήκους 7m θα περνάει σε κλίση 20%.

Η διατομή θα αποτελείται από πλάκες με εγκάρσιες και διαμήκεις οδοντώσεις και κατακόρυφους πλευρικούς τοίχους αντιστήριξης με αρμούς περίπου ανά 10m. Η διώρυγα θα εδράζεται σε στρώση διαπερατής επίχωσης πάχους 1.50m.

Η λεκάνη ηρεμίας θα κατασκευασθεί ως ανάποδο Π πλάτους 15.00m και θα έχει συνολικό μήκος 96.50m.

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 950m. 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 200m με συρματοκιβώτια.



Εικόνα 1:10 Σύστημα υπερχείλισης

#### 1.4.6 Σήραγγες Αποστράγγισης

Για την αποστράγγιση των αντρεισμάτων κατόπιν του άξονα του φράγματος κατασκευάστηκε σύστημα σήραγγων αποστράγγισης και στα δύο αντρείσματα. Οι σήραγγες έχουν κυκλικό θόλο και ορθογώνιο δάπεδο , εσωτερικού πλάτους 2.5m.

Στο αριστερό αντρείσμα κατασκευάστηκε σήραγγα συνολικού μήκους 380m, από τα οποία τα 230m είναι για προσπέλαση και τα υπόλοιπα 150m για αποστράγγιση.

Στο δεξιό αντρείσμα η σήραγγα έχει μήκος 330m (130m προσπέλασης και 200m αποστράγγισης ) και θα παροχετεύει τα νερά της αποστράγγισης στη σήραγγα υδροληψίας – εκκένωσης.

Στις σήραγγες αποστράγγισης ο σχεδιασμός προέβλεπε τοποθέτηση χαλύβδινων πλαισίων σε αποστάσεις 1.0m μεταξύ τους και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με μεταλλικές ίνες ελαχίστου πάχους 5cm στο θόλο και στις παρειές . Απαιτήθηκε πύκνωση των πλαισίων και νέες στρώσεις εκτοξευμένου σκυροδέματος στο θόλο , τις παρειές και το δάπεδο , πάχους 15cm. Η μόνιμη επένδυση της σήραγγας έγινε από οπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 και πάχους 10cm στο θόλο ενώ στο δάπεδό κατασκευάστηκε μικρό κανάλι για την απορροή των υδάτων αποστράγγισης.



Εικόνα 1.11 Αποστραγγιστική σήραγγα

#### **1.4.7 Οδοποιία**

Στη στέψη του φράγματος προβλέπεται η κατασκευή οδού , με αργιλικό τάπητα για διέλευση οχημάτων και πεζών . Δεξιά και αριστερά της οδού θα τοποθετηθούν περιφράγματα ασφαλείας , καθώς και στύλοι φωτισμού.

Κατασκευάστηκε ( βάση – υπό βάση , όχι ασφαλιστικά ) οδός για προσπέλαση στο έργο από την υπάρχουσα εθνική οδο που είναι πάνω από τη γέφυρα του υπερχειλιστεί προς τη στέψη του φράγματος , το κτίριο διοίκησης και στη συνέχεια προς τον πόδα του φράγματος και την είσοδο της αριστερής αποστραγγιστικής σήραγγας. Ο δρόμος στον πόδα του φράγματος προβλέπεται στο υψόμετρο +77.00m

## 1.5 Συστήματα οργάνων

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 :

- Πέντε κλισιόμετρα για τη μέτρηση των πλευρικών μετακινήσεων.
- Δεκατέσσερα όργανα για συνδυασμένη μέτρηση πλευρικών μετακινήσεων και καθιζήσεων
- Δώδεκα πιεζομετρικά φρέατα , πλήρη με σωλήνες και εξαρτήματα συμπεριλαμβανομένου ηλεκτρικού σταθμημέτρου.
- Έξι πιεζόμετρα φρέατα τύπου Casagrande πλήρη με σωλήνες και εξαρτήματα συμπεριλαμβανομένου ηλεκτρικού σταθμημέτρου.
- Σύστημα μέτρησης της πίεσης των πόρων με 40 ηλεκτρικά πιεζόμετρα τύπου δονούμενης χορδής , το οποίο περιλαμβάνει πιεζομετρικά κύτταρα , καλώδια εξαρτήματα και συσκευή ανάγνωσης μετρήσεων.
- Έξι βάθρα τριγωνομετρικών σημείων , πλήρη με όλα τα εξαρτήματα.
- Δεκαοκτώ βάθρα για μετρήσεις κατακόρυφων και οριζόντιων μετακινήσεων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

# **ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ**

### **2.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ**

Η **περιοχή κατασκευής** του φράγματος γαδουρά βρίσκεται στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της νήσου (σχήμα 2.1).

Η **οριστική θέση του φράγματος** και των παραλλήλων με αυτό έργων τοποθετείται περίπου 10 km ανάντη της εκβολής του ποταμού γαδουρά.

Η **λεκάνη απορροής του φράγματός** καλύπτει μια έκταση 147,7 km. Η μορφολογία χαρακτηρίζεται ως λοφώδης έως ημιορεινή εκτεινόμενη σε υψόμετρα από +77.25 (στάθμη κοίτης φράγματος ) έως +650.00m περίπου,

Σύμφωνα με την οριστική μελέτη του φράγματος γαδούρα, 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 αντερεισμάτων του φράγματος τα φυσικά πρηνή αναπτύσσονται με κλίσεις 10 – 20 με ομαλή δηλαδή διαμόρφωση.



Σχ. 2.1 Θέση φράγματος

## 2.2 Γεωλογία

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” μολασσοειδών αποθέσεων.

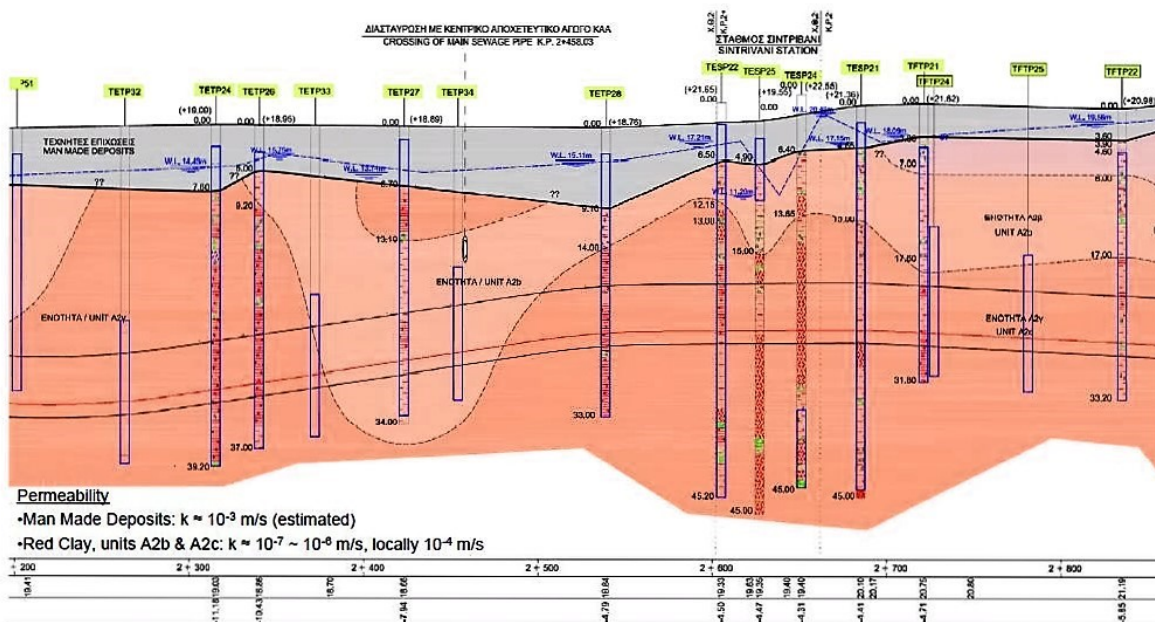
Η ανάπτυξη των θλιπτικών τάσεων από την αφρικανική προς την ευρασιατική λιθοσφαιρική πλάκα αποτελεί γεγονός τουλάχιστον από την εποχή των πρόσφατων αυτών ουρογεννητικών κινήσεων έως και σήμερα καθιστώντας τον χώρο του νοτίου και νοτιοανατολικού Αιγαίου πεδίο θλιπτικών τάσεων στην νότια παρειά του και 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 και 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 Ιονίου ζώνης συμπλέκονται με παλαιές και πρόσφατες ιζηματογενείς δομές με ένα πλήθος τεκτονικών και στρωματογραφικών αλληλουχιών.

Στο **σχήμα 2.2** απεικονίζεται η γεωλογική τομή AA' της ευρύτερης περιοχής του φράγματος.



Σχ. 2.2 Γεωλογική τομή στην περιοχή του φράγματος.

### 2.3 Στρωματογραφία

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:**

- Ενότητα E1 (Πρόσφατες αποθέσεις)  
Αλλούβια και κολλούβια προσφάτων αποθέσεων, αποτελούμενα από άμμους, χαλίκια και κροκάλες της κοίτης του ποταμού, αποθέσεις αναβαθμίδων, και πλευρικά κορήματα .Εμφανίζουν χαλαρή δομή και σχετικά πάχος.
- Ενότητα E2 (Σχηματισμός περιοχής Σγούρου)  
Πλειστοκαινικά αδιαβάθμητα ιζήματα με ευρύ κοκκομετρικό φάσμα ( μάργες ,ιλύες, άμμοι και χαλίκια), παράκτιας φάσης ,που συναντώνται στο ανατολικότερο τμήμα της λεκάνης του φράγματος.

### **Πλειόκαινο:**

- Ενότητα E3 (Λεβαντίνιοι σχηματισμοί)  
Ποταμοχειμάρια κροκαλοπαγή και μάργες λιμναίας προέλευσης, άστρωτα έως δια σταυρωτής στρώσης. Επικάθονται ασύμφωνα στους σχηματισμούς του υποβάθρου.

### **Κάτω Ολιγόκαινο – Μειόκαινο**

- Ενότητα E4 (Μολασσικοί Σχηματισμοί ομάδας Βάτι)  
Πολύμικτα κροκαλοπαγή στη βάση που μεταβαίνουν σε εναλλαγές ιλυολίθων – ψαμμιτών στα νεότερα μέλη. Παρατηρείται μετάβαση από αδρόκοκκη σε μεσόκοκκη φάση και γωνιώδης ασυμφωνία με τους σχηματισμούς του υποβάθρου.

### **Ηώκαινο – Κάτω Ολιγόκαινο**

- Ενότητα E5 (Συνορογεννητικός φλύσξης Καταβιάς)
  - Υποενότητα E5.1 (Ψαμμίτες περιοχής Σταφυλιά)  
Τουρβιδιτικοί ψαμμίτες, λεπτοπλακώδεις έως παχυπλακώδεις με λεπτές εν στρώσεις αργιλικού σχιστόλιθου. Αντιστοιχεί στην αδρομερή φάση του φλύσχη.
  - Υποενότητα E5.2 ( Εναλλαγές ιλυόλιθων – ψαμμιτών )  
Σύστημα εναλλαγών ιλυόλιθου – ψαμμίτη με ποικιλία στρώσεων, έντονα πτυχωμένο και τεκτονισμένο.
  - Υποενότητα E5.3 (Ιλυόλιθοι περιοχής Σιάνα)

Ασβεστιτικοί ιλυόλιθοι με ψαμμίτες στρώσεις και φακούς κλαστικού ασβεστολίθου.

- Υποενότητα E5.4 (Αργιλικό σχιστόλιθοι περιοχής Λάερμα)

Ασβεστιτικοί αργιλικό σχιστόλιθοι με λεπτές εν 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**

- 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.

- Ενότητα E7 (Αυτόχθονη ασβεστόλιθική σειρά Αταβύρου )

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

## **2.4 Τεκτονική**

Η γενική τεκτονική εικόνα της περιοχής κατασκευής του έργου έχει διαχωριστή στις ακόλουθες τεκτονικές ακολουθίες γεγονότων:

### **Ολιγόκαινο**

- Τεκτονική Ακολουθία T1 ( Αυτόχθονο σύστημα)

Πτύχωση , κλειστή , ανεστραμμένη και αποκομμένη με επιπεύσεις και επωθήσεις , γενικής παράταξης ΒΑ – ΝΔ και κλίσης ΝΑ . Επηρεάζει όλα τα μέλη του υποβάθρου με χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση και τεκτονικές μετακινήσεις ειδικά όμως η πλαστική

παραμόρφωση της φάσης αποτυπώνεται στους αργιλικούς σχιστόλιθους της υποενότητας.

- Τεκτονική Ακολουθία T2 (Αυτόχθονο σύστημα)

Επίπλευση ευρείας κλίμακας , σε μεγάλες αποστάσεις και πιθανόν οριζοντίου χαρακτήρα με χαρακτηριστικές εμφανίσεις τοπικής κλίμακας.

### **Ανώτερο Μειόκαινο**

- Τεκτονική Ακολουθία T3 (Νεοαυτόχθονο σύστημα )

Πτύχωση , ανοιχτή , γενικής παράταξης BA – NA και κλίσης NA

### **Τεταρτογενές**

- Τεκτονική Ακολουθία T4 (Νεοτεκτονικό σύστημα)

Ρωγμές με μεταπτώσεις κατακόρυφου χαρακτήρα και ανάπτυξη δύο οικογενειών κανονικών ρηγμάτων με προσανατολισμού BBA – NNA και BBΔ – NNA χαρακτηριστική δημιουργία νεοτεκτονικών ανυψώσεων και κατακρεούργησης του φυσικού ανάγλυφου.

## **2.5 Υδρογεωλογία**

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

- Ενότητα ΥΔΡ1 (Σχηματισμοί μεγάλης περατότητας)

Στην ενότητα αυτή κατατάσσονται όλες οι πρόσφατες τεταρτογενείς αποθέσεις

του ποταμού, όπως αποθέσεις κοίτης αποθέσεις αναβαθμίδας και τα πλευρικά κορήματα αδρομερούς σύστασης και χαλαρής δομής που εμφανίζουν πρωτογενές πορώδες και υψηλή διαπερατότητα ( $> 10^{-2}$  cm/sec).

- Ενότητα ΥΔΡ2 (Σχηματισμοί μέσης περατότητας)

- Υπό ενότητα ΥΔΡ2.1 (Περατότητα πρωτογενούς-δευτερογενούς πορώδους)

Στην ενότητα αυτή κατατάσσονται οι τριτογενείς αποθέσεις όπως τα πλειστοκαινικά ιζήματα περιοχής Σγούρου, 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 νεοτεκτονικής 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.

□ Υπο ενότητα ΥΔΡ2.2 (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 κατείσδυσης (~10%). Οι δε αυτόχθονοι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται και αυτοί έντονα πτυχωμένοι και διερρηγμένοι 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.

□ Ενότητα ΥΔΡ3 (Σχηματισμός μικρής περατότητας)

Στην ενότητα αυτή κατατάσσονται αφενός τα συνεκτικά υγιή < Λεβαντίνοι > κροκαλοπαγή και τα λεπτομερής διαβάθμισης ιζηματογενή τμήματα των σχηματισμών της περιοχής Σγούρου 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.

□ Ενότητα ΥΔΡ4 (Σχηματισμοί πρακτικά αδιαπέρατοι)

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 αδιαπέρατο και ο τεκτονισμός του δημιουργεί μερικές ζώνες πολύ μικρής διαπερατότητας ( $10^{-5} \sim 10^{-6}$  cm/sec).

## **2.6 Γεωλογία στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος**

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 αιγαιακή 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.

## **2.7 Σεισμικότητα περιοχής**

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 0,17g για την γειτονική περιοχή της Λίνδου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 Γενικά- Ιστορικό και διόρθωση της μελέτης

Αρχικά θα κάνουμε μια αναφορά στην μελέτη που έγινε το 1979 και στην συνέχεια θα μπορέσουμε να την συγκρίνουμε με μεταγενέστερη μελέτη. Η υδρολογική έρευνα πλημμυρών έτους 1979 που βασίστηκε σε στοιχεία που υπήρχαν σε διαφόρους 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 καλύπταν 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:

- Την συλλογή και επεξεργασία των μέγιστων ετήσιων εντάσεων ( υψών ) βροχής του δείγματος 1950-1997.
- Τον έλεγχο της παροχής πλημμύρας με βάση τις σχέσεις έντασης – διάρκειας (όμβριες καμπύλες) της μελέτης 1979 και τον προσδιορισμό της τάξης μεγέθους της PMP 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

Με στατιστική μέθοδο του D.Hershfield

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 :

Μέγιστη πιθανή βροχόπτωση στο σταθμό Μαριτσών κατά Hershfield  
531χλσ/24ωρο

Μέγιστη πιθανή βροχόπτωση με την υδρομετεωρολογική μέθοδο 545 χλσ/24

Η κατανομή της 24 ωρης βροχής είχε ληφθεί από γενικές οδηγίες του Design of Small Dams (1η έκδοση ,1961) και με βήμα 2 ωρών

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  $H_A$  συνδέεται με το ύψος βροχής στο σταθμό Μαριτσών  $H_M$  με τη σχέση

$$H_A \approx 0,72 H_M$$

αφού έγιναν ορισμένες στρογγυλεύσεις προς τα άνω ελήφθη

$$H(\text{PMP})=410 \text{ χλσ.}$$

Για τις μέγιστες βροχές των λοιπών περιόδων επαναφοράς ελήφθη η σχέση

$$H = A t^{0.40}$$

δηλαδή  $H_{100} = 205 \text{ χλσ}$

$H_{20} = 144 \text{ χλσ}$

$H_{10} = 118 \text{ χλσ}$

Παρατηρούμε ότι η μείωση της PMP από 545 σε 410 χλσ. έγινε γιατί με κάποια (όχι επαρκή

πάντως ) στοιχεία ποέκυπτε γραμμική σχεδόν μείωση της PMP από Βορρά (Μαριτσά) προς Νότο (Κατταβία),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 υπερχειλίσης και σήραγγας εκτροπής ήταν:

Μέγιστη πιθανή 683μ<sup>3</sup>/δλ (633 + παροχή βάσης=683)

T=100 έτη 262μ<sup>3</sup>/δλ (χωρίς παροχή βάσης)

T=20 έτη 162μ<sup>3</sup>/δλ (χωρίς παροχής βάσης)

T=10 έτη 125μ<sup>3</sup>/δλ (χωρίς παροχή βάσης)

το πρόφραγμα και η σήραγγα εκτροπής υπολογίστηκαν για T=100 και Q=262μ<sup>3</sup>/δλ

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 βάσιμα 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.

Μετά από τα ανωτέρω η πτυχιακή εργασία συντάχθηκε ως εξής:

### **Διάρθρωση της μελέτης**

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 .Μετάπειτά καταρτίζεται συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης και με βάση αυτό και τις καταγιίδες 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, θεωρήσαμε χρήσιμο να δώσουμε στην παρούσα μελέτη μια προσεγγιστική εικόνα της ανάσχεσης που προκαλείται κατά τη διόδευση της πλημμύρας μέσω του υπερχειλιστή.



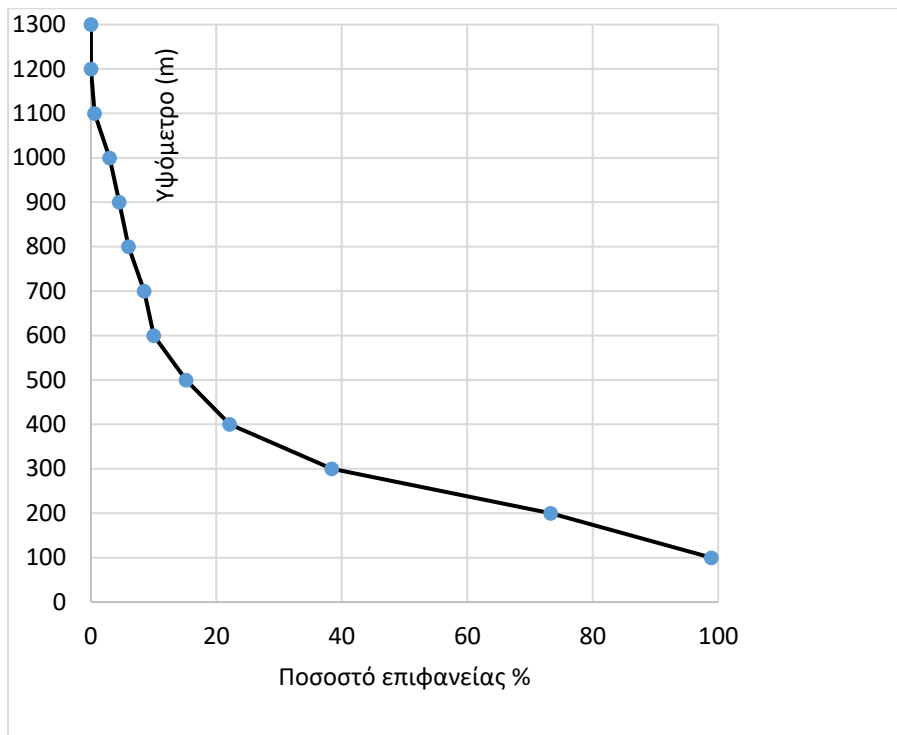
### **3.2 Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής**

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 km<sup>2</sup>(εμβαδομετρητής της Προμελέτης Λαζαρίδης κ.α,1979α).

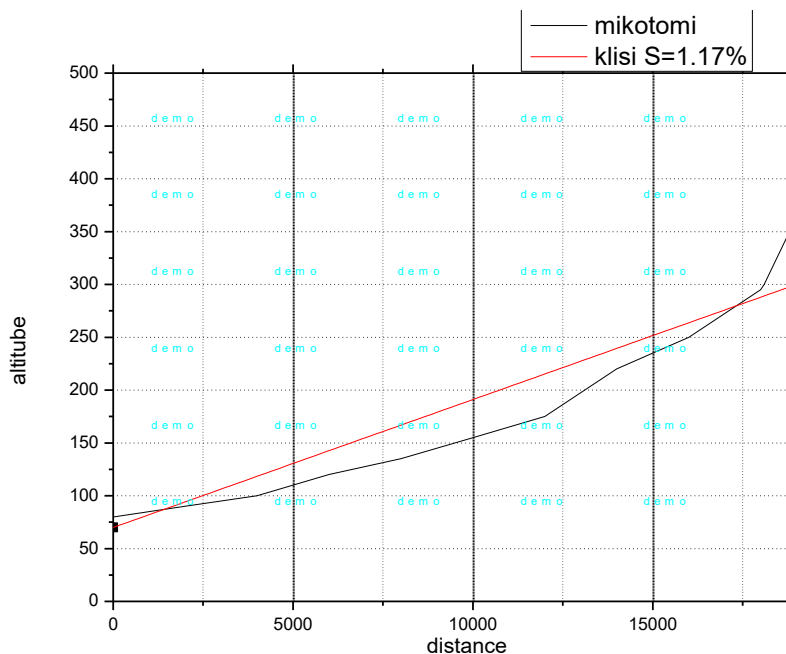
ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ(Σχ.3.1)



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 Σχ3.1 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 Σχ3.2απ' όπου φαίνεται ότι ο χειμάρρος χαρακτηρίζεται από σχετικά ήπιες κλίσεις .Άλλα χαρακτηριστικά στοιχεία της λεκάνης και διάφορων υπολεκανών 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 επιφάνειας της.



Υψομετρική καμπύλη της λεκάνης απορροής ανάντη της θέσης φράγματος Γαδουρά (σχ3.2)



Σχ3.3 Μηκοτομή του κύριου κλάδου του γαδουρά ανάντη της θέση φράγματος

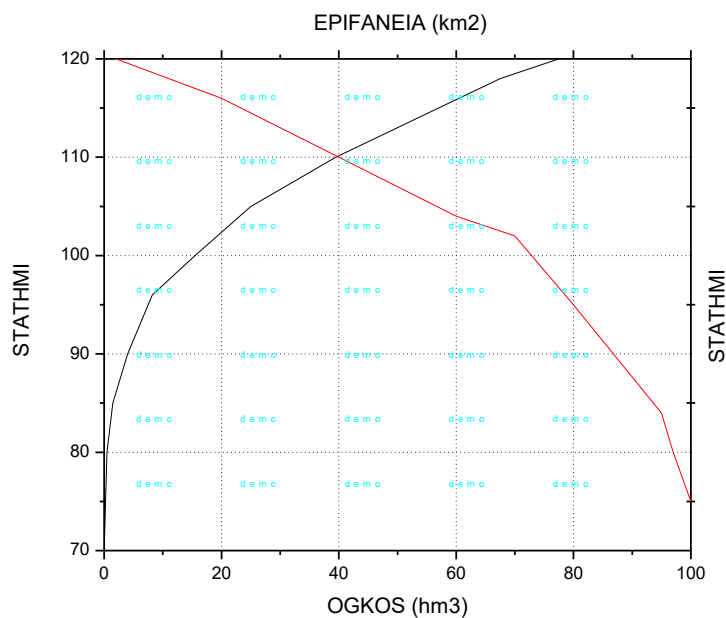
### 3.3 Χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα και του υπερχειλιστή

Στο Σχ.3.3 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 hm<sup>3</sup>, η εναλλακτικά στα +95 m , όπου αντιστοιχεί

νεκρός όγκος ταμιευτήρα  $8.2 \text{ hm}^3$ . Η ανώτερη (κανονική) στάθμη λειτουργίας που ταυτίζεται με τη στάθμη της στέψης του υπερχειλιστή, τοποθετείται στα  $+116.5\text{m}$  και αντιστοιχεί σε συνολική χωρητικότητα  $63.2 \text{ hm}^3$  (στα οποία συμπεριλαμβάνεται και ο νεκρός όγκος ) και σε επιφάνεια ταμιευτήρα  $4.14\text{km}^2$ . Ο υπερχειλιστής θεωρείται για τις ανάγκες εργασίας αυτής ότι έχει στέψη τύπου ogee με μήκος  $65 \text{ m}$ .



Υπερχειλιστής Τύπου ogee.



Σχ.3.4 Καμπύλες στάθμης-όγκου και στάθμη επιφάνειας του ταμιευτήρα γαδουρά.

### 3.4 Υδρομετεωρολογική σταθμοί

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 Πιν.1.

Οι περίοδοι για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα εν γένει είναι μικρότερες από αυτές που εμφανίζονται στον Πίν. 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.

**Πίν. . 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 Παραδείσι (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 Παραδείσι (1977-σήμερα).

Τα βροχόμετρικά 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 4

### 4. Εκτίμηση βροχόπτωσης σχεδιασμού

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: η α) **στατιστική** και η β)

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

#### 4.1 Πιθανή μέγιστη κατακρήμνιση – Μέθοδος Hershfield

Μεταξύ των διαφόρων μεθόδων εκτίμησης της ΠΜΚ, η πλέον δεδομένη στην Ελλάδα είναι η μέθοδος Hershfield (1961, 1965 βλ. 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 χρειάζεται μόνο ένα ιστορικό δείγμα ετήσιων μεγίστων υψών βροχής. Σύμφωνα με τη μέθοδο Hershfield το ύψος βροχής της πιθανής μέγιστης κατακρήμνισης  $H_m$  προκύπτει από την εξίσωση

$$h_m = \bar{h} + k_m s_h \quad (1)$$

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, σ.160)

$$k_m = 20 - 8.6 \ln \left( \frac{\bar{h}}{130} + 1 \right) \left( \frac{24}{d} \right)^{0.4} \quad (d \text{ σε h, } \bar{h} \text{ σε mm}) \quad (2)$$

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 Πιν.2 (δείγματα ετήσιων μεγίστων ημερησίων 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 ημερησίου ύψους βροχής που πλησιάζουν τα 200 mm ( και σε ένα σταθμό τα ξεπερνούν).

**Πίν. 2** Δείγματα ετησίων μεγίστων ημερησίων υψών βροχής (σε mm) των σταθμών της Ρόδου.

Υδρολ.έτος	Ρόδος	Κατταβιά	Απόλλωνα	Λάερμα	Αππολακκιά	Σιάννα	Έμπωνας
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
<u>Τυπική απόκλιση</u>	<u>37.1</u>	<u>38.0</u>	<u>45.2</u>	<u>59.1</u>	<u>25.4</u>	<u>16.4</u>	<u>42.6</u>

**Πιν.3.** Εφαρμογή της μεθόδου του Hershfield (1961, 1965) για την εκτίμηση της ΠΜΚ θέσεις των βροχομετρικών σταθμών της Ρόδου. Ύψη βροχής σε mm.

<u>Σταθμός</u>	<u>Ρόδος</u>	<u>Κατταβιά</u>	<u>Απόλλωνα</u>	<u>Λάερμα</u>	<u>Απολακκιά</u>	<u>Σιάννα</u>	<u>Έμπονας</u>
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, m(n)	83,7	68,8	74,6	97,6	65,2	50,3	108,8
Τυπική απόκλιση, Sn	37,1	38,0	45,2	59,1	25,4	16,4	42,6



Στατιστικά χαρακτηριστικά δείγματος χωρίς τη μεγαλύτερη τιμή

Μέση τιμή m (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

Λόγοι στατιστικών χαρακτηριστικών

m(n-m)/ m (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

Συντελεστές αναγωγής για τη μεγαλύτερη παρατηρημένη βροχόπτωση

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

Συντελεστές αναγωγής για το μέγεθος δείγματος

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

Ανοιγμένα στατιστικά χαρακτηριστικά

Μέση τιμή , m	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

Τελική εκτίμηση της ΠΜΚ

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 **Πίν. 3**. Οι τιμές της ΠΜΚ που προκύπτουν για τους σταθμούς Ρόδου και Κατταβιάς ( 691 και 643 mm , αντίστοιχα ) είναι παρόμοιες , παρόλο που οι δύο σταθμοί βρίσκονται σε αντιδιαμετρικά αντίθετες θέσεις του νησιού. Οι τιμές αυτές κρίνονται ως τις ασυνήθιστα (για τα ελληνικά δεδομένα) υψηλές τιμές της τυπικής απόκλισης ( **Πίν. 2 , Πίν. 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 ) δεν μας επιτρέπει να θεωρήσουμε τις τιμές αυτές ως αξιόπιστες. Θα πρέπει να παρατηρούμε ότι οι τιμές της ΠΜΚ που υπολογίστηκαν προήλθαν από επεξεργασία ημερησίων 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 . Για την αναγωγή χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση:

$$\varphi = 1 - \frac{0.048 A^{0.36-0.01lnA}}{d^{0.35}} \geq 0.25 \quad (3)$$

όπου  $\varphi$  ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής ( α διαστατός αριθμός ),  $A$  η 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 30.000km<sup>2</sup>. Στην προκειμένη περίπτωση , για  $A = 147.7\text{km}^2$  και  $d=24$  h προκύπτει  $\phi = 0.93$ . Το γινόμενο των δύο συντελεστών αναγωγής είναι ίσο με 1.05.

## 4.2 Πιθανή μέγιστη κατακρήμνιση – Υδρομετεωρολογική μεθοδολογία

### 4.2.1 Γενική περιγραφή της μεθόδου

Ως δεύτερη προσέγγιση στην εκτίμηση της ΠΜΚ χρησιμοποιήθηκε η υδρομετεωρολογική μεθοδολογία που βασίζεται στη 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:

$$h_m = h \frac{W_m}{W} \quad (4)$$

όπου  $h$  το καταγραμμένο ύψος βροχής ,  $h_m$  το μεγιστοποιημένο ύψος βροχής ,  $W$  το ύψος κατακρημνίσιμου νερού στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης και  $W_m$  το μεγιστοποιημένο ύψος κατακρημνίσιμου νερού στην ατμόσφαιρα. Το ύψος του κατακρημνίσιμου 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:

$$W = \frac{1}{\rho_w} \int_{z_0}^{z_1} \rho_v dz \int_{p_1}^{p_0} q dp \quad (5)$$

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 ,  $\rho_v$  και  $\rho_w$  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 κατακρημνίσιμου 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 κατακρημνίσιμου νερού συνάρτησε 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)

$$W = \exp (2.29 + 0.086 Td - 0.0005 z_0 + 0.0000075 Td z_0) - 1.82 \quad (6)$$

όπου  $Td$  το σημείο δρόσου στην επιφάνεια σε °C και

$z_0$  το

υψόμετρο του εδάφους σε m ( το  $W$  υπολογίζεται σε mm ). Το σημείο δρόσου  $Td$  υπολογίζεται από τις μετρήσεις θερμοκρασίας  $T$  και σχετικής υγρασίας  $U$  με βάση τις σχέσεις

$$e^* = 6.11 \exp\left(\frac{17.27 T}{T+237.3}\right) \quad (7)$$

όπου  $e^*$  η πίεση κορεσμού υδρατμών σε hPa και  $T$  η θερμοκρασία σε °C,

$$e = \exp\frac{17.27 Td}{Td+237.3} \quad (8)$$

όπου  $e$  η πραγματική πίεση υδρατμών hPa και  $Td$  το σημείο δρόσου σε °C, και

$$U = 100 \frac{e}{e^*} \quad (9)$$

όπου  $U$  σχετική υγρασία σε ποσοστό %. Η επίλυση ως προς  $Td$  δίνει

$$Td = \frac{237.3 t}{17.27-t} \quad (10)$$

$$\text{όπου} \quad t = (17.27 T / T + 237.3) + \ln ( U/100) \quad (11)$$

Το μεγιστοποιημένο ύψος κατακρημνίσμου νερού στην ατμόσφαιρα  $Wm$  εκτιμάται από την (6) ( 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 12h.

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 κατακρημνιση) αλλά η συνεχής τροφοδοσία της περιοχής με νέους υδρατμούς που μεταφέρονται από το πεδίο των ανέμων . Έτσι , ο λόγος

$$E = \frac{h}{w} \quad (12)$$

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

#### 4.2.2 Δεδομένα για την εφαρμογή της μεθόδου

Στην ευρύτερη περιοχή της Ρόδου , ο μόνος σταθμός που διαθέτει δεδομένα σχετικώς ικανοποιητικά για την εφαρμογή της μεθόδου είναι αυτός της ΕΜΥ ( Μαριτσά – Παρασεισί). 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 (βλ. .πίν. 5) έχουν ληφθεί από την Προμελέτη (Λαζαρίσης 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.

#### 4.2.3 Μέγιστα σημεία δρόσου

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 9,6 και 9h ,αντιστοίχως). Ακολούθως 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 ΠΠΝ. 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

12ώρα 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 Πίν. 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 Πίν. 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

$$F(x) = \exp \left( -\left( e^{-\frac{x}{\lambda} + \psi} \right) \right) \quad (13)$$

οπού  $\chi$  η τιμή της υπόψη τυχαίας μεταβλητής ( εν προκειμένω του σημείου δρόσου ),  $F(x)$  η συνάρτηση κατανομής (ή πιθανότητα μη υπέρβασης ), και  $\lambda$  και  $\psi$  παράμετροι κλίμακας και θέσης αντίστοιχα που εν προκειμένω εκτιμήθηκαν με τη μέθοδο των ροπών. Ενδεικτικό της καταλληλότητας της κατανομής Gumbel είναι στο Σχ.3.5, στο οποίο έχουν απεικονιστεί οι

εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής των μεγίστων σημείων δρόσου σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συναρτήσεις κατανομής Gumbel.

**Πίν.4** Μέγιστα ημερήσια σημεία δρόσου ( °C ) για κάθε μήνα στο μετεωρολογικό σταθμό της Ρόδου.

<b>Έτος</b>	<b>Οκτ</b>	<b>Νοε</b>	<b>Δεκ</b>	<b>Ιαν</b>	<b>Φεβ</b>	<b>Μαρ</b>	<b>Απρ</b>	<b>Μαι</b>
1968	19,3	16,6	14,4	10,5	14,5	12,5	15,0	17,8
1969	17,5	16,4	14,5	12,2	12,6	13,7	12,7	15,9
1970	18,8	14,8	13,0	14,2	14,0	13,6	14,3	16,3
1971	17,0	15,7	12,7	12,9	10,2	13,4	15,0	15,4
1972	18,9	14,7	13,0	11,0	11,3	11,2	15,3	16,6
1973	19,4	14,1	12,5	11,0	11,2	11,9	13,3	17,6
1974	19,4	17,0	11,2	8,6	11,0	13,2	12,7	15,1
1975	18,1	15,8	13,9	10,4	11,8	13,0	13,6	17,6
1976	19,8	16,8	14,5	10,1	10,9	11,1	13,4	15,7
1977	17,6		13,5	12,2	13,0	11,4	14,0	15,4
1978	19,2	14,2	13,1	12,6	11,7	15,0	14,2	17,6
1979	20,2	18,1	14,7	13,6	14,3	15,2	15,3	19,9
1980	21,4	19,0	15,6	11,7	11,6	14,7	13,8	17,4
1981	21,5	15,3	15,9	11,4	12,8	12,0	15,3	19,1
1982	20,8	15,4	13,7	13,4	10,5	11,9	14,6	17,1
1983	18,2	16,8	14,7	10,9	12,8	12,0	15,3	17,0
1984	20,5	16,7	11,7	13,4	13,2	14,1	13,9	16,9
1985	19,5	19,3	15,2	14,0	12,9	12,6	14,7	18,4

1986	19,9	15,6	13,0	13,4	12,2	13,4	15,3	17,0
1987	21,3	14,7	15,7	13,3	13,2	12,5	13,9	17,7
1988	18,7	14,7	13,7	13,6	11,6	12,3	14,3	18,5

### Στατιστικά χαρακτηριστικά δείγματος

Ελάχιστη τιμή	17,03	14,07	11,22	10,06	10,23	11,06	12,69	15,14
Μέγιστη τιμή	21,47	19,30	15,94	14,22	14,45	15,24	16,62	20,53
Μέση τιμή	19,37	16,07	13,82	12,29	12,25	13,03	14,34	17,31
Τυπ. απόκλιση	1,25	1,45	1,24	1,30	1,19	1,24	0,94	1,42
Τυπική απόκλιση (ενιαία)								1,29

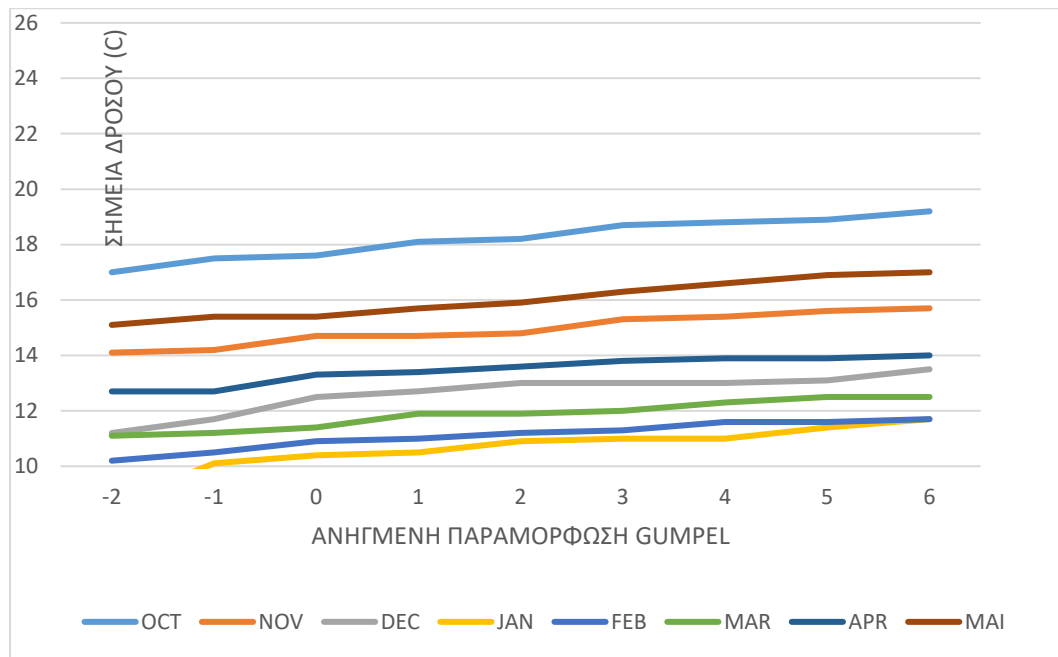
### Παράμετροι κατανομής Gumbel

$\lambda$	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004
$\psi$	18,71	15,42	13,18	11,66	11,62	12,40	13,70	16,66

### Εκτιμήσεις από κατανομή Gumbel για T=

2	19,2	15,9	13,6	12,1	12,0	12,8	14,1	17,1
50	22,7	19,4	17,2	15,6	15,6	16,4	17,7	20,7
100	23,4	20,1	17,9	16,3	16,3	17,1	18,4	21,4
250	24,3	21,0	18,8	17,3	17,2	18,0	19,3	22,3

Στο Σχ.3.6 έχουν απεικονιστεί χαρακτηριστικές τιμές που έχουν προκύψει από την ανάλυση των δειγμάτων του Πίν. . 4. Συγκεκριμένα για κάθε μήνα έχει απεικονιστεί η ελάχιστη , μέση και μέγιστη τιμή του αντίστοιχου δείγματος ( μεγέθους 21 ετών ) των μέγιστων ημερήσιων σημείων δρόσου , σε σύγκριση και με τις αντίστοιχες επεκτάσεις για περιόδους επαναφοράς 50,100 και 250 ετών όπως προκύπτουν από την κατανομή Gumbel. Παράλληλα , έχουν απεικονιστεί στο ίδιο σχήμα τα μέγιστα σημεία δρόσου που έχουν παρατηρηθεί στο δείγμα των 66 επιλεγμένων βροχοπτώσεων του Πίν. . 5 το οποίο καλύπτει περίοδο 45 ετών. Γενικώς παρατηρούμε τα ακόλουθα : (α) η εποχιακή μεταβολή των σημείων δρόσου ( ελαχίστων μέσων , μέγιστων τιμών και επεκτάσεων ) είναι εύλογη και ακολουθεί το γενικό σχήμα εποχιακής μεταβολής της θερμοκρασίας (β) οι τιμές επέκτασης για περίοδο επαναφοράς 250 ετών είναι κατά 0.9 °C μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τιμές επέκτασης για περίοδο επαναφοράς 100 ετών (γ) οι μέγιστες τιμές του ( μη πλήρους ) δείγματος των 45 ετών ( 66 ημερών βροχής ) σε δύο περιπτώσεις υπερβαίνουν τις τιμές επέκτασης για περίοδο επαναφοράς 100 ετών που προκύπτουν από το ( πλήρες ) δείγμα των 21 ετών , ενώ για όλους τους μήνες διατηρούνται κάτω από τις αντίστοιχες προβλέψεις για περίοδο επαναφοράς 250 ετών , ή το πολύ τις φτάνουν.



Σχ3.5 . Εμπειρικές και θεωρητικές ( Gumbel ) συναρτήσεις κατανομής των ετήσιων μεγίστων ημερήσιων σημείων δρόσου στο σταθμό 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 υποχρεωτικώς έγιναν κατά σχηματισμό των δειγμάτων μεγίστων σημείων δρόσου ( βλ. Εδάφιο 4.2.2) οδηγούμαστε στην αποδοχή των τιμών των επεκτάσεων 250ετίας ως μεγίστων σημείων

δρόσου για τους περαιτέρω υπολογισμούς της μεθόδου ( αντί της υιοθέτησης των τιμών 100ετίας που συζητήθηκε στο εδάφιο 4.2.1).



Max price : Μέγιστη τιμή δείγματος 21 ετών

Min price: Ελάχιστη τιμή δείγματος 21 ετών

Μέση τιμή : Μέση τιμή δείγματος 21 ετών

Επέκταση – T = 100

Επέκταση – T = 250

Σχ3.6 Χαρακτηριστικές τιμές του μέγιστου ημερήσιου σημείου δρόσου για κάθε μήνα.

#### 4.2.4 Εκτίμηση της ΠΜΚ

Η δεύτερη φάση εφαρμογής της μεθόδου περιλαμβάνει τους υπολογισμούς που περιγράφηκαν στο εδάφιο 4.2.1 και παρουσιάζονται στον Πίν. 5. Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι η βροχόπτωση που καταγράφηκε στις 5/10/1989 με ύψος βροχής 158 mm και διάρκεια 9.17h 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 9.17h σε 24ωρο ύψος γίνεται η παραδοχή μεταβολής του ύψους h με τη διάρκεια d σύμφωνα με σχέση δύναμης της μορφής



$$h(d) \sim d^{\nu}(14)$$

όπου ο εκθέτης  $\nu$  μπορεί να θεωρηθεί ίσος με 0.35, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις που παρατίθενται στην ενότητα 4.4. Με αυτή την παραδοχή προκύπτει ότι το αντίστοιχο 24ωρο μεγιστοποιημένο ύψος βροχής είναι  $359.2 \times \left(\frac{24}{9.17}\right)^{0.35} = 503.1 \text{ mm}$ . Από την τελευταία στήλη του Πίν. 5 παρατηρούμε ότι το ύψος των 503.1 mm (5/10/1989) 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.

**ΠΙΝ. 5 Δεδομένα ισχυρών βροχοπτώσεων στο σταθμό Ρόδου και υπολογισμοί μεγιστοποίησης του ύψους βροχής για την εκτίμηση της ΠΜΚ.**

Ημερομηνία βροχής	Ύψος βροχής h(mm)	Διάρκεια βροχής d(h)	Σχετική υγρασία U(%)	Θερμοκρασία T(°C)	Σημείο δρόσου κατακ. Td (°C)	Υψος βροχής W(mm)	Αποτελε σματικότητα βροχής E=	Μέγιστο σημείο δρόσου	Μεγ. ύψος κατακρ. νερού	Λόγος Wmax/W	Μέγιστο ημένο ύψος βροχής	Ανοιγμένο ύψος h m24
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	50.0	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 Πίν. 5 αντιστοιχεί στο μήνα Οκτώβριο) προκύπτει το ύψος της ΠΜΚ 24ωρης διάρκειας ίσο με  $8.18 \times 88.2 = 721.5 \text{ mm}$  . 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.

### 4.3 Πιθανοτική ανάλυση ακραίων βροχοπτώσεων

#### 4.3.1 Γενική περιγραφή της μεθόδου

Για λόγους σύγκρισης , αλλά και για λόγους συμπληρωματικών εκτιμήσεων λιγότερο ακραίων υψών βροχής , εφαρμόζεται και η καθαρώς πιθανοτική προσέγγιση , η οποία ως γνωστόν δεν δέχεται ότι υπάρχει ανώτατο φυσικό όριο στο ύψος βροχής , αλλά ότι σε κάθε τιμή του ύψους βροχής αντιστοιχεί μια μη μηδενική πιθανότητα υπέρβασης. Η μέθοδος εφαρμόζεται στο δείγμα ετήσιων μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων της Ρόδου που φαίνεται στο σχήμα Πίν. 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 Γενική Ακραίων Τιμών (ΓΑΤ διεθνώς General Extreme Value – GEV distribution ). Αυτή η κατανομή ενσωματώνει τις κατανομές ακραίων τιμών τύπου I,II, και III και έχει την έκφραση

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

(15)

όπου  $F(x)$  η συνάρτηση κατανομής για τιμές της μεταβλητής  $x$  και  $k > 0$  ,  $\lambda < 0$  και  $\psi$  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

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

$$= \lambda' \left\{ [-\ln(1 - \frac{1}{T})]^2 - \psi' \right\} \quad (16)$$

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

Για  $\kappa = 0$  η κατανομή ΓΑΤ μεταπίπτει στην κατανομή μεγίστων τύπου I (Gumbel), οπότε η (15)

παίρνει την ειδική μορφή (13), ενώ αντίστοιχα, η (16) παίρνει τη μορφή

$$X_T = \lambda \{ \psi - \ln [ - \ln (1 - 1/T) ] \} \quad (17)$$

Για  $\kappa = 1 / \psi$  ( η ισοδύναμα  $\psi' = 0$  ) η κατανομή ΓΑΤ μετατρέπεται στην κατανομή μεγίστων 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  $\kappa = 0.16$  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

$$K = 0.183 - 0.00049\bar{h} \quad (\bar{h} \text{ σε mm}) \quad (18)$$

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 στην κάτ. αρχή αποδοχή της ΓΑΤ ως κατάλληλης κατανομής για μέγιστες βροχοπτώσεις. Σε περίπτωση που υπάρχει μεγάλο μήκος δείγμα η παράμετρος σχήματος της κατανομής μπορεί να εκτιμάται άμεσα από το δείγμα. Σε αντίθετη περίπτωση είναι προτιμότερο να εκτιμάται από την (18).

Η εκτίμηση των παραμέτρων  $\kappa$ ,  $\lambda$ ,  $\psi$  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 διαδεδομένη μέθοδος των ροπών, η οποία βασίζεται στις εξισώσεις

$$\frac{\Gamma(1-3\kappa) - \Gamma(1-2\kappa)\Gamma(1-\kappa) + 2\Gamma^3(1-\kappa)}{[\Gamma(1-2\kappa) - \Gamma^2(1-\kappa)]^{3/2}} = C_s \quad (19)$$

$$\lambda = \frac{\kappa\sigma}{\sqrt{\Gamma(1-2\kappa) - \Gamma^2(1-\kappa)}} \quad (20)$$

$$\Psi = \frac{\mu}{\lambda} - \frac{\Gamma(1-\kappa)-1}{\kappa} \quad (21)$$

όπου  $\mu$  η μέση τιμή,  $\sigma$  η τυπική απόκλιση και  $C_s$  ο συντελεστής ασυμμετρίας της κατανομής ενώ  $\Gamma(\cdot)$  είναι η συνάρτηση γάμα. Η (19) λύνεται μόνο αριθμητικά και δίνει την παράμετρο  $\kappa$ . Στην περίπτωση που εξετάζουμε αντί της (19) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη (18) 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 μιας ή περισσότερων εξαιρετικά ασυνήθων τιμών στο δείγμα. Η μέθοδος στηρίζεται στις ακόλουθες εξισώσεις

$$\kappa = 7.8c - 1.43 c^2 \quad (22)$$

$$\lambda = \frac{\kappa \lambda_2}{\Gamma(1-\kappa)(2^\kappa - 1)} \quad (23)$$

$$\Psi = \frac{\lambda_1}{\lambda} - \frac{\Gamma(1-\kappa) - 1}{\kappa} \quad (24)$$

όπου

$$c = \frac{\ln 2}{\ln 3} - \frac{2\lambda_2}{\lambda_3 + 3\lambda_2} \quad (25)$$

\*Οι συντελεστές που φαίνονται στην (22) είναι ακριβέστεροι από αυτούς της βιβλιογραφίας (π.χ. Stedinger et al, 1993, σ18.18) για θετικές τιμές του  $\kappa$  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  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  και  $\lambda_3$  οι τρεις πρώτες  $L$  – ροπές της κατανομής . Αμερόληπτες εκτιμήσεις των  $L$  – ροπών δίνονται από τις εξισώσεις ( βλ . Stedinger et al , 1993 , σ . 18.6)

$$\bar{\lambda}_1 = b_0(26)$$

$$\bar{\lambda}_2 = 2b_1 + b_0(27)$$

$$\bar{\lambda}_3 = 6b_2 + 6b_1 + b_0(28)$$

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

$$b_0 = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x(j) \quad (29)$$

$$b_1 = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) x(j) \quad (30)$$

$$b_2 = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum_{j=1}^{n-2} (n-j)(n-j-1)x_j \quad (31)$$

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

#### 4.3.2 Εφαρμογή της μεθόδου

Χρησιμοποιείται το δείγμα των ετήσιων μέγιστων ημερήσιων υψών βροχής στη Ρόδο που φαίνεται στον Πίν. 2 . Υιοθετείται η κατανομή ΓΑΤ και εφαρμόζονται δυο εναλλακτικές μέθοδοι εκτίμησης παραμέτρων : η μέθοδος των ροπών με την παραλλαγή της χρήσης της (18) αντί της (19), 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 πίν. 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 υδρομυτεωρολογική 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 4.1. Ο τελικός συντελεστής αναγωγής για το 24ωρο σημειάκο ύψος βροχής είναι 1.05.

**πίν. . 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



#### 4.4 Επίδραση της διάρκειας βροχής στο μέγεθος της βροχόπτωσης

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 βροχόμετρικής 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 στον σταθμού 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 πίν.7.

Λόγω έλλειψης άλλων δεδομένων , να κάνουμε την 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 , υποθέτουμε ότι η σχέση ύψους – διάρκειας είναι της μορφής

$$h = \omega d^{\nu} \quad (32)$$

όπου η παράμετρος  $\omega$  εξαρτάται από την περίοδο επαναφοράς , ενώ ο εκθέτης  $\nu$  είναι σταθερός . Είναι καταφανές ότι τα δεδομένα του πίν. . 7 είναι τελείως ανεπαρκή για την εκτίμηση της μεταβαλλόμενης  $\omega$  , αλλά μπορούν να θεωρηθούν οριακά επαρκή για τον προσεγγιστικό προσδιορισμό της σταθεράς  $\nu$ . Για τον προσδιορισμό της  $\nu$  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  $\nu$  χωρίς να προαπαιτείτε ο προσδιορισμός της  $\omega$ . 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  $h / d^{\nu}$  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 ).

**ΠΙΝ. 7** Ετήσια μέγιστα ύψη βροχής διαφόρων διαρκειών στα Λάεσμα , 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  $\nu$  που υιοθετείται στην παρούσα εργασία είναι δυσμενέστερη ως προς την καταγιίδα και πλημμύρα σχεδιασμού που συνεπάγεται.

Η παράμετρος  $\nu = 0.35$  αναφέρεται προφανώς σε σημειακή βροχόπτωση , ενώ για την επιφανειακή βροχόπτωση στο σύνολο της λεκάνης η τιμή της είναι μεγαλύτερη . Πράγματι , για την εκτίμηση του  $\nu$  σε επιφανειακή βάση θα πρέπει να συνυπολογιστεί και η μεταβολή του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής  $\phi$  με τη διάρκεια  $d$  , όπως προκύπτει από την (3) . 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  $\nu$  σε επιφανειακή βάση είναι  $\nu = 0.42$  .

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

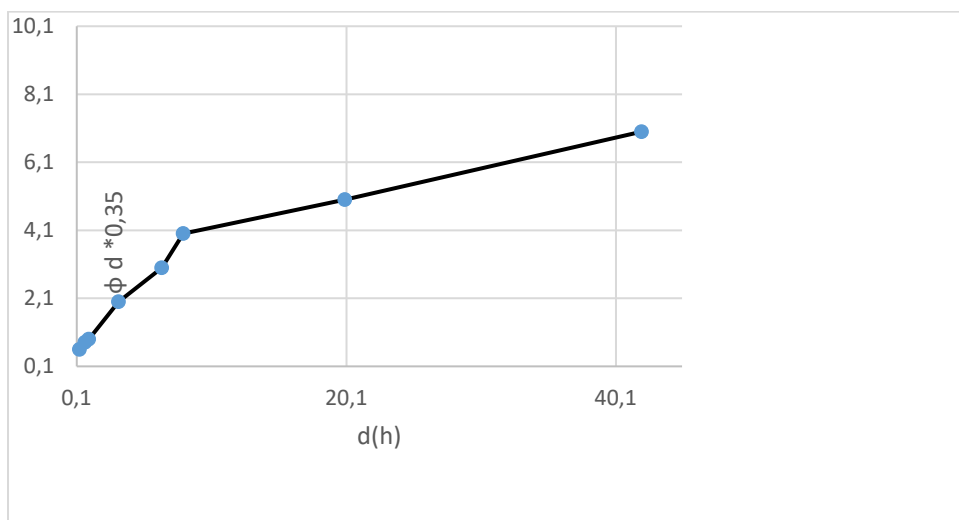
$$h_{\epsilon} ( d ) = \psi ( d ) h_{\sigma} \quad (33)$$

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

$$\psi(d) = 0.276 d^{0.42} \quad (d \text{ σε h}) \quad (34)$$

**πίν. .8** Βοηθητικοί υπολογισμοί για την αναγωγή της σημειακής ημερήσιας βροχόπτωσης σε επιφανειακή οποιασδήποτε διάρκειας.

d (h)	$\varphi$	$d^{0.35}$	$\varphi d^{0.35}$	$\psi = 0.276 d^{0.42}$
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



$$\varphi d^{0.35} = 0.77d^{0.42}$$

$$R^2 = 0.9986$$

Σχ. Γραφική απεικόνιση της μεταβολής του όρου  $\varphi d^{0.35}$  συναρτήσει της διάρκειας d.

#### 4.5 Συζήτηση και συμπεράσματα του κεφαλαίου 4

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 Λάεσμα , 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 πιθανότικη 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 , θεωρούμε ως συνεπέστερη την πιθανότικη 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 πιθανότικη προσέγγιση , και μετά την εφαρμογή των συντελεστών αναγωγής , φαίνονται στον πίν. . 9 .

**πίν. . 9** Τελικά μεγέθη υψών βροχής σε mm ( μετά τις αναγωγές ) για χαρακτηριστικές περιόδους επαναφοράς και διάρκειες.

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 5

### 5. Εκτίμηση πλημμύρας σχεδιασμού

#### 5.1 Μοναδιαίο υδρογράφημα

Για την εκτίμηση των πλημμυρών σχεδιασμού υιοθετήσαμε τη μέθοδο του μοναδιαίου υδρογραφήματος . Η άμεση κατάρτιση μοναδιαίων υδρογραφημάτων , δεν είναι δυνατή στο χείμαρρο Γαδουρά λόγω έλλειψης υδρομετρητών , σταθμηγραφικών και βροχογραφικών δεδομένων. Έτσι καταφύγαμε στην κατάρτιση συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος 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 πίν. . 10. Τα δεδομένα κλίσεων προέκυψαν από τη μηκοτομή του ποταμού που φαίνεται στο (Σχ . 3.3). Η μέθοδος Snyder χρησιμοποιεί δεδομένα μόνο από την οριζοντιογραφία της λεκάνης , τα οποία φαίνονται , μαζί με τους σχετικούς υπολογισμούς στον πίν. . 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 )

$$t_p = \frac{46.6L^{0.14}}{S_{1085}^{0.38}(1+URBAN)^{1.99}RSMD^{0.4}} \quad (35)$$

και διάρκεια πλημμύρας ( ή χρόνος βάσης )

$$t_p = 2.52t_p \quad (36)$$

Στην (35) , L είναι το μήκος της κύριας μισγάγκειάς σε km και είναι  $S_{1085}$  η μέση κλίση υδατορεύματος σε m/km που υπολογίζεται μεταξύ των σημείων 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 δια στατικά ομογενή μορφή ,

$$Q_p = 0.794 \frac{h_0 A}{t_p} \quad (37)$$

ή , για  $Q_p$  σε  $m^3/s$  ,  $A$  σε  $km^2$

και  $t_p$  σε  $h$ ,

$$Q_p = 2.2 \frac{h_0 A}{t_p} \quad (38)$$

Το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα του Snyder βασίζεται στις σχέσεις

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

$$Q_p = C_Q \frac{A}{t_p} \quad (40)$$

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 (στοιμετρικό σύστημα μονάδων) , αντίστοιχα σε λεκάνες απορροής των Αππαλαχίων . Όμως ο ίδιος ο Snyder στην Ελλάδα ( Άραχθος , 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 πίν. . 10 ( η παράμετρος URBAN θεωρήθηκε μηδενική ) .

Παρατηρούμε ότι ο χρόνος ανόδου  $t_p$  που υπολογίζεται με τη μέθοδο του

Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας επαλήθευεται από τη μέθοδο Snyder , με αρκετά μικρή απόκλιση ( 14 % ) . Ως μια περαιτέρω επαλήθευση χρησιμοποιήσαμε τον τύπο του Giandotti , ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στην Ελλάδα. Ο τύπος αυτός δίνει το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης και γράφεται

$$t_{\sigma} = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}} \quad (41)$$

**πίν. . 10** Εκτίμηση συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος στο Γαδουρά ανάντη της θέσης φράγματος ( Μέθοδος Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας – επαλήθευση με μεθόδους Snyder και Giandotti).

Μέγεθος	Τιμή
Έκτασης , A ( km <sup>2</sup> )	147,7
Μήκος υδατορεύματος , L (km)	19.6
Μήκος υδατορεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κ.β της λεκάνης L <sub>c</sub> (km)	11
Υψόμετρο υδατορεύματος στην έξοδο της λεκάνης , Z <sub>E</sub> (m)	74
Υψόμετρο υδατορεύματος στην αρχή του, Z <sub>A</sub> (m)	400
Μέσο υψόμετρο λεκάνης , Z <sub>μ</sub> (m)	327
Υψόμετρο υδατορεύματος στο 10% του μήκους του , Z <sub>10</sub> (m)	89
Υψόμετρο υδατορεύματος στο 85% του μήκους του , Z <sub>85</sub> (m)	261
Κλίση υδατορεύματος μεταξύ των σημείων 10% και 85% του μήκους του , S <sub>1085</sub> ( 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 <sub>p</sub> (h)	4.3
Διάρκεια πλημμύρας , T <sub>b</sub> ( h )	10.8
Παροχή αιχμής , Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	76.0
Επαλήθευση του χρόνου ανόδου σύμφωνα με τον τύπο του Snyder , αρχική τιμή t <sub>p0</sub> (h)	3.8
Τελική τιμή χρόνου ανόδου σύμφωνα κατά Snyder ( για βροχή 1h ) , t <sub>p</sub> (h)	3.7
Επαλήθευση σύμφωνα με τον τύπο του Giandotti , Χρόνος συγκέντρωσης t <sub>σ</sub> (h)	6.1
<u>Χρόνος ανόδου ( για βροχή 1h ) κατά Giandotti t<sub>p</sub> (h)</u>	<u>4.2</u>

Όπου  $t_{\sigma}$  ο χρόνος συγκέντρωσης σε h , A η έκταση της λεκάνης σε  $\text{km}^2$  , L το μήκος της κύριας μισγάγκειας σε km και  $\Delta H$  η διαφορά του μέσου υψόμετρο της λεκάνης από το υψόμετρο της εξόδου της σε m. Από το γνωστό εμπειρικό τύπο :

$$t_p \approx 0.6 t_{\sigma} + d / 2 \quad (42)$$

Προκύπτει ότι η τιμή του χρόνου ανόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος σχεδόν ταυτίζεται με αυτή που έχει προκύψει από τη μέθοδο του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας ( βλ. . πίν. . 10 )

## 5.2 Καταιγίδες σχεδιασμού

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 ( Κουτσογιάννης ( 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 ) . Πρώτο , βασίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα που έχουν μετρηθεί στην περιοχή μελέτης ( όμβριες καμπύλες ) και όχι σε διαγράμματα της βιβλιογραφίας. Δεύτερο , οδηγεί σε ένα μοναδικό υετογράφημα σχεδιασμού χωρίς να απαιτεί καμία πρόσθετη παραδοχή. Τρίτο , 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 προκύπτον ύψος βροχής 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.



### 5.3 Απώλειες – Ωφέλιμη βροχή

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:

$$h_c = \begin{cases} 0 & h \leq h_{a0} \\ \frac{(h - h_{a0})^2}{h - h_{a0} + S} & h > h_{a0} \end{cases} \quad (43)$$

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  $S$  η δυναμικά μέγιστη κατακράτηση ( potential maximum retention ) , δηλαδή το επιπλέον , πέραν του αρχικού  $h_{a0}$  , ελλειμματικό ύψος που μπορεί κατά μέγιστο να πραγματοποιηθεί σε μια βροχόπτωση με 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 :

$$h_c = \begin{cases} 0 & h \leq 0.2S \\ \frac{(h - 0.2S)^2}{h + 0.8S} & h > 0.2S \end{cases} \quad (44)$$

Η σχέση ( 44 ) 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:

$$S[\text{mm}] = 254 \left( \frac{100}{\text{CN}} - 1 \right) \quad (45)$$

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 4.2 ), 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.

#### 5.4 Βασική ροή – Τήξη χιονιού

Η βασική ροή είναι πολύ μικρό ποσοστό της αιχμής της πλημμυρικής απορροής . Με έρευνα από άλλες λεκάνες του ελληνικού χώρου , υιοθετήσαμε 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 (βλ. . 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  $11 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 5.5 Περίοδοι επαναφοράς

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 εμπειρισταωμένη μελέτη των Larson and Reich (1973) έδειξε ότι αυτή η διαφοροποίηση δεν είναι ορθή , δεδομένου ότι κατά μέσο όρο οι δύο περίοδοι επαναφοράς συμπίπτουν ( πράγμα που άλλωστε είναι σχεδόν αυτονόητο ) . Έτσι , στην παρούσα εργασία δεν έγινε τέτοια διάκριση.

## 5.6 Υπολογισμοί και αποτελέσματα

Οι υπολογισμοί έγιναν με κατάλληλο πρόγραμμα υπολογιστή . 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 Πίν. . 11 .

Πίν . 11 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 υψός βροχής , h ( mm )	134.1	159.2	195.7	528.5	593.4	710.4
Ωφέλιμο ύψος βροχής , h <sub>c</sub> ( 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 <sup>3</sup> / 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 <sup>3</sup> )	8.43	11.3	15.8	64.84	74.27	91.31
Συνολικός όγκος πλημμύρας (hm <sup>3</sup> )	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 Πίν. . 11 , προσαρμόστηκε ( με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων ) η ακόλουθη απλή εξίσωση , κατάλληλη για παρεμβολή της πλημμυρικής παροχής Q<sub>max</sub> για διαφορετικές τιμές της περιόδου επαναφοράς , T.

$$Q_{\max}(T) = 711 (T^{0.14} - 0.943) \quad (Q_{\max} \text{ σε } m^3/s) \quad (46)$$

## 5.7 Συγκρίσεις

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 ενάντι 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 m<sup>3</sup> / s για περίοδο επαναφοράς 10.000 ετών ή , ισοδύναμα , για εκτίμηση της ΠΜΚ που προκύπτει από την υδρομετεωρολογική μέθοδο , έως και 2633 m<sup>3</sup>/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 περιβάλλοντες εξαιρετικά υψηλών τιμών της παροχής που έχουν καταγραφεί σε διάφορες περιοχές της υδρογείου . Οι καμπύλες του Creager περιγράφονται από την εξίσωση ( Viessman et , 1989 , σ.395 )

$$Q = 1.3C(0.386A)^{0.936A^{-0.048}} \quad (47)$$

Όπου Q η πλημμυρική παροχή αιχμής σε m<sup>3</sup> / s , A η έκταση της λεκάνης σε km<sup>2</sup> 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.

Πιν .12 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 <sub>max</sub>	1532	1660	1787	1915	2043	2426	2298	2426	2553	2681	2809

Όπως προκύπτει από τον Πιν . 12 , όπου έχει γίνει η εφαρμογή της εξίσωσης ( 47 ) , οι τιμές της παροχής σχεδιασμού του υπερχειλιστή που εκτιμήθηκαν στην παρούσα εργασία ( 1931 – 2633

$m^3 / s$  ) 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 6

### 6. Διόδευση πλημμύρας υπερχειλιστή

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

#### 6.1 Μέθοδος διόδευσης

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 :

$$\frac{dV}{dt} + Q = I \quad (48)$$

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 του νερού στον ταμιευτήρα και  $t$  ο χρόνος . Ειδικότερα , η στάθμη είναι  $z = z_{\Sigma} + H$  , όπου  $z_{\Sigma}$  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 :

$$I \sim \frac{I_n + I_{n+1}}{2} \quad (49)$$

$$Q \sim \frac{Q_n + Q_{n+1}}{2} \quad (50)$$

$$\frac{dV}{dt} \sim \frac{V_{n+1} - V_n}{\Delta t_n} \quad (51)$$

Όπου η (48) γράφεται

$$\frac{V_{n+1}-V_n}{\Delta t_n} = \frac{I_n+I_{n+1}}{2} - \frac{Q_n+Q_{n+1}}{2} \quad (52)$$

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 (52) γραμμένη στη μορφή :

$$V_{n+1} - \frac{\Delta t_n}{2} Q_{n+1} = V_n + \frac{\Delta t_n}{2} (I_{n+1} + I_n - Q_n) \quad (53)$$

( β ) η σχέση στάθμης – όγκου ταμιευτήρα:

$$V = V(z) \quad (54)$$

( γ ) η σχέση στάθμης – παροχής του υπερχειλιστή

$$Q = Q(z) \quad (55)$$

Το δεξιό μέλος της (53) 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  $V_{n+1} = V_n$  και
2. Υπολογίζεται η νέα τιμή του  $V_{n+1}$  με επίλυση της (53). Η αριθμητική μέθοδος συγκλίνει ταχύτερα αν χρησιμοποιηθεί ως νέα τιμή του  $V_{n+1}$  το ημίθροισμα της προηγούμενης
3. Από την (54) υπολογίζεται η νέα τιμή της στάθμης  $z_{n+1}$ .
4. Από την (55) υπολογίζεται η νέα τιμή της παροχής  $Q_{n+1}$ .
5. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 2 έως 4 μέχρις ότου η νέα τιμή του

$V_{n+1}$  ( ή ισοδύναμα του  $z_{n+1}$  ή του  $Q_{n+1}$  )  
 δε διαφέρει πολύ από την αμέσως προηγούμενη τιμή . Συνήθως σε κάθε βήμα χρειάζονται αρκετές επαναλήψεις.

## 6.2 Καμπύλη στάθμης – όγκου ταμιευτήρα

Οι συντεταγμένες της καμπύλης στάθμης – όγκου του ταμιευτήρα δίνονται στο Σχ 3.4.

## 6.3 Καμπύλη στάθμης – παροχής υπερχειλιστή

Όπως προαναφέρθηκε , στα πλαίσια της παρούσας μελέτης εξετάζεται ενδεικτικά υπερχειλιστής με κατασκευή στέψης υπερχείλισης τύπου ogee, υψόμετρο στέψης  $z_{\Sigma} = +116.5$  , και μήκος  $L = 65.0$  m . Η καμπύλη στάθμης – παροχής προσεγγίζεται από τη σχέση

$$Q = c L H^k \quad (56)$$

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 υπερχειλιστή και  $c$  και  $k$  συντελεστές που θεωρήθηκαν ίσοι με 2.2 και  $3/2$  , αντίστοιχα.

## 6.4 Αποτελέσματα διοδεύσεων

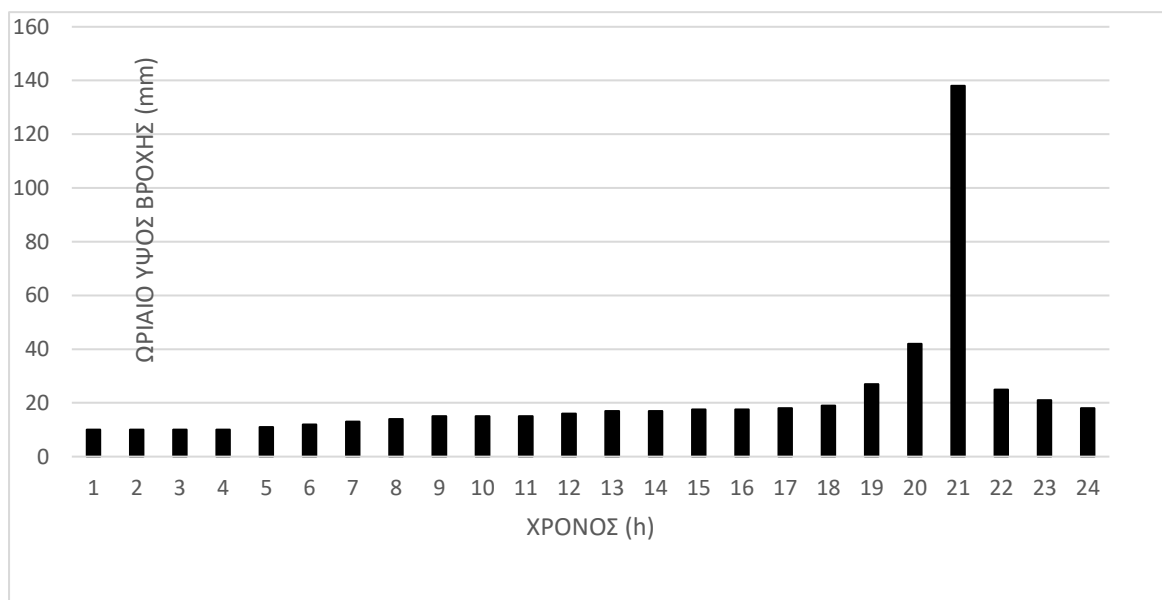
Τα αναλυτικά αποτελέσματα των διοδεύσεων στο παράρτημα στον παρακάτω Πίν. . 13 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των υδρογραφημάτων εκροής του υπερχειλιστή . Τα υδρογραφήματα εισροής και εκροής ( μαζί με το αντίστοιχο υετογράφημα ) που αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς 10.000 ετών φαίνονται στο Σχ. . 13.

Πίν. .13 Κύρια χαρακτηριστικά των υδρογραφημάτων εισροής και εκροής του υπερχειλιστή.

Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	10.000	20.000	60.000
<b>ΕΙΣΡΟΗ:</b>			
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
Συνολικός όγκος εισροής $V_1$ ( $hm^3$ )	68.882	78.306	95.352
<b>ΕΚΡΟΗ:</b>			
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

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

Σημείωση : Ο όγκος  $V_1$  αναφέρεται στο διάστημα μεταξύ των ωρών 1.0 και 34.0.



Υετογράφημα σχεδιασμού

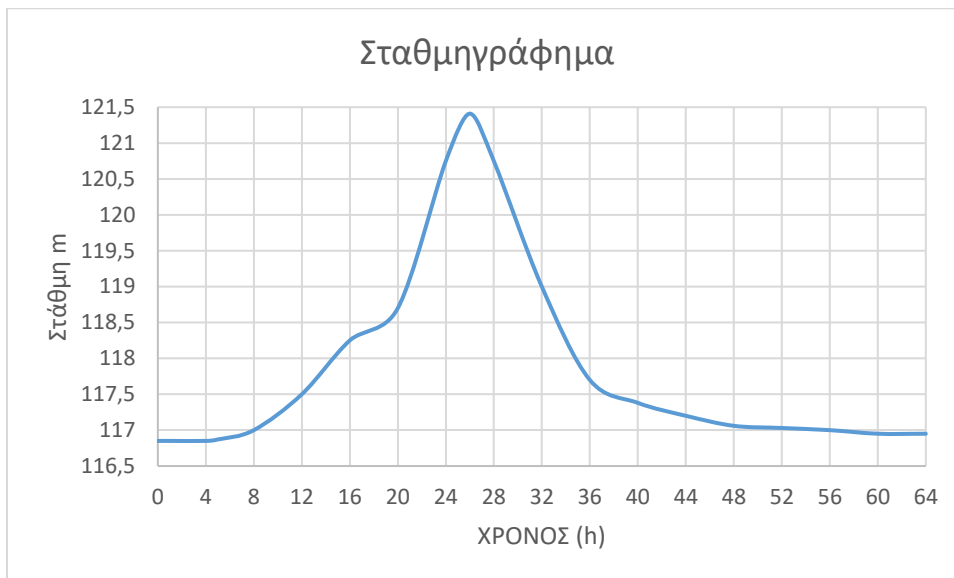




Παροχή εκροής 1555,7 m<sup>3</sup>/s



Παροχή εισροής 1931.2 m<sup>3</sup>/s



\*Μέγιστη στάθμη ταμειυτήρα 121.41 m

Σχ. Τα παραπάνω σχήματα είναι το υετογράφημα και υδρογραφήματα εισροής και εκροής σχεδιασμού υπερχειλιστή για περίοδο επαναφοράς 10.000 ετών

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### 7. Γενικές παρατηρήσεις και προτάσεις

#### 7.1 Γενικές Παρατηρήσεις

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

- Τα μεγέθη των βροχοπτώσεων 24ωρών βροχών διαφόρων περιόδων επαναφοράς δεν μεταβάλλονται ουσιωδώς για περιόδους μέχρι  $T=100$  σε σχέση με τα μεγέθη της έρευνας (1979).
- Η μέγιστη πιθανή βροχόπτωση στο σταθμό Μαρτισών εκτιμάται με την υδρομετεωρολογική μέθοδο ( αντίστοιχη περίοδος Hershfield  $T=10.000$ ) σε περίπου 528 χλσ. έναντι 545 χλσ. περίπου της αυτής τάξης μεγέθους.

- Ο υπολογισμός της P.M.P της λεκάνης δεν ενδείκνυται να γίνει με 410 χλσ όπως στη μελέτη (1979) στην οποία έγινε η παραδοχή γραμμικής μείωσης της P.M.P από Βορρά (Μαριτσα) προς Νότο (Κατταβία).
- Η σύνθεση του μοναδιαίου υδρογραφήματος πρέπει να τεθεί σε νέες βάσεις ( επί το δυσμενέστερο) λόγω εφαρμογής νέων παραμέτρων και δυσμενούς κατανομής της 24ωρης βροχής . Έτσι σμικρύνεται 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 ( worst profile) στη δυσμενέστερη θέση.
- Η κατανομή των 24ωρων βροχών ( ανά ώρα ) έγινε με βάση τη σχέση  $h = A t^{0.42}$  αντί  $h = At^{0.40}$  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 των πλημμυρών διαφορών περιόδων επαναφοράς καθώς και της μέγιστης πιθανής πλημμύρας προέκυψαν με την εφαρμογή των δυσμενέστερων συνδυασμών (παραμέτρων
- Όπως αναφέρεται οι πλημμυρικές παροχές που υπολογίστηκαν είναι πολύ υψηλές αν 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 έτσι ότι η P.M.F είναι σχεδόν τριπλάσια εκείνης της μελέτης (1979).

Στην παραπάνω παραγρ. της παρούσας αναφέρεται ότι εάν η πλημμυρική παροχή εκφραστεί ως:

$$Q = c f(A)$$

Όπου A είναι η έκταση της λεκάνης απορροής σε Χλμ<sup>2</sup> και Q η πλημμυρική παροχή σε ( m<sup>3</sup>/s ) το c κυμαίνεται από 30 – 200 ( 200 είναι το παγκόσμιο μέγιστο)

Στην Ελλάδα c = 50 – 80.

Για την προτεινόμενη πλημμυρική παροχή ( P.M.P = 528,5 χλσ 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 πάλι ότι οι μέγιστες πιθανές αιχμές πλημμυρών εκφραζόμενες με τη σχέση

$$Q = K A^{0.5}$$

Όπου A είναι η έκταση της λεκάνης απορροής σε Χλμ<sup>2</sup> και Q η πλημμυρική παροχή σε ( m<sup>3</sup>/s ) το K λαμβάνει μέγιστες τιμές 130-140 . Για την περίπτωση Q= 1931,2 το K είναι περίπου 160.

Η περίπτωση όμως για θραύση του Φράγματος Γαδουρά δεν μπορεί να χαρακτηρισθεί ιδιαίτερα επικίνδυνη αφού στα κατάντη οι περιοχές που κατακλύζονται δεν περιλαμβάνουν οικισμούς χωρίς βέβαια να αποκλείονται σοβαρές ζημιές όπως π.χ στο δρόμο Ρόδου – Λίνδου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Οριστική μελέτη φράγματος Γαδουρά 2000 . Τεχνική έκθεση )
- *Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας ΕΜΥ*
- Κωνσταντινίδης Δ, και Δ. Κουτσογιάννης , Υδρολογική μελέτη – Υπουργείο Γεωργίας Αθήνα 1986.
- Λαζαρίδης Λ. Α. Δανιήλ ,Σ. Μίχας και Δ. Κουτσογιάννης , Υδρολογία Μελέτη Ύδρευσης Ευρύτερης Περιοχής Ρόδου ,Υδραγωγείου και εγκαταστάσεων καθαρισμού νερού από Φράγμα Γαδουρά ,Γραφεία μελετών :Γραφείο Μαχαίρα , Γ. Καφετζόπουλος – Δ. Μπεκάκης – Ι .Πριντάτκο – Υπουργείο περιβάλλοντος , χωροταξίας και Δημοσίων Έργων , Αθήνα ,1998.
- 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<sup>α</sup>.
- Λαζαρίδης , Λ , Υδρολογική έρευνα πλημμυρών , Προμελέτη φράγματος γαδουρά - Νομαρχιακό Ταμείο Δωδεκανήσου , Ρόδος 1979<sup>β</sup>.
- Φαντίδης .Θ Ανάλυση Μετεωρολογικών Στοιχείων Νομού Δωδεκανήσου , Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδας , Τμήμα Δωδεκανήσου , Ρόδος , 1997.
- Method Hershfield -American Waterworks Association 1965
- National Environmental Research Council (NERC) 1975
- World Meteorological Organization 1986
- 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
- <https://www.itia.ntua.gr/el/documents/2/>

