



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΚΟΣΜΑΣ ΒΑΡΕΛΑΣ



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

ΒΟΛΟΣ 2025

© 2025 Κοσμάς Βαρελάς

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής [Δρ. Λάμπρος Βασιλειάδης](#)
(Επιβλέπων) [Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,](#)
[Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας](#)

Δεύτερος Εξεταστής [Δρ. Μάριος Σπηλιωτόπουλος](#)
[Μέλος Ε.Δι.Π. , Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,](#)
[Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας](#)

Τρίτος Εξεταστής [Δρ. Νικήτας Μυλόπουλος](#)
[Μέλος Δ.Ε.Π. , Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,](#)
[Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας](#)

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Λάμπρο Βασιλειάδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Μάριο Σπηλιωτόπουλο και κ. Νικήτα Μυλόπουλο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Ευχαριστώ τη μητέρα μου και τον πατέρα μου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους. Αφιερώνω αυτή την εργασία στους γονείς μου για την στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Κοσμάς Βαρελάς

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΕΡΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Κοσμάς Βαρελάς

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Επιβλέπων Καθηγητής: Λάμπρος Βασιλειάδης, Επίκουρος Καθηγητής

Περίληψη

Η κατασκευή ενός φράγματος σε ένα υδατόρρευμα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία, στα ανάντη, μίας τεχνητής λίμνης που ονομάζεται *ταμιευτήρας* και η οποία αποτελεί χώρο αποθήκευσης του νερού του υδατορρεύματος. Τα οφέλη στον άνθρωπο από τη χρήση των ταμιευτήρων είναι πολύπλευρα, όπως ο έλεγχος των πλημμυρικών φαινομένων και της στερεομεταφοράς, η άρδευση των καλλιεργειών, η ύδρευση πόλεων, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η αναψυχή και η μεταβολή του τοπικού μικροκλίματος κ.τ.λ. (Lehner et al., 2011). Οι ταμιευτήρες, όμως, παρουσιάζουν συχνά και δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η διακοπή της ελεύθερης μετακίνησης της ιχθυοπανίδας λόγω της παρεμβολής του φράγματος (Tundisi et. al., 2014), η παγίδευση φερτών υλών απαραίτητων για την συντήρηση σημαντικών υδροβιότοπων που βρίσκονται στα κατάντη (Emmanouloudis et al., 2006), αλλαγές στη σύνθεση της ιχθυοπανίδας εξαιτίας των μεταβολών σε θερμοκρασία και επίπεδα οξυγόνου στον υδάτινο όγκο του ταμιευτήρα (Chen et al., 2014) κ.τ.λ.. Ωστόσο, κατά κύριο λόγο, τα οφέλη από την κατασκευή ενός φράγματος είναι σαφώς σημαντικότερα από τις αρνητικές επιδράσεις που αυτή δύναται να έχει. Το βασικότερο γνώρισμα που χαρακτηρίζει τους ταμιευτήρες είναι η *ωφέλιμη χωρητικότητά* τους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση της ωφέλιμης χωρητικότητας στον υπό σχεδιασμό ταμιευτήρα του ποταμού *Πάμισου* στην περιοχή του *Μουζακίου Θεσσαλίας*, με μεθόδους που βασίζονται σε ιστορικές χρονοσειρές εισροών, ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος σχεδιασμός κατασκευής φράγματος που να καλύπτει την αρδευτική ανάγκη των καλλιεργειών, να καθιστά ικανή την εν γένει λειτουργία και διαχείριση του ταμιευτήρα και να ανταποκρίνεται στα φυσικά χαρακτηριστικά αυτού. Η εξεταζόμενη περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθόσον η κατασκευή του φράγματος σε αυτήν συνιστά τμήμα του συνολικού έργου της εκτροπής του ποταμού *Αχελώου*.

RESERVOIR ESTIMATION AND DESIGN USING SIMULATION

Kosmas Varelas

University of Thessaly, Department of Civil Engineering

Supervisor: Lambros Vasileiadis, Assistant Professor

Abstract

With the construction of a dam in a watercourse, an artificial lake called a *reservoir* is created upstream and is a place to store the water of the watercourse. Reservoirs offer multifaceted benefits to humans, such as flood control and stereotransport, crop irrigation, urban water supply, electricity generation, recreation and local microclimate change, etc. (Lehner et al., 2011). Reservoirs, however, often also have adverse environmental effects, such as the interruption of the free movement of fish due to the interference of the dam (Tundisi et. al., 2014), the trapping of transported materials that are necessary for the maintenance of important wetlands located in downstream (Emmanouloudis et al., 2006), changes in fish fauna composition due to changes in temperature and oxygen levels in the water volume of the reservoir (Chen et al., 2014), etc. However, as a rule, the benefits from the construction of the dam are far more important than their negative effects. The main feature of the reservoirs is their *useful capacity*.

The purpose of this thesis is to estimate the useful capacity in the planned reservoir of the *Pamisos* River in the area of *Mouzaki, Thessaly*, with methods based on historical time series of inflows, in order to achieve the optimal construction design that covers the irrigation needs of crops, to enable the general operation and management of the reservoir and to respond to its physical characteristics. The examined area is of considerable interest, since the construction of the dam in it is part of the project of diverting the *Acheloos* River.

Πίνακας Περιεχομένων

	Σελίδα
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	1
1.3 Διάρθρωση εργασίας	1
Κεφάλαιο 2 Περιοχή Μελέτης	3
2.1 Γενικά	3
2.2 Γεωτεκτονική θέση και γεωλογικές συνθήκες	4
2.3 Σεισμικότητα	7
2.4 Ανάλυση Λεκάνης Απορροής	10
2.4.1 Γεωλογία	12
2.4.2 Υδρογραφικό δίκτυο	13
2.5 Υφιστάμενα Έργα στην περιοχή μελέτης	19
2.6 Συμπεράσματα κεφαλαίου	21
Κεφάλαιο 3 Μηνιαία Απορροή Λεκάνης	22
3.1 Εισαγωγικές έννοιες	22
3.2 Λεκάνη απορροής Μουζακίου και βάση δεδομένων	23
3.3 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης	24

3.3.1	Μέθοδος θερμοβαθμίδας	24
3.4	Εκτίμηση επιφανειακής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής	26
3.4.1	Μέθοδος Thornthwaite	26
3.5	Υδατικό Ισοζύγιο	27
3.5.1	Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου Λουκάς και συνεργάτες	28
3.5.2	Μοντέλο GR2M	30
3.5.3	Μοντέλο Lihua Xiong, Shenglian Guo	33
3.6	Εφαρμογή υδρολογικών μοντέλων υδατικού ισοζυγίου	36
Κεφάλαιο 4	Περιγραφή Φραγμάτων	41
4.1	Γενικά	41
4.2	Ταξινόμηση φραγμάτων	44
4.2.1	Τύποι φραγμάτων	44
4.2.1.1	Φράγμα βαρύτητας	45
4.2.1.2	Τοξωτό Φράγμα	46
4.2.1.3	Αντηριδωτό Φράγμα	48
4.2.1.4	Χωμάτινο Φράγμα	49
4.3	Συνοδά Έργα	51
4.4	Συμπεράσματα κεφαλαίου	52
Κεφάλαιο 5	Μεθοδολογία	53
5.1	Εισαγωγικές Έννοιες	53
5.2	Μέθοδος Ripple	56
5.3	Μέθοδος Dincer (Gould Dincer Normal)	57

5.4	Μέθοδος Stall	61
5.5	Συμπεράσματα κεφαλαίου	63
Κεφάλαιο 6	Φράγμα Μουζακίου	64
6.1	Υπολογισμός Ωφέλιμου Όγκου Ταμιευτήρα	64
6.1.1	Εισαγωγή	64
6.1.2	Ωφέλιμος Όγκος από Μετρήσεις Παροχών	65
6.1.2.1	Υδατικό Ισοζύγιο	65
6.1.2.2	Μηνιαία Κατακρήμνιση	66
6.1.2.3	Μηνιαία Εξάτμιση	71
6.1.3	Υπολογισμός ωφέλιμου όγκου	83
6.1.3.1	Μέθοδος Ripple	84
6.1.3.2	Μέθοδος Stall	86
6.1.3.3	Μέθοδος Dincer	89
6.2	Υπολογισμός Νεκρού Όγκου ταμιευτήρα	91
6.2.1	Μέθοδος Gavrilovic	91
6.2.2	Μέθοδος Παγκόσμιας εξίσωσης εδαφικής απώλειας	92
6.2.3	Μέθοδος Miller	98
6.3	Υπολογισμός Πλημμυρικού Όγκου ταμιευτήρα	100
6.3.1	Κατανομή Gumbel	100
6.3.2	Προσαρμογή αναλυτικών σχέσεων στις όμβριες καμπύλες	103
6.3.3	Συνθετικά Μοναδιαία Υδρογραφήματα	113
6.3.4	Χρονική Κατανομή Των Βροχοπτώσεων	119
6.3.5	Εύρεση της πλημμυρικής αιχμής	122
6.3.6	Διόδευση Πλημμύρας	127
6.4	Συμπεράσματα κεφαλαίου	133
Κεφάλαιο 7	Επιλογή και διαστασιολόγηση του φράγματος	135

7.1	Επιλογή φράγματος	135
7.2	Διαστασιολόγηση φράγματος	137
7.3	Υπερχειλιστής	144
7.4	Λεκάνη ηρεμίας	145
7.5	Συμπεράσματα κεφαλαίου	147
	Κεφάλαιο 8 Έλεγχοι Φράγματος	148
8.1	Ευστάθεια	148
8.1.1	Ευστάθεια σε Ανατροπή	148
8.1.2	Ευστάθεια σε Ολίσθηση	148
8.1.3	Έλεγχος των αναπτυσσόμενων τάσεων	149
8.2	Συμπεράσματα κεφαλαίου	149
	Κεφάλαιο 9 Προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα	151
9.1	Παρουσίαση Μοντέλου	151
9.2	Συμπεράσματα κεφαλαίου	155
	Κεφάλαιο 10 Συμπεράσματα	157
	Βιβλιογραφία	159

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Στοιχεία ρηγμάτων στην περιοχή της Θεσσαλίας (μήκος L, αζιμούθιο ζ, κλίση θ, γωνία ολίσθησης λ), καθώς και τα έτη γένεσης και τα μεγέθη (σε παρένθεση) των ισχυρών σεισμών που έγιναν μετά το 1500 και συνδέονται με κάθε ρήγμα (Παναγιωτόπουλος & Παπαζάχος, 2008).....	8
Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορρεύματα) λεκάνης ποταμού Πάμισου.....	15
Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά υπολεκανών λεκάνης απορροής ποταμού Πάμισου	15
Πίνακας 2.4: Υδρολογικά αποτελέσματα προσομοίωσης λεκάνης απορροής ποταμού Πάμισου.....	17
Πίνακας 2.5: Χαρακτηριστικά υπολεκάνης Μουζακίου.....	18
Πίνακας 2.6: Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρα Πλαστήρα.....	20
Πίνακας 2.7: Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρα Σμοκόβου.....	20
Πίνακας 2.8: Χαρακτηριστικές χωρητικότητες μικρών ταμιευτήρων-δεξαμενών.....	21
Πίνακας 3.1: Λουκάς et. al.....	38
Πίνακας 3.2: GRM2.....	39
Πίνακας 3.3: Xiong-Guo	40

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Υδρογραφήματα σχεδιασμού στον κόμβο εξόδου (μέσες συνθήκες) για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Πάμισου	17
Σχήμα 5.1: Μέθοδοι υπολογισμού ωφέλιμης χωρητικότητας - απόδοσης (McMahon & Mein, 1978).....	55
Σχήμα 5.2: Γραφική αναπαράσταση των υπερετήσιων ταμιευτήρων (over year) και ετήσιων (within – year) (McMahon & Mein, 1978).....	56
Σχήμα 5.3: Γραφική αναπαράσταση παροχής - διάρκειας σε εβδομάδες.....	61
Σχήμα 5.4: Καμπύλες συχνότητας χαμηλών ροών διάφορων διαρκειών... ..	62
Σχήμα 5.5: Διάγραμμα διάρκειας - όγκου εισροής	63

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (κόκκινο περίγραμμα) και το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (κόκκινο πολύγωνο)...	3
Εικόνα 2.2: Τα σημαντικότερα έργα στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας...	4
Εικόνα 2.3: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα τους Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι - Ταλέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης (Mountrakis et al., 1983)...	5
Εικόνα 2.4: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας, κατάτμηση της ελληνικής επικράτειας σε ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (ΦΕΚ 1154B, 2003).....	7
Εικόνα 2.5: Οι εφελκυστικές τάσεις (διπλά βέλη) που επεκτείνουν τον φλοιό της Θεσσαλίας κατά τη διεύθυνση Βορρά-Νότου και προκαλούν ρήγματα με διεύθυνση Ανατολής-Δύσης. Με μικρά άσπρα και μαύρα βέλη σημειώνονται τα αποτελέσματα από νεοτεκτονικά (γεωλογικά) και σεισμολογικά δεδομένα, αντίστοιχα, ενώ με μεγάλα μαύρα βέλη σημειώνεται το μέσο πεδίο τάσεων της περιοχής (Παναγιωτόπουλος & Παπαζάχος, 2008).....	8
Εικόνα 2.6 Τα ένδεκα ρήγματα της Θεσσαλίας και των γύρω περιοχών που έδωσαν ισχυρούς σεισμούς ($M \geq 6.0$) κατά τους ιστορικούς χρόνους...	9
Εικόνα 2.7: Χάρτης Ορίων Δήμου Μουζακίου.....	11
Εικόνα 2.8: Τοπογραφικός Χάρτης Δήμου Μουζακίου.....	11
Εικόνα 2.9: Θέση Περιοχής Μουζακίου επί τους Λεκάνης Απορροής του ποτ. Πηνειού	11
Εικόνα 2.10: Χάρτης Γεωλογικών Σχηματισμών Περιοχής Φράγματος Μουζακίου...	13
Εικόνα 2.11: Ασύμμετρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Πάμισου. Οι σκούρες και η ανοιχτόχρωμες επιφάνειες απεικονίζουν τις περιοχές ανάπτυξης του δικτύου εκατέρωθεν του κύριου κλάδου του Πάμισου (Βουβαλίδης et al., 2005).....	14
Εικόνα 2.12: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δίκτυο και των υπολεκανών...	15
Εικόνα 2.13: Υπολεκάνη Μουζακίου με τις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών και σταθμών θερμοκρασίας.....	19
Εικόνα 3.1: Διεργασίες Μοντέλου GR2M	31
Εικόνα 4.1: Χάρτης φραγμάτων της Ελλάδας (Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, 2013).....	43
Εικόνα 4.2: Φράγμα Μαραθώνα, βαρύτητας με ελαφρά καμπυλότητα και υπερχειλιστή στο δεξιό αντέρεισμα. Η κατάντη όψη έχει επενδυθεί με Πεντελικό μάρμαρο	46
Εικόνα 4.3: Φράγμα Ταυρωπού - Ν. Πλαστήρα (Καρδίτσα), τοξωτό φράγμα, διπλής καμπυλότητας με υπερχειλιστή, σήραγγα επίσκεψης, σήραγγα εκτροπής και δύο εκκενωτές πυθμένα.....	47
Εικόνα 4.4: Φράγμα Λάδωνα (Αρκαδία), αντηριδωτό, με δύο εκχειλιστές, σήραγγα επίσκεψης και σήραγγα εκτροπής - εκκενωτή πυθμένα	49
Εικόνα 4.5: Ιδεατές τομές διαφόρων τύπων χωμάτων φραγμάτων (Wahlstrom, 1974) Α. Λιθόρριπτο με κατακόρυφο αργιλικό πυρήνα, Β. Ομογενές χωμάτινο με κατάντη σώμα στήριξης από εδαφικό και βραχώδες υλικό, Γ. Λιθόρριπτο με κεκλιμένο αργιλικό πυρήνα, Δ. Λιθόρριπτο με αργιλικό πυρήνα που εκτείνεται ανάντη ως αδιαπέρατος τάπητας με σκοπό να ελαττώσει ή μηδενίσει τη διήθηση νερού κάτω από το φράγμα, Ε. Φράγμα με σώμα στήριξης από διαβαθμισμένο εδαφικό υλικό και κατακόρυφο αργιλικό πυρήνα, Ζ. Λιθόρριπτο με αδιαπέρατο τάπητα από οπλισμένο σκυρόδεμα, θεμελιωμένο σε στρώση από αδρομερή υλικά, Η. Λιθόρριπτο με χαλύβδινη αδιαπέρατη μεμβράνη, Θ. Λιθόρριπτο με ασφαλικό	

τάπητα ανάντη, θεμελιωμένο σε αμμοχάλικα (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).....	50
Εικόνα 4.6: Φράγμα Ιλαρίωνα (Αλιάκμονας), χωμάτινο με κεντρικό πυρήνα	51
Εικόνα 5.1: Χαρακτηριστικοί όγκοι και στάθμες ταμειυτήρα (Γεωργίου, 2004).....	54
Εικόνα 6.1: Συνιστώσες Υδατικού Ισοζυγίου Ταμειυτήρα.....	65

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της εκπλήρωσης μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του Διπλώματος πολιτικού μηχανικού, στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

1.2 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα του φράγματος του Μουζακίου στη Θεσσαλία. Η ωφέλιμη χωρητικότητα υπολογίστηκε με 3 μεθόδους, τη μέθοδο Ripple, τη μέθοδο Dincer (Gould Dincer Normal) και τη μέθοδο Stall.

Συνοπτικά, η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η ακόλουθη:

- Υπολογισμός του όγκου απορροής του ταμιευτήρα για δεδομένα μετρήσεων μηνιαίας απορροής για χρονική περίοδο σαράντα δύο (42) υδρολογικών ετών, από τον Οκτώβριο του 1960 έως τον Σεπτέμβριο του 2002.
- Υπολογισμός της ωφέλιμης χωρητικότητας με τις 3 ανωτέρω μεθόδους για διάφορα ποσοστά απόληψης, χρησιμοποιώντας τόσο τις μετρήσεις παροχής όσο και τα υδρολογικό μοντέλο UTHBAL.
- Υπολογισμός του όγκου και της έκτασης του ταμιευτήρα, χρησιμοποιώντας δεδομένες αριθμητικές σχέσεις.
- Καταρτισμός του αριθμητικού μοντέλου λειτουργίας ταμιευτήρα UTHRL.
- Επιλογή του επιθυμητού τελικού όγκου του ταμιευτήρα, με βάση τις εξαχθείσες καμπύλες όγκου – έκτασης, αλλά και το μοντέλο UTHRL.

1.3 Διάρθρωση Εργασίας

Αμέσως μετά την εισαγωγή, όπου παρουσιάζεται το αντικείμενο της εργασίας, στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται η γεωτεκτονική θέση και οι γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Επιπρόσθετα, παρέχονται γενικές πληροφορίες για το υδρογραφικό δίκτυο, την τεκτονική, τα υφιστάμενα ρήγματα και τη σεισμικότητα, καθώς και τα υφιστάμενα έργα της περιοχής.

Στο τρίτο κεφάλαιο επεξηγούνται οι χρησιμοποιηθείσες μέθοδοι εκτίμησης της μηνιαίας απορροής της λεκάνης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο δίδονται γενικές πληροφορίες για τα φράγματα, το πώς αυτά ταξινομούνται και ποια είναι τα κυριότερα συνοδά έργα τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο επεξηγούνται οι χρησιμοποιηθείσες μέθοδοι εκτίμησης της ωφέλιμης χωρητικότητας ενός ταμιευτήρα.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται το προτεινόμενο φράγμα.

Στο έβδομο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την επιλογή και διαστασιολόγηση του φράγματος, καθώς και των υδραυλικών έργων ασφαλείας.

Στο όγδοο κεφάλαιο περιεγράφησαν οι μέθοδοι ελέγχου του ταμιευτήρα.

Στο ένατο κεφάλαιο έγινε η προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα.

Στο δέκατο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2 Περιοχή Μελέτης

2.1 Γενικά

Η Θεσσαλία είναι ένα από τα 13 γεωγραφικά διαμερίσματα της Ελλάδας και περιλαμβάνει τις Περιφερειακές Ενότητες (Π.Ε.) Λαρίσης, Μαγνησίας, Τρικάλων, Καρδίτσας και Σποράδων. Το υδατικό της διαμέρισμα συμπίπτει σε μεγάλο βαθμό με το αντίστοιχο γεωγραφικό και αποτελεί ένα από τα 14 υδατικά διαμερίσματα της χώρας μας. Συγκεκριμένα, έχει συνολική έκταση 13.377 km² (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2017) και περιλαμβάνει την Π.Ε. Λάρισας σχεδόν στο σύνολό της, το πλείστο μέρος των Π.Ε. Μαγνησίας, Τρικάλων και Καρδίτσας, καθώς και μικρά τμήματα των Π.Ε. Πιερίας, Γρεβενών και Φθιώτιδας. Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, όπως και τα σημαντικότερα έργα σε αυτό, φαίνονται στις εικόνες 2.1 και 2.2.



Εικόνα 2.1: Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (κόκκινο περίγραμμα) και το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (κόκκινο πολύγωνο)



Εικόνα 2.2: Τα σημαντικότερα έργα στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας

2.2 Γεωτεκτονική θέση και γεωλογικές συνθήκες

Από γεωγραφικής άποψης, η Θεσσαλία ανήκει στο κεντρικό τμήμα της χώρας με εξαιρετικά πλούσια φυσιογραφία, διαθέτοντας τόσο πεδινές όσο ορεινές και παραλιακές εκτάσεις. Το υδατικό διαμέρισμα συμπίπτει σχεδόν με το αντίστοιχο γεωγραφικό. Μικρά μόνο τμήματα του γεωγραφικού διαμερίσματος Θεσσαλίας, κυρίως προς τα νότια και νοτιοδυτικά, ανήκουν σε γειτονικά υδατικά διαμερίσματα.

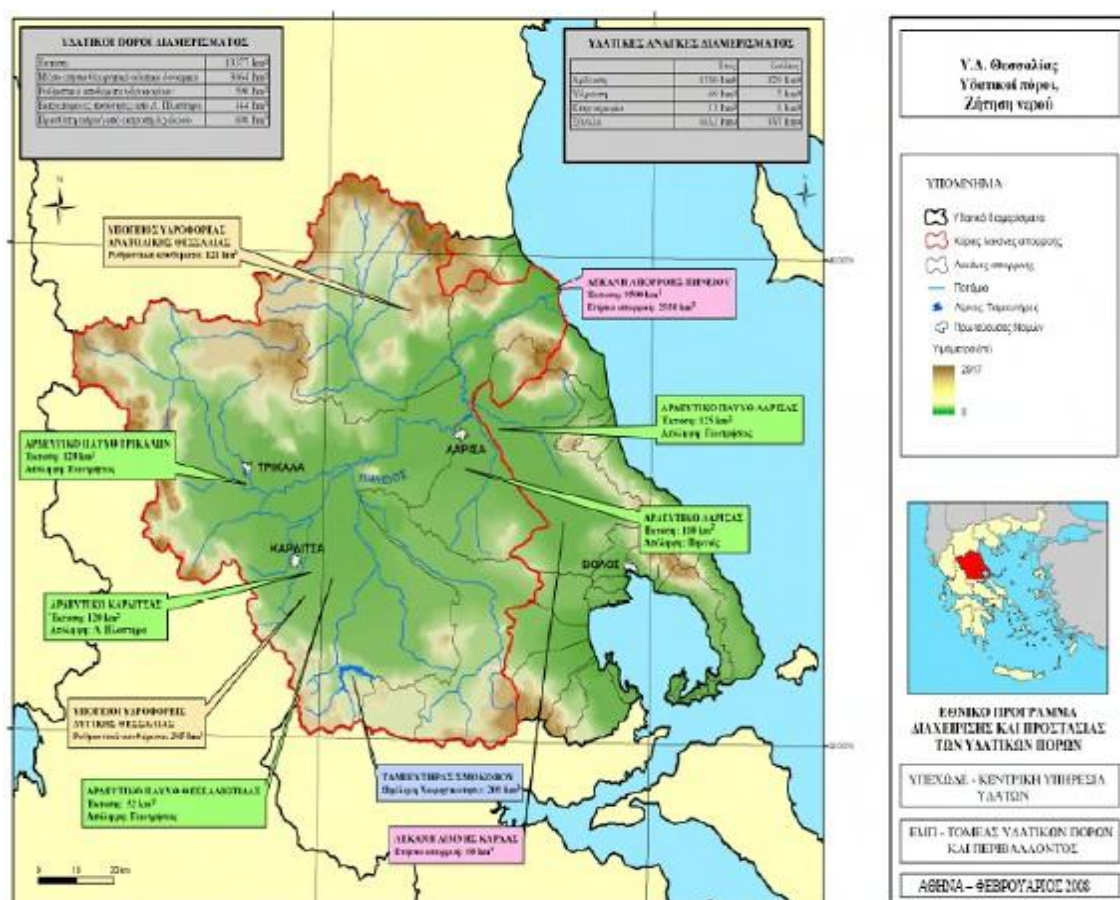
Η γενικότερη γεωμορφολογία και φυσιολογία της περιοχής μπορεί να περιγραφεί ως εξής: Η πεδινή περιοχή της Θεσσαλίας χωρίζεται από τα χαμηλά Χαλκοδόνια όρη σε δύο μεγάλα τμήματα ίσης περίπου έκτασης, το ανατολικό και το δυτικό, ενώ περιφερειακά των πεδινών αυτών εκτάσεων βρίσκονται οι ορεινοί όγκοι.

Το ανατολικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας έχει τα εξής γεωγραφικά όρια: βόρεια τον Κάτω Όλυμπο και την Όσσα, ανατολικά το Μαυροβούνι και το βόρειο Πήλιο, νότια και νοτιοδυτικά τα Χαλκοδόνια και βορειοδυτικά το Ζάρκο. Το νότιο και νοτιοανατολικό μέρος αποτελεί μια κλειστή λεκάνη, την αποξηρανθείσα λίμνη Κάρλα(Βοιβήϊς). Στην Ανατολική Θεσσαλία εντάσσονται και οι ορεινές , αλλά με αξιόλογη έκταση, καλλιεργούμενες εκτάσεις της Ελασσόνας και του Δαμασίου.

Το δυτικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας ορίζεται γεωγραφικά ως εξής: ανατολικά από τα Χαλκοδόνια όρη, βορειοανατολικά από το Ζάρκο, βόρεια από τα Χάσια και τα Αντιχάσια όρη, δυτικά από το Κερκέτιον όρος (Κόζιακας) και νότια από το Ναθράκιο, τους πρόποδες του όρους Τιμφρηστός και την αποξηρανθείσα λίμνη Ξυνιά. Προς τα βόρεια, οι

καλλιέργειες σταματάνε στο όριο της πεδιάδας με το τους πρόποδες των βουνών. Αντιθέτως, στα νότια παρατηρούνται καλλιέργειες ακόμα και στους πρόποδες των βουνών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι στην κεντρική – ανατολική πλευρά της δυτικής πεδιάδας (από Φυλλήιο μέχρι Χαλκηδόνιο), οι καλλιέργειες φθάνουν σε μεγάλο σχετικά υψόμετρο, έως και 500 μέτρα, λόγω των εξαιρετικά ομαλών κλίσεων των βουνών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η Δυτική περιοχή της Θεσσαλίας είναι η σημαντικότερη από πλευράς διαθέσιμων πόρων αλλά και η περιοχή με τις μεγαλύτερες καταναλώσεις. Ο κύριος κλάδος του Πηνειού και το σύνολο των σημαντικών παραποτάμων (εκτός του Τιταρήσιου) διατρέχουν τη Δυτική Θεσσαλική πεδιάδα. Η ύπαρξη αυτού του πλούσιου δικτύου ποταμών ευνοεί τον εμπλουτισμό των υπογείων υδροφόρων οριζόντων της Δυτικής πεδιάδας.



Εικόνα 2.3 Υδρολογικό διαμέρισμα Θεσσαλίας (Πηγή: «Μελέτη για το εθνικό πρόγραμμα διαχείρισης και προστασίας των υδατικών πόρων», 2008, ΥΠΕΧΩΔΕ - ΕΜΠ)

Η περιοχή της Θεσσαλίας διαιρείται σε τρεις κλιματικές περιοχές:

1. Την ανατολική παράκτια και ορεινή, με μεσογειακό κλίμα.
2. Την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα.
3. Την δυτική-νότια ορεινή, με ορεινό κλίμα.

Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο ως τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί μήνες ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένες, ιδιαίτερα στα ορεινά της περιοχής και γίνονται πιο έντονες από τα νότια προς τα βόρεια και από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι περισσότερες χιονοπτώσεις παρατηρούνται κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Στα δυτικά και ορεινά τμήματα της περιοχής αρχίζουν το Σεπτέμβριο και διαρκούν μέχρι και τις αρχές Ιουλίου. Οι χαλαζοπτώσεις είναι επίσης συχνές, κυρίως κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο στα βόρεια της περιοχής και κατά τους μήνες από Φεβρουάριο ως Απρίλιο στο νοτιοανατολικό τμήμα.

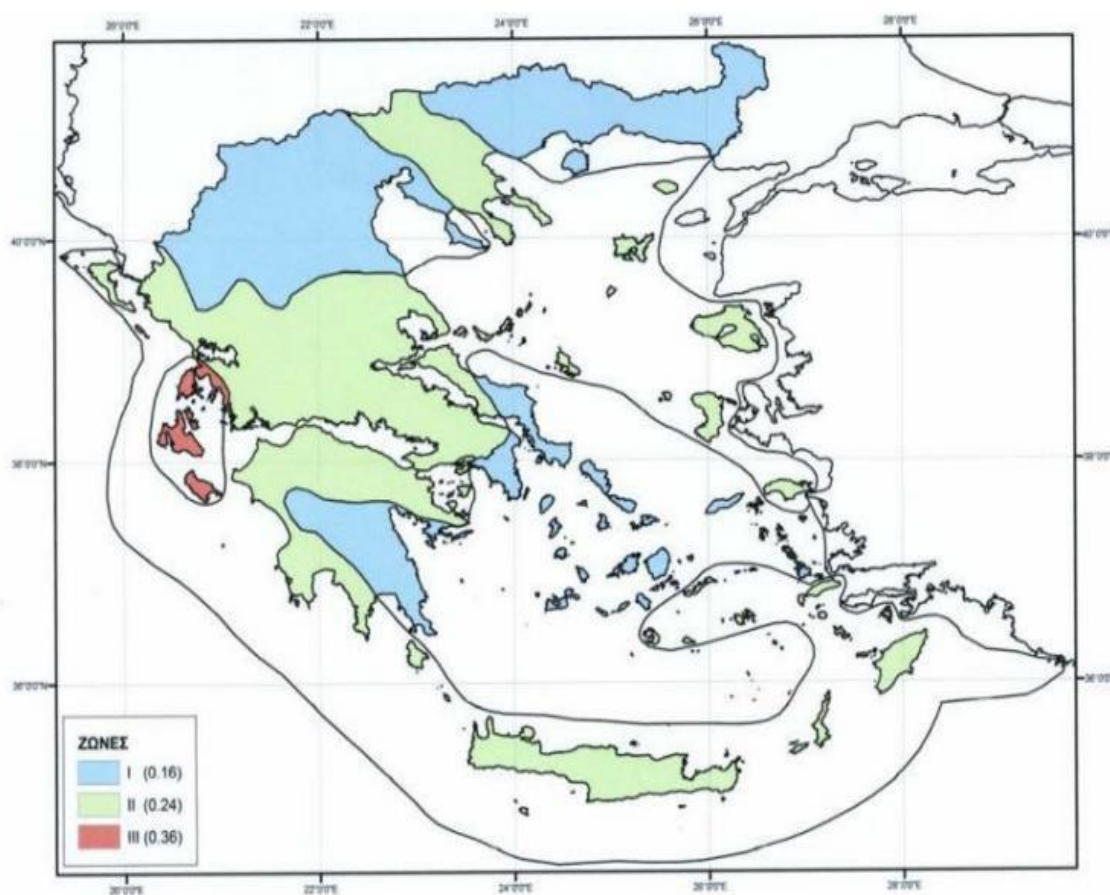
Η μεγαλύτερη και κυριότερη λεκάνη απορροής της Θεσσαλίας, είναι αυτή του ποταμού Πηνειού και των παραποτάμων του με έκταση 9747 km². Οι κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού είναι μέσου υδατικού δυναμικού, με παροχές εξαιρετικά μειωμένες κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Η λεκάνη του Πηνειού οριοθετείται ανατολικά από τον Κίσαβο, βόρεια από τον ορεινό όγκο του Άνω Ολύμπου, βορειοδυτικά από τα διοικητικά όρια της Θεσσαλίας, δυτικά και νοτιοδυτικά από την οροσειρά της Πίνδου ανατολικά από τη λεκάνη της Κάρλας και νοτιοανατολικά από τα διοικητικά όρια του νομού Μαγνησίας.

Προς τον νότο, παρατηρούνται αρκετοί παραπόταμοι με κυριότερους τους Ενιπέα, Φαρσαλιώτη, Σοφαδίτικο και Καλέτση. Οι ποταμοί αυτοί, συμβάλλουν στον Πηνειό κοντά στην περιοχή του χωριού Κεραμίδι και αποτελούν πολύ σημαντικό κλάδο του Πηνειού. Δυτικά οι κυριότεροι ποταμοί είναι ο Πάμισος, ο Παλιούρης και ο Ληθαίος, οι οποίοι συμβάλλουν σε διάφορα σημεία με τον Πηνειό. Στην ανατολική περιοχή, προς βορρά, αναπτύσσεται ο χείμαρρος Τιταρήσιος που συμβάλλει με τον Πηνειό στην περιοχή Ροδιά. Ο Τιταρήσιος αποτελεί έναν πολύ σημαντικό υδατικό πόρο για την περιοχή και μάλιστα έχουν προταθεί και δύο ταμιευτήρες κοντά στις πηγές του ποταμού στις θέσεις Καλούδα και Παλαιομονάστηρο.

Λόγω του μεγάλου μεγέθους της περιοχής, ωστόσο, είναι δύσκολο να υπολογιστούν κάποια μεγέθη τα οποία να χαρακτηρίζουν την λεκάνη σε όλα της τα σημεία. Μέσα στην λεκάνη υφίστανται περιοχές με πολύ διαφορετικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά οπότε γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι από σημείο σε σημείο μέσα στην ευρύτερη λεκάνη η προσφορά νερού διαφέρει αισθητά.

2.3 Σεισμικότητα

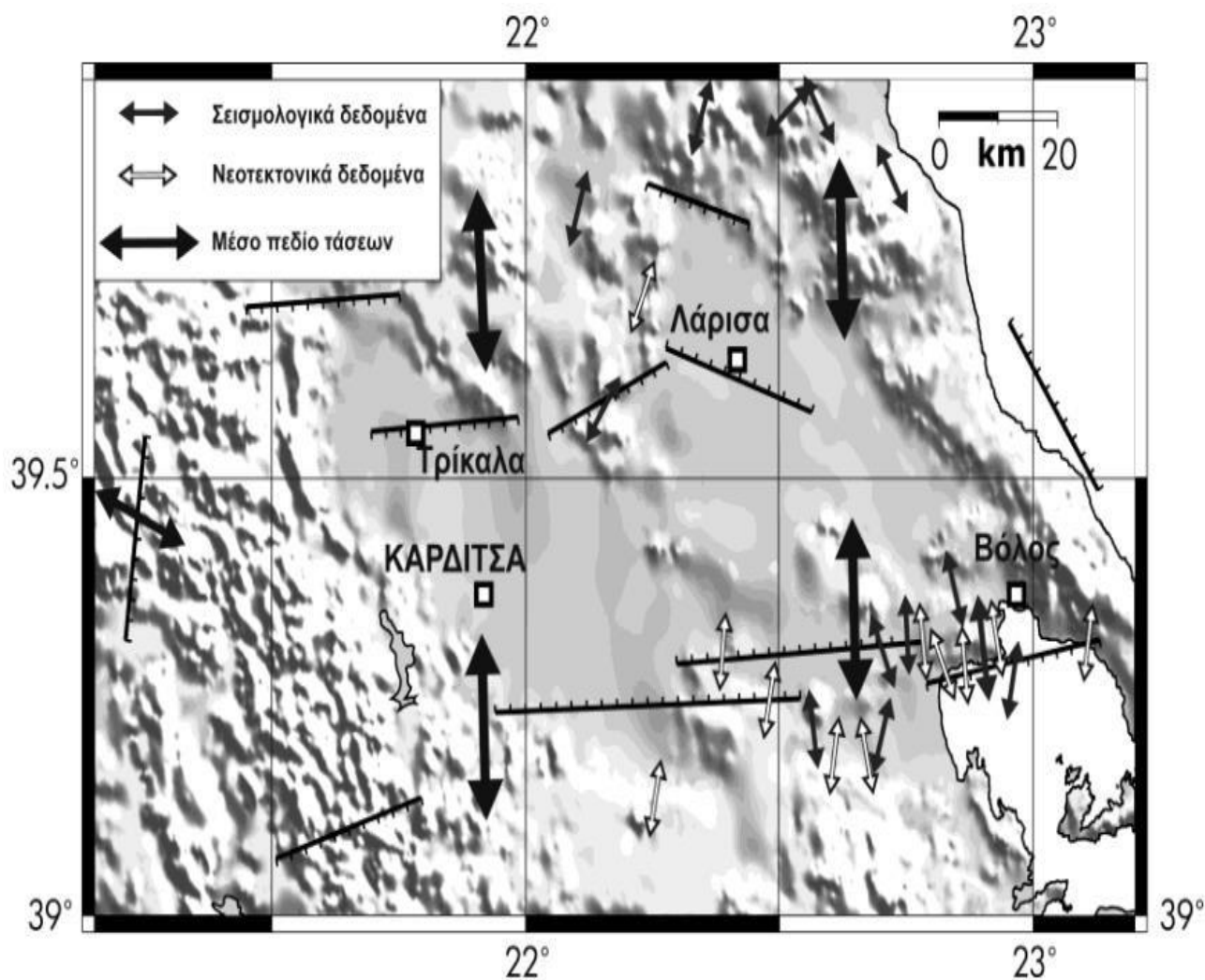
Με βάση τα καθοριζόμενα στον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) και τον επικαιροποιημένο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας, η ελληνική επικράτεια κατατμείται σε 3 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας με τιμές ενεργών εδαφικών επιταχύνσεων σχεδιασμού 0.16g για την Πρώτη Ζώνη, 0.24g για τη Δεύτερη Ζώνη και 0.36g για την Τρίτη Ζώνη. Σύμφωνα με τον ακόλουθο χάρτη (Εικόνα 2.4), η περιοχή της υπόψη μελέτης βρίσκεται εξ' ολοκλήρου στη Ζώνη II (0.24g).



Εικόνα 2.4: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας, κατάτμηση της ελληνικής επικράτειας σε ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (ΦΕΚ 1154B, 2003)

Στην Εικόνα 2.5 παρουσιάζονται τα σημαντικότερα (ένδεκα) ενεργά ρήγματα της περιοχής της Θεσσαλίας που παρήγαγαν σεισμούς μεγάλης κλίμακας ($M \geq 6.0$) κατά τους ιστορικούς χρόνους και οι οποίοι προσδιορίστηκαν με σεισμολογικές και γεωλογικές παρατηρήσεις (Παπαζάχος et al, 2001). Το διαμήκες ευθύγραμμο τμήμα κάθε συμβόλου

απεικονίζει τη διεύθυνση και το μήκος του ρήγματος, ενώ οι μικρές κάθετες γραμμές στη διεύθυνση του ρήγματος (δόντια) δεικνύουν τη διεύθυνση κλίσης του ρήγματος. Όλα τα ανωτέρω ρήγματα είναι, πράγματι, κανονικά ρήγματα και, όπως φαίνεται και από το σχήμα, με διεύθυνση, κατά προσέγγιση, ανατολής - δύσης ενώ άλλα κλίνουν προς τον Βορρά και άλλα προς τον Νότο (Παναγιωτόπουλος & Παπαζάχος, 2008).



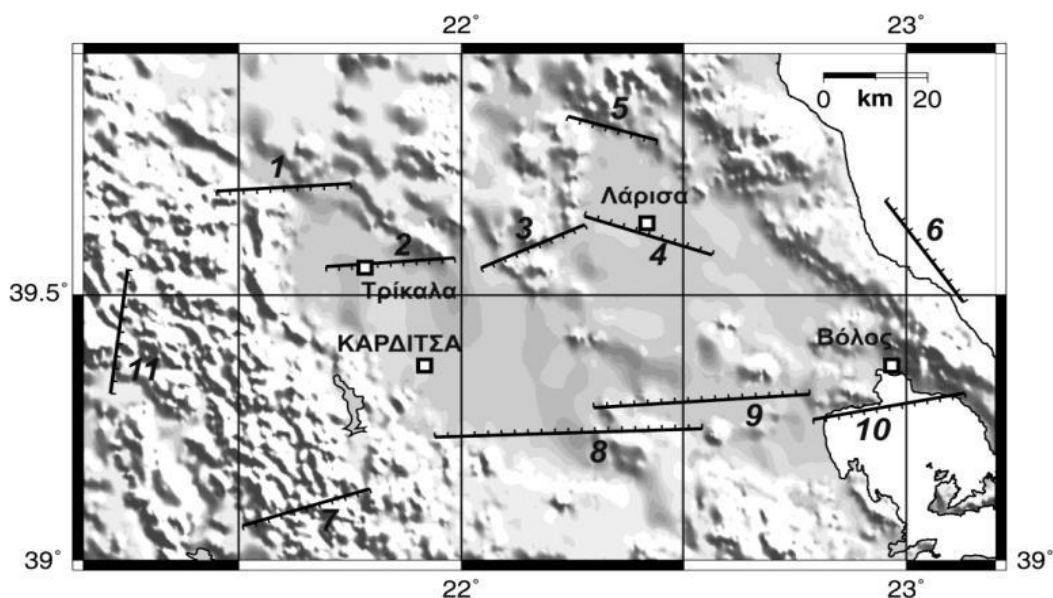
Εικόνα 2.5: Οι εφελκυστικές τάσεις (διπλά βέλη) που επεκτείνουν τον φλοιό της Θεσσαλίας κατά τη διεύθυνση Βορρά-Νότου και προκαλούν ρήγματα με διεύθυνση Ανατολής-Δύσης. Με μικρά άσπρα και μαύρα βέλη σημειώνονται τα αποτελέσματα από νεοτεκτονικά (γεωλογικά) και σεισμολογικά δεδομένα, αντίστοιχα, ενώ με μεγάλα μαύρα βέλη σημειώνεται το μέσο πεδίο τάσεων της περιοχής (Παναγιωτόπουλος & Παπαζάχος, 2008)

Στον Πίνακα 2.1 και στην Εικόνα 2.6 παρουσιάζονται τα ένδεκα γνωστά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας. Στον Πίνακα 2.1 δηλώνεται το όνομα του κάθε ρήγματος, το μήκος του L (σε km), το αζιμούθιο ζ , η κλίση του θ , η γωνία ολίσθησης λ (με τιμή -900 για

τα κανονικά ρήγματα), καθώς και τα έτη γένεσης και τα μεγέθη (σε παρένθεση) των σεισμών μεγάλης κλίμακας ($M \geq 6.0$) μετά το 1500 που συνδέονται με κάθε ένα από τα ρήγματα. Στην Εικόνα 2.6 φαίνεται ότι τα ρήγματα στην περιοχή της Θεσσαλίας συγκροτούν δύο κύρια δίκτυα, αυτό της βόρειας Θεσσαλίας κατά μήκος του Πηνειού ποταμού και το άλλο με μεγαλύτερα ρήγματα κατά μήκος των νότιων παρυφών της Θεσσαλικής πεδιάδας (Παναγιωτόπουλος & Παπαζάχος, 2008).

Πίνακας 2.1: στοιχεία ρηγμάτων στην περιοχή της Θεσσαλίας (μήκος L, αζιμούθιο ζ, κλίση θ, γωνία ολίσθησης λ), καθώς και τα έτη γένεσης και τα μεγέθη (σε παρένθεση) των ισχυρών σεισμών που έγιναν μετά το 1500 και συνδέονται με κάθε ρήγμα (Παναγιωτόπουλος & Παπαζάχος, 2008)

A/A	Όνομα Ρήγματος	L	ζ	θ	λ	Έτη και μεγέθη σεισμών
1	Μετέωρα	26	90	43	-90	1544(6.4), 1665(6.0), 1787(6.0)
2	Τρίκαλα	25	89	43	-90	1621(6.0), 1674(6.0), 1735(6.4)
3	Πηνειός	22	69	43	-90	1661(6.2)
4	Λάρισα	26	291	47	-88	1668(6.0), 1731(6.0), 1781(6.2), 1941(6.3)
5	Ελασσόνα	18	109	47	-88	1766(6.1)
6	Κεραμίδι	26	327	50	-82	1905(6.4), 1911(6.0), 1930(6.1)
7	Άγραφα	26	76	50	-82	1514(6.0), 1566(6.4), 1966(6.2)
8	Σοφάδες	52	271	47	-88	1954(7.0)
9	Φάρσαλα	42	269	47	-88	1743(6.6), 1773(6.4), 1957(6.8)
10	N. Αγχίαλος	30	82	43	-90	1864(6.0), 1955(6.2), 1980(6.5)
11	Άρτα	26	11	49	-87	1967(6.4)



Εικόνα 2.6 Τα ένδεκα ρήγματα της Θεσσαλίας και των γύρω περιοχών που έδωσαν ισχυρούς σεισμούς ($M \geq 6.0$) κατά τους ιστορικούς χρόνους.

2.4 Ανάλυση Λεκάνης Απορροής

Λεκάνη απορροής ποταμού (ή αλλιώς υδρολογική λεκάνη), καλείται η εδαφική έκταση στην οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω χειμάρρων και παροχετεύεται στη θάλασσα ή λίμνη διαμέσου ενιαίου στόμιου ποταμού, εκβολών ή δέλτα (Βουδούρης, 2013).

Η βασική υδρολογική λεκάνη στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας είναι η λεκάνη του ποταμού Πηνειού, με συνολική έκταση περίπου 9.500 km². Κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού είναι προς τα νότια ο Φαρσαλιώτης, ο Ενιπέας, ο Καλέντζης και ο Σοφαδίτης, προς τα δυτικά - νοτιοδυτικά ο Πορταϊκός και ο Πάμισος και στο βόρειο μέρος ο Νεοχωρίτης, ο Ληθαίος και ο Τιταρήσιος.

Ο ποταμός Πάμισος, στον οποίο θα μελετηθεί η κατασκευή φράγματος προς δημιουργία ταμιευτήρα, βρίσκεται στα δυτικά της Θεσσαλίας και συγκεκριμένα στην περιοχή του Μουζακίου της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας.

Ο Δήμος Μουζακίου είναι Δήμος της Περιφέρειας Θεσσαλίας με έδρα το Μουζάκι και ιστορική πρωτεύουσα το Μαυρομμάτι, ως γενέτειρα του καπετάνιου και στρατηγού τους Επανάστασης του 1821 Γεωργίου Καραϊσκάκη. Ο Δήμος έχει έκταση 647.387 km² και ο πληθυσμός του είναι 11.245 κάτοικοι με βάση την απογραφή του 2021 (13.122 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2001). Η σημερινή μορφή του Δήμου παρουσιάζεται στις Εικόνες 2.7, 2.8 και 2.9, όπως προέκυψε από το Πρόγραμμα Καλλικράτης, με την επέκταση του αρχικού Δήμου Μουζακίου και την ενσωμάτωση, σε αυτόν, των προϋπαρχόντων Δήμων Ιθώμης και Παμίσου. Ο Δήμος Μουζακίου διαιρείται σε 3 Δημοτικές Ενότητες, οι οποίες αντιστοιχούν τους 3 προαναφερθέντες συγχωνευθέντες Δήμους.



Εικόνα 2.7: Χάρτης Ορίων Δήμου Μουζακίου



Εικόνα 2.8: Τοπογραφικός Χάρτης Δήμου Μουζακίου



Εικόνα 2.9: Θέση Περιοχής Μουζακίου επί της Λεκάνης Απορροής του ποτ. Πηνειού

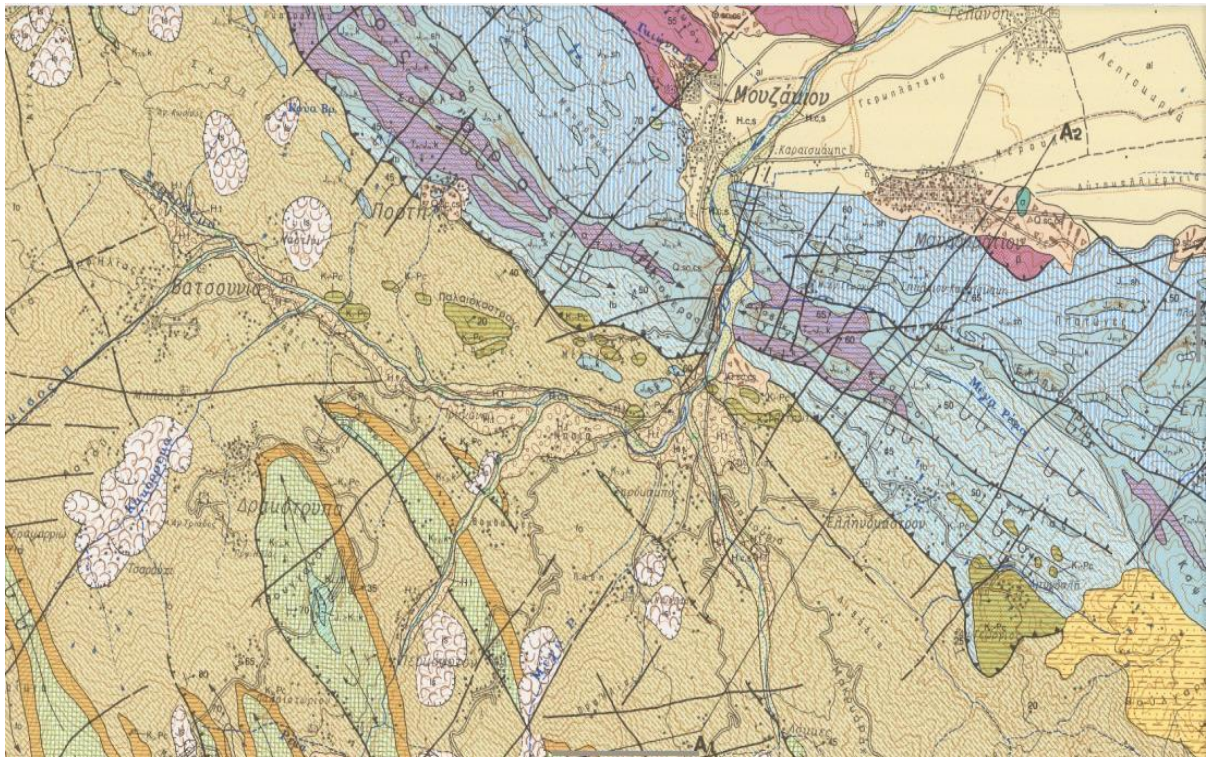
2.4.1 Γεωλογία

Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής του ταμιευτήρα του φράγματος βασίσθηκε σε χάρτες τους Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (Ε.Α.Γ.Μ.Ε.) κλίμακας 1:50.000. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκε το φύλλο Μουζάκι (1972). Στη συνέχεια, επεξηγούνται οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης βάσει του παραπάνω γεωλογικού χάρτη, ενώ η εικόνα των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.10.

- Ζώνες ερπυσμών και κατολισθήσεων (συμβολισμός χάρτη Is): συναντώνται κυρίως στον φλύσχη, και ελέγχονται μερικώς και από την τεκτονική. Αποτελούν το βασικότερο πρόβλημα των περισσότερων οικισμών της περιοχής.
- Αποθέσεις υλικών στις κοίτες των ποταμών (συμβολισμός χάρτη H.c,s): αδρομερή υλικά που αποτελούνται από κροκαλολατύπες και άμμους.
- Φλύσχη (συμβολισμός χάρτη fo): αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών, ασβεστιτικών ψαμμιτών και αργιλικών σχιστολίθων, με φακοειδείς ενστρώσεις κροκαλοπαγών, ποικίλης λιθολογικής σύστασης και πάχους. Στη βάση του, οι ψαμμίτες είναι αδρόκοκκοι, συμπαγείς, χωρίς παρεμβολές αργιλικών σχιστολίθων και σχηματίζουν πάγκους μέχρι και 2m πάχος. Το πάχος του φλύσχη είναι αδύνατο να υπολογισθεί με ακρίβεια, λόγω της έντονης τεκτονικής του, κατά θέσεις που αυτό ξεπερνάει τα 1000 m.
- Στρώματα μετάβασης (συμβολισμός χάρτη K₉.Pc): αποτελούν το πέρασμα των ανωκρητιδικών ασβεστολίθων προς τον φλύσχη. Πρόκειται για εναλλαγές πλακωδών ασβεστολίθων με ψαμμίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους. Οι ψαμμίτες υπερτερούν στα ανώτερα μέλη.
- Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι (συμβολισμός χάρτη K₇₋₉.k): πλακώδεις, με κονδύλους και ενστρώσεις λευκών ερυθρών και μαύρων στα κατώτερα μέλη πυριτολίθων καθώς και λεπτές ενστρώσεις ερυθρών και πρασίνων, αργιλικών σχιστολίθων και μαργών. Κατά θέσεις μέσα σ' αυτά απαντούν στρώματα κλαστικών κρυσταλλικών ασβεστολίθων. Οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι αναπτύσσονται σε στρώματα και παρουσιάζουν κελυφοειδή θραύση, το δε χρώμα τους είναι λευκό, τεφρόλευκο, πρασινωπό και στη βάση ερυθρό.
- Πρώτος φλύσχη και ερυθρές μάργες με Ακτινόζωα (συμβολισμός χάρτη K₁₋₇.fl): αποτελείται κυρίως από μαργαϊκούς ασβεστολίθους, ερυθρές μάργες και ψαμμίτες. Προς τα ανώτερα στρωματογραφικά μέλη, επικρατούν πράσινοι και ερυθροί ψαμμίτες, σε πάγκους των οποίων το πάχος φθάνει και το 1m περίπου, καθώς και πολύμικτα

μικροκροκαλολατυποπαγή.

- Άνωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι (Θυμίαμα) και ιζημάτα φλύσχη (συμβολισμός χάρτη Κ7.Ρc): συναντώνται στη δυτική σειρά σχηματισμών, υπερκείμενοι κανονικά τους ανώτερης κλαστικής σειράς. Είναι πλακώδεις ασβεστόλιθοι με κονδύλους κερατολίθων και ενστρώσεις ερυθρών πηλινών προς τα ανώτερα μέλη. Κατά θέσεις μεταπίπτουν σε συμπαγείς βιοκλαστικούς ασβεστολίθους νηριτικής φάσης, με κομμάτια ηφαιστειακών, κερατολιθικών και άλλων πετρωμάτων. Τα ιζημάτα φλύσχη, είναι η προς τα άνω εξέλιξη των ασβεστολίθων και αποτελούνται από εναλλαγές, κυρίως, ψαμμιτών και ερυθρών πηλινών.

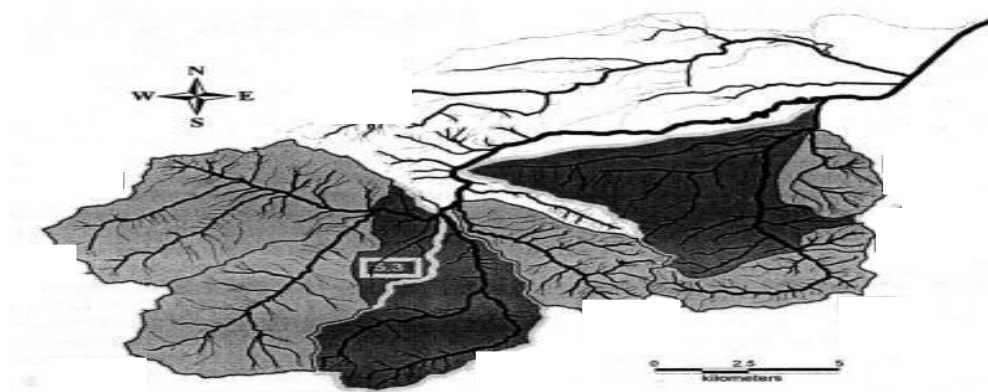


Εικόνα 2.10: Χάρτης Γεωλογικών Σχηματισμών Περιοχής Μουζακίου και Θέσης Φράγματος

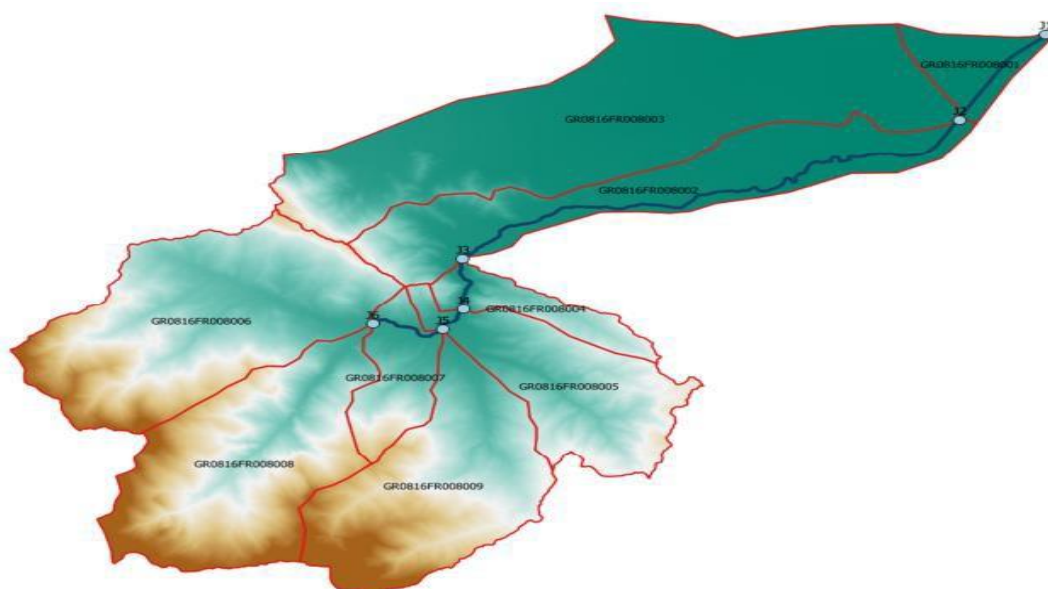
2.4.2 Υδρογραφικό δίκτυο

Ο Πάμισος ή Παλιούρης, είναι ποταμός των Περιφερειακών Ενοτήτων (Π.Ε.) Καρδίτσας και Τρικάλων. Πηγάζει από τα Άγραφα πλησίον του χωριού Οξυά, διέρχεται διάφορες κατοικημένες περιοχές με κυριότερη την κωμόπολη του Μουζακίου και συμβάλλει στον ποταμό Πηνειό. Ο Πάμισος αποστραγγίζει μέρος του ΝΔ τμήματος της λεκάνης της Θεσσαλίας. Η υδρολογική του λεκάνη, η οποία παρουσιάζεται στις Εικόνες 2.11 και 2.12, εκτείνεται τόσο στο πεδινό τμήμα της πεδιάδας όσο και στον ορεινό όγκο των περιθωρίων της λεκάνης, καλύπτει το Δ-ΝΔ τμήμα του δυτικού βυθίσματος της Θεσσαλίας και υπάγεται στην Π.Ε. Καρδίτσας. Περιλαμβάνει 9 υπολεκάνες (όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.3), 6

κόμβους και 5 κλάδους του υδρογραφικού δικτύου (όπως οι τελευταίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2). Τα δυτικά της όρια βρίσκονται στο ορεινό τμήμα του κεντρικού ηπειρωτικού κορμού της Πίνδου, ενώ τα ανατολικά της στο πεδινό τμήμα της Θεσσαλίας δυτικότερα της συμβολής του Πάμισου με τον Πηνειό ποταμό. Η έκτασή της είναι 311 km^2 , από τα οποία τα $151,3 \text{ km}^2$ καταλαμβάνουν το ορεινό ανάγλυφο του δυτικού τμήματος, ενώ τα υπόλοιπα βρίσκονται στο πεδινό τμήμα των αλλουβιακών αποθέσεων του ποταμού και στο χαμηλό λοφώδες ανάγλυφο δυτικά της οροσειράς του Κόζιακα. Το υδρογραφικό δίκτυο του Πάμισου είναι καλά ανεπτυγμένο, ιδιαίτερα στο ορεινό τμήμα της λεκάνης, με συνολικό μήκος $680,2 \text{ km}$. Κατά την είσοδο του ποταμού στην πεδιάδα της Θεσσαλίας διέρχεται από τον ορεινό όγκο του Κόζιακα, σχηματίζοντας μία επιγενετική (διαβρωσιγενή) κοιλάδα με απότομες κλιτύες (Στενά). Ο πιο σημαντικός κατοικημένος τόπος στην έξοδο της κοιλάδας του Πάμισου προς την πεδιάδα, είναι το Μουζάκι. Το μήκος της κοίτης του ποταμού κατάντη των Στενών μέχρι τη συμβολή του με τον Πηνειό ποταμό είναι $19,43 \text{ km}$. (Βουβαλίδης et al., 2005).



Εικόνα 2.11: Ασύμμετρη ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου του Πάμισου. Οι σκούρες και η ανοιχτόχρωμες επιφάνειες απεικονίζουν τις περιοχές ανάπτυξης του δικτύου εκατέρωθεν του κύριου κλάδου του Πάμισου (Βουβαλίδης et al., 2005)



Εικόνα 2.12: Χάρτης περιοχής μελέτης, όπου απεικονίζεται η σχηματοποίηση των κόμβων και κλάδων του υδρογραφικού δικτύου και των υπολεκανών.

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά μεγέθη κλάδων υδρογραφικού δικτύου (υδατορρεύματα) λεκάνης ποταμού Πάμισου.

Κωδικός	Υπολεκάνη	Ονομασία	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Μέση κλίση
R21	GR0816FR008001		J2	J1	3.820	0.0011
R32	GR0816FR008002		J3	J2	16.161	0.0047
R43	GR0816FR008004		J4	J3	2.244	0.0141
R54	GR0816FR008005		J5	J4	1.213	0.0060
R65	GR0816FR008007		J6	J5	2.420	0.0146

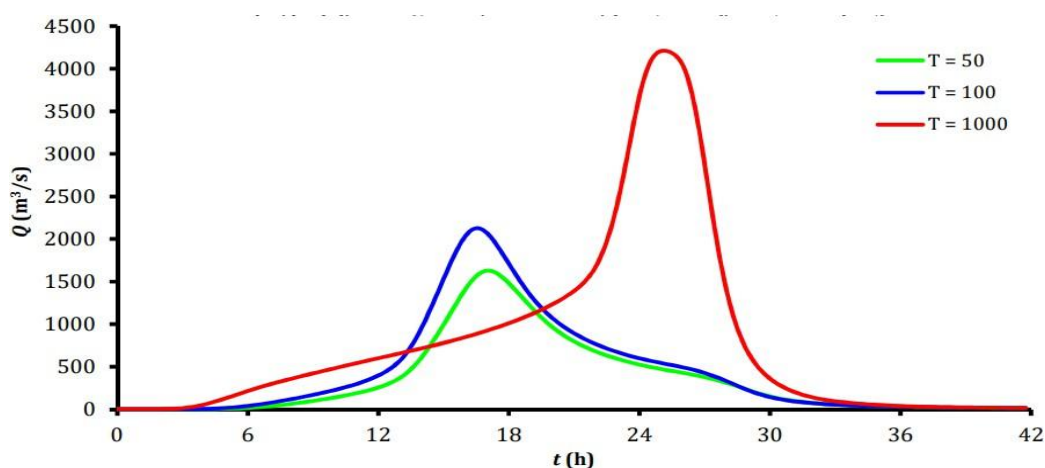
Πίνακας 2.3: Χαρακτηριστικά υπολεκανών λεκάνης απορροής ποταμού Πάμισου.

Κωδικός	Λεκάνη απορροής	Κλάδος	Κόμβος εξόδου	Έκταση (km ²)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο εξόδου (m)	Μέγιστο μήκος ροής (km)
GR0816FR008001	GR0816FR00008	R21	J1	6.809	100.612	100.3	4.389
GR0816FR008002	GR0816FR00008	R32	J2	29.206	191.468	104.7	18.352
GR0816FR008003	GR0816FR00008		J2	62.750	175.578	104.7	25.231
GR0816FR008004	GR0816FR00045	R43	J3	6.786	494.806	180.2	8.139
GR0816FR008005	GR0816FR00045	R54	J4	21.676	565.489	211.8	10.365
GR0816FR008006	GR0816FR00045		J6	43.487	747.412	254.6	12.945
GR0816FR008007	GR0816FR00045	R65	J5	9.077	537.569	219.1	6.544
GR0816FR008008	GR0816FR00045		J6	36.171	1005.351	254.6	12.892
GR0816FR008009	GR0816FR00045		J5	31.769	953.816	219.1	14.610

Στον Πίνακα 2.4 παρουσιάζονται τα υδρολογικά αποτελέσματα προσομοίωσης λεκάνης απορροής ποταμού Πάμισου, ενώ στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζονται τα υδρογραφήματα σχεδιασμού στον κόμβο εξόδου (μέσες συνθήκες) για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Πάμισου

Πίνακας 2.4: Υδρολογικά αποτελέσματα προσομοίωσης λεκάνης απορροής ποταμού Πάμισου.

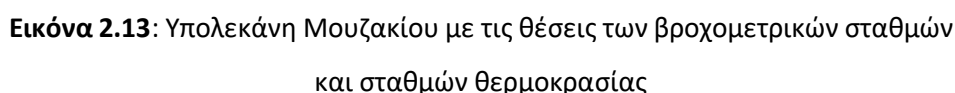
Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής Πάμισου			
Έκταση (km ²)	247.73	Υψόμετρο εξόδου (m)	100.3
Αδιαπέρατη επιφάνεια (%)	0.00	Χρόνος συγκέντρωσης (h)	8.38
Μέγιστο μήκος ροής (km)	41.59	Διάρκεια Βροχόπτωσης σχεδιασμού (h)	24.00
Μέσο υψόμετρο (m)	450.2	Χρονικό Βήμα (h)	0.25
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης λεκάνης			
	Ευμενείς συνθήκες	Μέσες συνθήκες	Δυσμενείς συνθήκες
Ολικό ύψος επιφανειακής Βροχής (mm)			
T = 50	248.0	292.3	330.5
T = 100	282.9	348.0	409.2
T = 1000	403.2	581.6	815.4
Ολικό ύψος πλημμυρικής απορροής (mm)			
T = 50	115.9	210.9	287.6
T = 100	145.0	263.9	365.4
T = 1000	252.0	490.8	769.4
Συντελεστής απορροής			
T = 50	0.467	0.721	0.870
T = 100	0.513	0.758	0.893
T = 1000	0.625	0.844	0.944
Πλημμυρική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	771.2	1625.1	2319.2
T = 100	1015.8	2123.8	3077.8
T = 1000	2215.5	4203.9	6631.6
Πλημμυρικός όγκος (hm ³)			
T = 50	28.708	52.243	71.235
T = 100	35.928	65.375	90.523
T = 1000	62.430	121.579	190.606
Συνολική παροχή αιχμής (m ³ /s)			
T = 50	774.4	1628.3	2322.4
T = 100	1019.5	2127.5	3081.5
T = 1000	2219.9	4208.4	6636.1
Συνολικός όγκος υδρογραφήματος (hm ³)			
T = 50	30.798	54.333	73.325
T = 100	38.339	67.786	92.934
T = 1000	65.324	124.472	193.500

**Σχήμα 2.1:** Υδρογραφήματα σχεδιασμού στον κόμβο εξόδου (μέσες συνθήκες) για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Πάμισου.

Στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πάμισου υπάρχουν υπολεκάνες που δείχνουν μία σαφή ασύμμετρη ανάπτυξη. Τα στοιχεία της υπολεκάνης του Μουζακίου, με τα υδροκλιματικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της, καθώς και τα τοπικά υδρομετεωρολογικά και υδρομετρικά δεδομένα, έχουν όπως στον παρακάτω Πίνακα 2.5, ενώ στην Εικόνα 2.13 παρουσιάζονται οι θέσεις των βροχομετρικών σταθμών και των σταθμών μέτρησης θερμοκρασίας στην υπολεκάνη του Μουζακίου.

Πίνακας 2.5: Χαρακτηριστικά υπολεκάνης Μουζακίου

Έκταση (km ²)	144,1
Περίμετρος (km)	54,0
Μέγιστο Υψόμετρο (m)	2000
Μέσο Υψόμετρο (m)	827
Ελάχιστο Υψόμετρο (m)	223
Μέγιστο μήκος υδατορρέματος (km)	13,41
Μήκος κυρίου υδατορρέματος μέχρι Κέντρο Βάρους λεκάνης (km)	6,49
Γεωγραφικό πλάτος γεωμετρικού Κέντρου Βάρους της λεκάνης (°)	39° 12'
Χρήση Γης	Δασική
Φυτοκάλυψη	30% φυλλοβόλα και 70% κωνοφόρα και θαμνώνες
Ποσοστό έκτασης (%) με κλίσεις εδάφους <5%	19
Ποσοστό έκτασης (%) με 5% < κλίσεις εδάφους < 10%	27
Ποσοστό έκτασης (%) με κλίσεις εδάφους >10%	54
Ποσοστό ιλύος στο έδαφος (%)	25
Ποσοστό άμμου στο έδαφος (%)	21
Ποσοστό αργίλου στο έδαφος (%)	7
Ποσοστό οργανικού υλικού στο έδαφος (%)	5



Επιπλέον, η υπολεκάνη Μουζακίου είναι δασική και έχει καλή έως πολύ καλή φυτοκάλυψη, κυρίως από κωνοφόρα με καλή πυκνότητα υπόροφο από θάμνους και ποώδη φυτά. Η εδαφική κάλυψη συμπληρώνεται από ένα σχετικά παχύ οργανικό στρώμα (φύλλα, κλαδιά, κ.τ.λ.). Το έδαφος έχει σχετικά μεγάλες κλίσεις και το πάχος του εδαφικού στρώματος κυμαίνεται από 1 έως 2,5 m με σχετικά καλή διαπερατότητα. Τα ποσοστά ιλύος και αργίλου του εδάφους είναι μικρά. Το γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης ανήκει κυρίως στις γεωλογικές ζώνες της Πίνδου και της δυτικής Θεσσαλίας που αποτελούνται από λεπτοπλακώδεις ασβεστολίθους σε εναλλαγές με σχιστοκερατολίθους και φλύσχη, καθώς και συνεκτικά κροκαλοπαγή.

2.5 Υφιστάμενα έργα στην περιοχή μελέτης

Ένα από τα μεγαλύτερα υδραυλικά έργα της περιοχής αλλά και της Ελλάδας είναι η τεχνητή λίμνη του Ν. Πλαστήρα, η οποία δημιουργήθηκε πριν σαράντα χρόνια για να εξυπηρετήσει τις ανάγκες ύδρευσης, άρδευσης και ηλεκτροδότησης της περιοχής. Αν και ξεκίνησε ως έργο ενεργειακής σκοπιμότητας, κατά τα τελευταία 15 χρόνια, λόγω και της επιδείνωσης της υδατικής κατάστασης, εξελίχθηκε σε έργο αρδευτικού σκοπού. Η αλλαγή του χαρακτήρα του

έργου είχε ως συνέπεια να μεταβληθεί σημαντικά η μηνιαία κατανομή των απολήψεων με αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγάλες ποσότητες νερού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Το νερό εισάγεται στους στροβίλους της εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας και μετά την έξοδο του διοχετεύεται για την κάλυψη των υδατικών αναγκών της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα παρατίθενται στον Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6: Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρα Πλαστήρα

Στάθμη υπερχειλίσσης (m)
Ανώτατη στάθμη (m)
Νεκρός όγκος (hm ³)
Μικτή χωρητικότητα (hm ³)
Ωφέλιμη χωρητικότητα (hm ³)
Παροχευευστικότητα σήραγγας προσαγωγής (hm ³ /μήνα)
Εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Συντελεστής αναλογίας ενέργειας / εκροών (KWh/m ³)
Έκταση υπολεκάνης απορροής (km ²)

Πρόσφατα κατασκευάστηκε στην περιοχή του Σμοκόβου ο ομώνυμος ταμιευτήρας, του οποίου τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρατίθενται στον Πίνακα 2.7.

Πίνακας 2.7: Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά ταμιευτήρα Σμοκόβου

Υψόμετρο στέψης φράγματος (m)	382
Μήκος στέψης (m)	456
Πλάτος στέψης (m)	11
Ανώτατη στάθμη πλημμύρας (m)	380
Κατώτατη στάθμη υδροληψίας (m)	331
Κατώτατη στάθμη εκκένωσης (m)	322
Επιφάνεια λεκάνης απορροής (m)	380
Νεκρός όγκος ταμιευτήρα (hm ³)	28,4
Ολική χωρητικότητα ταμιευτήρα (hm ³)	240
Ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα (hm ³)	200

Στην περιοχή λειτουργούν, επίσης, ένας σημαντικός αριθμός μικρότερων ταμιευτήρων τοπικής εμβέλειας, το νερό των οποίων χρησιμοποιείται για την ύδρευση και άρδευση των γύρω περιοχών. Η χωρητικότητά τους και η υπολεκάνη στην οποία βρίσκονται παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 2.8.

Πίνακας 2.8: Χαρακτηριστικές χωρητικότητες μικρών ταμιευτήρων-δεξαμενών

		ΛΕΚΑΝΕΣ			
		ΑΜΥΓΔΑΛΕΑ	ΜΕΣΟΧΩΡΙ	ΤΙΤΑΡΗΣΙΟΣ	ΤΕΜΠΗ
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (hm ³)	1ος ταμιευτήρας	0,26		0,2	0,35
	2ος ταμιευτήρας		1,5		0,05
	3ος ταμιευτήρας		0,15		
	4ος ταμιευτήρας		0,5		
	5ος ταμιευτήρας		0,1		
	6ος ταμιευτήρας		0,07		
	7ος ταμιευτήρας		0,11		
	8ος ταμιευτήρας		0,14		
	9ος ταμιευτήρας		0,25		
	10ος ταμιευτήρας		0,14		
	11ος ταμιευτήρας		0,14		
	ΣΥΝΟΛΟ	0,26	3,055	0,2	0,4

2.6 Συμπεράσματα Κεφαλαίου

Η Θεσσαλία έχει το υδατικό δυναμικό και τις εδαφολογικές προϋποθέσεις για την κατασκευή αριθμού φραγμάτων (όπως π.χ. στο Μουζάκι Καρδίτσας) στα υπάρχοντα ποτάμια της τα οποία, με την κατάλληλη αξιοποίηση, θα συμβάλουν σημαντικά τόσο στην άρδευση του θεσσαλικού κάμπου όσο και για λοιπούς κοινωφελείς σκοπούς, όπως π.χ. η ανάσχεση νερών των πλημμυρών, τα φαινόμενα των οποίων, κατά τα τελευταία χρόνια, είναι συχνά με αρκετά καταστρεπτικά αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 3 Μηνιαία απορροή λεκάνης

3.1 Εισαγωγικές Έννοιες

Στην παρούσα εργασία διάφορα αδρομερή μοντέλα υδατικού ισοζυγίου έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της μηνιαίας απορροής στη λεκάνη του Μουζακίου. Τρία μοντέλα υδατικού ισοζυγίου παρουσιάζονται στην εργασία αυτή, όπως έχουν προταθεί από τους Xiong and Guo(1999), Kabouya (1990) (Niel et al., 2003) και Λουκάς και συνεργάτες (2003). Τα μοντέλα αυτά χρειάζονται ως δεδομένα εισόδου την μέση επιφανειακή μηνιαία βροχόπτωση και δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση έχει εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας. Η μέση επιφανειακή δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίσθηκε με την εμπειρική μέθοδο Thornthwaite. Η μηνιαία απορροή προσομοιώθηκε χρησιμοποιώντας τα τρία μοντέλα υδατικού ισοζυγίου και συνδυασμούς των μεθόδων εκτίμησης της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

Απλά αδρομερή υδρολογικά μοντέλα, παραμετρικά ή εμπειρικά, τα οποία ενοποιούν τα ετερογενή χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής και προσομοιώνουν την μετατροπή της βροχόπτωσης σε απορροή, είναι γενικά εύκολα στην εφαρμογή τους και απαιτούν περιορισμένα δεδομένα εισόδου. Αν και η προσέγγιση αυτή οδηγεί σε γενίκευση των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, τέτοια μοντέλα είναι απλά και αποδοτικά στη χρήση τους, όπως έχει αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, και είναι χρήσιμα εργαλεία για μηχανικούς και επιστήμονες που ασχολούνται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Αδρομερή μοντέλα υδατικού ισοζυγίου έχουν αναπτυχθεί για διάφορες κλίμακες χρόνου (π.χ. ωριαία, ημερήσια, μηνιαία, και ετήσια) και διάφορους βαθμούς πολυπλοκότητας. Το πρώτο μηνιαίο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1940 από τον Thornthwaite (Thornthwaite, 1948), το οποίο αργότερα αναθεωρήθηκε από τους Thornthwaite και Mather (Thornthwaite and Mather, 1955). Από τότε αδρομερή μοντέλα έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί σε ένα μεγάλο φάσμα υδρολογικών προβλημάτων (Gabos and Gasparri, 1983; Alley, 1984; Vandewiele and Win, 1998). Πρόσφατα, τέτοια μοντέλα έχουν εφαρμοσθεί για να διαπιστωθούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Arnell, 1992; Panagoulia and Dimou, 1997; Yates and Strzepek, 1998; Guo et al., 2002), και την μακροχρόνια πρόγνωση της απορροής (Alley, 1985; Xu and Vandewiele,

1995). Αν και για τις παραπάνω εφαρμογές χρησιμοποιούνται ωριαία ή ημερήσια υδρολογικά μοντέλα, τα μοντέλα αυτά απαιτούν πολλά δεδομένα και έχουν πολλές περισσότερες παραμέτρους από τα αντίστοιχα μηνιαία μοντέλα.

Με την συνεχώς αυξανόμενη χρήση των μηνιαίων υδρολογικών μοντέλων ή μοντέλων υδατικού ισοζυγίου σε ένα μεγάλο εύρος υδρολογικών προβλημάτων, έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια για την ανάπτυξη νέων μοντέλων και τεχνικών για τον προσδιορισμό των παραμέτρων τους. Τέτοια μοντέλα έχουν αναπτυχθεί με μεγάλη διαφορά στην πολυπλοκότητα των αλγορίθμων και τον αριθμό των παραμέτρων τους. Για παράδειγμα, τα μοντέλα του Pitman (1973) που έχει προταθεί για εφαρμογή σε ξηρές περιοχές της Αφρικής με 10 έως 20 παραμέτρους και μοντέλα για εφαρμογή σε υγρές και ήπιες κλιματολογικά περιοχές με 2 έως 5 παραμέτρους (Vandewiele et al., 1992). Αν και έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία για πολλά μοντέλα, υπάρχει συνεχώς η ανάγκη για αναθεώρηση των μοντέλων αυτών καθώς και την εφαρμογή και έλεγχό τους σε άλλες περιοχές.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να αναπτυχθούν, εφαρμοσθούν, συγκριθούν, και αξιολογηθούν διάφορα μηνιαία μοντέλα υδατικού ισοζυγίου στη λεκάνη του Μουζακίου χρησιμοποιώντας διαφορετικά δεδομένα εισόδου μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής αναπτύχθηκαν τρία υδρολογικά μοντέλα από τους Xiong and Guo(1999), Kabouya (1990) (Niel et al., 2003) και Λουκάς και συνεργάτες (2003).

Οι κυριότερες διαφορές των παραπάνω μοντέλων βρίσκονται στη χρήση της εξατμισοδιαπνοής, της εδαφικής υγρασίας, της φόρτισης του υδροφορέα και της διόδευσης της απορροής, που έχει ως αποτέλεσμα τον διαφορετικό αριθμό παραμέτρων σε κάθε μοντέλο.

3.2 Λεκάνη απορροής Μουζακίου και βάση δεδομένων

Η υδρολογική λεκάνη του Μουζακίου βρίσκεται στη Θεσσαλία . Η έκταση της λεκάνης απορροής είναι 144,11 km² και το μέσο υψόμετρό της ανέρχεται στα 838 m πάνω από την μέση στάθμη της θάλασσας.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης από τους σταθμούς Αργιθέα-980μ, Δρακότρυπα-680μ, Μουζάκι ΥΠΓΕ-226μ και Μουζάκι ΥΠΕΧΩΔΕ-226μ. Δόθηκαν επίσης δεδομένα ημερήσιας θερμοκρασίας για 26 σταθμούς της

περιοχής της Θεσσαλίας γενικότερα. Τέλος, τα δεδομένα ημερήσιας απορροής που χρησιμοποιήθηκαν ήταν από τον παροχομετρικό σταθμό Μουζακίου. Η χρονική περίοδος που επιλέχθηκε για την εφαρμογή της εργασίας ήταν από τον Οκτώβριο του 1960 έως το Σεπτέμβριο του 2002 (42 υδρολογικά έτη).

Από τους διαθέσιμους μετεωρολογικούς σταθμούς με κοινή περίοδο δεδομένων Οκτώβριος 1960 έως Σεπτέμβριος 2002 υπολογίσθηκε η μέση επιφανειακή βροχόπτωση και δυνητική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης του Μουζακίου. Στις παρακάτω παραγράφους παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν.

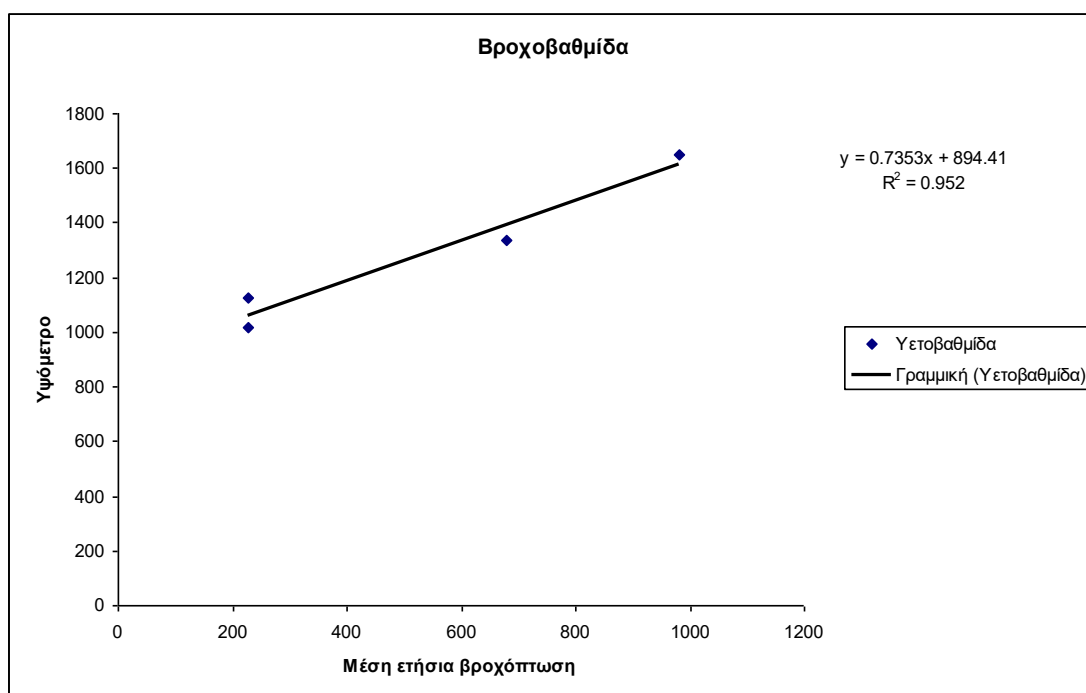
3.3 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης

Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης του Μουζακίου εκτιμήθηκε με τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας. Τα δεδομένα των ημερήσιων τιμών της βροχόπτωσης σε mm, που δόθηκαν από τους βροχομετρικούς σταθμούς Αργιθέα-980μ, Δρακότρυπα-680μ, Μουζάκι ΥΠΓΕ-226μ και Μουζάκι ΥΠΕΧΩΔΕ-226μ. επεξεργάστηκαν έτσι ώστε να μετατραπούν οι μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης σε ετήσιες (mm/month) και στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέση ετήσια (mm/year) για κάθε σταθμό.

3.3.1 Μέθοδος θερμοβαθμίδας

Η μέθοδος της βροχοβαθμίδας βασίζεται στην παρατήρηση ότι το ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί τη βροχοβαθμίδα που είναι ο όρος που περιγράφει την αύξηση του ετήσιου βροχομετρικού ύψους ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου. Η μέθοδος χρησιμοποιεί μία απλή γραμμική σχέση που συσχετίζει τα υψόμετρα των σταθμών με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κάθε σταθμού και εφόσον υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση (συντελεστής συσχέτισης $r > 0.70$), η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους βροχής σε οποιαδήποτε υψόμετρο.

Σταθμός	Υψόμετρο	Μεση ετήσια
Αργιθέα	980	1649.703155
Δρακότρυπα	680	1336.818568
Μουζάκι ΥΠΓΕ	226	1128.612794
Μουζάκι ΥΠΕΧΩΔΕ	226	1015.487754



Με βάση τα παραπάνω βρέθηκε η σχέση μεταβολής της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με το υψόμετρο που είναι η εξής:

$$y = 0.7353x + 894.41$$

$$R^2 = 0.952$$

όπου, $y=P$ το ετήσιο ύψος βροχής σε mm και $x=H$ το υψόμετρο του σταθμού σε m.

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, για κάθε αύξηση του υψομέτρου κατά 100m το ετήσιο ύψος βροχής αυξάνεται κατά 735mm.

Στη συνέχεια εφαρμόζοντας την κεντροβαρική μέθοδο (Thiessen), στους σταθμούς που χρησιμοποιήσαμε για τη βροχοβαθμίδα, για τα δεδομένα μηνιαίας βροχόπτωσης και τα

εμβαδά επιρροής του κάθε σταθμού. Έτσι υπολογίστηκαν οι τιμές της μέσης μηνιαίας συνολικής βροχόπτωσης για τη λεκάνη μας στα οποία εφαρμόσαμε τη μέθοδο της τροποποιημένης Thiessen εκτιμώντας τις νέες μηνιαίες βροχοπτώσεις. Οι σχέσεις που χρησιμοποιήσαμε είναι οι παρακάτω:

$$P_{\text{υπολογιζ.}} = P_{\text{μέσηετήσια}} + (\Delta H) \text{Βροχοβαθμίδα},$$

όπου ΔH = διαφορά μέσου ύψους λεκάνης μείον μέσο ύψος σταθμών

και

$$P_{\text{τροποπ.}} = P_{\text{μηνιαία}} \times (P_{\text{ετήσια}} / P_{\text{υπολογιζ.}}).$$

3.4 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

Η εκτίμηση της μέσης επιφανειακής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής έγινε με τη χρήση εμπειρικών μεθόδων που βασίζονται στη θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία. Η μέση επιφανειακή θερμοκρασία υπολογίστηκε με τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας, η οποία είναι όμοια με αυτή της βροχοβαθμίδας χρησιμοποιώντας σταθμό βάσης το σταθμό του Ταυρωπού. Η θερμοβαθμίδα εφαρμόστηκε σε όλους τους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλίας και για τους οποίους είχαμε δεδομένα. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η μέθοδος του Thornthwaite.

3.4.1 Μέθοδος Thornthwaite

Ο Thornthwaite (1948) περιέγραψε τη βιολογική και φυσική σημασία της εξατμισοδιαπνοής στην κλιματική ταξινόμηση και ανέπτυξε μια εξίσωση για την εκτίμηση της δυνατής εξατμισοδιαπνοής:

$$E_p = 1.6 L_d (10 T_a / I)^a$$

όπου, T_a η μέση μηνιαία θερμοκρασία της λεκάνης απορροής σε $^{\circ}\text{C}$, I ο δείκτης θερμότητας που δίνεται από την σχέση:

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{T_n}{5} \right)^{1.514}$$

όπου, T_n η κανονική θερμοκρασία κάθε μήνα, L_d ένας διορθωτικός συντελεστής που υπολογίζεται από μετεωρολογικούς πίνακες ως συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους και α ένας συντελεστής που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha = 0.00000067513 - 0.000077 I_2 + 0.01792 I_1 + 0.49239$$

Η μέθοδος Thornthwaite παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, αφού η υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή υποεκτιμάται, όταν η ακτινοβολία που προσλαμβάνει η γη έχει τη μέγιστη τιμή της, δηλαδή στη διάρκεια του καλοκαιριού, και κατά συνέπεια είναι εκτός φάσης το φθινόπωρο. Αυτό αποδίδεται στην χρονική υστέρηση που παρουσιάζει η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας ως προς την ακτινοβολία. Μεγάλη υποεκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με αυτή την μέθοδο διαφαίνεται στα ξηρά και ημίξηρα κλίματα. Επίσης η χρησιμοποίηση της μεθόδου για μικρά χρονικά διαστήματα δεν είναι κατάλληλη επειδή η μέση θερμοκρασία μικρών χρονικών περιόδων δεν αποτελεί κατάλληλο μέτρο για την ενέργεια που διατίθεται στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Είναι περισσότερο επιτυχής η μέθοδος για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, όπως μηνιαία, και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και η εξατμισοδιαπνοή είναι όμοιες συναρτήσεις της καθαρής ακτινοβολίας και ως εκ τούτου αυτοσυσχετίζονται όταν οι θεωρούμενες χρονικές περίοδοι είναι μεγάλες.

3.5 Υδατικό Ισοζύγιο

Απώτερος σκοπός των υδρολογικών μοντέλων υδατικού ισοζυγίου είναι να εκτιμήσουν την απορροή από βροχομετρικά δεδομένα χρησιμοποιώντας την εξίσωση της συνέχειας που δίνεται από την εξίσωση:

$$R = P - L$$

όπου, R η συνολική απορροή σε mm, P η βροχόπτωση σε mm, και L οι υδρολογικές απώλειες σε mm.

Στην εργασία αυτή αναπτύχθηκε ένα νέο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου και χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα γνωστά μοντέλα που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Τα μοντέλα αυτά περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

3.5.1 Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου Λουκάς και συνεργάτες

Το προτεινόμενο μοντέλο διακρίνει την συνολική απορροή σε τρεις συνιστώσες απορροής, δηλαδή, την επιφανειακή απορροή, την ενδιάμεση ή επιδερμική απορροή, και την βασική απορροή ή απορροή που προέρχεται από την εκροή του υδροφορέα. Σύμφωνα με το μοντέλο πρώτη προτεραιότητα στο υδατικό ισοζύγιο πριν τη δημιουργία απορροής αποτελεί η ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή E_a του μήνα J εξαρτάται από τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα J , και την μέση επιφανειακή δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_p του μήνα J . Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από τη σχέση που πρότειναν οι Vandewiele και Win (Vandewiele and Win, 1998):

$$E_a(J) = \min \{ E_p(J) * (1 - \alpha^{S_{moist}(J)/E_p(J)}), S_{moist}(J) \}$$

Όπου:

$S_{moist}(J)$ η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα J για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής,

α ένας συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ($0 \leq \alpha \leq 1$),

και $E_p(J)$ η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα J .

Η επιφανειακή απορροή, SR , του μήνα J υπολογίζεται ως:

$$SR(J) = (1 - K) * (AS_{moist}(J) - S_{max}) \text{ εάν } AS_{moist}(J) > S_{max}$$

ή

$$SR(J) = 0 \text{ εάν } AS_{moist}(J) \leq S_{max}$$

Όπου:

$AS_{moist}(J) = S_{moist}(J) - E_a(J)$, η υπολειπόμενη εδαφική υγρασία του μήνα J μετά την ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής,

$$S_{\max} = \frac{25400}{CN} - 254, \text{ η μέγιστη εδαφική υγρασία,}$$

CN το Curve Number της Soil Conservation Method (SCS, 1972) ($0 \leq CN \leq 100$),

και K ο συντελεστής κατείσδυσης ($0 \leq K \leq 1$).

Η διήθηση D προς τον υπόγειο υδροφόρα του μήνα J υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$D(J) = K * (AS_{\text{moist}}(J) - S_{\max}) \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) > S_{\max}$$

ή

$$D(J) = 0 \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) \leq S_{\max}$$

Η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα J, N_{moist} , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_{\text{moist}}(J) = AS_{\text{moist}}(J) - SR(J) - D(J)$$

Η ενδιάμεση απορροή από την εδαφική υγρασία, MR, του μήνα J υπολογίζεται ως:

$$MR(J) = \beta * [N_{\text{moist}}(J-1) + N_{\text{moist}}(J)]$$

όπου, β ο συντελεστής ενδιάμεσης απορροής ($0 \leq \beta \leq 1$)

Η υπολειπόμενη υγρασία στο τέλος του μήνα J, NS_{moist} , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$NS_{\text{moist}}(J) = N_{\text{moist}}(J) - MR(J)$$

Η διαθέσιμη εδαφική εργασία για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του επόμενου μήνα J+1 είναι:

$$S_{\text{moist}}(J+1) = P(J+1) + NS_{\text{moist}}(J)$$

Η βασική απορροή ή απορροή από την εκροή του υδροφορέα, Q_g , του μήνα J υπολογίζεται από τη διήθηση, D , του προηγούμενου μήνα $J-1$, από τη σχέση:

$$Q_g(J) = \gamma * D(J-1)$$

Όπου:

γ ο συντελεστής βασικής απορροής ή συντελεστής εκροής του υδροφορέα ($0 \leq \gamma \leq 1$).

Τέλος, η συνολική απορροή, Q_c , υπολογίζεται ως άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών της απορροής, δηλαδή της επιφανειακής απορροής, ενδιάμεσης απορροής και βασικής απορροής:

$$Q_c(J) = SR(J) + MR(J) + Q_g(J)$$

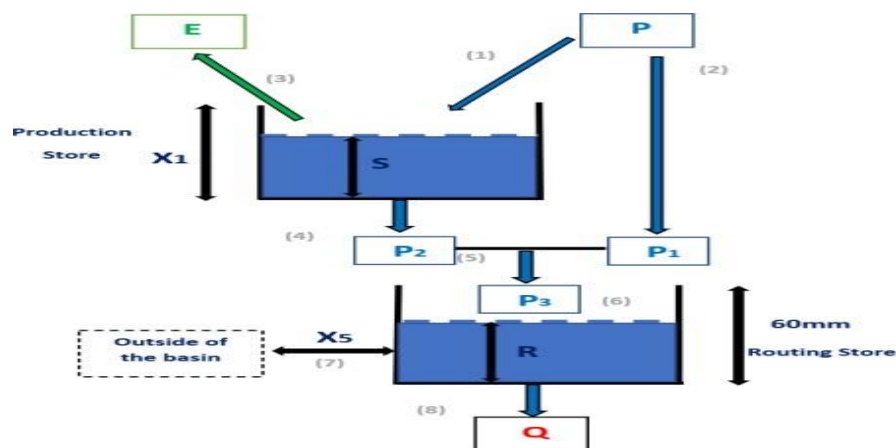
Το προτεινόμενο μοντέλο υδρολογικού ισοζυγίου είναι ένα μοντέλο πέντε παραμέτρων. Είναι όμως δυνατόν δύο από τους παραμέτρους του μοντέλου, το CN και ο συντελεστής κατείσδυσης, K , να εκτιμηθούν άμεσα από εδαφολογικούς και γεωλογικούς αναλογικούς ή ψηφιακούς χάρτες, και χάρτες χρήσεων γης, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τον αριθμό των παραμέτρων που πρέπει να προσδιορισθούν με τη βοήθεια μεθόδων βελτιστοποίησης.

3.5.2 Μοντέλο GR2M

Το μοντέλο **GR2M** αποτελεί ένα παγκόσμιο εννοιολογικό υδρολογικό μοντέλο (Εικόνα 6.3) που λειτουργεί σε μηνιαία κλίμακα. Σύμφωνα με τους Mouelhi et al., 2006, χρησιμοποιεί ως εισροές τη βροχόπτωση και τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Οι εκφορτίσεις χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό παραμέτρων και αξιολόγησης της απόδοσης. Έχει δύο παραμέτρους **X1** και **X2** που δύναται να βελτιστοποιηθούν: η πρώτη εξελίσσεται στη συνάρτηση παραγωγής και η δεύτερη στη συνάρτηση μεταφοράς. Η συνάρτηση παραγωγής οργανώνεται γύρω από μία εδαφική δεξαμενή "**S**" που αντιπροσωπεύει τη μέγιστη χωρητικότητά της. Αυτή η δεξαμενή ρυθμίζει την ποσοτική πτυχή της μοντελοποίησης. Η συνάρτηση μεταφοράς χρησιμοποιείται για τη μετάφραση του τρόπου με τον οποίο η βροχόπτωση φτάνει στην έξοδο της λεκάνης, καθορίζοντας τη χρονική πορεία. Πρόκειται για το κλάσμα της καθαρής

βροχής που δεν χρησιμοποιήθηκε για την τροφοδότηση της εδαφικής δεξαμενής. Αν και αρχικά το μοντέλο είχε ξεκινήσει με τέσσερις παραμέτρους, ώστε να προσδιορισθεί ποια είναι τα σημαντικά στοιχεία σε ένα μηνιαίο μοντέλο βροχόπτωσης-ροής, υιοθετήθηκε μια μητρική δομή μοντέλου (PMS) η οποία αργότερα τροποποιήθηκε με διάφορους τρόπους και κατέληξε σε δύο παραμέτρους. Επιβεβαιώθηκε ότι, από τη στιγμή που το μοντέλο έχει δύο ελεύθερες παραμέτρους, πολύ λίγα μπορούν να κερδηθούν με την προσθήκη μεγαλύτερης ευελιξίας.

Το **GR2M** λειτουργεί με δύο αποθήκες (Εικόνα 6.3): μια αποθήκη παραγωγής της οποίας η χωρητικότητα είναι η παράμετρος **X1** και το πραγματικό περιεχόμενο είναι **S** και μια αποθήκη δρομολόγησης της οποίας η χωρητικότητα ορίζεται στα **60 mm** και το πραγματικό περιεχόμενο είναι **R**. Οι είσοδοι του μοντέλου είναι η μηνιαία βροχόπτωση **P** και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή **E** για έναν δεδομένο μήνα και η έξοδος είναι η μηνιαία απορροή στην έξοδο της λεκάνης **Q**.



Εικόνα 3.1: Διεργασίες Μοντέλου GR2M

Μαθηματική Δομή

Η συνάρτηση απώλειας (υπεύθυνη για τον προσδιορισμό της πραγματικής βροχόπτωσης) στο μοντέλο GR2M βασίζεται σε μια αποθήκη εδαφικής υγρασίας. Λόγω της βροχόπτωσης **P**, η αποθήκευση εδαφικής υγρασίας **S** γίνεται **S1** που λαμβάνεται από τη σχέση:

$$S_1 = \frac{S + X_1 \phi}{1 + \phi \frac{S}{X_1}}$$

$$1 + \phi \frac{S}{X_1}$$

$$X_1$$

όπου: $\phi = \tanh(P/X_1)$

Και η παράμετρος **X1**, η μέγιστη χωρητικότητα της αποθήκης, είναι θετική και εκφράζεται σε χιλιοστά. Το πλεονάζον τμήμα **P1** που υπολογίζεται στην παρακάτω εξίσωση κατευθύνεται στην αποθήκη δρομολόγησης.

$$P_1 = P + S - S_1$$

Λόγω της εξατμισοδιαπνοής (ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τη δυνητική τιμή **E**) και το **S1** γίνεται **S2**:

$$S_2 = \frac{S_1 (1 - \psi)}{1 + \psi (1 - \frac{S_1}{X_1})}$$

όπου:

$$\psi = \tanh(E/X_1)$$

Στη συνέχεια, η αποθήκη εδαφικής υγρασίας απελευθερώνει το νερό **P2** και παίρνει τη νέα της τιμή, **S**, έτοιμη για τον επόμενο μήνα:

$$S = \frac{S_2}{(1 - (\frac{S_2}{X_1})^3)^{1/3}}$$

και

$$P_2 = S_2 - S$$

Το άθροισμα των **P1** και **P2** είναι η καθαρή βροχόπτωση, **P3**, που εισέρχεται στο τμήμα δρομολόγησης του μοντέλου.

$$P_3 = P_1 + P_2$$

Επίσης, δεν υφίσταται άμεση εκφόρτιση με παράκαμψη της δεξαμενής δρομολόγησης, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει και εξωτερική παροχή. Η καθαρή βροχόπτωση **P3** δρομολογείται σε μια τετραγωνική δεξαμενή, με αποθηκευτικό χώρο **R**. Η χωρητικότητα της αποθήκης δρομολόγησης είναι ένας θετικός αριθμός εκπεφρασμένος σε χιλιοστά, όπου έχει βρεθεί ότι λαμβάνει ως βέλτιστη τιμή τα 60mm.

$$R_1 = R + P_3$$

Αφού έχει προστεθεί η είσοδος **P3** στη δεξαμενή δρομολόγησης για να ληφθεί το επίπεδο **R1**, υπολογίζεται ένας όρος εξωτερικής ανταλλαγής ως εξής:

$$F - (X_5 - X_1)R_1$$

όπου **X5** η παράμετρος της εξωτερικής ανταλλαγής και λαμβάνει θετική τιμή. Εάν το **X5** είναι μεγαλύτερο από 1, το **F** αντιπροσωπεύει κέρδος νερού για τη λεκάνη και απώλεια σε αντίθετη περίπτωση. Τότε, η στάθμη της δεξαμενής γίνεται: $R_2 = X_5 R_1$.

Τελικώς, η παροχή του ταμιευτήρα υπολογίζεται ως εξής:

$$Q = R_2 - R_2 + 60$$

Επιγραμματικά, το μοντέλο GR2M, αποτελείται από δύο παραμέτρους (**X1** η χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας και **X5** η παράμετρος της εξωτερικής ανταλλαγής) που παραμένουν ελεύθερες για να βελτιστοποιηθούν. Οι υπόλοιπες παράμετροι με τις οποίες είχε εκκινήσει το μοντέλο, έχει αποδειχθεί ότι πολύ λίγα μπορούν να κερδηθούν με την προσθήκη μεγαλύτερης ευελιξίας σε αυτές και γι' αυτό έχουν λάβει μία σταθερή τιμή.

3.5.3 Μοντέλο Lihua Xiong, Shenglian Guo

Η μηνιαία απορροή **Q** συσχετίζεται πολύ με την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό **S**. Στα εννοιολογικά υδρολογικά μοντέλα, η ρυθμιστική επιρροή της συλλογής δεδομένων απορροής στις βροχοπτώσεις υποτίθεται ότι λειτουργεί ως γραμμικό ή μη γραμμικό μοντέλο δοχείου (Shaw, 1994). Στο παρόν άρθρο, η απορροή **Q** θεωρείται επίσης ως υπερβολική συνάρτηση της εφαπτομένης της περιεκτικότητας της εδαφικής υγρασίας **S**, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$Q(t) = S(t) \times \tanh[S(t)/SC],$$

Όπου $Q(t)$ είναι η μηνιαία απορροή, $S(t)$ είναι η περιεκτικότητα σε νερό στο έδαφος (υγρασία), και SC χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει την ικανότητα συλλογής νερού από κάθε αίτιο. Κατά συνέπεια, SC είναι η δεύτερη παράμετρος που χρησιμοποιείται στο παρόν μοντέλο, και έχει μονάδες σε mm.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σειρά παρατήρησης και της μηνιαίας βροχόπτωσης $P(t)$ και η μηνιαία εξατμισοδιαπνοή $EP(t)$, η πραγματική μηνιαία εξατμισοδιαπνοή $E(t)$ προσδιορίζεται τη σχέση

$$E(\tau) = X \cdot EP(\tau) \cdot \varepsilon\phi[P(\tau)/EP(\tau)]$$

Η ποσότητα του υπόλοιπου νερού στο έδαφος θα είναι

$$[S(t-1) + P(t) - E(t)]$$

Μετά από την αφαίρεση της εξατμισοδιαπνοής $E(t)$, με $S(t-1)$ να είναι η περιεκτικότητα σε νερό στο τέλος του $(t-1)$ μήνα και στην αρχή του t μήνα.

χρησιμοποιείται έπειτα για να υπολογίσει τη μηνιαία απορροή του t μήνα $Q(t)$ από τη σχέση :

$$Q(t) = [S(t-1) + P(t) - E(t)] \times \tanh\{[S(t-1) + P(t) - E(t)]/SC\}.$$

Τελικά η περιεκτικότητα σε νερό στο τέλος του t μήνα, π.χ. $S(t)$, υπολογίζεται σύμφωνα με το νόμο διατήρησης μάζας (νερού) σύμφωνα με τη σχέση :

$$S(t) = S(t-1) + P(t) - E(t) - Q(t).$$

$$R^2 = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100(\%),$$

$$F_0 = \sum_i (Q_i - \bar{Q})^2,$$

$$F = \sum_i (Q_i - \hat{Q}_i)^2,$$

$$\bar{Q} = \left(\sum_{i=1}^{Nc} Q_i \right) / Nc,$$

όπου F_0 είναι το άθροισμα των διαφορών της παρατηρούμενης απορροής Q_i από τη μέση υπολογιζόμενη τιμή των παρατηρούμενων απορροών της περιόδου του calibration στο τετράγωνο και F το άθροισμα των αποκλίσεων στο τετράγωνο της προσομοιωμένης απορροής από την παρατηρούμενη απορροή Q_i . Η τιμή του R^2 πρέπει πάντα να πλησιάζει τη μονάδα για μια καλή προσομοίωση της παρατηρηθείσας σειράς απορροών. Το δεύτερο κριτήριο αποδοτικότητας (efficiency) που χρησιμοποιείται είναι το σχετικό σφάλμα μεταξύ των παρατηρούμενων και εξομοιωμένων απορροών, το οποίο προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$RE = \sum (Q_i - \hat{Q}_i) / \sum Q_i \times 100\%.$$

Η τιμή του RE αναμένεται κοντά στο μηδέν για μια καλή προσομοίωση του συνολικού όγκου της σειράς των παρατηρούμενων απορροών.

Το τρίτο κριτήριο που εφαρμόζεται είναι το σχετικό σφάλμα μεταξύ της μέγιστης μηνιαίας παρατηρούμενης απορροής και της μέγιστης μηνιαίας προσομοιωμένης απορροής που προκύπτει από όλες τις σειρές, το οποίο δίνεται από το δείκτη RE_m , που δίνεται από τη σχέση :

$$RE_m = (Q_m - \hat{Q}_m) / Q_m \times 100\%.$$

όπου το Q_m αντιπροσωπεύει τη μέγιστη μηνιαία παρατηρούμενη απορροή και το αντιπροσωπεύει τη μέγιστη μηνιαία προσομοιωμένη απορροή.

Αρχικά, βελτιστοποιούμε τις παραμέτρους c και SC σύμφωνα με το κριτήριο RE , για να επιτύχουμε μια καλή προσομοίωση της συνολικής. Κατόπιν, βελτιστοποιούμε την παράμετρο SC πάλι σύμφωνα με το κριτήριο R^2 , με την τιμή της c που βρέθηκε στο πρώτο βήμα σταθερή, για να επιτύχει περαιτέρω καλύτερο ταίριασμα της μορφής της απορροής στο υδρογράφημα. Αυτή η σε δύο στάδια διαδικασία βελτιστοποίησης μπορεί να βοηθήσει να μειώσει τα αποτελέσματα της αλληλεξάρτησης μεταξύ των δύο παραμέτρων του μοντέλου.

Το προτεινόμενο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου δύο-παραμέτρων είναι σε θέση να εξομοιώσει τη μηνιαία σειρά απορροών και, στην πραγματικότητα, δίνει καλά αποτελέσματα. Οι εξομοιωμένες απορροές είναι συχνά μεγαλύτερες από τις

παρατηρηθείσες απορροές, π.χ. η τιμή του RE είναι μικρότερη του μηδενός. Αυτό το σφάλμα μπορεί να αποδοθεί στη δομή του μοντέλου. Εντούτοις, στην πράξη, αυτό το σφάλμα πρέπει να συνδέεται άμεσα με τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Το μηνιαίο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου δύο-παραμέτρων έχει αποδειχθεί ότι είναι αρκετά αποδοτικός στην προσομοίωση της μηνιαίας απορροής με απλή δομή και δύο παραμέτρους. Για την προσομοίωση της μηνιαίας απορροής, φαίνεται ότι αυτό το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου δύο-παραμέτρων είναι ισάξιο με ένα μοντέλο υδατικού ισοζυγίου πέντε-παραμέτρων (π.χ. Guo, 1992 and Guo, 1995). Λόγω της απλότητας και της υψηλής αποδοτικότητας του, αυτό το μηνιαίο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου δύο-παραμέτρων μπορεί εύκολα και αποτελεσματικά να ενσωματώσει στους υδάτινους πόρους και τις κλιματολογικές επιδράσεις προσομοιώνοντας μηνιαίες απορροές σε ξηρές και ημί-ξηρες συνθήκες.

3.6 Εφαρμογή υδρολογικών μοντέλων υδατικού ισοζυγίου στη λεκάνη του Μουζακίου

Η μηνιαία απορροή προσομοιώθηκε χρησιμοποιώντας τα τρία μοντέλα υδατικού ισοζυγίου. Οι τιμές της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου σε κάθε ένα μοντέλο. Με αυτή την έννοια τα αποτελέσματα της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης που υπολογίσθηκαν για τη λεκάνη συνδυάσθηκαν με τα αποτελέσματα της μέσης επιφανειακής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής που εκτιμήθηκαν από τη μέθοδο Thornthwaite. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν τα σετ δεδομένων μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε ένα μοντέλο υδατικού ισοζυγίου.

Για κάθε μία από τις παραπάνω προσομοιώσεις οι παράμετροι των μοντέλων υδατικού ισοζυγίου βελτιστοποιήθηκαν (calibration) και η αποδοτικότητα των μοντέλων ελέγχθηκε (validation) με τη μέθοδο του χωριστού δείγματος (split sample test). Η μέθοδος του χωριστού δείγματος είναι μια ανεξάρτητη και χωρίς προκατάληψη (unbiased) μέθοδος ελέγχου των προσομοιώσεων. Οι παράμετροι των μοντέλων υδατικού ισοζυγίου βελτιστοποιήθηκαν για είκοσι πέντε υδρολογικά έτη από Οκτώβριο 1960 έως Σεπτέμβριο 1985 και ελέγχθηκαν ή πιστοποιήθηκαν για έξι υδρολογικά έτη από Οκτώβριο 1987 έως Σεπτέμβριο 1993. Οι παράμετροι των μοντέλων προσαρμόσθηκαν στις βέλτιστες τιμές τους με ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων μεταξύ παρατηρημένης και προσομοιωμένης απορροής. Η αντικειμενική συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε για την βελτιστοποίηση είναι

η model efficiency (*Eff*) η οποία έχει προταθεί από τους Nash και Sutcliffe (1970), η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στις υδρολογικές προσομοιώσεις, και δίνεται από τον τύπο:

$$Eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - Qsim_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - \overline{Qobs})^2}$$

Όπου:

$Qobs_i$ η παρατηρημένη απορροή του μήνα i ,

$Qsim_i$ η προσομοιωμένη απορροή του μήνα i ,

$\overline{Qobs}$ ο μέσος όρος των τιμών της μηνιαίας παρατηρημένης απορροής.

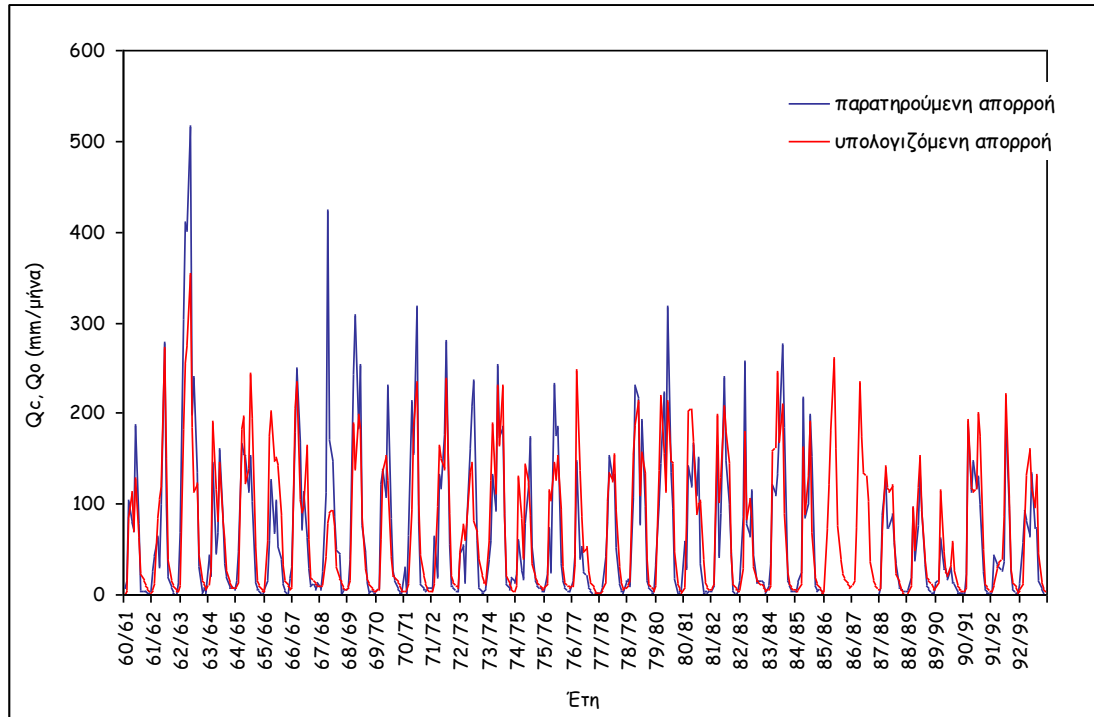
Εκτός της αντικειμενικής συνάρτησης διάφορες άλλες στατιστικές παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της πιστότητας των προσομοιώσεων της απορροής, όπως ο συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination, R^2), η σύγκριση μεταξύ της μέσης παρατηρημένης απορροής (mean observed runoff, $\overline{Qobs}$) και της μέσης προσομοιωμένης απορροής (mean simulated runoff, $\overline{Qsim}$), καθώς και η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των παρατηρημένων και προσομοιωμένων όγκων της απορροής (percentage volume difference, %DV), η οποία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\%DV = \frac{Vsim - Vobs}{Vobs} \times 100$$

όπου, $Vobs$ ο παρατηρημένος όγκος απορροής για την περίοδο της προσομοίωσης, $Vsim$ ο προσομοιωμένος όγκος της απορροής για την περίοδο της προσομοίωσης. Επίσης, έγινε οπτικός έλεγχος των παρατηρουμένων και προσομοιωμένων υδρογραφημάτων της απορροής καθώς και διαγράμματα διασποράς της απορροής για τις περιόδους βελτιστοποίησης των παραμέτρων των μοντέλων και πιστοποίησης.

Οι βέλτιστες προσομοιώσεις της απορροής της λεκάνης με τα τρία παραπάνω μοντέλα Xiong-Guo πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τις τιμές της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης που προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας και τις τιμές της μέσης επιφανειακής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite. Τα υδρογραφήματα παρατηρούμενης και προσομοιωμένης απορροής για τη βέλτιστη

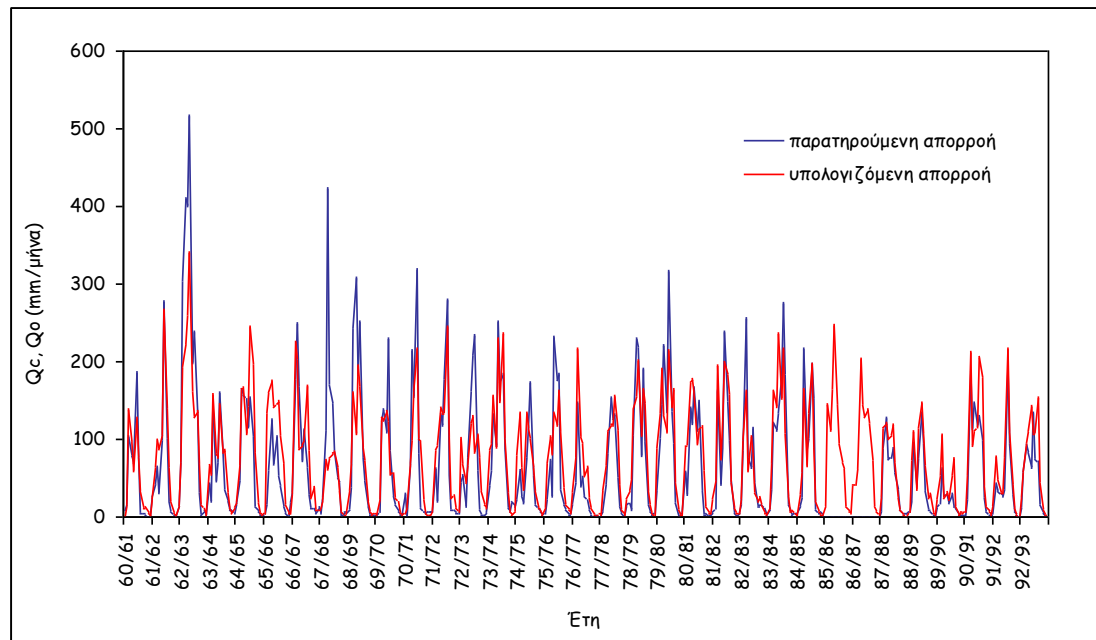
προσομοίωση με τα τρία αυτά μοντέλα για την περίοδο βελτιστοποίησης και πιστοποίησης φαίνεται στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα.



Διάγραμμα 2 . Υδρογράφημα παρατηρούμενης και προσομοιωμένης απορροής για τη βέλτιστη προσομοίωση με το νέο μοντέλο-Λουκάς και συνεργάτες, για την περίοδο βελτιστοποίησης και πιστοποίησης (1960-1993).

	Model efficiency	Qc	Qo
Calib	0.71	22148.7	22189.75
Valid	0.69	4057.92	3290.088

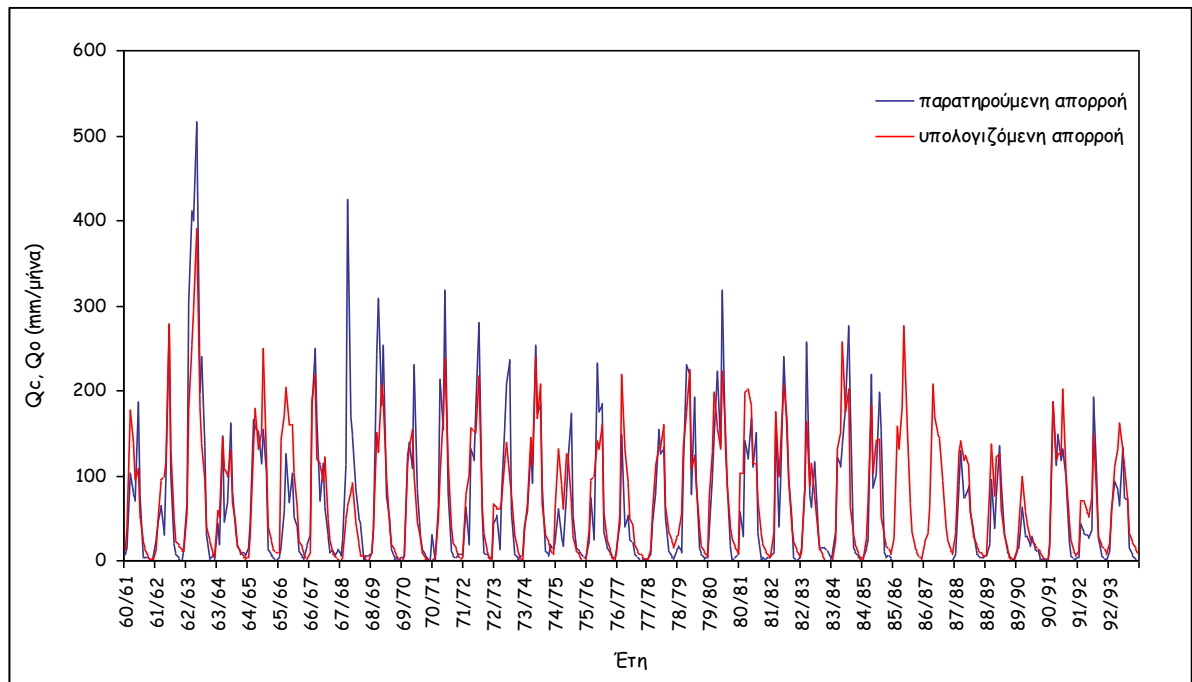
Πίνακας 3.1: Λουκάς *et. al.*



Διάγραμμα 3. Υδρογράφημα παρατηρούμενης και προσομοιωμένης απορροής για τη βέλτιστη προσομοίωση με το νέο μοντέλο- GRM2, για την περίοδο βελτιστοποίησης και πιστοποίησης (1960-1993).

	Model efficiency	Qc	Qo
Calibration	0.6868	23395.2	22189.8
Validation	0.6729	6439.22	3290.09

Πίνακας 3.2 GRM2



Διάγραμμα 4. Υδρογράφημα παρατηρούμενης και προσομοιωμένης απορροής για τη βέλτιστη προσομοίωση με το νέο μοντέλο- Xiong-Guo, για την περίοδο βελτιστοποίησης και πιστοποίησης (1960-1993).

	Model efficiency	Qc	Qo
Calibration	0.7188	22272.30	22189.75
Validation	0.6997	4263.39	3290.09

Πίνακας 3.3 Xiong-Guo

Κεφάλαιο 4 Περιγραφή Φραγμάτων

4.1 Γενικά

Φράγμα είναι τεχνικό έργο που κατασκευάζεται κάθετα στην κοίτη ενός φυσικού υδατορεύματος για να ανακόψει τη συνέχεια της ροής με σκοπό την αποθήκευση του νερού για μελλοντική χρησιμοποίησή του.

Σκοπός της κατασκευής ενός φράγματος μπορεί να είναι:

- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η άρδευση καλλιεργούμενων εδαφών
- Η ύδρευση πόλεων, οικισμών ή βιομηχανικών μονάδων
- Η διαμόρφωση πλωτών διωρύγων
- Η ρύθμιση της παροχής φυσικών ρευμάτων (ποταμών).

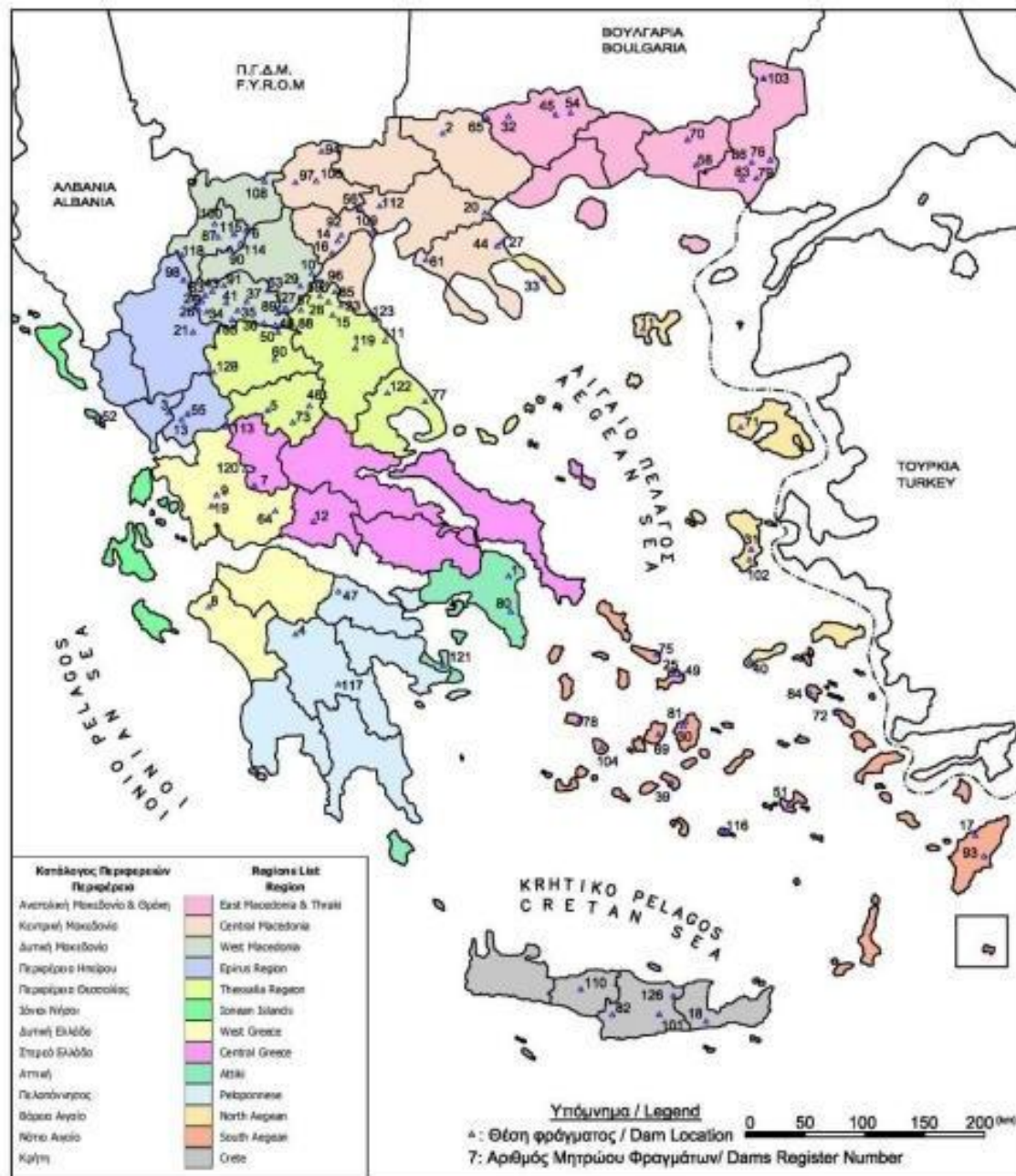
Συχνά τα φράγματα εξυπηρετούν περισσότερους από έναν σκοπούς (φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας). Με το φράγμα του Ταυρωπού της Καρδίτσας εκτρέπεται το νερό του ποταμού προς τη Θεσσαλία από τη φυσική ροή του, που είναι προς τον Αχελώο, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Υδροηλεκτρικός Σταθμός Ταυρωπού), άρδευση περίπου 150000 στρεμμάτων του κάμπου της Καρδίτσας και ύδρευση της πόλης της Καρδίτσας και των γύρω κοινοτήτων. Με το ίδιο σκεπτικό, που ήταν ιδέα του καθηγητή του Μετσοβίου Πολυτεχνείου Απ. Κουτσοκώστα, μελετάται και η εκτροπή μέρος της παροχής του ποταμού Αχελώου προ την πεδιάδα της Θεσσαλίας, με την κατασκευή των φραγμάτων Μεσοχώρας και Συκιάς και τη σήραγγα της εκτροπής μήκους 15,8 km. Το νερό μετά την έξοδό του από τη σήραγγα θα συγκεντρώνεται σε δύο τεχνητές λίμνες, που θα σχηματιστούν με την κατασκευή των φραγμάτων Πύλης και Μουζακίου.

Τα φράγματα είναι από τα πρώτα τεχνικά επιτεύγματα του ανθρώπου, αφού οι πρώτες κατασκευές ανάγονται στα προϊστορικά χρόνια. Από τα παλαιότερα φράγματα αναφέρονται το φράγμα στον ποταμό Ιορδάνη και το φράγμα στον ποταμό Τίγρη. Στα 4000 π.Χ. κατασκευάστηκε στην Αίγυπτο φράγμα στον ποταμό Νείλο που διατηρήθηκε περίπου 4500 χρόνια. Στα νεότερα χρόνια σπουδαίο θεωρήθηκε το φράγμα Puentes στην Ισπανία, που έγινε στα 1753 και καταστράφηκε το 1891.

Τα φράγματα είναι έργα δαπανηρά, παρουσιάζουν όμως μακροπρόθεσμα μεγάλα οικονομικά οφέλη και για το λόγο αυτό επιδιώκεται η κατασκευή τους.

Η κατασκευή ενός φράγματος, ανάλογα με το σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει, μελετάται και βρίσκεται τόσο ο καλύτερος τύπος φράγματος όσο και οι απαιτούμενες διαστάσεις του. Τα φράγματα είναι έργα ιδιόμορφα, γιατί δεν είναι δυνατό να τυποποιηθούν και να εφαρμόζονται επανειλημμένα. Κάθε φράγμα έχει τη δική του λειτουργία, τους δικούς του φυσικούς παράγοντες και το δικό του φυσικό περιβάλλον, που παίζει σπουδαίο ρόλο για τη θεμελίωσή του. Η κατασκευή ενός φράγματος και η δημιουργία τεχνητής λίμνης δημιουργεί διαταραχές στο φυσικό περιβάλλον, μεγαλύτερες και εντονότερες από οποιοδήποτε άλλο έργο, γιατί στην περιοχή του συσσωρεύονται τεράστιες ποσότητες νερού με αποτέλεσμα το υπέδαφος να καταπονείται από τις αναπτυσσόμενες πιέσεις. Η συγκέντρωση εξάλλου μεγάλων ποσοτήτων νερού δημιουργεί προβλήματα διαβρώσεων, διηθήσεων, διαρροών ή και κατολισθήσεων ακόμη στην περιοχή του φράγματος που, αν δεν προβλεφθούν για να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, μπορούν να οδηγήσουν στη μη αποδοτική λειτουργία του ή ακόμη και στην καταστροφή του.

Στον ελληνικό χώρο απαντώνται 128 φράγματα, σύμφωνα με τη καταγραφή της Ελληνικής Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων που έλαβε χώρα τον Νοέμβριο του 2013, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1: Χάρτης φραγμάτων της Ελλάδας (Ελληνική Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, 2013)

4.2 Ταξινόμηση φραγμάτων

Ο τύπος και το μέγεθος του προς κατασκευή φράγματος συνδέεται άμεσα με τα τοπογραφικά και γεωλογικά δεδομένα της περιοχής, τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων κατασκευαστικών υλικών, καθώς και τις ανάγκες και τις διαθέσιμες ποσότητες νερού. Γενικώς, τα φράγματα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον σκοπό, τη χρήση τους, καθώς και τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής τους (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

4.2.1 Τύποι φραγμάτων

Οι Κούκης και Σαμπατακάκης (2007), ταξινόμησαν τα φράγματα, ανάλογα με τον σκοπό τους, σε :

- Συγκέντρωσης νερού: συγκέντρωση νερού σε ταμιευτήρες επιφανειακούς, ήτοι δημιουργία τεχνητών λιμνών χαρακτηρίζονται ως «λεκάνη κατάκλυσης».
- Εκτροπής: εκτροπή της ροής του νερού με παροχέτευσή του σε προσχεδιασμένο χώρο, για την εκτέλεση εργασιών «εν ξηρώ». Διαχωρίζονται σε μόνιμα και προσωρινά.
- Ανάσχεσης: ανάσχεση της ταχύτητας ροής του νερού, ήτοι επιβράδυνσή της αποσκοπώντας στον τεχνητό εμπλουτισμό υδροφορέων και στην αποφυγή ή απομείωση της διάβρωσης λόγω εκδήλωσης χειμαρρικών φαινομένων
- Ρύθμισης: ρυθμιστικά για τον έλεγχο και πρόληψη πλημμυρών, την ελεγχόμενη παροχέτευση νερού κ.τ.λ..

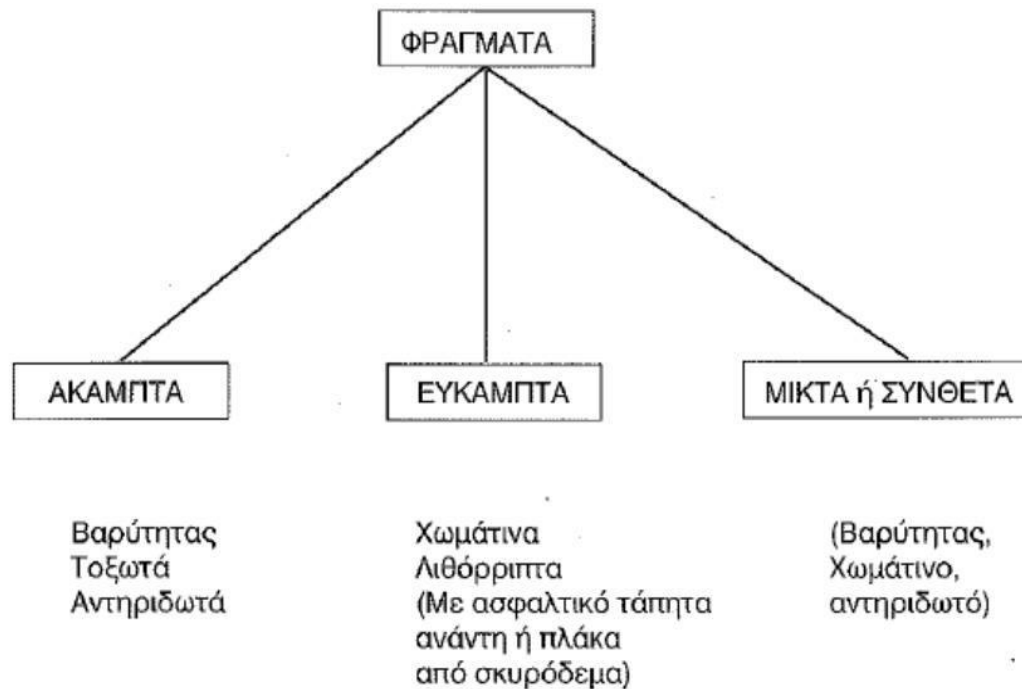
Ανάλογα με τη χρήση τους, σε:

- Υδροηλεκτρικά (ενεργειακά)
- Αρδευτικά (άρδευση)
- Υδρευτικά (ύδρευση)
- Πολλαπλής σκοπιμότητας (Υδροηλεκτρικά, αρδευτικά κ.λπ.)

Ανάλογα με τα υλικά κατασκευής και τη γεωμετρία τους, τα φράγματα ταξινομούνται σε άκαμπτα, εύκαμπτα και μικτά ή σύνθετα. Τα άκαμπτα κατασκευάζονται από σκυρόδεμα (παλαιότερα είχαν κατασκευασθεί ορισμένα λιθόκτιστα). Τα εύκαμπτα κατασκευάζονται από γαιώδη υλικά (άργιοι, άμμοι, κροκάλες και ευμεγέθη βραχώδη τεμάχια). Τα μικτά αποτελούν

συνδυασμό των δύο προηγούμενων τύπων (Λιακούρης, 1995).

Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζονται οι τύποι των φραγμάτων ανάλογα με τα υλικά κατασκευής και τη γεωμετρία, καθώς και οι κατηγορίες φραγμάτων που περιλαμβάνει ο κάθε τύπος.



Σχήμα 4.1: Οι τύποι φραγμάτων και οι κατηγορίες που περιλαμβάνει κάθε τύπος (Λιακούρης, 1995)

4.2.1.1 Φράγμα βαρύτητας

Τα πρώτα φράγματα βαρύτητας κατασκευάστηκαν στην Ισπανία κατά τον 16^ο αιώνα με ύψος γύρω στα 20m και με τρόπο εντελώς διαφορετικό από τον σημερινό. Περί τα μέσα του 18^{ου} αιώνα αρχίζει η συστηματική μελέτη και μπαίνουν οι πρώτες θεωρητικές βάσεις για την επίλυση των προβλημάτων που παρουσίαζε η κατασκευή φραγμάτων βαρύτητας. Η θεωρία στηρίχτηκε στις ακόλουθες αρχές:

- Ευστάθεια της διατομής έναντι ανατροπής
- Ευστάθεια έναντι ολίσθησης κατά μήκος της βάσης ή οποιουδήποτε άλλου οριζώντιου επιπέδου
- Προσδιορισμό των αναπτυσσόμενων τάσεων

Γύρω στα 1890 μπαίνει στους υπολογισμούς η προϋπόθεση της μη εμφάνισης εφελκυστικών τάσεων και η διατομή παίρνει μόνιμα τη μορφή τριγώνου. Μια σειρά από

καταστροφές φραγμάτων βαρύτητας συνέβαλε στην προσεκτικότερη μελέτη και στον υπολογισμό και άλλων παραγόντων εκτός από το βάρος και την υδροστατική πίεση.

Ένα φράγμα βαρύτητας δεν κινδυνεύει να καταστραφεί από υπερχειλίση ούτε από την πίεση του νερού που τείνει να το ανατρέψει. Ο κίνδυνος προέρχεται από τις υποπίεσεις του νερού που διηθείται κάτω από το φράγμα και αυξάνει τη ροπή ανατροπής και φυσικά, αν το φράγμα κατασκευαστεί σε ασβεστολιθικά πετρώματα, λόγω της χημικής διάβρωσής τους και της δημιουργίας καρστ. Το βασικότερο σημείο ελέγχου είναι η ευστάθεια σε ανατροπή. Ο κίνδυνος ολίσθησης είναι πολύ μικρός και σπάνιες είναι οι περιπτώσεις καταστροφής φράγματος λόγω ολίσθησης. Από τα στατιστικά στοιχεία της καταστροφής φραγμάτων βαρύτητας βρίσκουμε ότι μόνον όσα είχαν κλίση της κατάντι πλευράς τους μικρότερη από 66:100 καταστράφηκαν. Τα φράγματα που κατασκευάζονται σήμερα έχουν κλίση της κατάντι πλευράς τουλάχιστον 0,80 (80ορ:100κατ) και σε περιπτώσεις υψηλών φραγμάτων ($h > 100\text{m}$) η κλίση γίνεται μεγαλύτερη.

Στον ελληνικό χώρο, ένα από τα παλαιότερα φράγματα βαρύτητας είναι αυτό του Μαραθώνα Αττικής (Εικόνα 4.2), το οποίο κατασκευάστηκε από το 1926 έως το 1929 για να καλύψει τις υδρευτικές ανάγκες της Αθήνας.



Εικόνα 4.2: Φράγμα Μαραθώνα, βαρύτητας με ελαφρά καμπυλότητα και υπερχειλιστή στο δεξιό αντέρεισμα.

Η κατάντη όψη έχει επενδυθεί με Πεντελικό μάρμαρο

4.2.1.2 Τοξωτό φράγμα

Τα τοξωτά φράγματα έχουν σε κάτοψη τοξοειδή μορφή και εργάζονται σαν αμφίπακτα τόξα. Η πίεση του νερού εφαρμόζεται στην κυρτή επιφάνεια του φράγματος και μεταβιβάζεται στα πλευρά της κοιλάδας με μορφή κυρίως οριζοντίων δυνάμεων.

Λόγω του μικρού του πάχους ένα τοξωτό φράγμα επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα από το γεγονός ότι η ανάντι επιφάνειά του είναι στο

μεγαλύτερο μέρος της βυθισμένη στο νερό, ενώ η κατάντι είναι εκτεθειμένη στην ατμόσφαιρα. Το γεγονός αυτό προκαλεί μία διαφοροποίηση στη συστοδιαστολή των δύο επιφανειών που αναπτύσσει σοβαρές τάσεις στη μάζα του σκυροδέματος.

Από πλευράς υπολογισμού ένα τοξωτό φράγμα είναι μια πλάκα απλής ή σε πολλές περιπτώσεις διπλής καμπυλότητας, μικρού πάχους, πακτωμένη στις στηρίξεις της. Το πρόβλημα λοιπόν στη γενική του μορφή είναι σχεδόν άλυτο. Χρησιμοποιούνται όμως απλουστευμένες μέθοδοι και ιδιαίτερα με τη βοήθεια των κομπιούτερς είναι δυνατός ο υπολογισμός τους. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών πολλές φορές ελέγχονται πάνω σε ομοιώματα. Το ομοίωμα απαλλάσσει από τις απλουστεύσεις, πλην όμως οι πραγματικές συνθήκες πάκτωσης στα άκρα είναι πολύ δύσκολο να μεταφερθούν στο ομοίωμα.

Αν και η μελέτη ενός τοξωτού φράγματος παρουσιάζει δυσκολίες στους υπολογισμούς, εν τούτοις έχει πολλά θεωρητικά και πρακτικά πλεονεκτήματα, όπως η μη επιρροή των υποπίεσεων στην κατασκευή, το ότι δεν κινδυνεύει από ανατροπή ή ολίσθηση, το ότι μπορεί να υπερχειλιστεί από το νερό της λίμνης χωρίς σοβαρά αποτελέσματα και το γεγονός ότι οι πιέσεις του νερού αυξάνουν το αδιαπέρατο της μάζας.

Το άνοιγμα του τόξου (χορδή L) προκύπτει από την παραδοχή ότι το ελάχιστον κόστος κατασκευής αντιστοιχεί στον ελάχιστο όγκο του φράγματος και αυτό προκύπτει για επίκεντρη γωνία $\phi=133^\circ$.

Η διεύθυνση του άξονα του φράγματος στις πακτώσεις πρέπει να τέμνει τις υψομετρικές καμπύλες κατά γωνία τουλάχιστον 30° .

Στην Εικόνα 4.3 φαίνεται το τοξωτό κελυφοειδές φράγμα Ταυρωπού - Ν. Πλαστήρα στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας. Είναι φράγμα πολλαπλού σκοπού που κατασκευάσθηκε το 1959.



Εικόνα 4.3: Φράγμα Ταυρωπού - Ν. Πλαστήρα (Καρδίτσα), τοξωτό φράγμα, διπλής καμπυλότητας με υπερχειλιστή, σήραγγα επίσκεψης, σήραγγα εκτροπής και δύο εκκενωτές πυθμένα

4.2.1.3 Αντηριδωτό φράγμα

Τα διάκενα φράγματα βαρύτητας παρουσιάζουν οικονομία όγκου σχετικά με τα φράγματα βαρύτητας. Η οικονομία αυτή είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο τα διάκενα είναι μεγαλύτερα. Η προοδευτική αύξηση των κενών δίνει μετά από ένα όριο τα αντηριδωτά φράγματα. Τα αντηριδωτά φράγματα αποτελούνται από δύο μέρη:

- Ένα λεπτό τοίχωμα (καλύπτρα), επίπεδο ή καμπύλο με μικρό σχετικά βάρος, κάθετα στον άξονα του ρεύματος και κεκλιμένο ως προς την κατακόρυφο, που περιλαμβάνει την υδροστατική πίεση και τη μεταβιβάζει στις αντηρίδες
- Τις αντηρίδες, με διεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα του ρεύματος, που παραλαμβάνουν τις δυνάμεις από το τοίχωμα και τις μεταφέρουν στο έδαφος. Με αυτό τον τρόπο ο όγκος του φράγματος μπορεί να φτάσει το 1/6 του αντίστοιχου φράγματος βαρύτητας.

Το βάρος ενός αντηριδωτού φράγματος είναι μικρό και τις πιο πολλές φορές αμελητέο σχετικά με τα φορτία που παραλαμβάνει και μεταφέρει.

Όταν το τοιχίο είναι επίπεδο, πρέπει να προβλέπονται αρμοί διαστολής, ενώ όταν έχει τη μορφή θόλων, δεν κρίνεται αναγκαία η ύπαρξή τους. Το τοιχίο έχει πάχος αυξανόμενο με το βάθος και συνεχίζεται συνήθως και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, μέχρι τον υγιή βράχο με μορφή τοίχου διακοπής, πέραν του οποίου γίνονται τσιμεντενέσεις για την δημιουργία κουρτίνας και μείωση της διήθησης κάτω από το φράγμα.

Σε ένα αντηριδωτό φράγμα δεν κατασκευάζεται δίκτυο στραγγιστήρων, όπως αυτό εφαρμόζεται στα φράγματα βαρύτητας. Η διήθηση που πιθανόν να συμβαίνει δε δημιουργεί κινδύνους υποπίεσεων, αφού αναβλύζει ελεύθερα στην επιφάνεια του εδάφους και δεν μπορεί να προκαλέσει δυνάμεις άνωσης κάτω από το φράγμα.

Σαν πλεονεκτήματα των αντηριδοτών φραγμάτων μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω:

- Η θεμελίωση κάθε τοιχίου και αντηρίδας είναι ανεξάρτητη.
- Το βάρος της κατασκευής είναι αμελητέο.
- Στις περισσότερες μορφές τους τα αντηριδωτά φράγματα έχουν εύκολο υπολογισμό, αφού συνίσταται από μικρά ανεξάρτητα στοιχεία επαναλαμβανόμενα, ενώ η θεμελίωσή τους δεν δημιουργεί σοβαρά προβλήματα.
- Είναι οικονομικότερα, γιατί είναι ελαφριές κατασκευές και γιατί ο ξυλότυπος που

απαιτείται συνήθως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά και ξανά σε όλα τα ανοίγματα.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι, όταν το μήκος ενός φράγματος είναι μεγάλο και το ύψος σχετικά χαμηλό, τότε προσφέρεται περισσότερο ένα αντηριδωτό φράγμα από ένα φράγμα βαρύτητας ή θολωτό.

Στην Εικόνα 4.4 φαίνεται το αντηριδωτό φράγμα του Λάδωνα στην Αρκαδία, του οποίου η κατασκευή διήρκεσε από το 1950 έως το 1955. Σκοπός του είναι η υδροηλεκτρική παραγωγή.

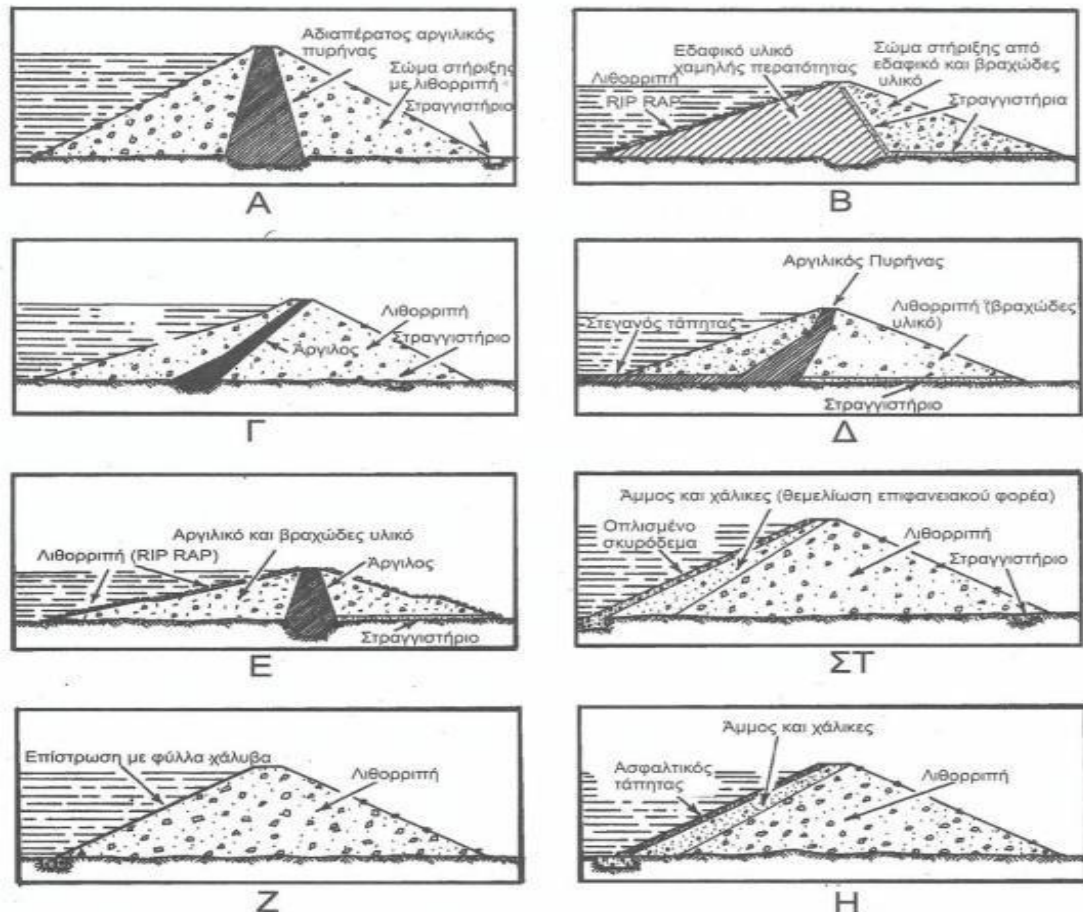


Εικόνα 4.4: Φράγμα Λάδωνα (Αρκαδία), αντηριδωτό, με δύο εκχειλιστές, σήραγγα επίσκεψης και σήραγγα εκτροπής - εκκενωτή πυθμένα

4.2.1.4 Χωμάτινο φράγμα

Το χωμάτινο φράγμα είναι εύκαμπτη κατασκευή που δεν απαιτεί σχηματισμούς θεμελίωσης εξαιρετικής ποιότητας (Εικόνα 4.5). Οι Κούκης και Σαμπατακάκης (2007) διακρίνουν τα χωμάτινα φράγματα σε δύο είδη. Τα ομογενή χωμάτινα τα οποία κατασκευάζονται σχεδόν εξ' ολοκλήρου με ομοιόμορφα φυσικά υλικά και τα ετερογενή χωμάτινα ή λιθόρριπτα που αποτελούν ζωνώδεις κατασκευές με υλικά διαφόρων γεωμηχανικών ιδιοτήτων και σε διαφορετικά ποσοστά. Τα ετερογενή χωμάτινα φράγματα αποτελούν επιχώματα εδαφικών αδρανών υλικών με αδιαπέρατο πυρήνα για τον έλεγχο της διήθησης - διαφυγής νερού. Ο πυρήνας, συνήθως, είναι από αργιλικά υλικά και εάν αυτά δεν είναι διαθέσιμα σε επαρκείς ποσότητες τότε χρησιμοποιούνται πλάκες σκυροδέματος ή ασφαλτοσκυρόδεμα. Ο πυρήνας, κατά κανόνα, εκτείνεται με εκσκαφή διαφραγματικής τάφρου εντός των σχηματισμών θεμελίωσης όταν είναι απαραίτητο να ελεγχθεί η διαφυγή κάτω από το φράγμα. Μέσα και κάτω από το φράγμα τοποθετούνται στραγγιστήρια άμμου ή και χαλίκων για τον έλεγχο των

διαφυγών. Τα χωμάτινα φράγματα έχουν μεγάλη βάση και έτσι μεταφέρουν πολύ μικρότερες τάσεις στη θεμελίωση σε σχέση με τα φράγματα από σκυρόδεμα. Επίσης, παραλαμβάνουν πιο εύκολα παραμορφώσεις (π.χ. λόγω διαφορικών καθιζήσεων). Ως εκ τούτου, τα χωμάτινα φράγματα έχουν κατασκευασθεί σε μεγάλη ποικιλία σχηματισμών θεμελίωσης από χαλαρά, μη στερεοποιημένα υλικά ποτάμιων αποθέσεων έως πολύ σκληρά πετρώματα (Bell, 2007).



Εικόνα 4.5: Ιδεατές τομές διαφόρων τύπων χωμάτινων φραγμάτων (Wahlstrom, 1974) Α. Λιθοόριπτο με κατακόρυφο αργιλικό πυρήνα, Β. Ομογενές χωμάτινο με κατάντη σώμα στήριξης από εδαφικό και βραχώδες υλικό, Γ. Λιθοόριπτο με κεκλιμένο αργιλικό πυρήνα, Δ. Λιθοόριπτο με αργιλικό πυρήνα που εκτείνεται ανάντη ως αδιαπέρατος τάπητας με σκοπό να ελαττώσει ή μηδενίσει τη διήθηση νερού κάτω από το φράγμα, Ε. Φράγμα με σώμα στήριξης από διαβαθμισμένο εδαφικό υλικό και κατακόρυφο αργιλικό πυρήνα, Ζ. Λιθοόριπτο με αδιαπέρατο τάπητα από οπλισμένο σκυρόδεμα, θεμελιωμένο σε στρώση από αδρομερή υλικά, Η. Λιθοόριπτο με χαλύβδινη αδιαπέρατη μεμβράνη, Θ. Λιθοόριπτο με ασφαλικό τάπητα ανάντη, θεμελιωμένο σε αμμοχάλικα (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

Στην Εικόνα 4.6 παρουσιάζεται το φράγμα Ιλαρίωνα στην Κοζάνη. Είναι ένα χωμάτινο φράγμα με κεντρικό πυρήνα, πολλαπλού σκοπού, του οποίου η κατασκευή περατώθηκε το 2012.



Εικόνα 4.6: Φράγμα Ιλαρίωνα (Αλιάκμονας), χωμάτινο με κεντρικό πυρήνα

4.3 Συνοδά έργα

Ο Wahlstrom (1974), θεωρεί ότι η πολλαπλή σκοπιμότητα, η καλή λειτουργία και η ασφάλεια του φράγματος και του ταμιευτήρα του απαιτούν την κατασκευή, μαζί με το σώμα του φράγματος, ορισμένων συνοδών έργων.

Τα βασικότερα συνοδά έργα του είναι (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007) τα κάτωθι:

- Σήραγγα εκτροπής: το υπόψη έργο διευκολύνει τις εργασίες κατασκευής του φράγματος με την εκτροπή, κατά ομαλό τρόπο, των νερών του ποταμού προς τα κατάντη.
- Ανάντη πρόφραγμα: είναι προσωρινή κατασκευή με όλα τα χαρακτηριστικά μικρού χωμάτινου φράγματος που βρίσκεται ανάντη ενός φράγματος, για τη συγκέντρωση νερού και την ελεγχόμενη ροή αυτού στο στάδιο της κατασκευής του φράγματος μέσω της σήραγγας εκτροπής.
- Αγωγός προσαγωγής και φρεάτιο: είναι το έργο που θα μεταφέρει το νερό του ταμιευτήρα στην κατάντη περιοχή για ποικίλες χρήσεις, όπως η άρδευση, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ..
- Εκχειλιστής ή υπερχειλιστής: ο εκχειλιστής, στην περίπτωση πλήρωσης του ταμιευτήρα πάνω από την ανώτατη στάθμη λειτουργίας, ελέγχει την ομαλή ροή της περίσσειας ποσότητας νερού προς τα κατάντη μέσω των θυροφραγμάτων που διαθέτει.
- Σήραγγες τσιμεντενέσεων: με τα υπόψη έργα εκτελούνται οι τσιμεντενέσεις σε διάφορα ύψη των αντερεισμάτων.
- Σήραγγες αποστράγγισης: αποσταγγίζουν νερά από τα αντερείσματα.

Συνήθως οι σήραγγες τσιμεντενέσεων έχουν και αποστραγγιστική λειτουργία.

- Εκκενωτής πυθμένα: κατασκευή με σήραγγα που οδηγεί στην πτώση της στάθμης του ταμιευτήρα ή και στην πλήρη εκκένωση αυτού, όταν υπάρχει πρόβλημα στο έργο ή κριθεί απαραίτητη η απόληψη φερτών υλικών λόγω στερεοπαροχής στη λεκάνη κατάκλυσης.
- Λεκάνη ηρεμίας: δημιουργείται στα κατάντη του φράγματος και αποτρέπει τη διάβρωση του πόδα αυτού από τα νερά της υπερχειλίσσης. Επίσης, εξασφαλίζει την ομαλή παροχέτευση του νερού στην κατάντη κοίτη του ποταμού.

4.3 Συμπεράσματα κεφαλαίου

Η σύγχρονη τεχνολογία παρέχει πολλές διαφορετικές δυνατότητες κατασκευής φραγμάτων ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες (έδαφος στήριξης, διαφυγές, επάρκεια υλικών κατασκευής κ.λπ.) έτσι ώστε, σε κάθε περίπτωση να επιλέγεται η βέλτιστη δυνατή λύση που να ικανοποιεί τις εκάστοτε απαιτήσεις.

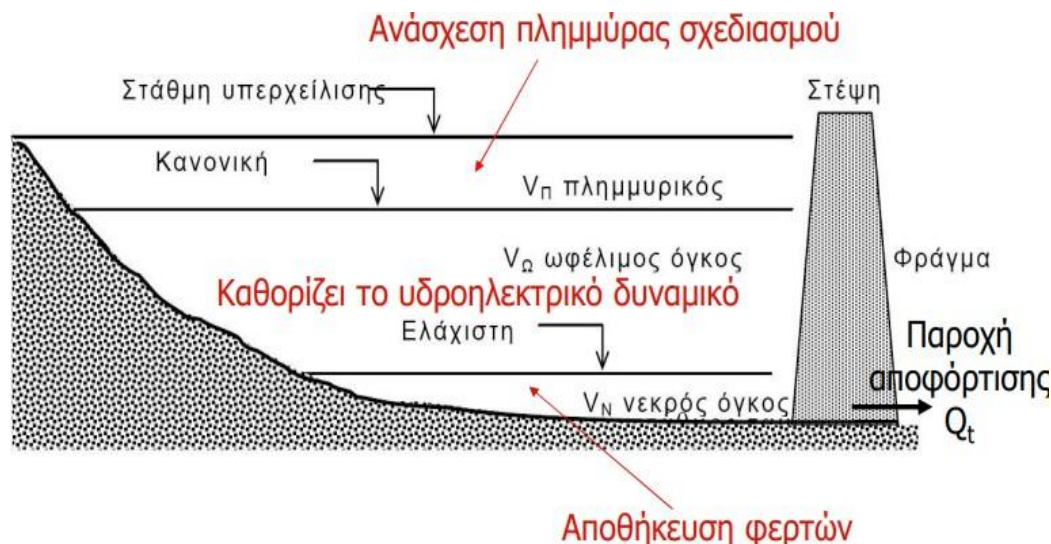
Κεφάλαιο 5 Μεθοδολογία

5.1 Εισαγωγικές Έννοιες

Η κατασκευή ενός φράγματος σε ένα υδατόρρευμα, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία στα ανάντη μίας τεχνητής λίμνης που ονομάζεται ταμιευτήρας και η οποία αποθηκεύει το νερό του υδατορρέυματος (Χατζηγεωργίου & Γεωργίου, 2017). Υπάρχουν, όμως, και ταμιευτήρες δημιουργούμενοι σε φυσικούς ή τεχνητούς υποδοχείς (κοιλώματα), όπου η προσαγωγή του νερού γίνεται με τεχνητά μέσα (π.χ. εκτροπή, άντληση από παρακείμενο υδάτινο φορέα κ.λπ.). Σύμφωνα με τον Γεωργίου (2004), οι ταμιευτήρες συνήθως έχουν πολλαπλή σκοπιμότητα (άρδευση, ύδρευση, υδροηλεκτρική αξιοποίηση, αντιπλημμυρική προστασία κ.λπ.), ενώ πολλές φορές οι προαναφερθείσες σκοπιμότητες ανταγωνίζονται ή αντικρούονται μεταξύ τους.

Οι μελετώμενες χωρητικότητες ενός ταμιευτήρα είναι η ωφέλιμη χωρητικότητα (V_{Ω}), η αδρανής χωρητικότητα ή νεκρός όγκος (V_N) και η χωρητικότητα υπερχείλισης (V_H), όπως αυτές παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.1. Οι χωρητικότητες αυτές ορίζονται από την ανώτατη, την κανονική και την ελάχιστη στάθμη νερού εκάστου ταμιευτήρα. Το βασικότερο χαρακτηριστικό των ταμιευτήρων, όσον αφορά στις χωρητικότητες, είναι η ωφέλιμη χωρητικότητα.

Ως Ωφέλιμος Όγκος, ή Χωρητικότητα, ή Ωφέλιμος Αποθηκευτικός Όγκος Ταμιευτήρα (V_{Ω}), καλείται ο όγκος νερού που υπάρχει μεταξύ της κανονικής και της ελάχιστης στάθμης λειτουργίας του ταμιευτήρα. Η κανονική στάθμη λειτουργίας είναι η μέγιστη στάθμη που μπορεί να φθάσει η ελεύθερη επιφάνεια του νερού (καθρέπτης) υπό συνηθισμένες συνθήκες λειτουργίας του ταμιευτήρα. Η υπόψη στάθμη καθορίζει και τον μέγιστο όγκο νερού που θα αποθηκευτεί για την κάλυψη των σκοπών λειτουργίας του ταμιευτήρα. Συνεπώς, ο Ωφέλιμος Όγκος ορίζει την πραγματική ποσότητα του αποθηκευμένου νερού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξυπηρέτηση κοινωφελών σκοπών, όπως π.χ., η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ύδρευση, η άρδευση κ.τ.λ..



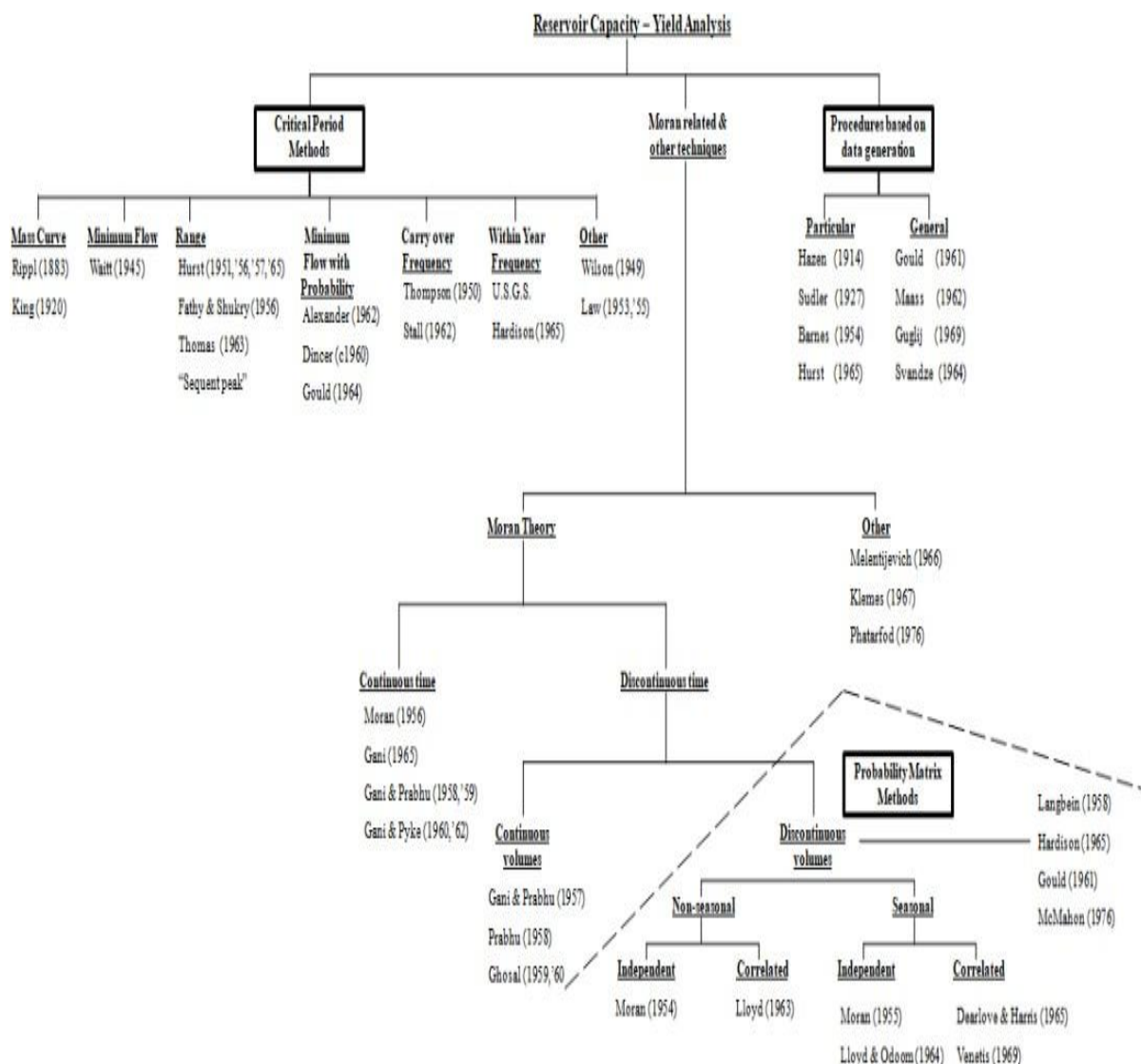
Εικόνα 5.1: Χαρακτηριστικοί όγκοι και στάθμες ταμιευτήρα (Γεωργίου, 2004)

Σύμφωνα με τους McMahon & Mein, 1978; Maidment (1993), οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ωφέλιμης χωρητικότητας - απόδοσης των ταμιευτήρων ταξινομούνται σε 3 κύριες κατηγορίες, αν και η διάκριση αυτή δεν είναι πάντα ξεκάθαρη. Στην πρώτη κατηγορία (critical period techniques) περιλαμβάνονται μέθοδοι που χρησιμοποιούν ιστορικές χρονοσειρές εισροών. Οι υπόψη μέθοδοι εφαρμόζονται στην παρούσα εργασία. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει μεθόδους που βασίζονται στη θεωρία του Moran ή σε παρόμοιες διαδικασίες, σημαντικό μέρος των οποίων καλύπτεται από τις μεθόδους των πιθανοτήτων μετάβασης. Στην Τρίτη κατηγορία περιλαμβάνονται μέθοδοι που βασίζονται σε συνθετικές σειρές εισροών (McMahon & Mein, 1978).

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι Dincer (McMahon & Mein, 1978) και Ripple (Rippl, 1883; Mays, 2010), όπου η ωφέλιμη χωρητικότητα υπολογίζεται με τη βοήθεια της ιστορικής σειράς των εισροών και της καμπύλης ζήτησης (Γεωργίου & Παπαμιχαήλ, 2006). Η εφαρμογή της μεθόδου Ripple σε πολλές περιπτώσεις δεν χρησιμοποιεί το σύνολο της ιστορικής σειράς των εισροών, αλλά περιόδους που ταυτίζονται με ξηρασίες (Γεωργίου, 2004).

Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν Οι μέθοδοι των πιθανοτήτων μετάβασης, που βασίζονται στη θεωρία αποθήκευσης του Moran (1959) (McMahon & Mein, 1978; Zsuffa & Galai, 1987). Ο Moran παρήγαγε μία ολοκληρωματική εξίσωση, με την οποία συσχέτισε την εισροή με την ωφέλιμη χωρητικότητα και τις απελευθερώσεις, για την ικανοποίηση της ζήτησης, τέτοια ώστε να μπορεί να καθορισθεί η πιθανή κατάσταση του όγκου νερού το οποίο περιέχει ο ταμιευτήρας σε κάθε χρονική στιγμή. Για τη λύση της εν λόγω εξίσωσης, ο

Moran εξέτασε την περίπτωση ο χρόνος και η εισροή να είναι διακριτές μεταβλητές και απέδειξε ότι η ωφέλιμη χωρητικότητα, η απελευθέρωση για την ικανοποίηση της ζήτησης και η εισροή δύναται να περιγραφούν με ένα σύστημα εξισώσεων (McMahon & Mein, 1978; Γεωργίου, 2004; Γεωργίου & Παπαμιχαήλ, 2006), όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1: Μέθοδοι υπολογισμού ωφέλιμης χωρητικότητας - απόδοσης (McMahon & Mein, 1978)

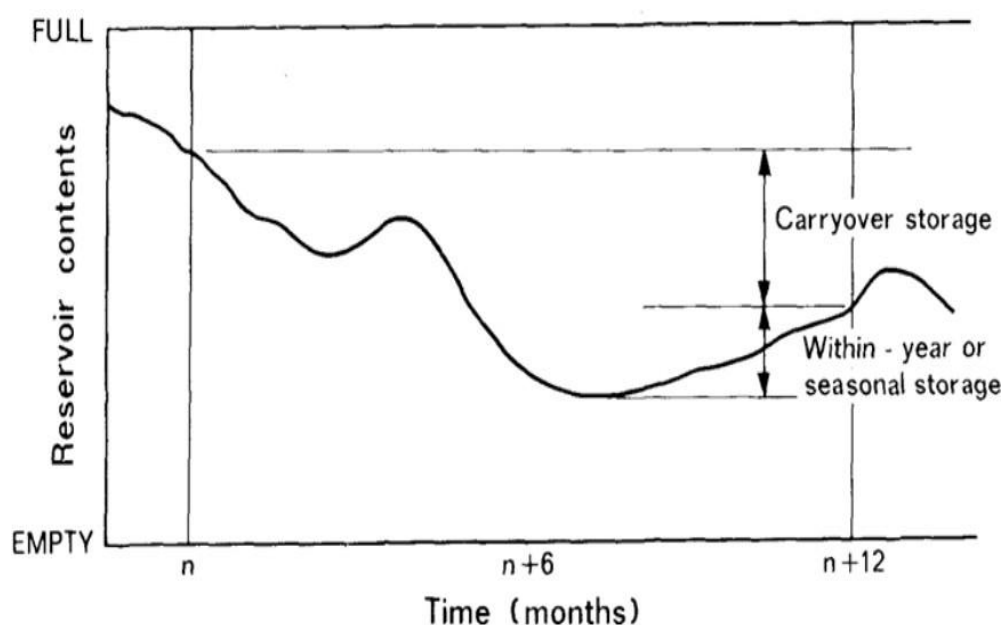
Σύμφωνα με τους McMahon & Mein, 1978; Vogel & McMahon, 1996, υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες ταμιευτήρων:

- Οι υπερετήσιοι (over - year ή carryover), όπου ο ταμιευτήρας γεμίζει και υπερχειλίζει σε περιόδους λίγων ετών και το αποθηκευόμενο νερό στο τέλος ενός έτους μεταφέρεται στο επόμενο. Στην υπόψη κατηγορία, ως αστοχία ορίζεται η αδυναμία κάλυψης

της ζήτησης.

- Οι ετήσιοι (within - year), όπου ο ταμιευτήρας γεμίζει και υπερχειλίζει αρκετές φορές μέσα στο έτος. Είναι μικροί ταμιευτήρες που κατασκευάστηκαν για να παρέχουν νερό για μικρό χρονικό διάστημα για περιόδους χαμηλών ροών (1 - 2 μήνες).

Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται η διαφορά μεταξύ των δύο ταμιευτήρων, όπου απεικονίζεται η αύξηση της ωφέλιμης χωρητικότητας που είναι απαραίτητη για την κάλυψη των εποχιακών διακυμάνσεων.



Σχήμα 5.2: Γραφική αναπαράσταση των υπερετήσιων ταμιευτήρων (over year) και ετήσιων (within – year) (McMahon & Mein, 1978)

5.2 Μέθοδος Ripple

Μια από τις πιο γνωστές και παλιότερες μεθόδους διαστασιολόγησης των ταμιευτήρων είναι η μέθοδος Rippl [Rippl (1883)], που βασίζεται στην ανάλυση των αποκλίσεων των ιστορικών όγκων εισροής στον ταμιευτήρα.

Η μέθοδος χρησιμοποιεί την απλή αθροιστική καμπύλη των ιστορικών όγκων εισροής στον ταμιευτήρα. Αν I_i είναι η χρονοσειρά των μηνιαίων παροχών εισροής (m/sec) στον ταμιευτήρα, και η αθροιστική καμπύλη εισροών $C(t)$ δίνεται από τη σχέση:

$$C(t) = \sum I_i \Delta t, t = 1, 2, \dots, N$$

Όπου:

- i δηλώνει κάποιο μήνα
- Δt είναι το διάστημα χρόνου (ένας μήνας) και
- N το σύνολο των μηνιαίων τιμών της χρονοσειράς ($N=12n$), όπου n είναι τα έτη που καλύπτουν τα δεδομένα εισροών.

Μετά την κατασκευή της αθροιστικής καμπύλης των εισροών και της ζήτησης, η απαιτούμενη χωρητικότητα ταμιευτήρα εκτιμάται ως εξής:

Το μέγιστο εύρος $R_{t,s}$ δίνεται από τη σχέση:

$$R_{t,s} = \max \Delta(u) + \min \Delta(u), \quad 0 < u < S$$

Όπου:

- $\max \Delta(u)$ η μέγιστη περίσσεια και
- $\min \Delta(u)$ το μέγιστο έλλειμμα σε χρόνο S

Αξίζει να επισημάνουμε ότι η μέθοδος αυτή είναι πολύ απλή αλλά έχει πολλά μειονεκτήματα, για να ισχύει πρέπει ο ταμιευτήρας να μην αδειάσει ποτέ, και είναι σε θέση να αντιμετωπίζει πάντα τη συγκεκριμένη ζήτηση. Επίσης η χρονοσειρά των εισόδων I_i που χρησιμοποιήθηκε κατά το σχεδιασμό θα πρέπει να είναι ακριβώς ίδια και στο μέλλον. Κάτι τέτοιο όμως έχει μηδενική πιθανότητα να συμβεί.

5.3 Μέθοδος Dincer (Gould Dincer Normal)

Στη μέθοδο του Dincer (1966) χρησιμοποιείται μία θεωρητική κατανομή, συγκεκριμένα η κανονική κατανομή, με σκοπό να προσαρμοστούν τα αθροίσματα των ετήσιων απορροών.

Αρχικά θεωρείται μία ακολουθία ετήσιων απορροών, οι οποίες υποθέτουμε ότι είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, με μέση τιμή και τυπική απόκλιση s . McMahon and Mein (1978)

Για μία ακολουθία n ετών, ο μέσος όρος ισούται με: $\bar{x}_n = n\bar{x}$ και η τυπική απόκλιση (για n έτη) με:

$$s_n = \sqrt{\sum^n s^2} = \sqrt{n}s$$

Όπως προκύπτει από το θεώρημα του κεντρικού ορίου, η κατανομή του αθροίσματος

η συναπτών ετήσιων απορροών προσεγγίζει την κανονική κατανομή, καθώς αυξάνεται το n .

Επομένως, η ελάχιστη απορροή για n έτη με πιθανότητα εμφάνισης $p\%$ δίδεται από τη σχέση:

$$q_{n,p} = \bar{n}x - z_p \sqrt{\bar{n}s}$$

όπου: $q_{n,p}$ είναι η απορροή για n έτη με πιθανότητα εμφάνισης $p\%$,

z_p είναι η μεταβλητή της κανονικής κατανομής για πιθανότητα εμφάνισης $p\%$.

Κατά τη διάρκεια της κρίσιμης περιόδου (από τελείως γεμάτο σε άδειο ταμιευτήρα χωρίς υπερχειλίση), ο απαιτούμενος αποθηκευμένος όγκος ισούται με τη διαφορά της εκροής από την εισροή, δηλαδή:

$$C_{n,p} = D_n - q_{n,p}$$

όπου: $C_{n,p}$ η μείωση ενός αρχικού αποθέματος στο τέλος μίας περιόδου n ετών, κατά τη διάρκεια της οποίας η n -ετήσια απορροή ($q_{n,p}$) έχει πιθανότητα εμφάνισης $p\%$

D_n η σταθερή ζήτηση από τον ταμιευτήρα για περίοδο n ετών και ισούται με $Dn\bar{x}$, όπου D είναι η σταθερή ζήτηση ως αναλογία της μέσης ετήσιας απορροής.

Από τις παραπάνω εξισώσεις, προκύπτει:

$$C_{n,p} = Dn\bar{x} - \bar{n}x + z_p \sqrt{\bar{n}s} = n\bar{x}(D-1) + z_p \sqrt{\bar{n}s}$$

Για να επιτευχθούν η διάρκεια της κρίσιμης περιόδου και ο μέγιστος απαιτούμενος αποθηκευμένος όγκος, παραγωγίζεται η παραπάνω εξίσωση ως προς n και μηδενίζοντάς την προκύπτει:

$$CP = \frac{z^2 * C_v^2}{4(1-D)^2}$$

και, ως εκ τούτου:

$$\tau = C_x = \frac{z_p^2 * C_v^2}{4(1-D)}$$

όπου: CP είναι η διάρκεια της κρίσιμης περιόδου σε έτη,

C_v είναι ο συντελεστής διακύμανσης,

C είναι η μέγιστη απαιτούμενη ωφέλιμη χωρητικότητα σε μονάδες όγκου,

τ είναι η μέγιστη απαιτούμενη ωφέλιμη χωρητικότητα ανηγμένη ως προς τη μέση ετήσια απορροή.

Στην υπόψη μέθοδο, πέραν της παραδοχής της κρίσιμης περιόδου, όπου ο ταμιευτήρας θεωρείται αρχικά γεμάτος και επιτρέπεται μόνο μία αστοχία κατά τη διάρκειά της, λαμβάνουν χώρα και οι παρακάτω παραδοχές:

- Η κρίσιμη περίοδος θεωρείται αρκετά μεγάλη, έτσι ώστε οι ετήσιες απορροές να τείνουν να ακολουθήσουν την κανονική κατανομή.
- Οι ετήσιες απορροές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.
- Ο ρυθμός απόληψης είναι σταθερός.

Για τις ετήσιες απορροές που δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή, η ανωτέρω διαδικασία τείνει να υπερεκτιμήσει τον απαιτούμενο αποθηκευμένο όγκο. Το γεγονός αυτό αντισταθμίζεται από την τάση υποεκτίμησης, που οφείλεται στην αρχική θεώρηση ότι ο ταμιευτήρας είναι πλήρης και δεν αστοχεί (υπερχείλιση) (McMahon & Mein, 1978).

Σύμφωνα με τους McMahon et al. (2007), αντικαθιστώντας στη σχέση της μέγιστης απαιτούμενης ωφέλιμης χωρητικότητας με τον δείκτη συμπεριφοράς [$m=(1-D)/C_v$], προκύπτει:

$$K = \frac{z_p^2}{4m}$$

όπου: K η ανηγμένη ωφέλιμη χωρητικότητα (η ωφέλιμη χωρητικότητα διαιρούμενη με την τυπική απόκλιση των ετήσιων απορροών)

m ο δείκτης συμπεριφοράς

Αξίζει να σημειωθεί ότι για μία δεδομένη πιθανότητα το K μειώνεται όσο το m αυξάνεται (McMahon et al., 2007).

Τέλος, είναι γνωστό ότι η ωφέλιμη χωρητικότητα των ανεξάρτητων εισροών προσαρμόζεται ανάλογα με τον σειριακό συντελεστή συσχέτισης (ρ), σύμφωνα με τη σχέση:

$$CP = \frac{z_p^2}{4(1-D)} * C_v^2 x \frac{1+\rho}{1-\rho}$$

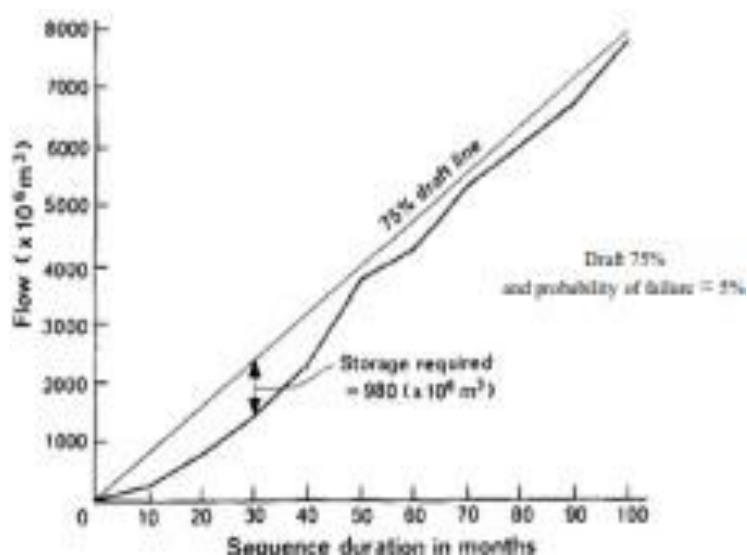
όπου ρ είναι ο σειριακός συντελεστής συσχέτισης (lag - one) και ισούται με:

$$\rho = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} x_i x_{i+k} - \frac{1}{(n-k)^2} \sum_{i=1}^{n-k} x_i \sum_{i=1}^{n-k} x_{i+k}}{\sqrt{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i)^2 - \frac{1}{(n-k)^2} (\sum_{i=1}^{n-k} x_i)^2} \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_{i+k})^2 - \frac{1}{(n-k)^2} (\sum_{i=1}^{n-k} x_{i+k})^2}}$$

όπου $k=1$ είναι η χρονική διαφορά (lag) μεταξύ των απορροών. Ο σειριακός συντελεστής συσχέτισης ρ είναι αδιάστατος και με τιμές $-1 \leq \rho \leq 1$.

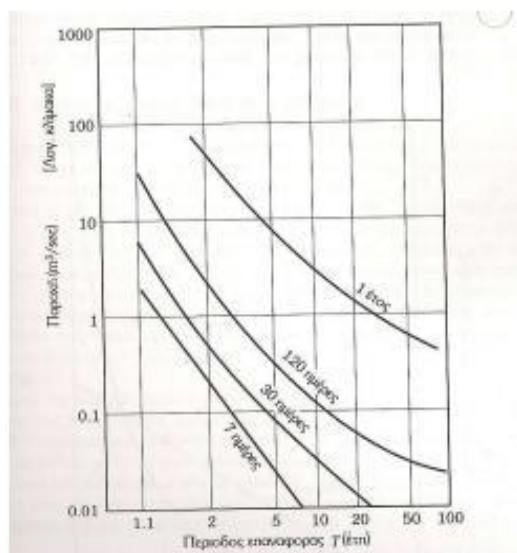
5.4 Μέθοδος Stall

Στην υπόψη μέθοδο, επιλέγεται η ελάχιστη διάρκεια (π.χ. 1 εβδομάδα) και υπολογίζεται η μέση παροχή σε όλες τις εβδομάδες του δείγματος. Κατόπιν, επιλέγεται η εβδομάδα με τη μικρότερη παροχή, μετά η δεύτερη μικρότερη κ.λπ.. Η παροχή τοποθετείται σε φθίνουσα σειρά και συσχετίζεται με την περίοδο επαναφοράς $T=(N+1)/m$, όπου m η θέση του μεγέθους στη φθίνουσα σειρά, δημιουργώντας έτσι το αντίστοιχο διάγραμμα, όπως παρακάτω Σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3: Γραφική αναπαράσταση παροχής - διάρκειας σε εβδομάδες

Στη συνέχεια, επιλέγονται και άλλες χρονικές περίοδοι μεγαλύτερες και με την ίδια διαδικασία τοποθετούνται στο ίδιο διάγραμμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4.



✓ Για κάθε περίοδο επαναφοράς προκύπτει μια «συνθετική ξηρασία»

✓ Π.χ. για περίοδο επαναφοράς 5 ετών:

Διάρκεια 7 ημερών - παροχή 0.026 m³/s

Διάρκεια 30 ημερών - παροχή 0.084 m³/s

Διάρκεια 120 ημερών - παροχή 0.28 m³/s

Διάρκεια 365 ημερών - παροχή 6.10 m³/s

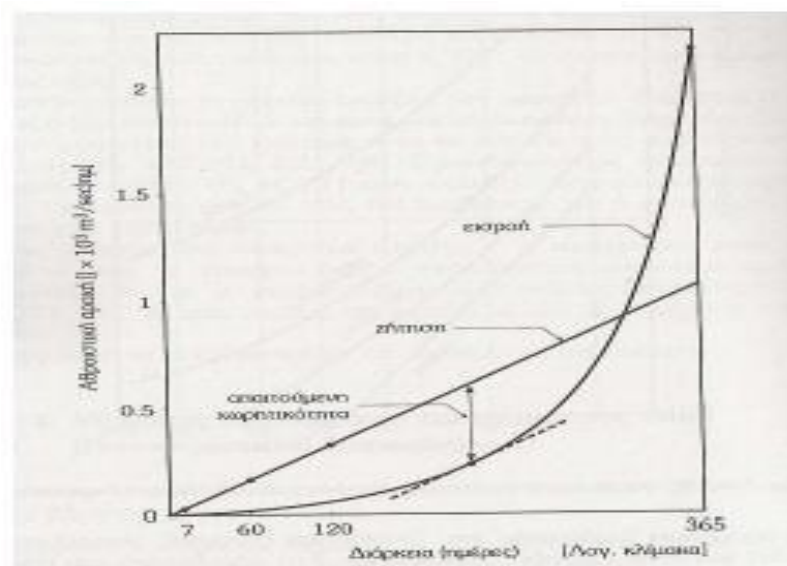
Σχήμα 5.4: Καμπύλες συχνότητας χαμηλών ροών διάφορων διαρκειών

Θεωρώντας, για παράδειγμα, σταθερή ημερήσια ζήτηση 3m³/sec, με την υπόψη μέθοδο εξάγονται τα αποτελέσματα του παρακάτω Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Τιμές παροχής - όγκου εισροής - όγκου ζήτησης

Διάρκεια (ημέρες)	Παροχή (m³/sec)	Όγκος Εισροής (m³/sec)ημ	Όγκος Ζήτησης (m³/sec)ημ	Διαφορά (m³/sec)ημ
(1)	(2)	3 = (1) x (2)	4 = (1) x (3)	5 = (3) - (4)
7	0,026	0,182	21	-20,818
30	0,084	2,52	90	-87,48
120	0,28	33,6	360	-326,4
365	6,1	2226,5	1095	1131,5

Διαγραμματοποιώντας τα παραπάνω αποτελέσματα, έχουμε το διάγραμμα Διάρκειας - Όγκου Εισροής του Σχήματος 5.5.



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα διάρκειας - όγκου εισροής

όπου συνάγεται ότι η αποθηκευτική ικανότητα του ταμιευτήρα είναι της τάξης των 450 m^3/sec , ήτοι: $450 \cdot 24 \cdot 3600 = 38,88 \text{ hm}^3$.

5.5 Συμπεράσματα κεφαλαίου

Ο ωφέλιμος όγκος είναι το σημαντικότερο στοιχείο ενός ταμιευτήρα. Υφίστανται διάφορες μέθοδοι προσδιορισμού του ωφέλιμου όγκου, οι οποίες χρησιμοποιούν ιδιαίτερα μετρητικά δεδομένα και οι οποίες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά παραβολή, ώστε να ελέγχεται η αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων και να προσεγγισθεί με περισσότερη ακρίβεια η τελική τιμή του ωφέλιμου όγκου.

Κεφάλαιο 6 Φράγμα Μουζακίου

6.1 Υπολογισμός Ωφέλιμου Όγκου Ταμιευτήρα

6.1.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία, η ωφέλιμη χωρητικότητα υπολογίσθηκε με 3 μεθόδους:

- Μέθοδος Ripple
- Μέθοδος Dincer (Gould Dincer Normal)
- Μέθοδος Stall

Οι ανωτέρω μέθοδοι αυτοί επιλέχθηκαν καθόσον χρησιμοποιούν ιστορικές χρονοσειρές εισροών και στη μέθοδο Dincer υπολογίζονται οι ετήσιοι όγκοι των απορροών σε συνδυασμό με την πιθανότητα πραγματοποίησης της απόληψης. Ο υπολογισμός του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα πραγματοποιήθηκε με τη χρησιμοποίηση:

- Των μετρήσεων παροχών από σταθμούς στην περιοχή του Μουζακίου για χρονική περίοδο σαράντα δύο (42) υδρολογικών ετών, από τον Οκτώβριο του 1960 έως τον Σεπτέμβριο του 2002.

- Του υδρολογικού μοντέλου UTHBAL.

Γενικά απλά αδρομερή υδρολογικά μοντέλα ενοποιούν τα ετερογενή χαρακτηριστικά της εκάστοτε λεκάνης απορροής και προσομοιώνουν την μετατροπή της βροχόπτωσης σε απορροή με την απαίτηση περιορισμένων στοιχείων εισόδου . Για αυτόν τον λόγο μπορεί να θεωρηθεί ότι γενικεύουμε τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής , αλλά παρόλα αυτά τα μοντέλα είναι αποδοτικά . Τα μοντέλα υδατικού ισοζυγίου έχουν αναπτυχθεί σε διάφορες χρονικές κλίμακες και βαθμούς πολυπλοκότητας . Στην εργασία μας η χρονική κλίμακα είναι η μηνιαία , ενώ για τον βαθμό πολυπλοκότητας για χρήστες του όπως εμάς στα πλαίσια της μελέτης μας όχι ιδιαίτερα υψηλός , μάλιστα θα λέγαμε πως το μοντέλο είναι αρκετά εύχρηστο με την προϋπόθεση σωστής επεξεργασίας των δεδομένων εισαγωγής . Όπως θα φανεί και παρακάτω όσο πιο πολλά δεδομένα έχουμε από σταθμούς μέτρησης τόσο πιο σίγουροι είμαστε για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων , το οποίο σχόλιο θα επισημανθεί και παρακάτω.

6.1.2 Ωφέλιμος Όγκος από Μετρήσεις Παροχών

Ο υπολογισμός του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα περιλαμβάνει τα κάτωθι βήματα:

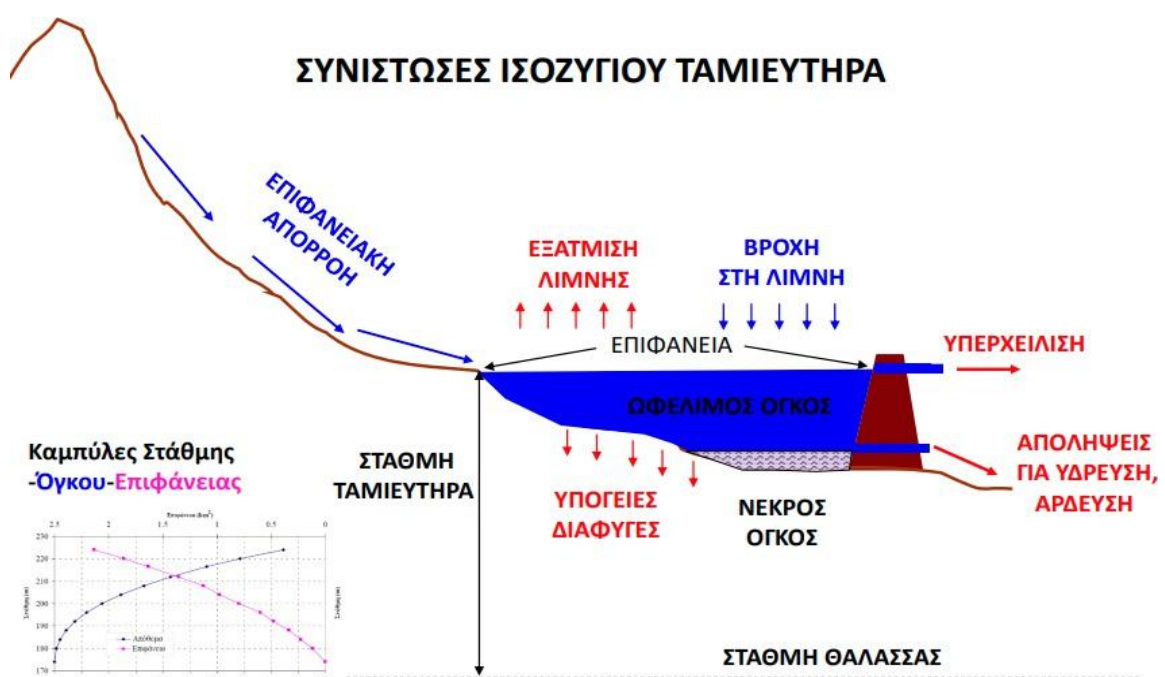
6.1.2.1 Υδατικό Ισοζύγιο

Το υδατικό ισοζύγιο της υπολεκάνης του Μουζακίου υπολογίσθηκε με τη χρήση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\Delta S = P + Q - E - R - Y$$

όπου: ΔS	η μεταβολή του αποθέματος S
Q	η μηναία εισροή στον ταμιευτήρα
P	η μηναία κατακρήμνιση πάνω στην επιφάνεια του ταμιευτήρα
E	η μηναία εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα
R	οι απολήψεις
Y	οι υπερχειλίσσεις

Στην Εικόνα 6.1, παρουσιάζονται οι συνιστώσες του ισοζυγίου ενός ταμιευτήρα.



Εικόνα 6.1: Συνιστώσες Υδατικού Ισοζυγίου Ταμιευτήρα**6.1.2.2 Μηνιαία Κατακρήμνιση**

Για τον υπολογισμό της μηνιαίας κατακρήμνισης στην επιφάνεια του ταμιευτήρα, δόθηκαν τα δεδομένα της μέσης μηνιαίας υετόπτωσης από τους διαθέσιμους μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής με κοινή περίοδο δεδομένων (Οκτώβριος 1960 έως Σεπτέμβριος 2002), οι οποίοι είναι οι εξής: **Μπεζούλα, Μορφοβούνι, Μουζάκι (ΥΠΕΧΩΔΕ), Αργιθέα, Μουζάκι (ΥΠΓΕ) και Δρακότρυπα**. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στο φύλλο εργασίας Excel «ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ».

Πίνακας 6.1: Εισαγωγή δεδομένων επιφανειακής βροχόπτωσης στο λογισμικό Excel για τον Βροχομετρικό Σταθμό ΜΠΕΖΟΥΛΑ

ΥΔΡΟΛ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1960-61	89.5	171.4	191.8	140.8	101.0	121.9	100.2	59.0	28.2	35.8	32.7	38.9	1111.3
1961-62	198.6	165.7	134.9	99.8	139.2	136.4	63.0	65.2	30.7	21.8	16.8	54.8	1126.9
1962-63	253.5	241.6	178.2	210.9	194.0	117.0	107.4	98.9	39.0	24.5	42.7	38.6	1546.4
1963-64	233.7	147.2	146.1	93.9	106.7	170.7	60.6	111.8	47.3	25.9	22.9	49.5	1216.1
1964-65	95.4	190.9	163.8	110.5	123.7	118.0	119.7	95.8	64.0	22.0	18.1	38.5	1160.6
1965-66	103.6	165.2	127.3	103.6	97.4	104.9	87.8	57.0	60.3	22.5	26.2	42.6	998.4
1966-67	126.2	181.9	147.3	67.3	100.7	74.8	83.4	73.2	18.4	39.1	26.0	42.3	980.8
1967-68	84.4	129.7	118.9	67.8	103.1	81.2	65.0	73.3	63.9	21.0	18.8	44.9	872.0
1968-69	169.6	164.7	189.7	89.8	148.4	147.4	54.2	56.6	23.7	24.0	29.0	45.7	1142.8
1969-70	66.0	136.8	155.5	116.4	128.1	97.1	56.4	83.5	43.3	35.4	19.3	38.5	976.4
1970-71	63.7	128.8	139.6	83.3	165.5	198.3	61.8	54.8	31.0	21.8	21.2	42.8	1012.6
ΥΔΡΟΛ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1971-72	113.2	195.3	105.5	132.3	120.7	106.9	217.4	83.8	24.3	37.9	41.1	42.0	1220.4
1972-73	218.2	97.3	76.6	102.5	160.5	157.0	2.0	54.4	29.7	30.1	29.8	41.9	1000.0
1973-74	251.1	142.6	156.4	81.1	246.4	59.6	242.3	75.1	60.1	16.4	3.2	46.4	1380.9
1974-75	174.4	171.5	13.0	11.0	57.4	84.1	77.0	68.5	81.1	98.6	65.0	39.9	941.5
1975-76	112.2	222.6	115.7	73.5	126.8	140.0	133.9	69.0	40.0	47.7	27.9	1.2	1110.5
1976-77	145.0	189.5	280.0	76.0	49.4	32.6	74.1	21.8	44.6	15.4	2.4	18.7	949.5
1977-78	51.1	185.3	125.0	53.0	102.7	71.2	148.5	76.0	6.7	1.6	2.3	129.5	952.9

1978-79	151.0	140.0	170.6	298.5	249.0	62.4	221.4	181.7	26.0	35.5	24.2	170.5	1730.8
1979-80	382.9	250.7	201.6	145.8	93.2	121.6	82.3	131.4	32.3	15.4	7.4	24.3	1488.9
1980-81	366.2	178.7	264.1	307.4	72.0	13.8	126.3	87.3	16.7	19.9	62.8	52.2	1567.4
1981-82	156.3	108.3	56.8	80.2	203.2	286.0	166.2	144.5	17.0	16.2	28.9	39.6	1303.2
1982-83	115.0	243.4	264.0	48.4	169.3	119.4	62.5	27.7	123.5	67.4	51.5	102.0	1394.1
1983-84	166.3	236.4	183.5	140.7	238.0	87.8	356.7	92.7	42.0	6.0	90.2	21.4	1661.7
1984-85	5.0	171.5	171.8	370.8	69.9	185.9	148.8	61.0	10.8	9.5	8.2	46.3	1259.5
1985-86	175.5	260.1	119.7	210.6	234.0	177.3	55.9	86.5	115.5	16.8	36.0	10.5	1498.4
1986-87	198.1	71.4	105.0	188.3	79.5	257.5	63.5	65.5	28.4	6.0	78.0	35.5	1176.7
1987-88	75.2	223.7	177.0	98.0	120.0	96.9	71.1	32.0	9.5	15.4	13.6	37.9	970.4
1988-89	122.5	203.1	118.7	35.0	157.8	180.5	72.0	53.0	22.0	121.7	13.6	13.7	1113.6
1989-90	187.4	118.6	104.0	0.0	32.0	79.8	0.0	137.0	0.0	4.0	84.6	18.4	765.8
1990-91	72.0	155.8	245.0	93.0	100.0	46.0	168.1	144.4	12.0	10.0	69.0	30.7	1146.0
1991-92	96.0	209.5	84.0	33.0	30.7	81.0	168.8	98.5	86.0	4.0	0.0	13.0	904.5
1992-93	213.0	161.0	73.0	65.0	184.0	0.0	20.0	147.0	8.0	0.0	2.0	43.0	916.0
1993-94	36.0	264.4	135.7	148.9	210.0	10.4	78.8	72.3	7.0	9.0	38.0	33.0	1043.5
1994-95	230.5	149.6	108.9	101.9	66.6	213.0	92.0	96.0	52.2	69.9	52.4	0.0	1233.0
1995-96	103.1	152.2	238.2	155.4	228.1	89.7	42.9	54.2	12.3	29.9	86.1	55.0	1246.9
1996-97	218.5	196.5	158.9	284.4	69.8	103.2	104.9	161.5	13.1	15.4	51.4	42.0	1419.6
1997-98	209.6	216.5	213.5	35.4	76.1	79.9	7.8	217.8	43.1	15.4	44.8	48.3	1208.2
1998-99	87.1	278.8	224.6	112.4	183.9	139.5	54.4	84.3	8.0	46.7	29.8	45.2	1294.7
1999-00	107.0	312.0	174.0	41.5	134.1	74.8	40.2	43.0	31.6	21.9	22.1	39.0	1041.1
2000-01	232.1	136.8	120.6	156.2	142.6	85.5	177.9	81.8	9.7	29.4	50.3	40.7	1263.8
2001-02	85.2	166.0	59.7	57.7	67.2	152.1	213.6	38.2	13.1	71.9	55.6	62.0	1042.2
Μέση Τιμή	151.0	181.7	150.9	117.2	130.5	113.4	103.6	86.1	35.1	28.6	34.4	43.4	1176.0
Τυπική Απόκλιση	81.2	51.3	59.6	81.5	60.3	61.3	72.5	42.1	28.2	25.3	24.4	30.0	225.3

Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση εκτιμήθηκε με τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen, διορθωμένη για το μέσο υψόμετρο της λεκάνης με τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας. Με την ίδια μέθοδο υπολογίσθηκαν οι συντελεστές στάθμισης για κάθε σταθμό που αντιστοιχούν στα εμβαδά των πολυγώνων επηρεασμού των σταθμών Μπεζούλα, Μορφοβούνι, Μουζάκι (ΥΠΕΧΩΔΕ), Αργιθέα, Μουζάκι (ΥΠΓΕ) και Δρακότρυπα, οι τιμές των οποίων δόθηκαν όπως στον Πίνακα 6.2.

Πίνακας 6.2: Επιφάνεια επηρεασμού κάθε βροχομετρικού σταθμού

Βροχομετρικός Σταθμός	Έκταση (km ²)
ΜΠΕΖΟΥΛΑ	18,44
ΜΟΡΦΟΒΟΥΝΙ	17,97
ΜΟΥΖΑΚΙ (ΥΠΕΧΩΔΕ)	0,01
ΑΡΓΙΘΕΑ	35,04
ΜΟΥΖΑΚΙ (ΥΠΓΕ)	21,37
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	51,28
ΣΥΝΟΛΟ	144,11

Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση της υπολεκάνης του Μουζακίου P_o προέκυψε ως το άθροισμα των επιμέρους μηνιαίων υψών βροχόπτωσης P_i των ανωτέρω σταθμών, πολλαπλασιασμένες με τους αντίστοιχους συντελεστές στάθμισης, σύμφωνα με την κάτωθι εξίσωση:

$$P_o = [(P_1 \cdot A_1) + (P_2 \cdot A_2) + (P_3 \cdot A_3) + (P_4 \cdot A_4) + (P_5 \cdot A_5) + (P_6 \cdot A_6)] / A$$

όπου, P_1 έως P_6 το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης των σταθμών Μπεζούλα, Μορφοβούνι, Μουζάκι (ΥΠΕΧΩΔΕ), Αργιθέα, Μουζάκι (ΥΠΓΕ) και Δρακότρυπα αντίστοιχα και A_i/A (%) το ποσοστό εκτάσεως επηρεασμού τού κάθε σταθμού ξεχωριστά, σε σχέση με τη συνολική έκταση της υπολεκάνης. Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζεται ο υπολογισμός του ποσοστού επιρροής βροχομετρικών σταθμών στο λογισμικό Excel.

Πίνακας 6.3: Υπολογισμός ποσοστού επιρροής βροχομετρικών σταθμών στο λογισμικό Excel

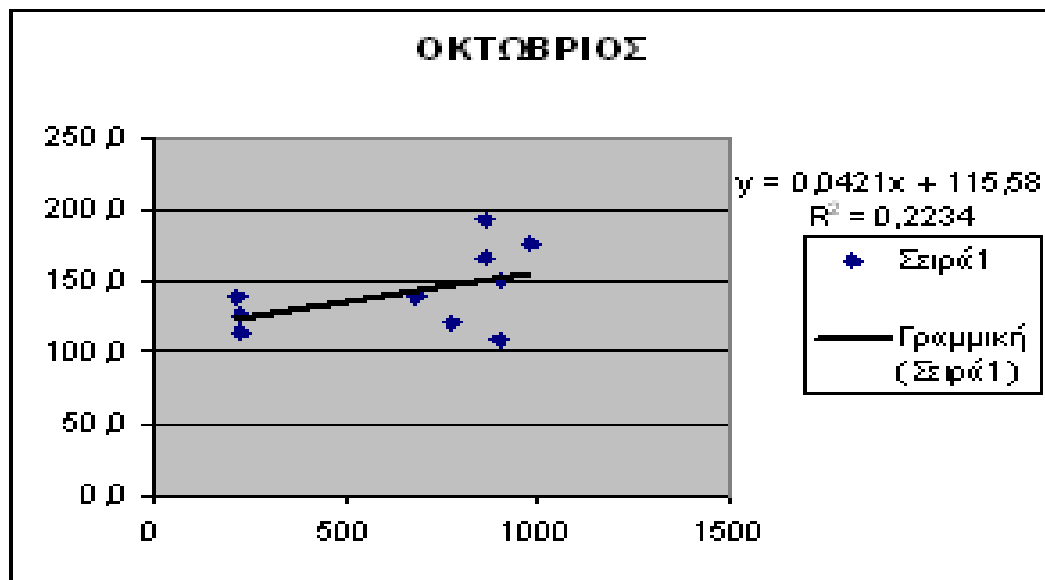
	ΕΠΙΡΡΟΗ	ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (mm)	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
A1=	0.128	1176.0	901
A2=	0.125	929.8	780
A3=	0.000	1015.5	226
A4=	0.243	1649.7	980
A5=	0.148	1128.6	226
A6=	0.356	1336.8	680
		Μ.Ο.	726.34
		Μέσο υψόμετρο λεκάνης:	827

Για τον ακριβή υπολογισμό των δεδομένων βροχόπτωσης, τα εξαχθέντα αποτελέσματα επιφανειακής βροχόπτωσης ανήχθησαν στο μέσο υψόμετρο της υπολεκάνης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας. Η τελευταία βασίζεται στην παρατήρηση ότι το ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί τη βροχοβαθμίδα που είναι ο όρος που περιγράφει την αύξηση του ετήσιου βροχομετρικού ύψους ανά 100m αύξησης του υψομέτρου. Η μέθοδος χρησιμοποιεί μία απλή γραμμική σχέση που συσχετίζει τα υψόμετρα των σταθμών με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κάθε σταθμού και εφόσον υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση (συντελεστής συσχέτισης $r > 0.70$), η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους βροχής σε οποιοδήποτε υψόμετρο (Παπαμιχαήλ, 2001).

Για παράδειγμα :

		ΟΚΤ
ΤΑΥΡΩΠΟΣ	220	139,6
ΜΟΥΖΑΚΙ ΥΠΕΧΩΔΕ	226	126,1
ΜΟΥΖΑΚΙ ΥΠΓΕ	226	114,6
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	680	139,4
ΜΟΡΦΟΒΟΥΝΙ	780	120,8
ΣΤΟΥΡΝ/ΚΑ ΔΕΗ	860	193,4
ΣΤΟΥΡΝ/ΚΑ ΥΠΓΕ	860	165,5
ΚΑΡΥΤΣΑ	900	108,5
ΜΠΕΖΟΥΛΑ	901	151,0
ΑΡΠΙΘΕΑ	980	176,0

Οι τιμές του Οκτωβρίου . Με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων βρίσκουμε την εξίσωση της ευθείας που συνδέει τα υψόμετρα των σταθμών με τις τιμές της μηνιαίας βροχόπτωσης του Οκτωβρίου σε όλους αυτούς τους σταθμούς .



Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για όλους τους μήνες . Από τις εξισώσεις των 12 ευθειών συγκρατούμε τους συντελεστές , τις κλίσεις ευθείας , την βροχοβαθμίδα δηλαδή για τους 12 μήνες.

	α
ΟΚΤ	0,0421
ΝΟΕ	0,0752
ΔΕΚ	0,0947
ΙΑΝ	0,0434
ΦΕΒ	0,0548
ΜΑΡΤ	0,0582
ΑΠΡ	0,059
ΜΙΑ	0,0423
ΙΟΥΝ	0,0113
ΙΟΥΛ	-0,0009
ΑΥΓ	0,0144
ΣΕΠΤ	0,0224

Για τον συνδυασμό των δύο μεθόδων και την σύνθεση της μεθόδου τροποποιημένης Thiessen χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο :

$$P_{\text{τροπ.}} = P_{\text{Thiessen}} + \alpha_i * (\bar{Y} - Y_{\text{λεκάνης}})$$

$$\bar{Y} = \sum Y_i / n$$

Όπου $P_{\text{τροπ.}}$ είναι η μέση επιφανειακή βροχόπτωση από την τροποποιημένη Thiessen,

α_i είναι η βροχοβαθμίδα του κάθε μήνα από την μέθοδο της βροχοβαθμίδα ,

$\bar{z}$ είναι το μέσο υψόμετρο όλων των σταθμών,

$\bar{y}$ λεκάνης είναι το μέσο υψόμετρό της λεκάνης .

ΜΗΝΑΣ	α	$\alpha \cdot \Delta y$	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΛΕΚΑΝΗΣ	827,00
ΟΚΤ	0,0421	-6,89177	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΣΤΑΘΜΩΝ	663,30
ΝΟΕ	0,0752	-12,3102	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ	-163,70
ΔΕΚ	0,0947	-15,5024		
ΙΑΝ	0,0434	-7,10458		
ΦΕΒ	0,0548	-8,97076		
ΜΑΡΤ	0,0582	-9,52734		
ΑΠΡ	0,059	-9,6583		
ΜΑΙ	0,0423	-6,92451		
ΙΟΥΝ	0,0113	-1,84981		
ΙΟΥΛ	-0,0009	0,14733		
ΑΥΓ	0,0144	-2,35728		
ΣΕΠΤ	0,0224	-3,66688		

6.1.2.3 Μηνιαία Εξάτμιση

Για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας εξάτμισης από την επιφάνεια του ταμιευτήρα, απαιτείται ο εκ των προτέρων προσδιορισμός της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας στην υπολεκάνη του Μουζακίου. Προς τούτο, δόθηκαν τα δεδομένα της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας από τους διαθέσιμους μετεωρολογικούς σταθμούς της Θεσσαλίας με κοινή περίοδο δεδομένων (Οκτώβριος 1960 έως Σεπτέμβριος 2002), οι οποίοι είναι οι εξής: **Αργιθέα, Βακάρι, Καλλιφώνι, Καπνικός Σταθμός, Καρδιτσομάγουλα, Λεοντίτο, Πεδινό, Πολυνέρι, Ταυρωπός και Τρίκαλα**. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στο φύλλο εργασίας Excel «ΘΕΡΜΟΒΑΘΜΙΔΑ» (Πίνακας 6.7).

Πίνακας 6.7: Εισαγωγή δεδομένων θερμοβαθμίδας στο λογισμικό Excel για τον Σταθμό Αργιθέας

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1960-61	16.2	8.7	8.6	4.7	4.8	4.0	11.9	15.0	19.8	21.1	21.6	18.7	12.9
1961-62	14.5	9.5	5.2	5.6	4.2	3.2	9.1	16.8	18.8	21.7	22.6	20.2	12.6
1962-63	14.3	8.4	4.1	6.1	5.4	1.8	8.9	14.0	17.9	21.4	22.4	20.3	12.1

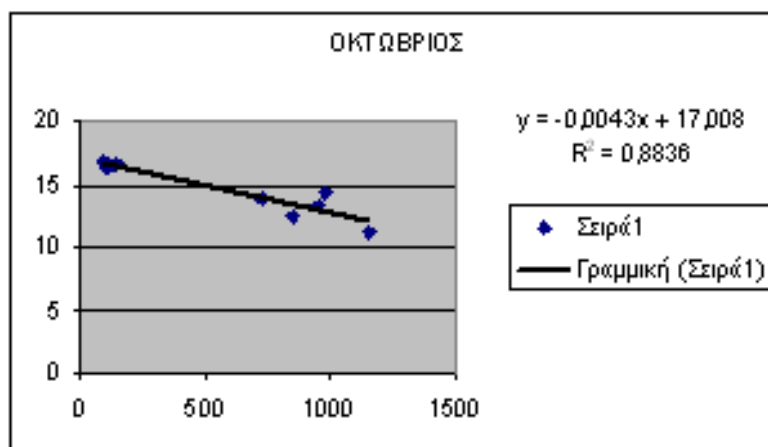
1963-64	14.2	8.4	6.6	3.5	4.8	4.6	11.0	15.1	18.9	20.6	21.0	17.4	12.2
1964-65	15.7	8.9	6.5	5.9	3.2	3.6	10.8	15.1	18.5	21.8	20.3	19.7	12.5
1965-66	12.9	8.9	6.7	4.1	7.1	2.4	10.5	16.0	18.9	21.6	22.4	18.9	12.5
1966-67	18.6	9.3	6.2	3.9	4.3	4.1	9.7	14.9	18.7	20.5	21.9	18.6	12.6
1967-68	15.8	7.4	6.1	2.6	5.9	2.4	9.3	16.0	20.6	21.4	20.9	19.1	12.3
1968-69	13.4	8.9	5.5	4.0	6.0	2.7	9.1	12.8	18.4	20.6	21.5	19.3	11.9
1969-70	13.2	12.6	6.6	6.6	6.0	4.9	10.8	14.6	20.2	20.9	21.6	18.7	13.1
1970-71	13.2	8.6	4.9	5.7	4.7	1.5	11.5	16.4	19.2	20.4	21.9	19.0	12.2
1971-72	11.8	6.6	4.1	1.1	2.0	4.9	9.8	14.3	19.9	19.5	18.9	14.7	10.6
1972-73	8.1	7.1	2.0	2.2	3.8	3.0	8.5	17.5	19.1	22.1	20.2	18.5	11.0
1973-74	12.7	7.6	4.7	3.2	4.2	5.7	7.8	13.4	18.5	21.0	22.0	19.4	11.7
1974-75	14.0	7.5	4.6	3.9	1.9	8.5	11.2	15.7	19.2	21.0	20.5	21.0	12.4
1975-76	16.9	10.0	7.0	5.8	4.9	7.9	11.0	16.3	18.7	20.6	19.5	18.4	13.1
1976-77	17.3	10.5	6.2	5.1	9.6	10.6	12.8	16.8	16.9	20.6	21.9	17.5	13.8
1977-78	14.7	12.0	4.1	3.0	6.8	7.9	9.2	14.2	17.5	20.9	20.2	16.2	12.2
1978-79	13.2	8.2	6.9	5.0	5.5	8.4	8.1	15.4	20.0	20.8	20.7	18.1	12.5
1979-80	13.7	8.6	6.9	3.4	5.7	8.0	10.3	12.9	19.0	22.2	22.6	20.1	12.8
1980-81	15.0	13.0	6.0	1.7	4.6	10.2	12.1	14.6	21.0	21.3	21.4	19.7	13.4
1981-82	17.4	9.0	7.0	7.7	5.2	6.8	11.1	16.3	19.8	21.2	21.2	18.8	13.5
1982-83	14.7	9.8	7.0	5.5	4.3	7.6	12.7	16.6	17.0	20.9	19.2	16.5	12.7
1983-84	10.9	8.0	5.4	5.2	5.3	6.2	10.1	16.9	19.6	21.6	20.4	17.1	12.2
1984-85	14.7	8.5	3.9	6.0	7.9	2.6	11.5	17.1	19.3	19.5	21.5	18.8	12.6
1985-86	12.1	12.0	6.9	6.0	4.9	3.0	10.2	16.2	19.1	20.7	21.9	19.0	12.7
1986-87	13.5	8.0	2.6	5.8	5.3	-2.6	10.3	16.3	18.9	20.6	20.6	20.9	11.7
1987-88	12.6	9.3	5.6	5.7	4.9	3.4	9.0	14.3	19.5	22.9	21.8	19.1	12.3
1988-89	13.3	10.1	2.2	3.3	5.3	5.3	11.0	16.2	18.1	21.0	21.0	18.7	12.1
1989-90	12.3	8.1	4.2	3.8	5.7	6.8	5.5	10.6	19.4	21.3	20.6	18.0	11.4
1990-91	14.7	5.8	5.9	3.7	4.1	4.3	9.8	14.4	19.1	20.7	20.1	18.0	11.7
1991-92	15.1	5.8	1.8	4.0	4.7	3.1	10.3	14.3	18.6	20.4	21.7	17.3	11.4
1992-93	17.3	5.8	4.3	3.8	2.8	3.3	10.9	15.4	19.4	21.1	21.3	18.5	12.0
1993-94	16.7	8.5	6.9	5.8	4.3	8.4	10.5	15.7	19.0	20.5	21.5	20.2	13.2
1994-95	15.7	8.6	4.7	4.1	6.6	5.7	10.2	15.8	19.9	20.8	20.3	18.2	12.6
1995-96	17.0	8.3	7.7	4.8	4.8	1.6	9.9	16.4	19.4	20.9	21.1	11.4	12.0
1996-97	12.0	8.9	6.3	4.5	5.3	4.4	9.2	16.4	19.9	21.4	20.7	18.0	12.3
1997-98	12.0	8.9	5.4	5.2	6.1	3.5	10.9	15.1	18.9	21.5	21.9	18.2	12.3
1998-99	14.7	8.8	3.5	5.1	4.5	5.6	10.6	17.1	20.1	21.2	21.9	18.3	12.6
1999-00	15.8	8.9	6.1	2.8	5.1	5.4	10.9	16.4	19.3	21.5	21.3	19.1	12.7

2000-01	13.5	9.3	7.6	5.4	5.6	11.8	10.4	15.7	19.4	21.5	21.7	19.6	13.4
2001-02	16.1	8.6	1.3	2.4	6.6	8.4	10.1	15.9	19.7	21.5	21.4	17.3	12.4
Μέση Τιμή	14.3	8.8	5.4	4.5	5.1	5.1	10.2	15.4	19.1	21.1	21.2	18.4	12.4
Τυπ. Αποκ.	2.1	1.6	1.7	1.4	1.4	2.9	1.3	1.4	0.8	0.6	0.9	1.7	0.6

Η μέση θερμοκρασία στην υπολεκάνη του Μουζακίου εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας. Η τελευταία βασίζεται στην παρατήρηση ότι η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί την ετήσια θερμοβαθμίδα που περιγράφει τη μείωση της ετήσιας θερμοκρασίας ανά 100m αύξησης του υψομέτρου. Η μέθοδος χρησιμοποιεί μία απλή γραμμική σχέση που συσχετίζει τα υψόμετρα των σταθμών με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κάθε σταθμού και, εφόσον υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση (συντελεστής συσχέτισης $r > 0.70$), η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους βροχής σε οποιοδήποτε υψόμετρο (Παπαμιχαήλ, 2001).

Ακολουθήσαμε το ίδιο σκεπτικό με την μέθοδο της βροχοβαθμίδας. Με την βοήθεια της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων βρήκαμε τις 12 ευθείες μια για κάθε μήνα που συσχετίζουν τα υψόμετρα των σταθμών με την μηνιαία θερμοκρασία.

			ΟΚΤ
ΠΕΔΙΝΟ	95	95	16,81533
ΚΑΡΔΙΤΣΟΜΑΓΟΥΛΑ	95	95	16,66457
ΚΑΛΛΙΦΩΝΙ	100	100	16,2461
ΚΑΠΝΙΚΟΣ	110	110	16,31067
ΤΡΙΚΑΛΑ	149	149	16,64444
ΠΟΛΥΝΕΡΙ	730	730	13,91791
ΤΑΥΡΩΠΟΣ	850	850	12,41915
ΛΕΟΝΤΙΤΟ	950	950	13,30828
ΑΡΓΙΘΕΑ	980	980	14,32561
ΒΑΚΑΡΙ	1150	1150	11,27783



Για τον Οκτώβριο. Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθήθηκε για τους υπόλοιπους μήνες . Παρατηρούμε πως οι ευθείες της θερμοκρασίας είναι φθίνουσες . Η συνέχεια είναι παρόμοια με την μέθοδο της τροποποιημένης Thiessen . Η διαφορά είναι ότι χρησιμοποιούμε έναν σταθμό βάσης για να εκφράσει τον πρώτο όρο της παρακάτω σχέσης :

$$T = T_{\text{σταθμού}} + \alpha_i (Y - Y_{\text{λεκάνης}})$$

Όπου T είναι η ζητούμενη θερμοκρασία ,

$T_{\text{σταθμού}}$ είναι η θερμοκρασία της **Αργιθέας**,

α_i είναι οι θερμοβαθμίδες των 12 μηνών,

Y είναι το μέσο υψόμετρο των σταθμών,

$Y_{\text{λεκάνης}}$ είναι το μέσο υψόμετρο της λεκάνης.

	α	$\alpha^*(Y_{\alpha}-Y_{\lambda})$
ΟΚΤ	-0,0043	-0,6579
ΝΟΕ	-0,0027	-0,4131
ΔΕΚ	-0,0016	-0,2448
ΙΑΝ	-0,002	-0,306
ΦΕΒ	-0,0032	-0,4896
ΜΑΡ	-0,005	-0,765
ΑΠΡ	-0,0056	-0,8568
ΜΙΑ	-0,0066	-1,0098
ΙΟΥΝ	-0,0083	-1,2699
ΙΟΥΛ	-0,0076	-1,1628
ΑΥΓ	-0,0069	-1,0557
ΣΕΠ	-0,0061	-0,9333
Υαργιθεας	980	
Υλεκανης	827	
Υαργ-Υλεκ	153	

Για την εκτίμηση της επιφανειακής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής του ταμιευτήρα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Thornthwaite (1948), ο οποίος περιέγραψε τη βιολογική και φυσική σημασία της εξατμισοδιαπνοής στην κλιματική ταξινόμηση και ανέπτυξε μία εξίσωση για την εκτίμηση της δυνατής εξατμισοδιαπνοής, όπως παρακάτω:

$$E_p = 16 L_d (10 T_{\alpha} / I)^{\alpha}$$

όπου T_{α} η μέση μηνιαία θερμοκρασία της λεκάνης απορροής σε $^{\circ}\text{C}$, L_d διορθωτικός συντελεστής που υπολογίζεται από μετεωρολογικούς πίνακες ως συνάρτηση του μήνα και

της αστρονομικής διάρκειας ημέρας (**N**) με τη σχέση: $L_d = (\text{ημέρες μήνα}/30) * (N/12)$, όπου **N** = γωνία της ώρας δύσης ηλίου με $N = \omega_s * (24/\pi)$ και ω_s (γωνία της ώρας δύσης ηλίου) = $\arcsin((- \cos(\delta)) * \cos(\phi))$, όπου δ η ηλιακή απόκλιση με $\delta = -0,409 * \sin[(2\pi * (x/365)) + 0,16]$ και **x** ο αριθμός της αντιπροσωπευτικής ημέρας του χρόνου στον εκάστοτε εξεταζόμενο μήνα σε σχέση με το συνολικό έτος (π.χ. για τον μήνα Ιανουάριο: **x**=18), **a** ένας συντελεστής που υπολογίζεται από τη σχέση $a = 0,000000675 I^3 - 0,000077 I^2 + 0,01792 I + 0,49239$ και **I** ο δείκτης θερμότητας που δίδεται από τη σχέση:

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{T_n}{5} \right)^{1.514}$$

όπου T_n η κανονική θερμοκρασία κάθε μήνα.

Η μέθοδος Thornthwaite παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα, καθόσον η υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή υποεκτιμάται όταν η ακτινοβολία που προσλαμβάνει η γη λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της, ήτοι στη διάρκεια του καλοκαιριού, συνεπώς είναι εκτός φάσης το φθινόπωρο. Αυτό αποδίδεται στη χρονική υστέρηση που παρουσιάζει η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας ως προς την ακτινοβολία. Μεγάλη υποεκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με αυτή τη μέθοδο διαφαίνεται στα ξηρά και ημίξηρα κλίματα. Επιπλέον, η χρησιμοποίηση της μεθόδου για μικρά χρονικά διαστήματα δεν ενδείκνυται καθόσον η μέση θερμοκρασία μικρών χρονικών περιόδων δεν αποτελεί κατάλληλο μέτρο για την ενέργεια που διατίθεται στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Η υπόψη μέθοδος είναι περισσότερο επιτυχής για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα (π.χ. μηνιαία) και αυτό οφείλεται στο ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και η εξατμισοδιαπνοή αποτελούν όμοιες συναρτήσεις της καθαρής ακτινοβολίας και ως εκ τούτου αυτοσυσχετίζονται όταν οι θεωρούμενες χρονικές περίοδοι είναι μεγάλες. Πέραν τούτου, για στην υπόψη εργασία, χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας που βρήκαμε και αλλάξαμε το γεωγραφικό πλάτος του γεωμετρικού κέντρου της λεκάνης.

Γεωγραφικό Πλάτος φ γεωμετρικού κέντρου βάρους λεκάνης (Basin Centroid)												
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ												
ΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1960-61	16,8	9,3	9,3	5,3	5,4	4,6	12,6	15,6	20,5	21,8	22,3	19,4
1961-62	15,2	10,1	5,8	6,2	4,8	3,9	9,8	17,4	19,5	22,4	23,3	20,8
1962-63	15,0	9,1	4,8	6,8	6,0	2,5	9,5	14,6	18,5	22,1	23,1	21,0
1963-64	14,8	9,1	7,2	4,1	5,4	5,2	11,6	15,7	19,6	21,3	21,6	18,1
1964-65	16,4	9,6	7,1	6,6	3,9	4,2	11,5	15,7	19,2	22,5	21,0	20,4
1965-66	13,5	9,6	7,4	4,8	7,8	3,1	11,1	16,6	19,5	22,2	23,0	19,5
1966-67	19,3	10,0	6,8	4,5	5,0	4,7	10,3	15,5	19,4	21,2	22,6	19,3
1967-68	16,5	8,0	6,7	3,2	6,6	3,1	9,9	16,6	21,2	22,0	21,5	19,8
1968-69	14,1	9,6	6,2	4,7	6,6	3,4	9,8	13,5	19,1	21,2	22,2	20,0
1969-70	13,9	13,2	7,2	7,3	6,7	5,6	11,5	15,3	20,9	21,6	22,3	19,4
1970-71	13,9	9,2	5,5	6,4	5,4	2,2	12,1	17,1	19,9	21,0	22,6	19,6
1971-72	12,5	7,3	4,8	1,8	2,7	5,6	10,5	15,0	20,6	20,2	19,6	15,4

Δυναμική Εξατμισοδιαπνοή υπολογισμένη με Thornthwaite												
ΔΡ. ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1960-61	68,3	26,5	25,6	12,3	12,7	12,4	52,7	79,6	116,4	128,4	123,7	89,8
1961-62	59,2	29,6	13,5	15,3	10,7	9,8	37,1	92,5	108,5	133,4	131,5	99,1
1962-63	58,0	25,5	10,3	17,2	14,6	5,3	35,9	72,7	101,2	131,0	130,0	99,9
1963-64	57,5	25,5	18,1	8,6	12,7	14,6	47,2	80,2	109,4	124,5	118,9	81,5
1964-65	65,8	27,6	17,8	16,4	8,0	10,9	46,3	80,2	106,4	134,4	114,1	96,0
1965-66	50,5	27,4	18,8	10,6	20,7	7,0	44,5	86,6	108,9	132,0	129,5	90,5
1966-67	82,2	29,1	16,8	9,8	11,2	12,7	40,1	79,0	107,6	123,8	126,1	89,0
1967-68	66,4	21,6	16,5	6,2	16,4	7,0	38,0	86,6	122,1	130,4	117,9	92,1
1968-69	53,4	27,6	14,7	10,3	16,5	8,1	37,1	64,8	105,5	124,1	123,2	93,6
1969-70	52,2	42,7	18,1	18,9	16,7	15,9	46,3	77,1	119,5	126,8	123,7	89,8
1970-71	52,2	26,0	12,6	15,8	12,5	4,3	49,9	89,9	111,6	122,5	125,9	91,3
1971-72	45,2	18,8	10,2	2,7	4,7	15,9	40,8	74,9	116,8	115,5	103,5	65,2

Τα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηριστικά Απορροής	Λεκανών Πύλη	Μουζάκι	Μεσοχώρα
Έκταση (km ²)	132,2	144,1	632,5
Περίμετρος (km)	54,8	54,0	165,8
Μέγιστο Υψόμετρο (m)	1800	2000	2300
Μέσο Υψόμετρο (m)	949	827	1400
Ελάχιστο Υψόμετρο (m)	300	200	700
Μέγιστο μήκος υδατορρέματος (km)	14,66	13,41	33,76
Μήκος κυρίου υδατορρέματος μέχρι το κέντρο βάρους της λεκάνης (km)	8,23	6,49	14,07
Γεωγραφικό πλάτος γεωμετρικού κέντρου βάρους της λεκάνης (?)	39° 48'	39° 12'	39° 33'

Ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου (calibration) για όλο το μήκος της χρονοσειράς των υδρομετρικών δεδομένων . Η ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου (model calibration) θα πραγματοποιηθεί με την μέθοδο βελτιστοποίησης downhill simplex . Η βελτιστοποίηση θα γίνει με την αντικειμενική συνάρτηση αποδοτικότητας του μοντέλου (model efficiency Eff)

$$Eff = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - Qsim_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qobs_i - \overline{Qobs})^2}$$

Όπου:

$Qobs_i$ η παρατηρημένη απορροή του μήνα i ,

$Qsim_i$ η προσομοιωμένη απορροή του μήνα i ,

$\overline{Qobs}$ ο μέσος όρος των τιμών της μηνιαίας παρατηρημένης απορροής.

Έλεγχος της υδρολογικής προσομοίωσης στατιστικά με την χρήση του συντελεστή προσδιορισμού r^2 και της ποσοστιαίας διαφορά όγκου απορροής

$$\%DV = \frac{Vsim - Vobs}{Vobs} \times 100$$

όπου V_{obs} ο παρατηρημένος όγκος απορροής για την περίοδο της προσομοίωσης,

V_{sim} ο προσομοιωμένος όγκος της απορροής για την περίοδο της προσομοίωσης.

Δημιουργία συνθετικών προσομοιωμένων μηνιαίων απορροών της λεκάνης απορροής για όλη την διαθέσιμη περίοδο δεδομένων .

Σκοπός των υδρολογικών μοντέλων ενός υδατικού ισοζυγίου είναι η εκτίμηση της απορροής από βροχομετρικά δεδομένα χρησιμοποιώντας την εξίσωση της συνέχειας :

$$R = P - L$$

Όπου:

R η συνολική απορροή σε mm ,

P η βροχόπτωση σε mm ,

L οι υδρολογικές απώλειες σε mm .

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου **UTHBAL** . Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποιες βασικές εξισώσεις πάνω στις οποίες θεμελιώθηκε αυτό το πρόγραμμα και μετά θα παρουσιάσουμε τον τρόπο χρήσης του .

Γενικά στις ορεινές περιοχές η απορροή από την τήξη του χιονιού είναι αρκετά σημαντική . Γι αυτό και γίνεται διάκριση της υετόπτωσης σε βροχή και χιόνι και διάκριση της συσσώρευσης και τήξης του χιονιού . Ο διαχωρισμός σε βροχή και χιόνι γίνεται με βάση την θερμοκρασία . Για μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες πάνω από 12,22 οC όλη η υετόπτωση θεωρείται ότι είναι βροχή , ενώ για μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κάτω από -10οC η υετόπτωση θεωρείται ότι οφείλεται στο χιόνι . Για θερμοκρασίες ανάμεσα στα δύο όριο το χιόνι λαμβάνεται ως ποσοστό της υετόπτωσης με βάση την παρακάτω σχέση :

$$\%S = -4.5 \cdot T + 55 \quad \text{για } -10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 12.22^{\circ}\text{C}$$

Για βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων προτάθηκε να χρησιμοποιείται λογιστική και όχι γραμμική σχέση για το ποσοστό υετόπτωσης που είναι χιόνι :

$$\%S = 0$$

$$\text{για } T \geq 12.22^{\circ}\text{C}$$

$$\%S = \frac{100}{1.35^T \cdot 1.61 + 1} \quad \text{για } -10^\circ\text{C} \leq T \leq 12.22^\circ\text{C}$$

$$\%S = 100 \quad \text{για } T \leq -10^\circ\text{C}$$

Έτσι με δεδομένα την μέση μηνιαία θερμοκρασία και υετόπτωση υπολογίζεται η μηνιαία χιονόπτωση .

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της δυνητικής μηνιαίας τήξης χιονιού εκφρασμένη σε mm/μήνα . Η τήξη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες εκ των οποίων και η ημερήσια θερμοκρασία του περιβάλλοντος , των οποίων η σχέση είναι :

$$M = C_m \cdot T \cdot N \quad \text{ή}$$

$$M = C_m \cdot T_{\text{μηνιαία}}$$

Η δυνητική μηνιαία τήξη χιονιού με C_m παράμετρος με μονάδες mm/οC/μήνα και τιμές μεταξύ 5 και 10 .

Το μοντέλο διακρίνει την συνολική απορροή σε τρεις συνιστώσες την επιφανειακή απορροή , την ενδιάμεση ή επιδερμική απορροή και την βασική απορροή ή την απορροή που προέρχεται από την εκροή του υδροφορέα . Πριν όμως την δημιουργία απορροής πρέπει να ικανοποιηθεί η πραγματική εξατμισοδιαπνοή . Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή δίνεται από την σχέση :

$$E_a(J) = \min \{ E_p(J) * (1 - \alpha^{S_{\text{moist}}(J)/E_p(J)}), S_{\text{moist}}(J) \}$$

Η επιφανειακή απορροή του μήνα J είναι :

$$SR(J) = (1 - K) * (AS_{\text{moist}}(J) - S_{\text{max}}) \quad \text{εάν } AS_{\text{moist}}(J) > S_{\text{max}}$$

ή

$$SR(J) = 0 \quad \text{εάν } AS_{\text{moist}}(J) \leq S_{\text{max}}$$

Η διήθηση του μήνα J προς τον υπόγειο υδροφορέα είναι :

$$D(J) = K * (AS_{\text{moist}}(J) - S_{\text{max}}) \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) > S_{\text{max}} \quad \text{ή}$$

$$D(J) = 0 \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) \leq S_{\text{max}}$$

Η διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα J είναι :

$$N_{\text{moist}}(J) = AS_{\text{moist}}(J) - SR(J) - D(J)$$

Η ενδιάμεση απορροή από την εδαφική υγρασία του μήνα J είναι :

$$MR(J) = \beta * [N_{\text{moist}}(J-1) + N_{\text{moist}}(J)]$$

Η υπόλειπόμενη υγρασία στο τέλος του μήνα J είναι :

$$NS_{\text{moist}}(J) = N_{\text{moist}}(J) - MR(J)$$

Η διαθέσιμη εδαφική υγρασία για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του επόμενου μήνα είναι :

$$S_{\text{moist}}(J+1) = P(J+1) + NS_{\text{moist}}(J)$$

Η βασική απορροή δίνεται από την σχέση :

$$Q_g(J) = \gamma * D(J-1)$$

Και η συνολική απορροή είναι :

$$Q_c(J) = SR(J) + MR(J) + Q_g(J)$$

Άρα καταλήγουμε σε ένα μοντέλο υδρολογικού ισοζυγίου με 5 παραμέτρους οι οποίες είναι οι ακόλουθες :

- $S_{max} = 25400/CN - 254$ ($0 < CN < 100$)
- $0 < K < 1$
- $0 < \alpha < 1$
- $0 < \beta < 1$
- $0 < \gamma < 1$

Στο μοντέλο τα δεδομένα εισαγωγή από τα προηγούμενα φύλλα επεξεργασίας είναι

- μηνιαία βροχόπτωση (τροποποιημένη Thiessen) (στήλη **P**)
- μηνιαία θερμοκρασία (θερμοβαθμίδα) (στήλη **Tair**)
- μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Thorhthwate) (στήλη **Ep**)

Το αποτέλεσμα από τρέξιμο του μοντέλου είναι η μηνιαία απορροή Q_c (στήλη Q_c) . Για την προσομοίωση οι παράμετροι των μοντέλων υδατικού ισοζυγίου βελτιστοποιήθηκαν (calibration) και η αποδοτικότητα του μοντέλου ελέγχθηκε (validation) με την μέθοδο του χωριστού δείγματος (split sample test) . Οι παράμετροι των μοντέλων υδατικού ισοζυγίου βελτιστοποιήθηκαν για 6 υδρολογικά έτη από Οκτώβριο 1986 μέχρι Σεπτέμβριο 1992 και πιστοποιήθηκαν για 6 υδρολογικά έτη από Οκτώβριο 1992 μέχρι Σεπτέμβριο 1998 . Οι παράμετροι προσαρμόσθηκαν στις βέλτιστες τιμές τους με ελαχιστοποίηση των αποκλίσεων μεταξύ παρατηρημένης και προσομοιωμένης απορροής . Η αντικειμενική συνάρτηση που επιλέχθηκε για την βελτιστοποίηση είναι η **model efficiency (Eff)** . Εκτός αυτής και άλλες στατιστικές παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της πιστότητας των προσομοιώσεων απορροής , όπως η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των παρατηρημένων και προσομοιωμένων όγκων της απορροής (percentage volume difference % DV) :

$$\%DV = \frac{V_{sim} - V_{obs}}{V_{obs}} \times 100$$

Όπου V_{obs} ο παρατηρημένος όγκος απορροής για την περίοδο της προσομοίωσης,

V_{sim} ο προσομοιωμένος όγκος της απορροής για την περίοδο της προσομοίωσης.

Δηλαδή στα σημεία του φύλλου 7 με κόκκινα γράμματα έχουμε τις παραμέτρους , στις οποίες αλλάζουμε τις τιμές και μετά από διαδοχικές αλλαγές και τρεξίματα μας δίνουν τις βέλτιστες τιμές .

Ετος	Μήνες	ημέρες	Tair	P	Qc
60/61	O	31	16,83246	62,743608	0,74
	N	30	9,33964	145,89268	3,91
	Δ	28	9,27698	271,20512	67,12
	I	31	5,3315	120,74005	107,28
	Φ	30	5,4478614	59,401802	68,60
	M	31	4,63992	135,44587	96,33
	A	30	12,59322	83,840346	63,04
	M	31	15,63284	46,44747	18,53
	I	30	20,50095	27,034345	9,63
	I	31	21,771	71,53217	7,72
	A	31	22,271133	24,656784	6,14
	Σ	30	19,395255	16,885126	4,26
61/62	O	31	15,17706	179,38718	5,94
	N	30	10,114	165,53507	28,42
	Δ	28	5,81156	158,21092	109,61
	I	31	6,22745	109,30101	111,51
	Φ	30	4,8096536	182,51321	143,76
	M	31	3,89346	320,99032	239,51
	A	30	9,76277	84,463146	148,17
	M	31	17,43804	42,284389	35,24
	I	30	19,48341	35,318565	9,39
	I	31	22,38195	12,437436	6,74
	A	31	23,286234	13,012239	4,27
	Σ	30	20,839521	157,64211	4,93

CN	Smax	K	aAET
45,12	308,94	0,35	0,58
			CONMR
			0,020
			CONGROUN
			0,982
	Calibration		
EFF	0,718		
DV(%)	31,515		
R2	0,708		

Cm
4,672

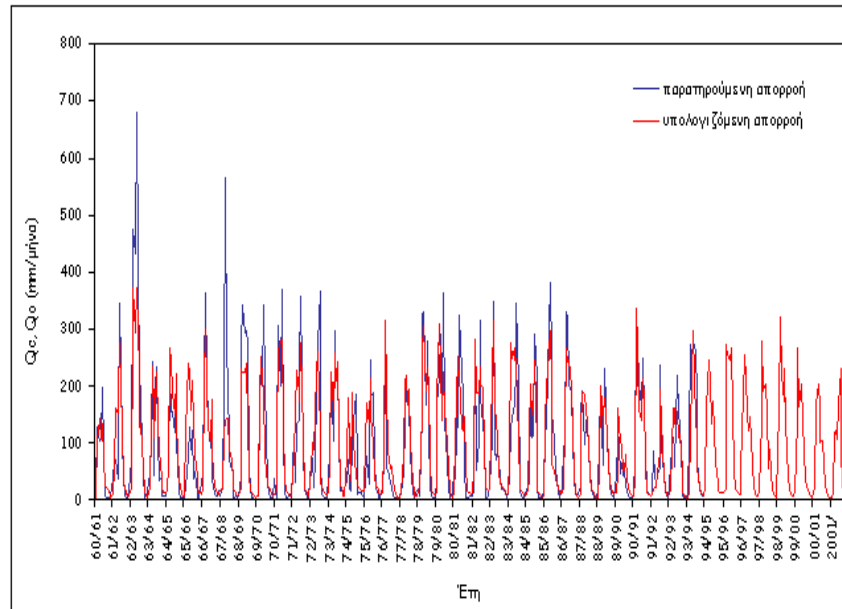
DV

Qc

Qo

MODEL

Cal ib	31, 51			Calibrati on	EFFICIENCY 0,718
		34773, 63	26440, 84		



6.1.3 Υπολογισμός Ωφέλιμου Όγκου

Όπως αναφέρθηκε, ο υπολογισμός του ωφέλιμου όγκου έγινε με τις μεθόδους Rippl, Stall και Dincer. Η παράμετρος που θα καθορίσει την ποσότητα του ωφέλιμου όγκου είναι η ζήτηση σε νερό. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν διερευνητικοί υπολογισμοί του ωφέλιμου όγκου για διάφορα ποσοστά της ζήτησης, με τις παρακάτω παραδοχές:

- Οι υπολογισμοί του ωφέλιμου όγκου έγιναν επί τη βάση των μέσων μηνιαίων εισροών, των μέσων ετήσιων εισροών, αλλά και των καθαρών μηνιαίων εισροών, ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού.
- Η ζήτηση σε νερό, σε κάθε περίπτωση, αφορά σε επί τοις εκατό (%) ποσοστό των εισροών από το υδατικό ισοζύγιο (μηνιαίων, ετήσιων), ήτοι: 10%, 20%, 30%, 40% 50%, 60%, 70%, 80% και 90% επί των εισροών.

6.1.3.1 Μέθοδος Ripple

Μια από τις πιο γνωστές και παλαιότερες μεθόδους διαστασιολόγησης των ταμιευτήρων είναι η μέθοδος Rippl(1883) , που βασίζεται στην ανάλυση των αποκλίσεων των ιστορικών όγκων εισροής στον ταμιευτήρα . Η εφαρμογή της μεθόδου Rippl προϋποθέτει το σχεδιασμό των αθροιστικών καμπύλων εισροής και ζήτησης . Αν Q_i είναι η χρονοσειρά των μηνιαίων παροχών εισροής (m^3/sec) στον ταμιευτήρα , η αθροιστική καμπύλη εισροών $C(t)$ δίνεται από την σχέση :

$$C(t) = \sum Q_i \Delta t, t = 1, 2, \dots, N$$

Όπου i δηλώνει κάποιο μήνα ,

Δt είναι το διάστημα του χρόνου (ένας μήνας),

και N το σύνολο των μηνιαίων τιμών χρονοσειράς ($N=12*n$) , όπου n είναι τα έτη που καλύπτουν τα δεδομένα εισροών.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε όλους τους ταμιευτήρες ανεξάρτητα από τον βαθμό εκμετάλλευσης α . Μετά τον σχεδιασμό της αθροιστικής καμπύλης των εισροών και της καμπύλης ζήτησης , το μέγιστο εύρος $R_{t,s}$ δίνεται από την σχέση :

$$R_{t,s} = \max \Delta(u) + \min \Delta(u), 0 < u < s$$

Όπου ο πρώτος όρος εκφράζει την μέγιστη περίσσεια στα s χρόνια , μετά από τον χρόνο t , και ο δεύτερος όρος το μέγιστο έλλειμμα για το ίδιο διάστημα .

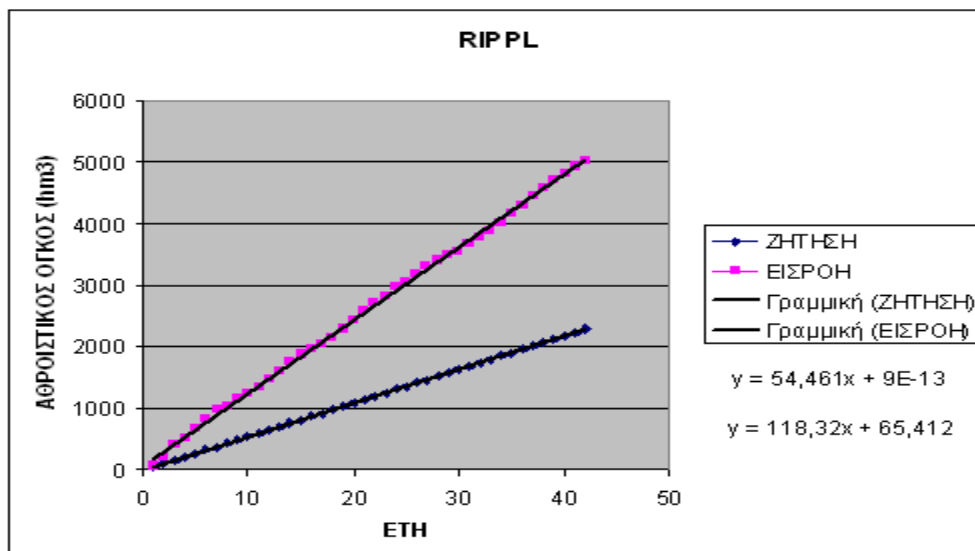
Η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα με βάση την μέθοδο αυτήν είναι ίση με $R_{t,s}$. Αν ο ταμιευτήρας που σχεδιάζεται με την χωρητικότητα αυτή αρχίσει την λειτουργία του γεμάτος , τότε δεν πρέπει να αδειάσει ποτέ , δηλαδή θεωρητικά δεν θα υπάρχει κανένα έλλειμμα στην ικανοποίηση της ζήτησης αν και εφόσον η ίδια χρονοσειρά εισροών με αυτήν της μελέτης ξανασυμβεί και κατά την διάρκεια της λειτουργίας του ταμιευτήρα .

Στα δικά μας δεδομένα . Η μηνιαία ζήτηση ανάχθηκε σε ετήσια ζήτηση (42 τιμές) . Από τις 42 αυτές τιμές είναι φανερό πως η ζήτηση έχει μια σταθερή περίπου τιμή

ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ
ΖΗΤΗΣΗ (hm³)

54,46099564

Η τιμή αυτή προέκυψε από το μέσο όρο των 42 τιμών . Επειδή πρόκειται να χαράξουμε την αθροιστική καμπύλη ζήτησης , θεωρούμε την παραπάνω τιμή σταθερή του κάθε έτους από τα 42 και τις αθροίζουμε διαδοχικά ανά έτος . Έτσι προκύπτει μια αθροιστική καμπύλη ζήτησης η οποία είναι ευθεία . Όσων αφορά την απορροή πρέπει να την ανάγουμε από τα mm ύψους υετόπτωσης σε hm³ . Γι αυτό πρώτα την πολλαπλασιάζουμε με $A=144,1\text{km}^2$ που είναι η έκταση της λεκάνης και μετά την ανάγουμε με την κατάλληλη μετατροπή σε hm³ για να έχουν κοινές μονάδες με την ζήτηση . Όπως και με την ζήτηση , από την μηνιαία απορροή περνάμε στην ετήσια με άθροιση των μηνιαίων τιμών κάθε έτους και κατόπιν αθροίζουμε τις ετήσιες τιμές για να χαράξουμε την αθροιστική καμπύλη εισροής . Τις τιμές των στηλών αθροιστική ετήσια ζήτηση τις αφαιρούμε από τις τιμές της στήλης της αθροιστικής ετήσιας εισροής . Κανονικά η μέγιστη θετική διαφορά μας δίνει την μέγιστη περίσσεια και η ελάχιστη αρνητική διαφορά το μέγιστο έλλειμμα . Το άθροισμά τους μας δίνει τον ωφέλιμο όγκο . Όμως :



Δηλαδή από την γραφική απεικόνιση για τα συγκεκριμένα δεδομένα ζήτησης και προσφοράς , η απορροή καλύπτει σε όλο το φάσμα των 42 ετών την ζήτηση . Δηλαδή δεν έχουμε ποτέ έλλειμμα . Στην μέθοδο αυτή υπάρχουν δύο περιπτώσεις :

- ρύθμιση όλης της ροής δηλαδή ο δείκτης απόδοσης είναι ίσος με $\alpha=100\%$ επομένως

$$V_{\Omega} = \max R_i + \min R_i$$

- Δεν ρυθμίζω όλη την ροή , δηλαδή ο δείκτης απόδοσης είναι $\alpha<100\%$ επομένως

$$V_{\Omega} = \max |R_i|$$

Από το άνω σχήμα είναι φανερό πως στην περίπτωση μας ισχύει:

α	0,385006
----------	----------

Δηλαδή βρισκόμαστε στην δεύτερη περίπτωση . Φέρνοντας παράλληλες ως την ευθεία της ζήτησης από κάθε κορυφή της καμπύλης εισροής βρίσκουμε τον ωφέλιμο όγκο ίσο με

$V_{\omega\phi}$		
=	1,2	hm ³

Με την μέθοδο αυτή αν έχουμε ιστορική ακολουθία εισροών ο ταμιευτήρας δεν αδειάζει ποτέ και έτσι σχεδιάζουμε ταμιευτήρα μεγαλύτερο από τις ανάγκες μας . Επίσης περιβαλλοντικά μπορεί να είναι επιθυμητή η πλήρης ρύθμιση της εισροής . Στην περίπτωση όπου $\alpha<100\%$ έχουμε μικρότερο ωφέλιμο όγκο γιατί διαστασιολογούμε με το μεγαλύτερο έλλειμμα και δεν ρυθμίζεται όλη η εισροή .

Η μέθοδος εξαρτάται από το μήκος της χρονοσειράς και από την αλληλουχία των παρατηρήσεων ακόμα και αν είναι στατιστικά όμοια και επίσης δεν μας δίνει πιθανότητα αστοχίας . Σε αυτήν την μέθοδο δηλαδή χρησιμοποιούμε στάσιμες χρονοσειρές όπου δεν αλλάζουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά .

6.1.3.2 Μέθοδος Stall

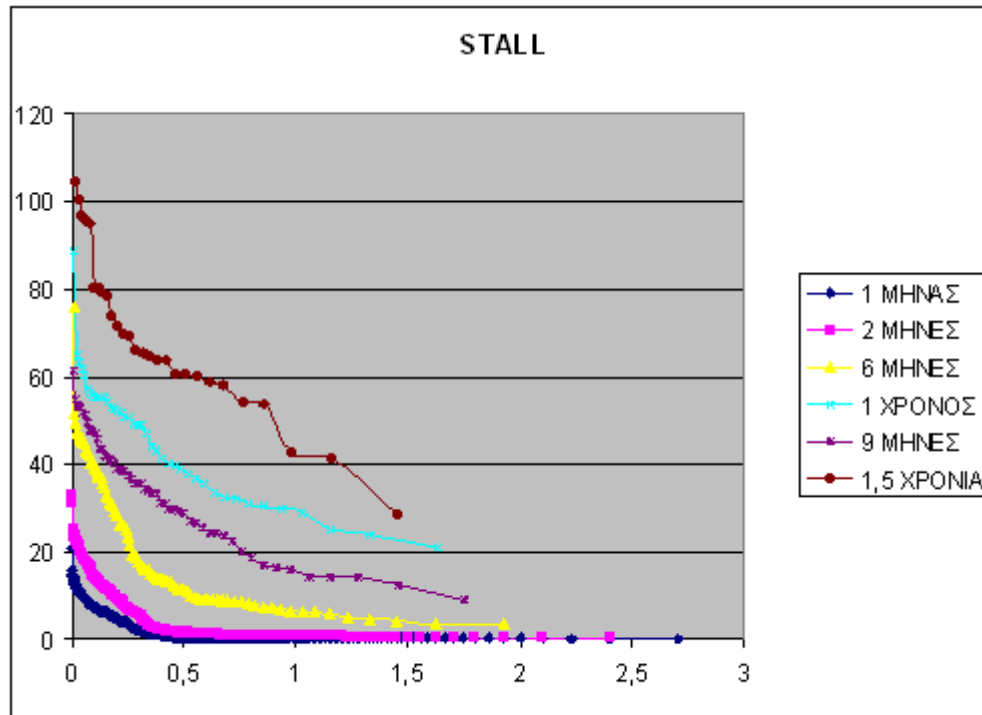
Σύμφωνα με την μέθοδο που οφείλεται στον Stall (1962) , ακολουθούνται τα εξής βήματα :

- Επιλέγεται η ελάχιστη διάρκεια . Στην παρούσα εργασία η ελάχιστη διάρκεια είναι ο μήνας. Επειδή η απορροή είναι σε mm τα μετατρέπω σε παροχή με μονάδες m³/sec .
- Επιλέγεται μια δεύτερη διάρκεια . Στην εργασία μας η δεύτερη διάρκεια είναι το 2μηνο επομένως στην χρονοσειρά κάνουμε διαδοχικές προσθέσεις ανά δύο στοιχεία .
- Επιλέγεται Τρίτη χρονική διάρκεια . Στην παρούσα περίπτωση επιλέγουμε το 6μηνο άρα ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με πριν μόνο που αυτήν την φορά προσθέτουμε στην χρονοσειρά της απορροής τα στοιχεία ανά 6 .
- Επιλέγεται τέταρτη διάρκεια . Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε το 9μηνο προσθέτοντας τα στοιχεία της χρονοσειράς ανά 9 στοιχεία .
- Επιλέγεται πέμπτη διάρκεια . Επιλέγουμε αυτήν την φορά τον χρόνο αθροίζοντας όλες τις μηνιαίες τιμές του κάθε έτους από τα 42 .
- Επιλέγεται έκτη διάρκεια . Επιλέγουμε τον 1,5χρόνο προσθέτοντας τα στοιχεία ανά 18 μήνες .
- Τα μεγέθη τοποθετούνται κατά φθίνουσα σειρά και συσχετίζονται με την περίοδο επαναφοράς με την σχέση

$$T=(N+1)/ m$$

Όπου m η θέση του μεγέθους στην φθίνουσα σειρά .

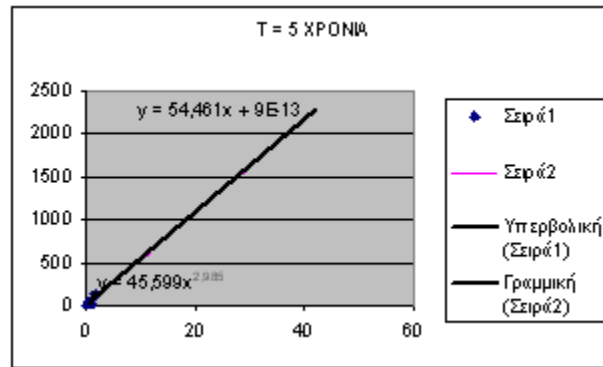
- Για κάθε διάρκεια σχεδιάζουμε στο ίδιο διάγραμμα την γραφική παράσταση της παροχής (m³/sec) και του λογαρίθμου του T. Οι καμπύλες είναι φθίνουσες .



Στο παραπάνω διάγραμμα φέρνουμε κάθετη στις τιμές $T=5,10,15$ χρόνια και παίρνουμε 6 στοιχεία αντίστοιχα σε μονάδες παροχής

Οι 6 αυτές τιμές αθροίζονται και προκύπτει το αθροιστικό διάγραμμα εισροών αφού προηγουμένως αναχθούν στον χρόνο αφού και η ζήτηση είναι αναγόμενη στον χρόνο (όπως και στην μέθοδο Rippl) για κάθε T . Στο ίδιο γράφημα προβάλλουμε και την καμπύλη της αθροιστικής ζήτησης (όπως και στην προηγούμενη μέθοδο).

		T = 5		
1 μηνας	0,0833333	0,3842674	0,0320223	0,0320223
2 μηνες	0,1666667	0,9091851	0,1515309	0,1835531
6 μηνες	0,5	8,7516316	4,3758158	4,559369
9 μηνες	0,75	23,579007	17,684255	22,243624
1 χρονος	1	32,411904	32,411904	54,655528
1,5 χρονια	1,5	57,879063	86,818595	141,47412



X1	0,5	X2	0,5		X1	0,5	X2	0,5		X1	0,5
Y1	4,56	Y2	27,23		Y1	3,22	Y2	27,23		Y1	2,98
Vωφ =	22,67	hm3			Vωφ =	24,01	hm3			Vωφ =	24,25

Για κάθε περίοδο επαναφοράς T προκύπτει μια τιμή του ωφέλιμου όγκου από την διαφορά των καμπυλών εισροής και ζήτησης (που είναι αναγόμενα σε όγκο) . Όσο αυξάνει το T αυξάνει και ο όγκος .

Σε αυτήν την μέθοδο χρησιμοποιώ στατιστικά χαρακτηριστικά και όχι την αλληλουχία . Εισάγεται η πιθανότητα λόγω της T . Μια μη επάλληλη ξηρασία δεν συνδέεται με την χρονοσειρά αλλά με την περίοδο επαναφοράς , μας δίνει μια σειρά τιμών .

6.1.3.3 Dincer

Η απαιτούμενη ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα για την ικανοποίηση συγκεκριμένης απόληψης με διάφορες πιθανότητες εκτιμάται με την μέθοδο Dincer και την βοήθεια ιστορικής σειράς των ετήσιων εισροών με τις σχέσεις :

$$V_{\omega\phi} = \tau * \varkappa - (m3)$$

Όπου:

$$\tau = [Z_p^2 / 4(1-D)] C_v^2$$

$$C_v = s / \varkappa$$

$$D = \text{μέση ετήσια απόληψη (m3)} / \text{μέση ετήσια εισροή (m3)}$$

$$\varkappa = \text{μέση όρος ετήσιων εισροών (m3)}$$

$$s = \text{τυπική απόκλιση ετήσιων εισροών (m3)}$$

Z_p = συντελεστές εξαρτώμενοι από την πιθανότητα πραγματοποίησης της απόληψης και υπολογίζονται από τον πίνακα κανονικής κατανομής για την επιθυμητή πιθανότητα ικανοποίησης της ζήτησης. Στην εργασία μας αν και είχαμε δεδομένη ζήτηση άρα και D

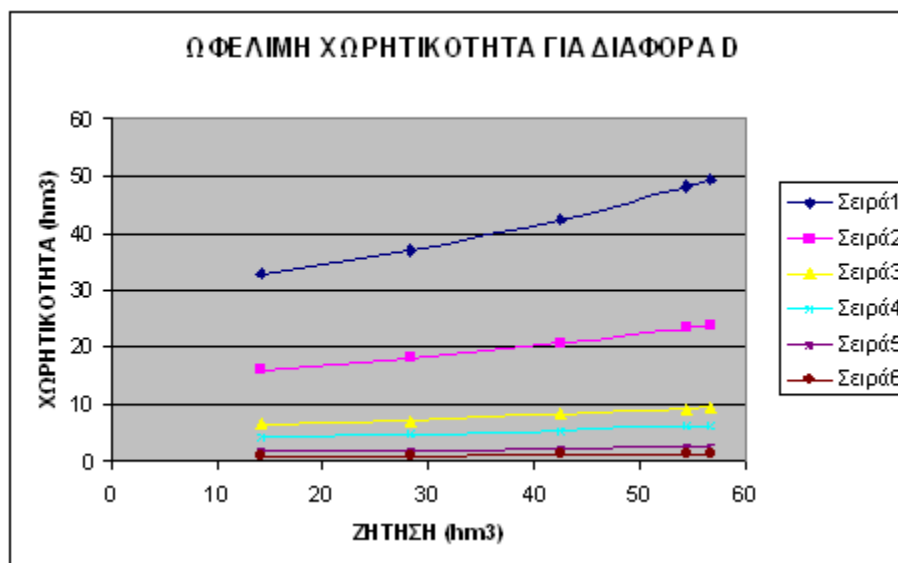
δεδομένο για τις διάφορες πιθανότητες θεωρήσαμε και διάφορα άλλα επίπεδα εξυπηρέτησης έτσι ώστε να έχουμε ένα εύρος ωφέλιμων όγκων ανάλογα με την εκάστοτε ζήτηση και πιθανότητα.

ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	141454777,5
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	55597213,72
Cv	0,393038784
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (hm ³)	54,46099564
ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΖΗΤΗΣΗ (m ³)	54460995,64
D	0,385006407

	ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ p (%)					
-	99%	95%	85%	80%	70%	65%
Zp	2,326	1,645	1,036	0,842	0,524	0,385
X	141454777,5	1,41E+08	1,41E+08	1,41E+08	1,41E+08	1,41E+08
s	55597213,72	54931355	54931355	54931355	54931355	54931355
Cv	0,393038784	0,388332	0,388332	0,388332	0,388332	0,388332
tau	0,339750146	0,165885	0,065795	0,043461	0,016832	0,009086
V _{ωφ} (m ³)	48059281,38	23465198	9307047	6147756	2380976	1285328
V _{ωφ} (hm ³)	48,05928138	23,4652	9,307047	6,147756	2,380976	1,285328

Αυτός ο πίνακας περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά που αφορούν την απαιτούμενη ζήτηση και την εισροή στον σχεδιασμό μας .

D	Ζήτηση	99%	95%	85%	80%	70%	65%
0,1	14,14548	32,84017	16,03438	6,35975	4,200923	1,626983	0,878298
0,2	28,29096	36,94519	18,03868	7,154718	4,726038	1,830356	0,988085
0,3	42,43643	42,22307	20,61564	8,176821	5,401186	2,091836	1,12924
0,385006	54,461	48,05928	23,4652	9,307047	6,147756	2,380976	1,285328
0,4	56,58191	49,26025	24,05158	9,539624	6,301384	2,440475	1,317447



6.2 Υπολογισμός Νεκρού Όγκου ταμιευτήρα

Ο όγκος από τον πυθμένα του ποταμού μέχρι την ελάχιστη στάθμη λειτουργίας, που καθορίζει και την στάθμη υδροληψίας του ταμιευτήρα. Κάτω από την ελάχιστη στάθμη δεν πρέπει να κατεβεί το νερό, γιατί επηρεάζεται η κανονική λειτουργία του ταμιευτήρα. Ο όγκος που αποθηκεύεται κάτω από την ελάχιστη στάθμη ονομάζεται νεκρός όγκος ή αδρανής χωρητικότητα (V_N). Μέσα στον όγκο αυτό εναποτίθενται τα φερτά υλικά της διάβρωσης που συμβαίνει στην λεκάνη απορροής λόγω του μηδενισμού της ταχύτητας ροής. Έτσι ο όγκος αυτός υπολογίζεται από τον όγκο των φερτών υλικών που προβλέπεται να συσσωρευτούν κατά την διάρκεια της ζωής ή λειτουργίας του ταμιευτήρα ο οποίος στην παρούσα εργασία λαμβάνεται ίσος με 100 έτη.

Ο υπολογισμός του ωφέλιμου όγκου έγινε με τις μεθόδους Gavrilovic, παγκόσμια εξίσωση εδαφικής απώλειας και Miller.

6.2.1 Μέθοδος Gavrilovic

Ο άμεσος προσδιορισμός του όγκου των φερτών υλών είναι δυσχερής επειδή δεν υπάρχουν στοιχεία στερεοπαροχών η δε διεξαγωγή άμεσων μετρήσεων είναι γενικά δύσκολη. Η εκτίμηση του ετήσιου όγκου φερτών υλών που είναι απαραίτητη στην εκτίμηση του νεκρού όγκου του ταμιευτήρα μπορεί να γίνει με την βοήθεια της εμπειρικής διαδικασίας του Gavrilovic. Σύμφωνα με αυτή η μέση ετήσια παραγωγή φερτών υλών από μια λεκάνη έκτασης A δίνεται από την σχέση :

$$W = 3,14 * T * P * A * \sqrt{z}^3$$

$$T = \sqrt{t/10} + 0,1$$

$$z = x * \gamma * (\phi + \sqrt{s})$$

όπου:

W =μέση ετήσια παραγωγή φερτών υλών ($m^3/etos$)

P =μέση ετήσια βροχόπτωση της λεκάνης (mm)

A =επιφάνεια της λεκάνης (km^2)

T =συντελεστής της θερμοκρασίας

t =μέση ετήσια θερμοκρασία της λεκάνης απορροής (οC)

z =συντελεστής διάβρωσης

χ =συντελεστής συμβολής του είδους φυτοκάλυψης στην μείωση της αντίστασης της διαβρωτικής δράσης του γεωλογικού υποθέματος ($0,05 < \chi < 1,0$)

γ =συντελεστής διαβρωσιμότητας του γεωλογικού αποθέματος
($0,2 < \gamma < 2,0$)

ϕ =συντελεστής που εκφράζει το είδος και τον βαθμό διάβρωσης της λεκάνης απορροής
($0,0 < \phi < 1,0$)

s =μέση κλίση της επιφάνειας της λεκάνης απορροής

P	1393,432	
T	4,056168	
A	144,1	
χ	0,25	
γ	0,4	
s	0,316228	
ϕ	0,2	
z	0,076234	
W	53829,41	m3/ετος
Νεκρος ογκος	2260835	m3
Νεκρος ογκος	2,260835	hm3

Από τον άνω πίνακα είναι φανερό πως έγινε η παραδοχή πως έχουμε μια με πυκνή βλάστηση (χ) , ανθεκτικά πετρώματα στην διάβρωση (γ) και επιφανειακή διάβρωση (ϕ) .

6.2.2 Μέθοδος Παγκόσμιας εξίσωσης εδαφικής απώλειας

Η συνήθης ποσοτική εκτίμηση της εδαφικής απώλειας που οφείλεται στην επιφανειακή διάβρωση στην περίπτωση που δεν υπάρχουν στοιχεία μετρήσεων γίνεται με την εξίσωση παγκόσμιας εδαφικής απώλειας . Με τον όρο εδαφικής απώλειας εκφράζεται η διάφορα της ποσότητας του εδαφικού υλικού που διαβρώθηκε μείον την ποσότητα που αποτέθηκε

ξανά στην ίδια εδαφική έκταση σε δεδομένο χρόνο .

Με την εξίσωση αυτή γίνεται μια προσεγγιστική εκτίμηση της μέση ετήσια εδαφική απώλειας σε εκτάσεις καλλιεργήσιμες ή μη . Η εξίσωση είναι :

$$SL=2,242 \cdot R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Όπου:

SL η εδαφική απώλεια σε t/ha/έτος

R συντελεστής διαβρωσιμότητας , που εκφράζει την αποτελεσματικότητα της βροχής ως προς την διάβρωση

K συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους , που εξαρτάται από την μηχανική σύσταση , την κοκκομετρική καμπύλη , και από την δομή και διαπερατότητα του εδάφους

LS συντελεστής ανάγλυφου

C συντελεστής φυτοκάλυψης , που εκφράζει το μέτρο της μείωσης της εδαφικής απώλειας που οφείλεται στην βλάστηση

P συντελεστής ελέγχου διάβρωσης , που εκφράζει το μέτρο της ανθρώπινης παρέμβασης για την προστασία από την διάβρωση.

Η άνω εξίσωση εφαρμόζεται σε περιοχές με σχεδόν ομοειδή χαρακτηριστικά με έκταση μέχρι μερικές εκατοντάδες στρέμματα . Έχουν γίνει προσπάθειες επέκτασης της εξίσωσης για εκτάσεις των μερικών Km² , αυτές όμως οι λεκάνες πρέπει να επιλέγονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ευσταθεί η παραδοχή ότι η διάβρωση κοίτης των υδατορευμάτων τους παίζει τον κυρίαρχο ρόλο στην παραγωγή φερτών . Κατά Williams and Berndt όλοι οι όροι αλλάζουν εκτός από τον συντελεστή διαβρωσιμότητας της βροχής R . Με την παραδοχή ότι η υδρολογική λεκάνη συνολικής έκτασης Da (km²) δεν έχει ομοιόμορφα χαρακτηριστικά γίνεται χωρισμός της σε **n υπολεκάνες** με κατά το δυνατόν ομοιόμορφα χαρακτηριστικά . Έτσι έχουμε τους τύπους:

$$K=\sum K_i P_i$$

$$P_i=D_{a_i}/D_A$$

$$L_u=500 \cdot D_A / LCH$$

$$S=\sum Si\rho i$$

$$C==\sum Ci\rho i$$

$$P=SR+0,3SRWW+PtT$$

Όπου:

Ki συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους της κάθε υπολεκάνης

Pi συντελεστής επιρροής της υπολεκάνης

Lu μέγιστο μήκος επιφανειακής ροής (μ)

LCH μήκος κύριας μισγάγγειας (Km)

Si συντελεστής κλίσης κλιτύος της κάθε υπολεκάνης

Ci συντελεστής φυτοκάλυψης της υπολεκάνης

SR τμήμα ενισχυμένο με φύτευση παράλληλα στις ισουψείς ($0 < SR < 1$)

SRWW λωρίδες διαφορετικής καλλιέργειας παράλληλες στις ισουψείς ($0 < SRWW < 1$)

T μικρά αναχώματα κάθετα στην διεύθυνση της κλίσης ($0 < \tau_a < 1$)

Pt συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης του τμήματος T.

Στα δεδομένα μας, η λεκάνη μας βρίσκεται σε ορεινή περιοχή με πλούσια βλάστηση φυλλοβόλων και κωνοφόρων , χωρίς καλλιέργειες και με έντονες κλίσεις .

Η λεκάνη μελέτης είναι δασική και έχουν καλή έως πολύ καλή φυτοκάλυψη κυρίως από κωνοφόρα με καλή πυκνότητα υπόροφο από θάμνους και ποώδη φυτά. Η κάλυψη του εδάφους συμπληρώνεται από ένα σχετικά παχύ οργανικό στρώμα (φύλλα, κλαδιά, κλπ). Το έδαφος έχει σχετικά μεγάλες κλίσεις και το εδαφικό στρώμα έχει πάχος που κυμαίνεται από 1 έως 2,5 m και σχετικά καλή διαπερατότητα. Τα ποσοστά ιλύος και αργίλου του εδάφους είναι μικρά. Το γεωλογικό υπόβαθρο των λεκανών ανήκει κυρίως στις γεωλογικές ζώνες της Πίνδου και της δυτικής Θεσσαλίας που αποτελούνται από λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους σε εναλλαγές με σχιστοκερατόλιθους και φλύσχη καθώς και συνεκτικά κροκαλλοπαγή. Πιο αναλυτικά τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά φυτοκάλυψης δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηριστικά Απορροής	Λεκανών	Πύλη	Μουζάκι	Μεσοχώρ α
Έκταση (km ²)		132,2	144,1	632,5
Περίμετρος (km)		54,8	54,0	165,8
Μέγιστο Υψόμετρο (m)		1800	2000	2300
Μέσο Υψόμετρο (m)		949	827	1400
Ελάχιστο Υψόμετρο (m)		281	223	674
Χρήση Γης		Δασική	Δασική	Δασική
Φυτοκάλυψη		20% φυλλοβόλ α και 80% κωνοφόρ α και θαμνώνες	30% φυλλοβόλ α και 70% κωνοφόρ α και θαμνώνες	Κωνοφόρ α και πυκνοί θαμνώνες
Ποσοστό έκτασης (%) με κλίσεις εδάφους <5%		14	19	3
Ποσοστό έκτασης (%) με κλίσεις εδάφους 5%<Κλίσεις εδάφους < 10%		25	27	23
Ποσοστό έκτασης (%) με κλίσεις εδάφους >10%		61	54	74
Ποσοστό ιλύος στο έδαφος (%)		23	25	19
Ποσοστό άμμου στο έδαφος (%)		20	21	15
Ποσοστό αργίλου στο έδαφος (%)		5	7	9
Ποσοστό οργανικού υλικού στο έδαφος (%)		11	15	19

R συντελεστής διαβρωσιμότητας , που εκφράζει την αποτελεσματικότητα της βροχής ως προς την διάβρωση.

Ο συντελεστής αυτός δίνεται από τον τύπο:

$R = \alpha \cdot P$, $\alpha = 0,1 \pm 0,05$ για εύκρατα κλίματα και P το μέσο ετήσιο ύψος βροχής

P	1393,432436	mm
α	0,1	
R	139,3432436	
A	144,1	km ²

K συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους , που εξαρτάται από την μηχανική σύσταση , την κοκκομετρική καμπύλη , και από την δομή και διαπερατότητα του εδάφους

Γι αυτόν τον συντελεστή θεωρήσα 3 υπολεκάνες .

Ποσοστό έκτασης (%) με κλίσεις εδάφους <5%		19	
Ποσοστό έκτασης (%) με κλίσεις εδάφους 5% < Κλίσεις εδάφους < 10%		27	
Ποσοστό έκτασης (%) με κλίσεις εδάφους >10%		54	

Οι τιμές των συντελεστών K_i λήφθηκαν ανάλογα με το ποσοστό ίλλους , άμμου , αργίλου , οργανικού φορτίου εδαφικής δομής και διαπερατότητας .

ρ_1	0,19
ρ_2	0,27
ρ_3	0,54
k_1	0,1
k_2	0,12
k_3	0,15
$\rho_1 \cdot k_1$	0,019
$\rho_2 \cdot k_2$	0,0324
$\rho_3 \cdot k_3$	0,081
K	0,1324

LS συντελεστής ανάγλυφου

Υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$LS=(x/22,13)^m (65,41 \sin 2\theta + 4,56 \sin \theta + 0,065)$$

LCH	6,49	km
LU	11101,69492	m
s	0,1	
sinθ	0,001	
m	0,5	
LS	1,559450838	

C συντελεστής φυτοκάλυψης , που εκφράζει το μέτρο της μείωσης της εδαφικής απώλειας που οφείλεται στην βλάστηση.

Γι αυτόν τον συντελεστή χρησιμοποιήσαμε πίνακα

Για δασικές εκτάσεις:

C1	0,0001
C2	0,0002
C3	0,0005
p1	0,19
p2	0,27
p3	0,54
C1*p1	0,000019
C2*p2	0,000054
C3*p3	0,00027
C	0,000343
P	0,6

P συντελεστής ελέγχου διάβρωσης , που εκφράζει το μέτρο της ανθρώπινης παρέμβασης για την προστασία από την διάβρωση .

Οι τιμές αυτού του συντελεστή λήφθηκαν από πίνακα για κατηγορία A (δεν υπάρχουν ούτε καλλιέργειες , ούτε αναχώματα) και για κλίση 21-25%

P	0,6
---	-----

Άρα με τις κατάλληλες μετατροπές και την θεώρηση μιας πυκνότητας για την εδαφική μάζα έχουμε την εξής τιμή για νεκρό όγκο

SL	0,013274757	t/ha/ετος
	191,289243	t/ετος
	8034,148204	tn
ρ	2,8	kg/m ³
Νεκρος ογκος	2869338,644	m ³
Νεκρος ογκος	2,869338644	hm ³

6.2.3 Μέθοδος Miller

Στην μέθοδο αυτή καλούμαστε πρώτα να θεωρήσουμε έναν τύπο ταμιευτήρα . Με βάση τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του ταμιευτήρα μας όπου τα φερτά υλικά είναι πάντα ή σχεδόν πάντα βυθισμένα κάτω από την στάθμη του ταμιευτήρα , ο ταμιευτήρας μας είναι τύπου Ι. Με βάση λοιπόν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας το αρχικό μοναδιαίο βάρος των εναποτιθέμενων φερτών υλών υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\gamma = W_c P_c + W_m P_m + W_s P_s$$

όπου:

γ είναι το αρχικό μοναδιαίο βάρος σε λίμπρες (κυβ.ποδ)-1,

P_c , P_m , P_s είναι τα ποσοστά αργίλου (μέγεθος κόκκων μικρότερο του 0,004 χιλιοστά) , ιλύος(μέγεθος μεταξύ 0,004 και 0,0025 χιλιοστά) και άμμου (μέγεθος μεταξύ 0,0026 ως 2 χιλιοστά),

ενώ W_c , W_m , W_s είναι οι συντελεστές αργίλου , ιλύος και άμμου αντίστοιχα που εκτιμώνται από πίνακες του παραρτήματος .

Το αρχικό μοναδιαίο βάρος γ αυξάνει κάθε χρόνο που παραμένει στον ταμιευτήρα και θα γίνεται W μετά από T χρόνια συμπίεσης ως εξής :

$$W = \gamma + K \log_{10} T$$

Όπου K είναι σταθερά και εξαρτάται από την διαβάθμιση των φερτών και τον τύπο του ταμιευτήρα όπως προκύπτει από την :

$$K = \Phi_c P_c + \Phi_m P_m + \Phi_s P_s$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει για T χρόνια . Στην πραγματικότητα όμως κάθε χρόνο γίνεται συμπίεση και κάθε χρόνο έχουμε διαφορετικό συνολικό χρόνο συμπίεσης . Ο Miller έδωσε μια προσέγγιση του ολοκληρώματος για την εκτίμηση του μέσου μοναδιαίου βάρους W_T όλων των φερτών εναποτιθέμενων για T χρόνια λειτουργίας .

$$W_T = \gamma + 0,4343 K [T/T-1(\log_c T)-1]$$

Στην εφαρμογή μας το G εκφράζει την μέση συνολική στερεοπαροχή εισόδου στον ταμιευτήρα και είναι η τιμή που προέκυψε από την μέθοδο του Gavrilovic .

ΤΥΠΟΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	1
ΑΡΓΙΛΟΣ W_c	26
ΙΛΥΣ W_m	70
ΑΜΜΟΣ W_s	97
P_c	0,07
P_m	0,25
P_s	0,21
γ	39,69
Φ_c	16
Φ_m	5,7
Φ_s	0
K	2,545
T	50
W	44,01387866

MILLER							
T	W_T (λίβρες/ft ³)	W_T (tn/m ³)	S_T (10 ⁶ m ³)				
10	41,41252021	0,662070667	0,813046299				
20	73,53126144	1,175559735	0,915809021				
50	69,47970349	1,110786627	2,423031085	$V_{νεκρ} =$	2423031	m ³	
100	39,69	0,634532374	8,483319797				
G	0,053829411	tn					
	53829,41051	m ³ /ετος					
	0,053829411						

Αν η οικονομικά ωφέλιμη ζωή του ταμιευτήρα είναι $T=50$ χρόνια τότε ο νεκρός όγκος είναι ίσος ή μεγαλύτερος από την τιμή 2,42hm³.

6.3 Υπολογισμός Πλημμυρικού Όγκου ταμιευτήρα

Ο όγκος μεταξύ της κανονικής στάθμης λειτουργίας και της **στάθμης υπερχειρίσης** ονομάζεται **πλημμυρικός όγκος (V_H)** . Στο χώρο αυτό του ταμιευτήρα γίνεται ανάσχεση της πλημμύρας σχεδιασμού του υπερχειλιστή του φράγματος . Η στάθμη υπερχειρίσης είναι η ανώτατη στάθμη στην οποία προβλέπεται να φτάσει το νερό κατά την διάρκεια της αναμενόμενης πλημμύρας σχεδιασμού για την οποία παρέχει ασφάλεια στο φράγμα ο υπερχειλιστής . Έτσι η στάθμη υπερχειρίσης ορίζει την στέψη του υπερχειλιστή στην περίπτωση που ο υπερχειλιστής είναι ελευθέρως ροής . Πάνω από την στάθμη υπερχειρίσης προστίθεται ένα ελεύθερο ύψος ασφάλειας που το υψόμετρό του ορίζει το ύψος στέψης του φράγματος . Αν η ροή του υπερχειλιστή ρυθμίζεται με θυροφράγματα ο μέγιστος πλημμυρικός όγκος δεν περιμένει μόνιμα κενός , σε αναμονή του πλημμυρικού γεγονότος σχεδιασμού , αλλά χρησιμοποιείται για αποθήκευση νερού ιδιαίτερα σε περιόδους που η διακύμανση εμφάνισης της πλημμύρας σχεδιασμού είναι ασήμαντη . Σε αυτήν την περίπτωση το ύψος της στέψης του υπερχειλιστή είναι μικρότερο από αυτό που καθορίζεται από την στάθμη υπερχειρίσης ενώ η μέγιστη στάθμη λειτουργίας και ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα δεν μένουν σταθερά αλλά μεταβάλλονται εποχιακά .

6.3.1 Κατανομή Gumbel

Ο Gumbel βασισμένος στην παραδοχή ότι η κατανομή των μέγιστων παροχών είναι απεριορίστη δηλαδή ότι δεν υπάρχει μέγιστη παροχή που να μην μπορεί να ξεπεραστεί από μια άλλη μεγαλύτερη βρέθηκε ότι η πιθανότητα P εμφάνισης μιας παροχής Q ίσης ή μεγαλύτερης του q μπορεί να υπολογιστεί με την σχέση :

$$P(Q \geq q) = 1 - \exp(-e^{-b})$$

Όπου:

$$P = 1/T$$

$$T = n + 1/m$$

$$b=1/(0,7797s) * (q - \bar{q} + 0,45s)$$

όπου:

T η περίοδος επαναφοράς ,

n ο αριθμός των ετών παρατηρήσεων ,

m η θέση της εξεταζόμενης μέγιστης παροχής στην χρονική σειρά ,

$\bar{q}$ s είναι αντίστοιχα ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των τιμών της χρονικής σειράς .

Με την βοήθεια των άνω σχέσεων και με διαδοχικές αντιλογαριθμώσεις , η ανηγμένη μεταβλητή b προκύπτει από την σχέση :

$$b = -\ln\{-\ln[1-(1/T)]\}$$

Γνωρίζοντας την ανηγμένη μεταβλητή b για διάφορες περιόδους επαναφοράς η μέγιστη παροχή q βρίσκεται από άνω σχέση με την βοήθεια του μέσου όρου $\bar{q}$ και της τυπικής απόκλισης s της σειράς συχνότητας των ιστορικών δεδομένων .

Τα όρια εμπιστοσύνης της κατανομής αυτής υπολογίζονται με την βοήθεια του παράγοντα συχνότητας K_T , που για την κατανομή του Gumbel δίνεται από την σχέση :

$$K_T = -\gamma_n + \ln[\ln T - \ln(T-1)] / \sigma_n$$

Όπου:

γ_n σ_n ανηγμένες μεταβλητές που δίνονται από τον πίνακα 3.2 για διάφορες τιμές του δείγματος n .

Μετά τον υπολογισμό του παράγοντα συχνότητας K_T το τυπικό σφάλμα S_T των τιμών της μέγιστης παροχής q για περίοδο επαναφοράς T (q_T) δίνεται από την σχέση :

$$S_T = (1 + 1,30 K_T + 1,10 K_T^2)^{0,5} * s / \sqrt{n}$$

Όπου , K_T παράγοντας συχνότητας ,

s η τυπική απόκλιση των του δείγματος

και n το μέγεθος του δείγματος .

Τα όρια εμπιστοσύνης της μέσης τιμής $\bar{q}_T$ που αντιστοιχούν σε δεδομένη περίοδο επαναφοράς T και υπολογίζονται με τις σχέσεις της διαδικασίας του Gumbel δίνονται από τις σχέσεις :

$$q_U = \bar{q}_T + Z S_T$$

$$q_L = \bar{q}_T - Z S_T$$

όπου , $Z = Z_{\alpha/2}$ είναι η ανηγμένη μεταβλητή της αθροιστικής τυπικής κανονικής κατανομής που αντιστοιχεί σε δεδομένη στάθμη σημαντικότητας α . Για στάθμη σημαντικότητας $\alpha = 5\%$, $Z_{\alpha/2} = 1,96$.

Για το θέμα μας δόθηκαν οι μέγιστες εντάσεις I (mm / hr) και οι μέγιστες βροχοπτώσεις (mm) για μια σειρά 26 ετών . Δηλαδή το μέγεθος του δείγματος μας είναι $n = 26$ και οι μεταβλητές y_n σ_n παίρνουν τις τιμές :

$y_n =$	0,532
$\sigma_n =$	1,0961

Τα δεδομένα αυτά μας δόθηκαν για 4 διάρκειες 30 , 60 , 180 , 360 min . Παρακάτω δίνεται το παράδειγμα της κατανομής Gumbel για την διάρκεια των 360 min . Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για όλες τις διάρκειες και για τα δεδομένα και έντασης και βροχόπτωσης . Στην πρώτη στήλη βλέπουμε τις περιόδους επαναφοράς για τις οποίες κάνουμε τις κατανομές από αυτές λόγω της ζήτησης άρα και της αναμενόμενης διάστασης του ταμιευτήρα για τον πλημμυρικό όγκο θα επιλέξουμε την περίοδο επαναφοράς **$T=1000$ χρόνια** .

Με την κατανομή των δεδομένων και των 4 περιόδων θα μπορέσουμε να προσδιορίσουμε τις σχέσεις των όμβριων καμπυλών έντασης και βροχόπτωσης με τον τρόπο που θα περιγραφεί παρακάτω .

		360 min				
m	Έτος	Ένταση (mm/hr)		$T=(n+1)/m$	$P(Q>q)=m/(n+1)$	$\ln Q$
1	1982	14,6	85,1	27	0,037037037	2,678
2	1955	12,3	48,1	13,5	0,074074074	2,5067
3	1956	8,2	8,3	9	0,111111111	2,1058
4	1985	8,1	7,9	6,75	0,148148148	2,0968
5	1980	7,4	4,2	5,4	0,185185185	1,9999
6	1959	6,8	2,3	4,5	0,222222222	1,9225
7	1968	6,2	0,7	3,857142857	0,259259259	1,824
8	1983	5,9	0,4	3,375	0,296296296	1,7817
9	1981	5,7	0,2	3	0,333333333	1,744
10	1954	5,7	0,1	2,7	0,37037037	1,7343
11	1986	5,3	0,0	2,454545455	0,407407407	1,6639
12	1963	4,7	0,5	2,25	0,444444444	1,5383
13	1960	4,4	0,8	2,076923077	0,481481481	1,4899
14	1961	4,3	1,0	1,928571429	0,518518519	1,4648
15	1962	4,2	1,2	1,8	0,555555556	1,439
16	1969	4,2	1,3	1,6875	0,592592593	1,4347
17	1953	4,1	1,5	1,588235294	0,62962963	1,4126
18	1987	4,0	1,7	1,5	0,666666667	1,3946
19	1984	3,7	2,8	1,421052632	0,703703704	1,2993
20	1967	3,4	3,6	1,35	0,740740741	1,2321
21	1964	3,0	5,3	1,285714286	0,777777778	1,1069
22	1966	3,0	5,6	1,227272727	0,814814815	1,0886
23	1958	2,6	7,2	1,173913043	0,851851852	0,9708
24	1965	2,6	7,3	1,125	0,888888889	0,9638
25	1970	2,3	9,0	1,08	0,925925926	0,8452
26	1957	1,7	12,9	1,038461538	0,962962963	0,5548
	Μέση τιμή	5,3	2,9			
		Τυπική αποκλίση				

		360 min				
m	Έτος	Βροχόπτωση (mm)		$T=(n+1)/m$	$P(Q>q)=m/(n+1)$	$\ln Q$
1	1982	87,34	3064,2	27	0,037037037	4,469808548
2	1955	73,59	1731,0	13,5	0,074074074	4,298509147
3	1956	49,28	299,1	9	0,111111111	3,897518319
4	1985	48,84	284,1	6,75	0,148148148	3,888549649
5	1980	44,33	152,4	5,4	0,185185185	3,791661649
6	1959	41,03	81,8	4,5	0,222222222	3,714303506
7	1968	37,18	27,0	3,857142857	0,259259259	3,615770982
8	1983	35,64	13,4	3,375	0,296296296	3,573468603
9	1981	34,32	5,5	3	0,333333333	3,535728275
10	1954	33,99	4,0	2,7	0,37037037	3,526066364
11	1986	31,68	0,1	2,454545455	0,407407407	3,455685567
12	1963	27,94	16,4	2,25	0,444444444	3,330059354
13	1960	26,62	28,8	2,076923077	0,481481481	3,281662813
14	1961	25,96	36,3	1,928571429	0,518518519	3,256556892
15	1962	25,3	44,7	1,8	0,555555556	3,230804396
16	1969	25,19	46,2	1,6875	0,592592593	3,22644709
17	1953	24,64	53,9	1,588235294	0,62962963	3,204371139
18	1987	24,2	60,6	1,5	0,666666667	3,186352633
19	1984	22	99,7	1,421052632	0,703703704	3,091042453
20	1967	20,57	130,3	1,35	0,740740741	3,023833704
21	1964	18,15	191,4	1,285714286	0,777777778	2,898670561
22	1966	17,82	200,6	1,227272727	0,814814815	2,880321422
23	1958	15,84	260,6	1,173913043	0,851851852	2,762538386
24	1965	15,73	264,2	1,125	0,888888889	2,755569717
25	1970	13,97	324,5	1,08	0,925925926	2,636912173
26	1957	10,45	463,7	1,038461538	0,962962963	2,346601978
	Μέση τιμή	32,0	17,4			
		Τυπική αποκλίση				

6.3.2 Προσαρμογή αναλυτικών σχέσεων στις όμβριες καμπύλες (Ύψους – Διάρκειας – Συχνότητας Βροχόπτωσης και Έντασης –Διάρκειας – Συχνότητας Βροχόπτωσης)

Οι αναλυτικές σχέσεις έντασης – διάρκειας – συχνότητας και ύψους – διάρκειας – συχνότητας για συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς Τα έχουν την εξής γενική μορφή :

$$i = K * T^{\alpha} / (D+b)^m$$

$$P = K * T^{\alpha} * (D+B)^{1-m}$$

Όπου: i η ένταση της βροχής (mm / h) ,

P το ύψος βροχής (mm) ,

D η διάρκεια της βροχής σε ώρες (h) ,

T η περίοδος επαναφοράς και

α , K , b , m σταθερές .

Οι παραπάνω σχέσεις έχουν σχετικά μεγάλη ευελιξία και γενικότητα έναντι άλλων σχέσεων αφού περιλαμβάνουν την διορθωτική παράμετρο b που διορθώνει την χρονική κλίμακα δίνοντας την δυνατότητα βελτιστοποίησης της σκέδασης των σημείων γύρω από την όμβρια καμπύλη (για απλοποίηση λαμβάνουμε στους υπολογισμούς μας $b=0$) . Η απόκτηση των σχέσεων (i , D) και (P , D) και για άλλες περιόδους επαναφοράς Τα οδηγεί στην απόκτηση των όμβριων καμπυλών (i , D , T) και (P , D , T) . Στην συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση για τις σχέσεις έντασης – διάρκειας – συχνότητας ενώ ανάλογη είναι η διαδικασία για τις σχέσεις ύψους – διάρκειας – συχνότητας .

Οι όμβριες καμπύλες δηλαδή είναι σε διπλό λογαριθμικό χαρτί ευθείες παράλληλες με παράμετρο το T και άξονες i και ($D+b$) με την εξής αναλυτική έκφραση :

$$\text{Log}i = \log(K T^{\alpha}) - m \log(D+b)$$

Η ρύθμιση της παραπάνω εξίσωσης αρχίζει με την εκτίμηση της διορθωτικής παραμέτρου b έτσι ώστε να βελτιστοποιείται η σκέδαση των σημείων γύρω από τις όμβριες καμπύλες . Στην συνέχεια για κάθε Τα της ανάλυσης και με την βοήθεια της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων εκτιμώνται τα :

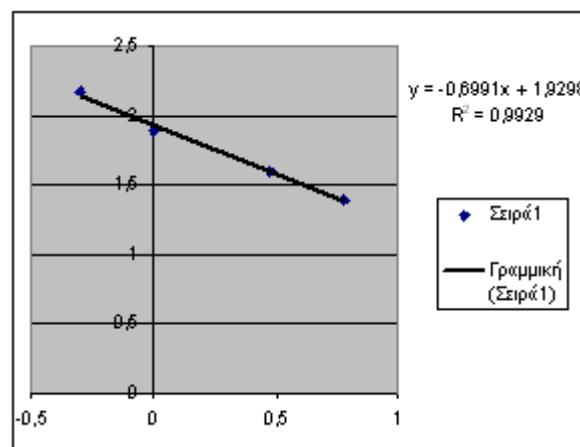
$$A_T = \log(K T^{\alpha}) \text{ και } m$$

της παραπάνω εξίσωσης . Τέλος με βάση τις τιμές των ζευγών (A_T , $\log T$) που είναι ήδη γνωστές εκτιμώνται με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων οι τιμές K , α από την γραμμική σχέση :

$$A_T = \log(K) + \alpha \log(T)$$

Για κάθε περίοδο επαναφοράς για την οποία κάναμε την κατανομή Gumbel , πραγματοποιούμε την παραπάνω διαδικασία . Παρακάτω δίνεται τι παράδειγμα για $T=1000$ χρόνια .

T=10000	D	I	logD	logI
	0,5	147,2987985	-0,301029996	2,168199205
	1	77,72005397	0	1,890533093
	3	39,61788996	0,477121255	1,597891341
	6	24,86732887	0,77815125	1,395629138

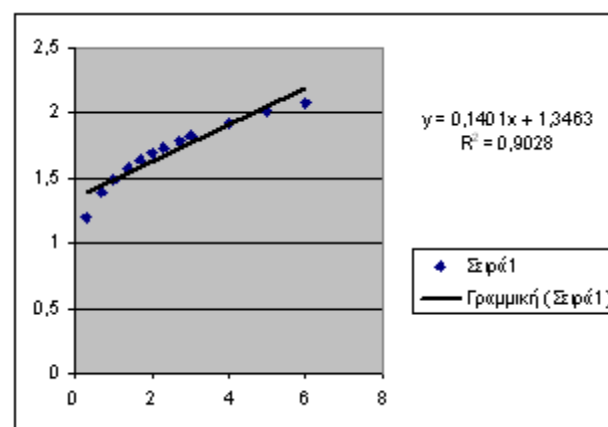


Από τα παραπάνω φαίνεται πως για κάθε περίοδο επαναφοράς συλλέγουμε τις εντάσεις και ομοίως τις βροχοπτώσεις που προκύπτουν από την κατανομή Gumbel και για τις 4 δοσμένες διάρκειες .

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ Τ (ΕΤ)	m	A _T =log(k*T ^α)
2	0,6726	1,2019
5	0,6843	1,3942
10	0,6883	1,4865
25	0,6916	1,5806
50	0,6933	1,6392
100	0,6946	1,6905
200	0,6957	1,7362
500	0,6968	1,7899
1000	0,6975	1,8266
10000	0,6991	1,9298
100000	0,7002	2,0132
1000000	0,7009	2,0831

Για κάθε Τ υπολογίζουμε έτσι τα μεγέθη m , A_T .

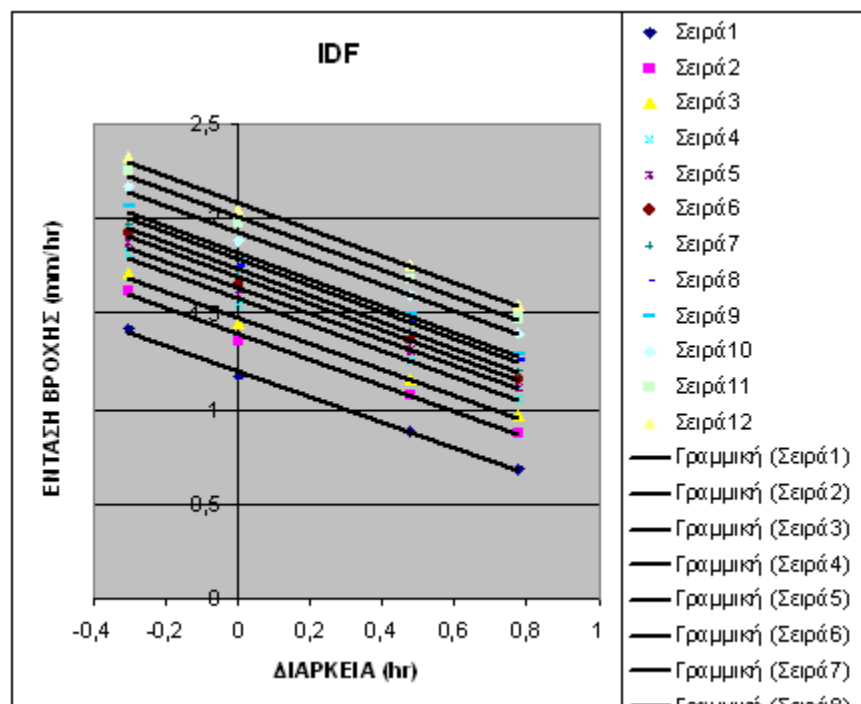
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ Τ (ΕΤ)	logT	A _T =log(k*T ^α)
2	0,301029996	1,2019
5	0,698970004	1,3942
10	1	1,4865
25	1,397940009	1,5806
50	1,698970004	1,6392
100	2	1,6905
200	2,301029996	1,7362
500	2,698970004	1,7899
1000	3	1,8266
10000	4	1,9298
100000	5	2,0132
1000000	6	2,0831



Για όλες τις T και με τα αντίστοιχα A_T υπολογίζουμε τα α , K .

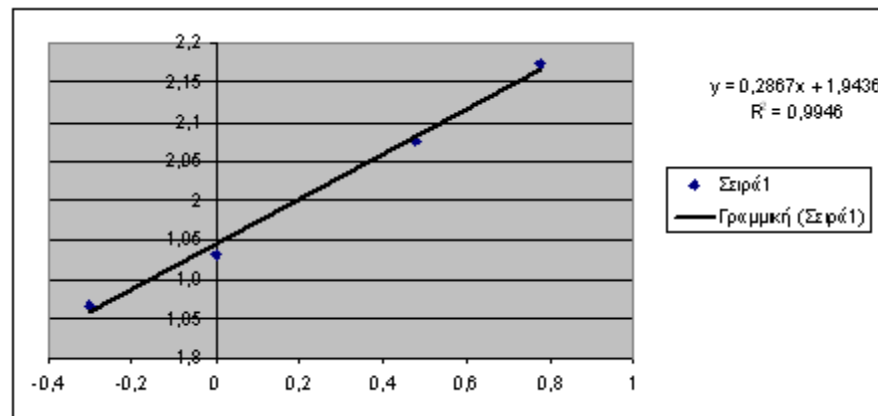
α	0,1401
$\log k$	1,3463
k	22,1973

Με αυτά τα στοιχεία προσδιορίζουμε τις όμβριες καμπύλες έντασης που έχουν ως άγνωστο την περίοδο επαναφοράς T_a και την διάρκεια D .



Ομοίως για την βροχόπτωση :

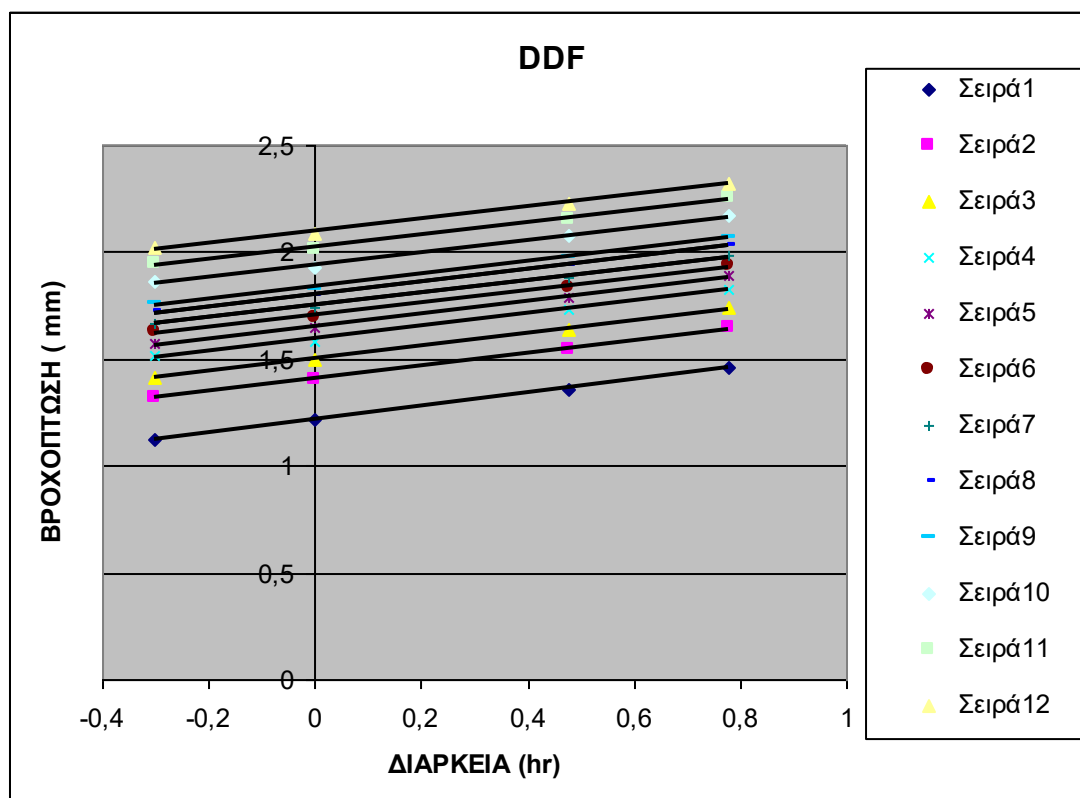
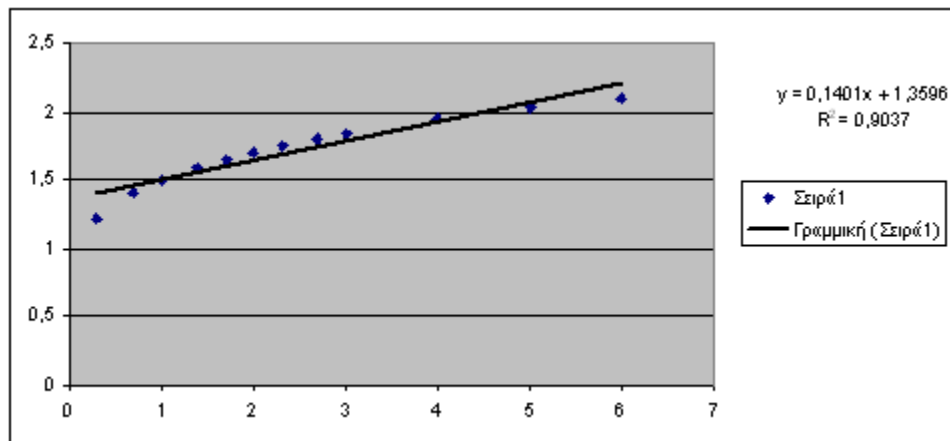
$T=10000$	D	I	$\log D$	$\log P$
	0,5	73,64939927	-0,301029996	1,867169209
	1	85,49205936	0	1,931925779
	3	118,8536699	0,477121255	2,075012596
	6	149,2039732	0,77815125	2,173780388



ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T (ΕΤΗ)	1-m	$A_T = \log(k \cdot T^a)$
2	0,3132	1,2156
5	0,3015	1,408
10	0,2975	1,5003
25	0,2942	1,5943
50	0,2925	1,653
100	0,2912	1,7042
200	0,2901	1,7449
500	0,289	1,8037
1000	0,2883	1,8403
10000	0,2867	1,9436
100000	0,2856	2,0269
1000000	0,2849	2,0969

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T (ΕΤΗ)	logT	$A_T = \log(k \cdot T^a)$
2	0,301029996	1,2156
5	0,698970004	1,408
10	1	1,5003
25	1,397940009	1,5943
50	1,698970004	1,653
100	2	1,7042
200	2,301029996	1,7449
500	2,698970004	1,8037
1000	3	1,8403
10000	4	1,9436
100000	5	2,0269
1000000	6	2,0969

α	0,1401
$\log k$	1,3596
k	22,8876



Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να δοθεί έμφαση στο εξής σημείο στην επιφανειακή αναγωγή όμβριων καμπυλών . Οι όμβριες καμπύλες που καταρτίζονται με τα δεδομένα ενός βροχογράφου αναφέρονται σε σημειακή ένταση βροχής και βροχόπτωσης . Στην υδρολογική εφαρμογή ωστόσο χρειάζονται πάντοτε οι επιφανειακά μέσες εντάσεις και

βροχοπτώσεις για την λεκάνη απορροή που μελετάται και οι σημειακές μετρήσεις . Γι αυτόν τον λόγο ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία . Οι όμβριες καμπύλες καταρτίζονται σε σημειακή βάση και στην συνέχεια η σημειακή μέτρηση που υπολογίζεται από αυτές ανάγεται κατάλληλα ώστε να αντιπροσωπεύει την επιφανειακή τιμή (για ένταση και βροχόπτωση ισχύει αυτή η διαδικασία) . Η αναγωγή γίνεται με πολλαπλασιασμό με τον συντελεστή επιφανειακής αναγωγής (area reduction factor) . Ο συντελεστής έχει τις ακόλουθες ιδιότητες :

- είναι πάντα μικρότερος από 1 .
- είναι φθίνουσα συνάρτηση της έκτασης A.
- είναι αύξουσα συνάρτηση της διάρκειας d.
- Εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από την περίοδο επαναφοράς (μέγεθος καταιγίδας) και φαίνεται ότι η αύξηση της περιόδου επαναφοράς οδηγεί σε ασθενή μείωση του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής αν και δεν είναι πλήρως αποδεδειγμένη αυτή η εξάρτηση .

Ο συντελεστής ϕ δηλαδή είναι ίσος με:

$\phi = \text{επιφανειακό μέσο (i,P)} / \text{το μέγιστο σημειακό (i,P)}.$

Αν στην περιοχή μελέτης έχουμε επαρκή δεδομένα ιστορικών βροχοπτώσεων από σχετικά πυκνό βροχομετρικό δίκτυο η συνάρτηση $\phi(d,A)$ προσδιορίζεται μετά από επεξεργασία αυτών των δεδομένων . Διαφορετικά χρησιμοποιούμε την σχέση :

$$\phi = 1 - 0,048 A^{0,36-0,01 \ln A} / d^{0,35}$$

με $\phi \geq 0,25$.

Στα δικά μας δεδομένα για τις 4 δοσμένες διάρκειες και για την έκταση της λεκάνης απορροής του Μουζακίου έχουμε τις εξής τιμές των ϕ :

Έκταση (km²)	144,1
d	φ
0,5	0,713961683
1	0,775578885
3	0,847218322
6	0,880129925

Έτσι τα δεδομένα έντασης , βροχόπτωσης γίνονται :

ΕΝΤΑΣΗ	18,91481853	11,63555124	6,432957213	4,272251663
	29,96881463	17,8696187	9,91022633	6,529708229
	37,28752189	21,9971138	12,21248105	8,024340904
	46,53472791	27,2122148	15,121386	9,91281325
	53,39483359	31,08107464	17,27937786	11,31378992
	60,20428533	34,92136742	19,42143545	12,70442199
	66,98889052	38,74764762	21,55567703	14,08997988
	75,93988877	43,7956978	24,37140353	15,91796043
	82,70484117	47,61089451	26,49946291	17,29950481
	105,1656981	60,27803281	33,56500225	21,88648029
	127,6226033	72,94294242	40,62929845	26,47264872
	150,0791134	85,60762925	47,69347039	31,05873648

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	2	9,457409265	12,79910637	19,29887164	25,63350998
	5	14,98440731	19,65658057	29,73067899	39,17824937
	10	18,64376094	24,19682518	36,63744316	48,14604542
	25	23,26736395	29,93343628	45,36415799	59,4768795
	50	26,69741679	34,1891821	51,83813358	67,8827395
	100	30,10214266	38,41350416	58,26430635	76,22653196
	200	33,49444526	42,62241239	64,66703109	84,53987931
	500	37,96994439	48,17526758	73,1142106	95,50776257
	1000	41,35242059	52,37198396	79,49838873	103,7970289
	10000	52,58284907	66,3058361	100,6950067	131,3188817
	100000	63,81130163	80,23723666	121,8878953	158,8358923
	1000000	75,03955669	94,16839218	143,0804112	186,3524189

Συνοψίζοντας οι όμβριες καμπύλες εκφράζονται με τις σχέσεις :

$$i = 22,1973 * T^{0,1401} / (D)^m$$

$$P = 22,8876 * T^{0,1401} * (D)^{1-m}$$

Στατιστική Μέθοδος Hershfield . Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στα στατιστικά χαρακτηριστικά (μέση τιμή και τυπική απόκλιση) της σειράς των ετήσιων μέγιστων υψών βροχής ενός βροχομετρικού σταθμού και δεν απαιτεί μετεωρολογικά δεδομένα για την εφαρμογή της .

Μαθηματικά περιγράφεται από την σχέση :

$$h_m = h^* + K_m s_H^*$$

όπου h_m το ύψος βροχής που αντιστοιχεί στην ΠΜΚ ,
 h^* s_H^* η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της σειράς των ετήσιων μέγιστων υψών βροχής διάρκειας d στις οποίες έχουν γίνει διορθώσεις
και K_m συντελεστής συχνότητας συναρτήσει των d (hrs) και h -(mm) .

Το νομογράφημα για τον συντελεστή συχνότητας δίνεται από την σχέση:

$$k_m = 20 - 8,6 \ln(h^* / 130 + 1) (24/d)^{0,4}$$

Οι διορθώσεις των στατιστικών χαρακτηριστικών δίνονται από τους παρακάτω τύπους :

$$h^* = h \phi_1(n) \psi_1(h, h', n)$$

$$s_H^* = s_H \phi_2(n) \psi_2(s_H, s_H', n)$$

$$\phi_1(n) = 1 / [1 - 0,96 \exp(-n^{0,47})]$$

$$\phi_2(n) = 1 / [1 - 4,2 \exp(-n^{0,47})]$$

$$\psi_1(h, h', n) = 1,0 + 1,04 (h'/h - 1) + 0,42 / n^{0,75}$$

$$\psi_2(s_H, s_H', n) = 1,0 + (1,37 / n^{0,06}) (s_H' / s_H - 1) + 0,65 / n^{0,5}$$

όπου οι τονούμενες τιμές είναι οι τιμές της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης του δείγματος αφού αφαιρεθεί η μέγιστη τιμή του ($n=26-1$) . Αφού κάναμε την άνω ανάλυση για τις 4 διάρκειες οι οποίες μας δόθηκαν , για το t_c έγινε γραμμική παρεμβολή .

d = 3 hrs	d = 6hrs
495,538374	647,6924129
tc = 3,5 hrs	
520,8974	

6.3.3 Συνθετικά Μοναδιαία Υδρογραφήματα

Η διερεύνηση των μοναδιαίων υδρογραφημάτων προϋποθέτει την ύπαρξη ταυτόχρονων παρατηρήσεων βροχής απορροής . Τέτοια υδρογραφήματα μπορούν να διερευνηθούν και για υδρολογικές λεκάνες στις οποίες δεν δίνονται υδρομετρήσεις και η διερεύνησή τους βασίζεται σε εμπειρικές σχέσεις που σχετίζουν ορισμένα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης με στοιχεία του μοναδιαίου υδρογραφήματος του οποίου το εμβαδόν της επιφάνειας κάτω από την καμπύλη είναι ίσο με **1cm άμεσης απορροής** . Πρώτα θα γίνει η περιγραφή της μεθόδου Sierra Nevada . Για την εκτίμηση των υδρογραφημάτων πλημμύρας προκύπτουν από τις βροχοπτώσεις διαφόρων διαρκειών και περιόδων επαναφοράς χρησιμοποιείται η μέθοδος του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος όπως δίνεται στο Design of Small Dams . Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί το αδιάστατο υδρογράφημα της περιοχής Sierra Nevada . Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή ο χρόνος υστέρησης του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος σε ώρες υπολογίζεται από την σχέση :

$$L_g = 0,1776C[L\epsilon/Vs]^N$$

όπου L_g ο χρόνος υστέρησης του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος σε ώρες ,
 C σταθερά που παίρνει την τιμή 26 Kn ,
 Kn συντελεστής του Manning που παίρνεται ίσος με 0,12 ,
 L μέγιστο μήκος διαδρομής του κύριου ρεύματος σε Km ,
 ϵ μήκος του κύριου ρεύματος από την έξοδο της λεκάνης μέχρι την προβολή του κέντρου βάρους της λεκάνης πάνω στο κύριο ρεύμα σε Km ,

S η κλίση του κύριου ρεύματος σε m/m και

N είναι σταθερά ίση με 0,33.

Έτσι η άνω σχέση παίρνει την μορφή :

$$Lg = 0,5541C[L\ell/VS]^{0,33}$$

Η διάρκεια της μοναδιαίας βροχής D από την οποία προέρχεται το συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα δίνεται από την σχέση :

$$D = Lg/5,5$$

Σύμφωνα με το Design of Small Dams το αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα που χρησιμοποιήσαμε δίνεται από τον πίνακα 6.11 .

T=Lg+D/2	q
5	0,65
10	1,3
15	1,95
20	2,6
25	3,25
30	4,23
35	5,51
40	7,17
45	9,34
50	12,17
55	13,88
60	15,83

Για τον υπολογισμό του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (δηλαδή του υδρογραφήματος που προκαλείται από απορροϊκή βροχή 1mm) ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία :

Η τετμημένη του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (χρόνος) υπολογίζεται από την σχέση :

$$t_m = T / 100 * (L_g + D/2)$$

όπου t_m ο χρόνος του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος σε ώρες ,

T παίρνεται από τον άνω πίνακα ,

L_g και D από τις άνω σχέσεις .

Η τεταγμένη του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (παροχή) η οποία προέρχεται από απορροϊκή βροχή 1mm υπολογίζεται από την σχέση :

$$Q = 0,01157 * [A * q / L_g + D/2]$$

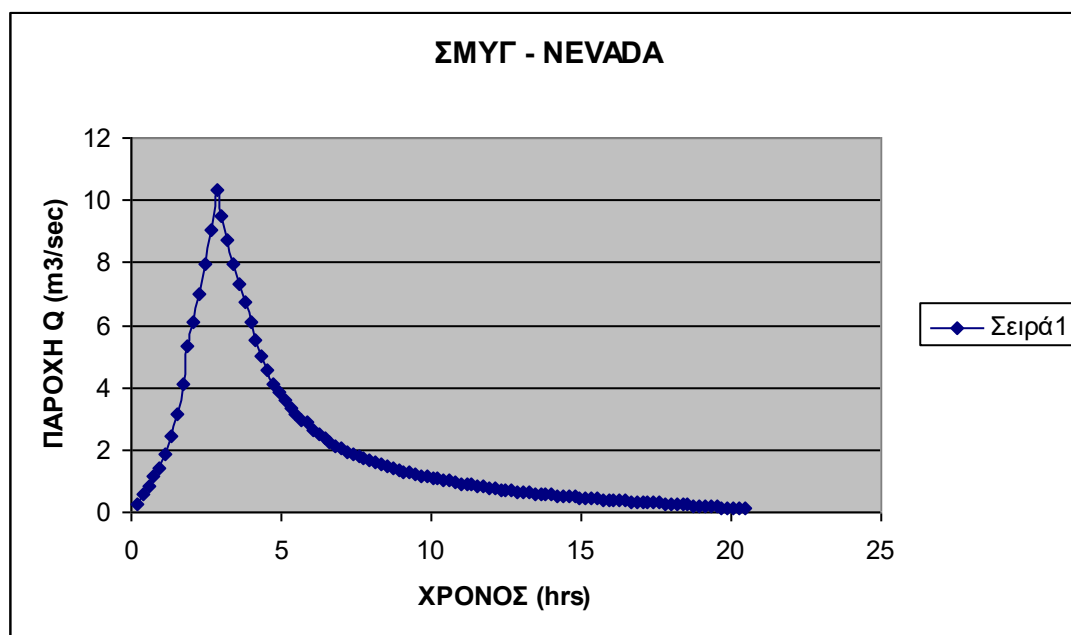
Όπου Q η παροχή του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος σε m^3/sec

A η έκταση της υδρολογικής λεκάνης σε km^2 ,

L_g , D από τις άνω σχέσεις και

q η αδιάστατη παροχή από τον άνω πίνακα .

Χαρακτηριστικά Λεκανών Απορροής		Μουζάκι	
Έκταση (km ²)		144,1	
Περίμετρος (km)		54	
Μέγιστο Υψόμετρο (m)		2000	
Μέσο Υψόμετρο (m)		827	
Ελάχιστο Υψόμετρο (m)		223	
Μέγιστο μήκος υδατορρέματος (km)		13,41	
Μήκος κυρίου υδατορρέματος μέχρι το κέντρο βάρους της λεκάνης (km)		6,49	
Γεωγραφικό πλάτος γεωμετρικού κέντρου βάρους της λεκάνης (°)		39° 12'	
s (κλίση)		0,1	
ΧΡΟΝΟΣ ΥΣΤΕΡΗΣΗΣ		Lg (hr)	3,537369
ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΙΑΙΑΣ ΒΡΟΧΗΣ		D (hr)	0,5
ΤΕΤΜΗΜΕΝΗ ΤΟΥ ΣΜΥΓ (ΧΡΟΝΟΣ) - ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ			0,037874
ΤΕΤΑΓΜΕΝΗ ΤΟΥ ΣΜΥΓ (ΠΑΡΟΧΗ) - ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ			0,44021



Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιήσαμε είναι η SCS (Soil Concervation Service) . Η μέθοδος αυτή η οποία αναπτύχθηκε από το αμερικάνικο υπουργείο γεωργίας βασίζεται στην διαπίστωση ότι ένα υδρογράφημα θα μπορούσε να αντιπροσωπευθεί γεωμετρικά από ένα τρίγωνο . Τα βήματα που ακολουθούμε είναι τα εξής :

Υπολογίζουμε τον χρόνο συγκέντρωσης της υδρολογικής λεκάνης από την εξίσωση του Giandotti :

$$t_c = 4\sqrt{A} + 1,5 L / 0,8 \sqrt{\Delta H} \text{ (hr)}$$

όπου A η έκταση της λεκάνης απορροής σε Km^2 ,

L η απόσταση κατά μήκος του κύριου ρεύματος μέχρι την έξοδο της λεκάνης σε Km ,

ΔH η υψομετρική διαφορά μεταξύ μέσου υψομέτρου της λεκάνης και της κοίτης του ρεύματος στην έξοδο της λεκάνης σε m .

Μετά υπολογίζουμε τον χρόνο καθυστέρησης τον χρόνο αιχμής και τον χρόνο αποχώρησης από τις σχέσεις :

$$t_L = t_c * 0,60$$

$$t_p = t_L + t_o/2$$

$$t_r = 1,67 t_p$$

όπου t_o η διάρκεια της απορροϊκής βροχής την οποία λαμβάνουμε ίση με το D της προηγούμενης μεθόδου .

Η παροχή υπολογίζεται από την σχέση :

$$Q_p = 0,75 A P_e / 3600 t_p$$

όπου Q_p η παροχή σε m^3/sec ,

A η έκταση σε στρέμματα ,

P_e σε mm ,

t_p σε ώρες .

Στο αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα η αδιάστατη παροχή σε οποιάδήποτε χρόνο υπολογίζεται από την σχέση :

$$Q_d = Q / Q_p$$

όπου Q_d η αδιάστατη παροχή ,

Q_p η παροχή αιχμής και

Q η παροχή του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (m³/sec) σε χρόνο t ο οποίος υπολογίζεται από την σχέση :

$$t_d = t/t_p$$

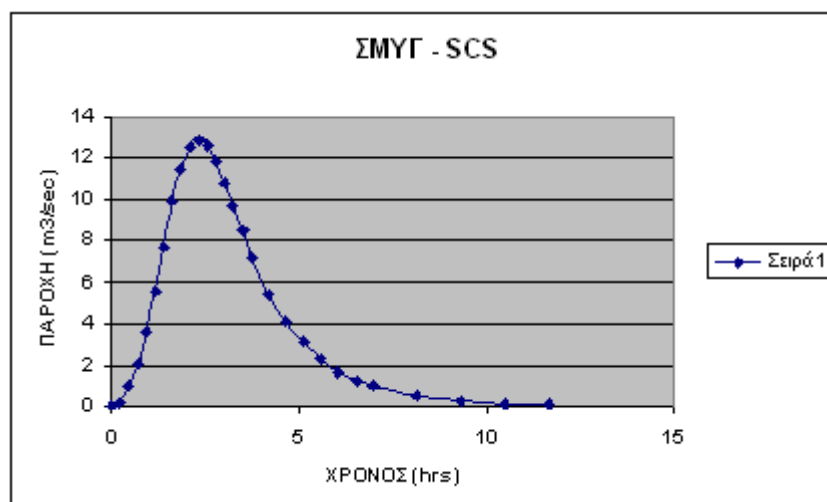
όπου t_d αδιάστατος χρόνος ,

t_p χρόνος αιχμής και

t χρόνος στο συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα (hrs) .

Χαρακτηριστικά Λεκανών Απορροής	Μουζάκι	
Έκταση (km ²)	144,1	
Περίμετρος (km)	54	
Μέγιστο Υψόμετρο (m)	2000	
Μέσο Υψόμετρο (m)	827	
Ελάχιστο Υψόμετρο (m)	223	
Μέγιστο μήκος υδατορρέματος (km)	13,41	
Μήκος κυρίου υδατορρέματος μέχρι το κέντρο βάρους της λεκάνης (km)	6,49	
Γεωγραφικό πλάτος γεωμετρικού κέντρου βάρους της λεκάνης (°)	39° 12'	
s (κλίση)	0,1	
GIANDOTTI (tc)	3,465297604	hrs
D (hr)	0,5	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΜΟΝΑΔΙΑΙΑΣ ΒΡΟΧΗΣ
TL	2,079178562	
TR	3,889728199	
TP	2,329178562	
QP	12,88902183	

t_d	Q_d	$t = t_d \cdot t_p$ (hrs)	$Q = Q_d \cdot Q_p$ (m ³ /sec)
0	0	0	0
0,1	0,015	0,232917856	0,193335327
0,2	0,075	0,465835712	0,966676637
0,3	0,16	0,698753569	2,062243493
0,4	0,28	0,931671425	3,608926112
0,5	0,43	1,164589281	5,542279387
0,6	0,6	1,397507137	7,733413098
0,7	0,77	1,630424993	9,924546809
0,8	0,89	1,86334285	11,47122943
0,9	0,97	2,096260706	12,50235118
1	1	2,329178562	12,88902183



Στόχος μας είναι ο προσδιορισμός των τριών παρακάτω εννοιών :

- ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΜΔΚ
- ΠΙΘΑΝΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑ ΠΜΚ : Ένα πραγματικό ή ιδεατό επεισόδιο βροχής με ποσοτικά χαρακτηριστικά ίσα με την ΠΜΚ για την λεκάνη απορροής που ενδιαφέρει και για μια ή περισσότερες διάρκειες που ενδιαφέρουν στην συγκεκριμένη μελέτη
- ΠΙΘΑΝΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑ ΠΜΠ : η πλημμύρα που προκαλείται από την πιθανή μέγιστη κατακρήμνιση η οποία αποτελεί και το τελικό ζητούμενο στις μελέτες σχεδιασμού υδραυλικών έργων.

6.3.4 Χρονική Κατανομή Των Βροχοπτώσεων

Μέθοδος των εναλλασσόμενων υψών βροχής: Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή η βροχόπτωση διάρκειας t και περιόδου επαναφοράς T κατανέμεται ως εξής στην διάρκειά της . Από την σχέση βροχόπτωσης – διάρκειας – περιόδου επαναφοράς που προσδιορίσαμε στο βήμα 2 προκύπτει η σχέση:

$$h_1/h_2=(t_1/t_2)^{1-m}$$

όπου:

h_1 το ύψος βροχής διάρκειας t_1 ,

h_2 το ύψος βροχής διάρκειας t_2 και

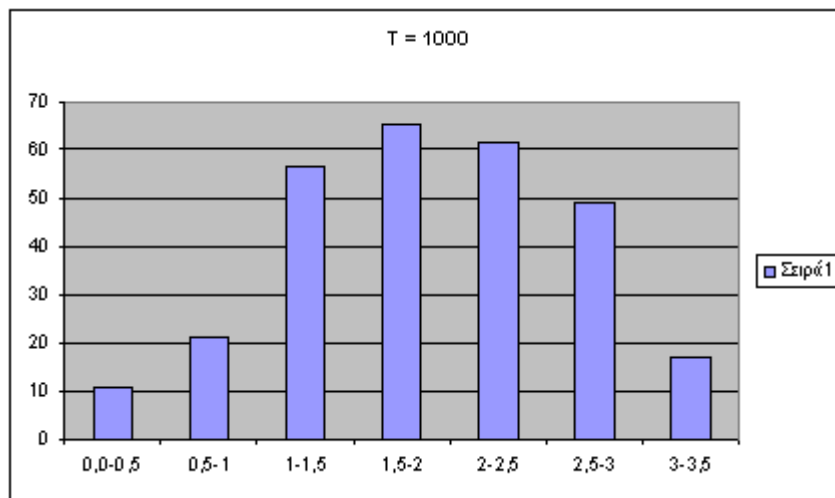
$1-m$ σταθερά που προέκυψε από τις όμβριες καμπύλες DDF για κάθε περίοδο επαναφοράς . Όπως έχουμε ήδη επισημάνει , η περίοδος επαναφοράς με την οποία θα εργαστούμε για την διαστασιολόγηση του υπερχειλιστή είναι $T=1000$ χρόνια .

Με βάση την άνω σχέση υπολογίζεται το ύψος βροχής για κάθε επιμέρους διάρκεια μέσα στην συνολική διάρκεια . Στο φύλλο εργασίας κάναμε την κατανομή του ύψους βροχής P ($T=1000$) για συνολική διάρκεια ίση με την διάρκεια συγκέντρωσης t_c και για χρονικό βήμα ίσο με την διάρκεια της καταιγίδας D η οποία υπολογίσθηκε στην μέθοδο Nevada και χρησιμοποιήθηκε επίσης και στην SCS . Τα ύψη αυτά είναι αθροιστικά . Στην συνέχεια υπολογίζονται οι διαφορές τους που είναι τα ύψη βροχής κάθε χρονικού διαστήματος και

κατόπιν γίνεται η κατανομή ως εξής : Το μεγαλύτερο ύψος τοποθετείται στο κεντρικό χρονικό διάστημα , αμέσως μικρότερο ύψος στο επόμενο χρονικό διάστημα από τα δεξιά το αμέσως μικρότερο ύψος στο επόμενο χρονικό διάστημα στο αριστερά και ου το καθεξής.

ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T (ΕΤΗ)	1-m	
1000	0,2883	
10000	0,2867	
α	0,1401	
k	22,8876	
GIANDOTTI (tc)	3,465297604	hrs
P (1000)	86,20003695	
P (10000)	118,7801494	

T (1000)	0	0	ΔΙΑΦΟΡΑ	ΑΝΑΔΙΑΤΑΞΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΣΕ ΩΡΕΣ	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)
	0,5	0,572276424	0,572276424	0,12658779	0,0-0,5	10,91187217
	1	0,698864214	0,12658779	0,243637058	0,5-1	21,00152343
	1,5	0,785524822	0,658937032	0,658937032	1-1,5	56,80039649
	2	0,853453278	0,194516246	0,759239823	1,5-2	65,44650082
	2,5	0,910162436	0,71564619	0,71564619	2-2,5	61,68872802
	3	0,959283248	0,243637058	0,572276424	2,5-3	49,33024894
	3,5	1,002876882	0,759239823	0,194516246	3-3,5	16,76730757

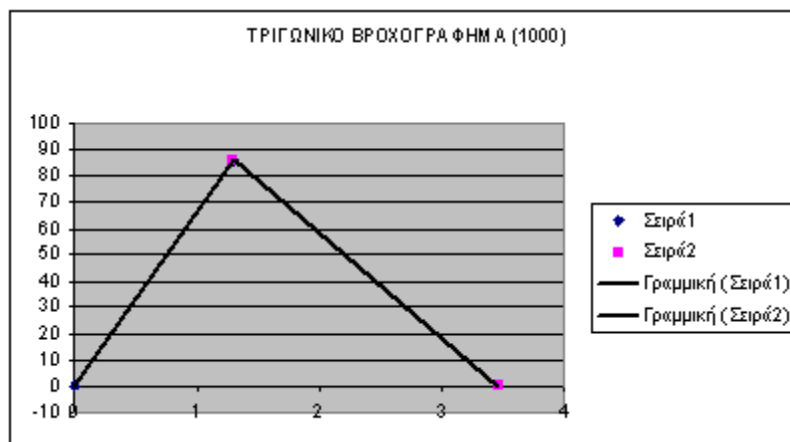


Η άλλη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η Μέθοδος του Τριγωνικού Βροχογραφήματος . Σε αυτήν την μέθοδο το βροχογράφημα έχει σχήμα τριγώνου . Η βάση του τριγώνου αντιπροσωπεύει τη διάρκεια της καταιγίδας ($T_d=tc$) και το εμβαδόν του το συνολικό ύψος βροχόπτωσης (P για την επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς T) . Το ύψος του τριγώνου η αντιπροσωπεύει την αιχμή της έντασης της καταιγίδας και υπολογίζεται από τα γεωμετρικά στοιχεία του τριγώνου . Ο χρόνος εμφάνισης της αιχμής της καταιγίδας τα δίνεται από τον συντελεστή εξέλιξης της καταιγίδας r που ισούται με τον λόγο του χρόνου

αιχμής τα προς την διάρκεια της καταιγίδας δηλαδή $r = ta / Td$. Αν $r=0,5$ τότε η αιχμή της καταιγίδας εμφανίζεται στο μέσο της διάρκειάς της, ενώ αν $r < 0,5$ η αιχμή εμφανίζεται νωρίτερα και αν $r > 0,5$ η αιχμή εμφανίζεται αργότερα.

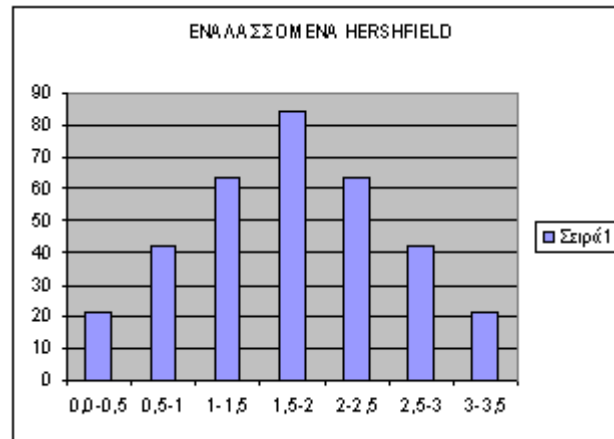
Για τους υπολογισμούς θεωρήσαμε μια μέση τιμή ίση με **$r=0,375$** .

GIANDOTTI (tc)	3,465297604	hrs
r	0,375	
ta	1,299486601	hrs
h	520,8974	mm
0	0	
1,299486601	86,20003695	
3,465297604	0	

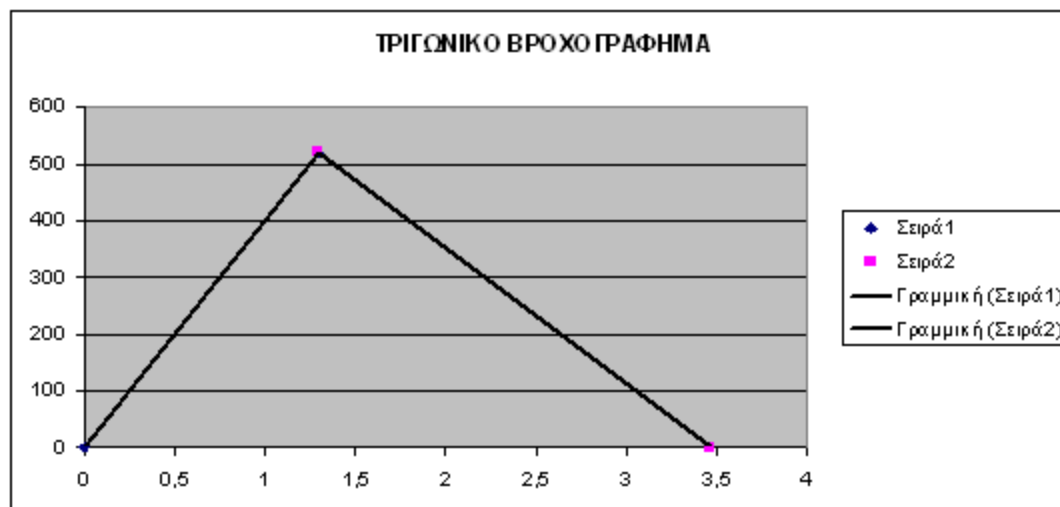


Η για την στατιστική μέθοδο :

HERSHFIELD	0	0	ΔΙΑΦΟΡΑ	ΑΝΑΔΙΑΤΑΞΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΣΕ ΩΡΕΣ	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)
	0,5	0,040631431	0,040631431	0,040631431	0,0-0,5	21,1648067
	1	0,081262862	0,040631431	0,081262862	0,5-1	42,32961339
	1,5	0,121894293	0,081262862	0,121894293	1-1,5	63,49442009
	2	0,162525723	0,081262862	0,162525723	1,5-2	84,65922678
	2,5	0,203157154	0,121894293	0,121894293	2-2,5	63,49442009
	3	0,243788585	0,121894293	0,081262862	2,5-3	42,32961339
	3,5	0,284420016	0,162525723	0,040631431	3-3,5	21,1648067



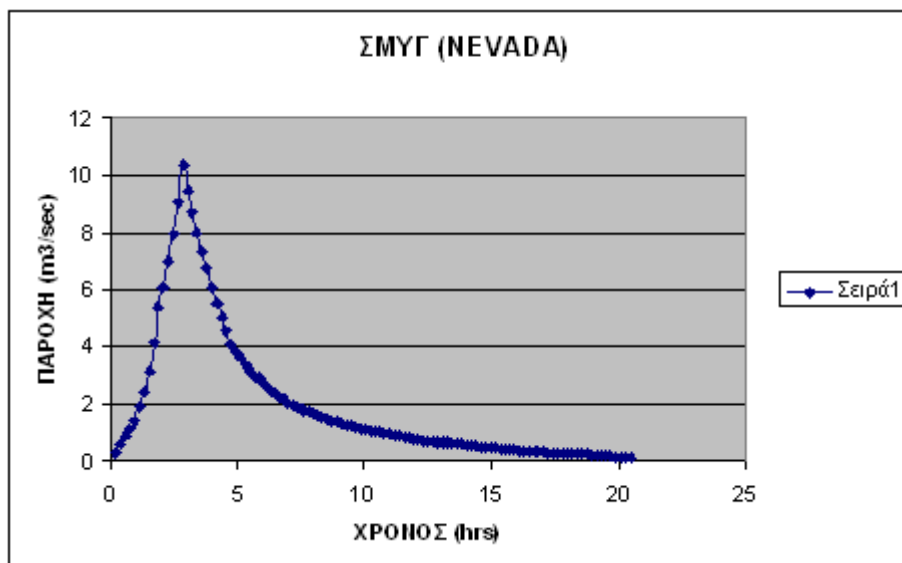
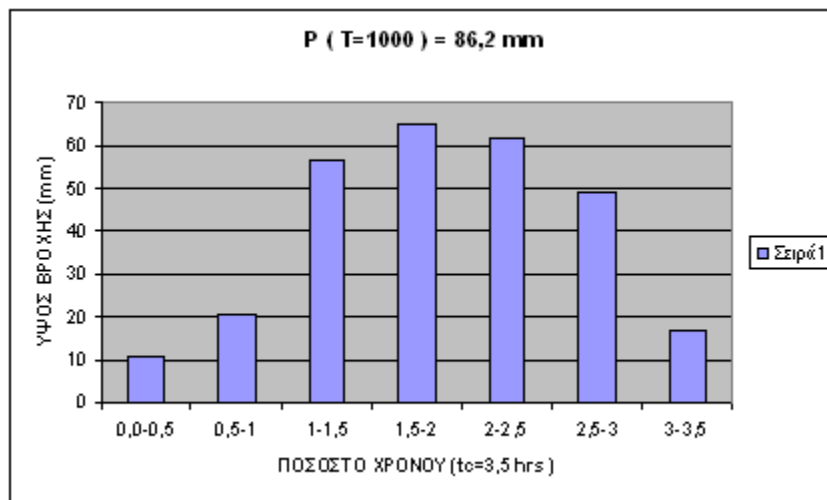
GIANDOTTI (tc)	3,465297604	hrs
r	0,375	
ta	1,299486601	hrs
h	520,8974	mm
0	0	
1,299486601	520,8974	
3,465297604	0	



6.3.5 Εύρεση της πλημμυρικής αιχμής για τον υπερχειλιστή και του πλημμυρικού όγκου

Έχουμε προσδιορίσει μέχρι τώρα το Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα, το οποίο προκαλείται από απορροή 1mm και με την παραδοχή ότι δεν έχουμε απώλειες. Επίσης έχουμε προσδιορίσει και το ύψος βροχής για μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς μέσω των όμβριων καμπυλών το οποίο κατανεμήθηκε στον χρόνο με χρονικό βήμα κοινό με την διάρκεια του Συνθετικού Μοναδιαίου Υδρογραφήματος. Τώρα για να έχουμε το

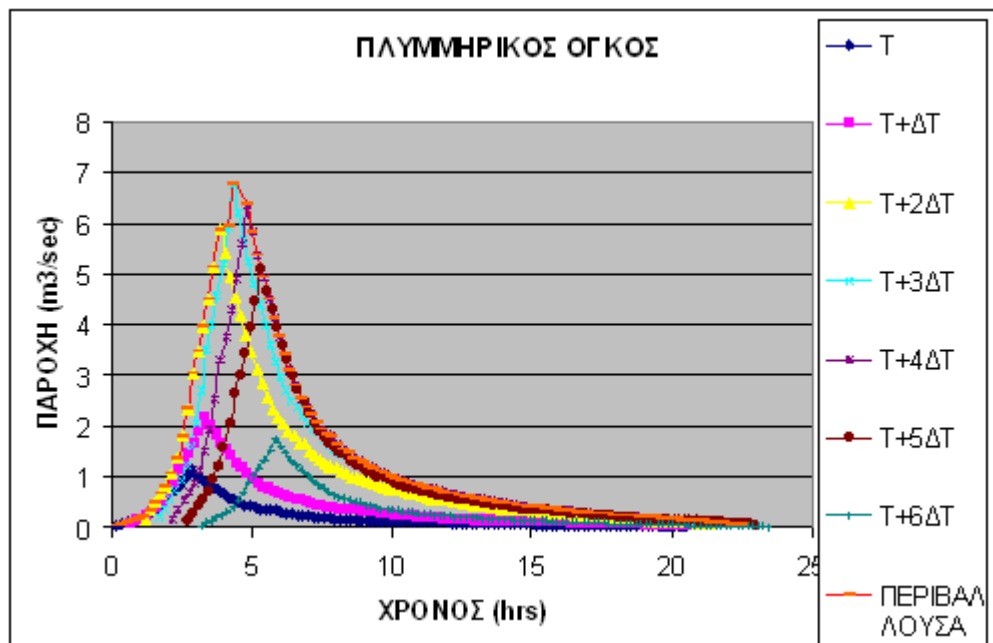
υδρογράφημα που να μας δίνει την παροχή στον χρόνο πρέπει το ύψος βροχής στο οποίο καταλήξαμε μέσω των όμβριων καμπυλών να πολλαπλασιαστεί με το ΣΜΥΓ . Στην ουσία πολλαπλασιάζουμε τις τιμές του διαγράμματος χρονικής κατανομής της βροχόπτωσης με εκείνες του ΣΜΥΓ . Έτσι προκύπτουν 9 καμπύλες οι οποίες έχουν μεταξύ τους μια σχετική μετατόπιση ίση με την κοινή χρονική διάρκεια D που επιλέχθηκε (0,5 ώρες) . Από αυτές τις καμπύλες φέρουμε την περιβάλλουσα η οποία και αποτελεί το υδρογράφημα σχεδιασμού . Η αιχμή του υδρογραφήματος εκφράζει την παροχή σχεδιασμού για τον υπερχειλιστή ενώ το άλλο γράφημα θα διοδευθεί για να προσδιορίσουμε τον πλημμυρικό όγκο .



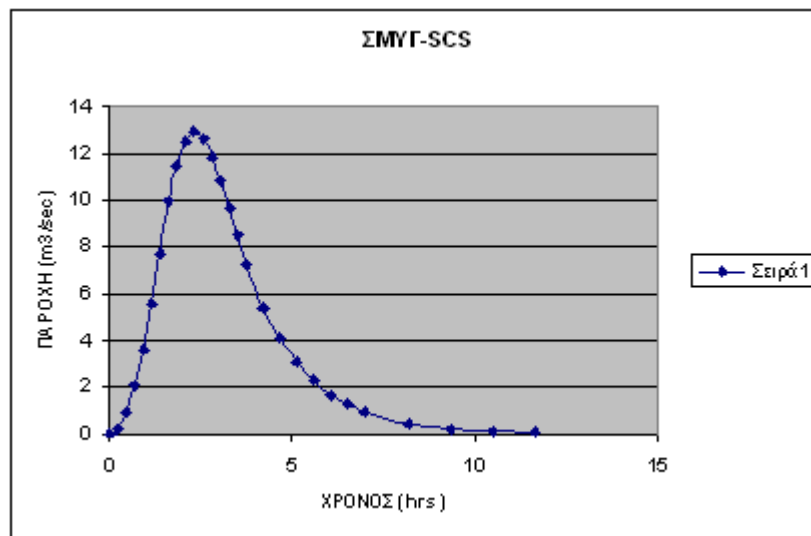
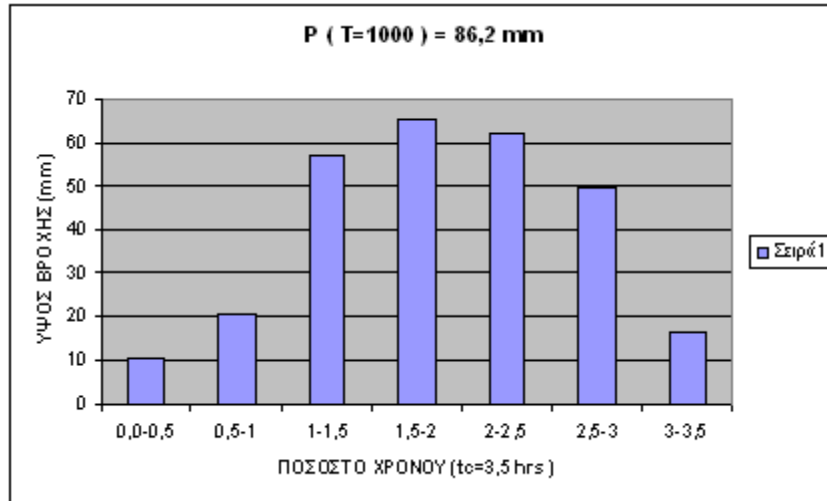
T	T+ΔT		T+2ΔT		T+3ΔT		T+4ΔT		T+5ΔT		T+6ΔT		
0,1894	0,031223	0,689368	0,060093	1,189368	0,162527	1,689368	0,187266	2,189368	0,176514	2,689368	0,141152	3,189368	0,047977
0,3787	0,062446	0,878737	0,120186	1,378737	0,325053	1,878737	0,374532	2,378737	0,353028	2,878737	0,282304	3,378737	0,095956
0,5681	0,093669	1,068105	0,180279	1,568105	0,48758	2,068105	0,561799	2,568105	0,529542	3,068105	0,423455	3,568105	0,143932
0,7575	0,124891	1,257474	0,240372	1,757474	0,650106	2,257474	0,749065	2,757474	0,706056	3,257474	0,564607	3,757474	0,191909
0,9468	0,156114	1,446842	0,300465	1,946842	0,812633	2,446842	0,936331	2,946842	0,882569	3,446842	0,705759	3,946842	0,239887
1,1362	0,203189	1,636211	0,391067	2,136211	1,056773	2,636211	1,218671	3,136211	1,148698	3,636211	0,918572	4,136211	0,312222
1,3256	0,264674	1,825579	0,509404	2,325579	1,377725	2,825579	1,587441	3,325579	1,496295	3,825579	1,196533	4,325579	0,402927
1,5149	0,344412	2,014948	0,662872	2,514948	1,792793	3,014948	2,065691	3,514948	1,947084	4,014948	1,557013	4,514948	0,529227

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ

0,189368	0,031223
0,378737	0,062446
0,568105	0,093669
0,757474	0,124891
0,946842	0,156114
1,136211	0,203189
1,378737	0,325053
1,568105	0,48758
1,757474	0,650106
1,946842	0,812633
2,136211	1,057673
2,325579	1,377725
2,514948	1,792793
2,704316	2,335382
2,893685	3,042998
3,083053	3,470568
3,272422	3,958147
3,46179	4,513238
3,651158	5,148342

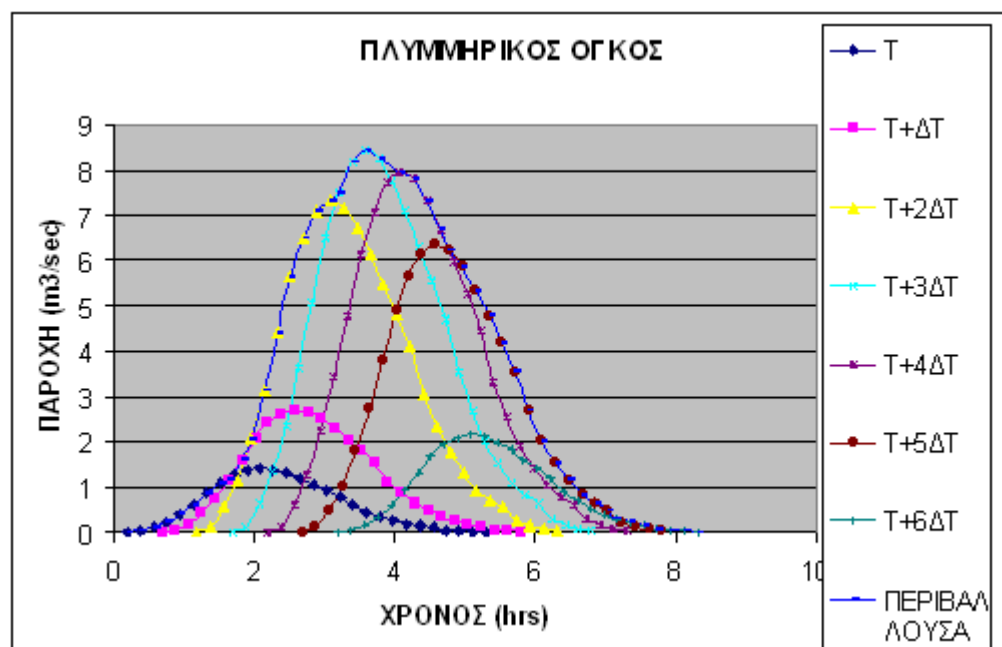


Ή αν είχαμε επιλέξει το ΣΜΥΓ κατά SCS :



T	T+ΔT	T+2ΔT	T+3ΔT	T+4ΔT	T+5ΔT	T+6ΔT							
0,1894	0	0,689368	0	1,189368	0	1,689368	0	2,189368	0	2,689368	0	3,189368	0
0,3787	0,021097	0,878737	0,040603	1,378737	0,109815	1,878737	0,126531	2,378737	0,119266	2,878737	0,095373	3,378737	0,0324
0,5681	0,105483	1,068105	0,203017	1,568105	0,549076	2,068105	0,632656	2,568105	0,596331	3,068105	0,476864	3,568105	0,162086
0,7575	0,225029	1,257474	0,433103	1,757474	1,171362	2,257474	1,349666	2,757474	1,272132	3,257474	1,01731	3,757474	0,345783
0,9468	0,393801	1,446842	0,757929	1,946842	2,049884	2,446842	2,361916	2,946842	2,226301	3,446842	1,780292	3,946842	0,60512
1,1362	0,604766	1,636211	1,163963	2,136211	3,148037	2,636211	3,627228	3,136211	3,418962	3,636211	2,73402	4,136211	0,922929
1,3256	0,84386	1,825579	1,624135	2,325579	4,392609	2,825579	5,061248	3,325579	4,770644	3,825579	3,814912	4,325579	1,296688
1,5149	1,082954	2,014948	2,084306	2,514948	6,367182	3,014948	6,495269	3,514948	6,122327	4,014948	4,895804	4,514948	1,664079
1,704316	1,251726	2,204316	2,409133	2,704316	6,515704	3,204316	7,507518	3,704316	7,076456	4,204316	5,658786	4,704316	1,923416
1,893685	1,364241	2,393685	2,625684	2,893685	7,101385	3,393685	8,182351	3,893685	7,712541	4,393685	6,167441	4,893685	2,096308
2,083053	1,406434	2,583053	2,706891	3,083053	7,321016	3,583053	8,435414	4,083053	7,951074	4,583053	6,358187	5,083053	2,161142
2,272422	1,378305	2,772422	2,662753	3,272422	7,174595	3,772422	8,268706	4,272422	7,792052	4,772422	6,231023	5,272422	1,171791
2,46179	1,293919	2,96179	2,49034	3,46179	6,735334	3,96179	7,760581	4,46179	7,314988	4,96179	5,849532	5,46179	1,988251
2,651158	1,181404	3,151158	2,273788	3,651158	6,149653	4,151158	7,085748	4,651158	6,678902	5,151158	5,340877	5,651158	1,820858
2,840527	1,054825	3,340527	2,030168	3,840527	5,490762	4,340527	6,32656	4,840527	5,963305	5,340527	4,76864	5,840527	1,620858
3,029895	0,928246	3,529895	1,786548	4,029895	4,83187	4,529895	5,567373	5,029895	5,247709	5,529895	4,196403	6,029895	1,426354
3,219264	0,782603	3,719264	1,515859	4,219264	4,098769	4,719264	5,73832	5,219264	4,452601	5,129264	3,560584	6,219264	1,210239

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ	
0,189368	0
0,378737	0,021096504
0,568105	0,105482519
0,757474	0,225029374
0,946842	0,393801404
1,136211	0,604766442
1,325579	0,843860151
1,514948	1,082953861
1,636211	1,163963104
1,825579	1,624134563
1,946842	2,049884341
2,136211	3,148036666
2,325579	4,392609302
2,514948	5,637181938
2,704316	6,515703798
2,893685	7,101385038
3,083053	7,321015503
3,204316	7,507518262
3,393685	8,182351365
3,583053	8,435413778
3,772422	8,266705502



6.3.6 Διόδευση Πλημμύρας

Στην περίπτωση διόδευσης πλημμύρας μέσω ταμιευτήρα η υπολογιστική διαδικασία στηρίζεται στην εξίσωση της συνέχειας :

$$S_2 + \Delta t/2 Q_2 = S_1 + \Delta t/2 + (I_2 + I_1 - Q_1)$$

Όπου το δεύτερο μέλος είναι γνωστό σε κάθε βήμα της διαδικασίας υπολογισμού . Στην σχέση αυτή το I εκφράζει εισροή , το S αποθήκευση και το Q εκροή . Απαιτούνται λοιπόν οι σχέσεις :

- Αποθήκευσης – στάθμης νερού στον ταμιευτήρα που μας δίδεται για την λεκάνη του Μουζακίου
- Στάθμης – Παροχής εκροής που είναι από τον υπερχειλιστή .

Έχουμε λοιπόν :

$$S=f_1(H)$$

$$Q=f_2(H)$$

$$N=S/\Delta t + Q/2$$

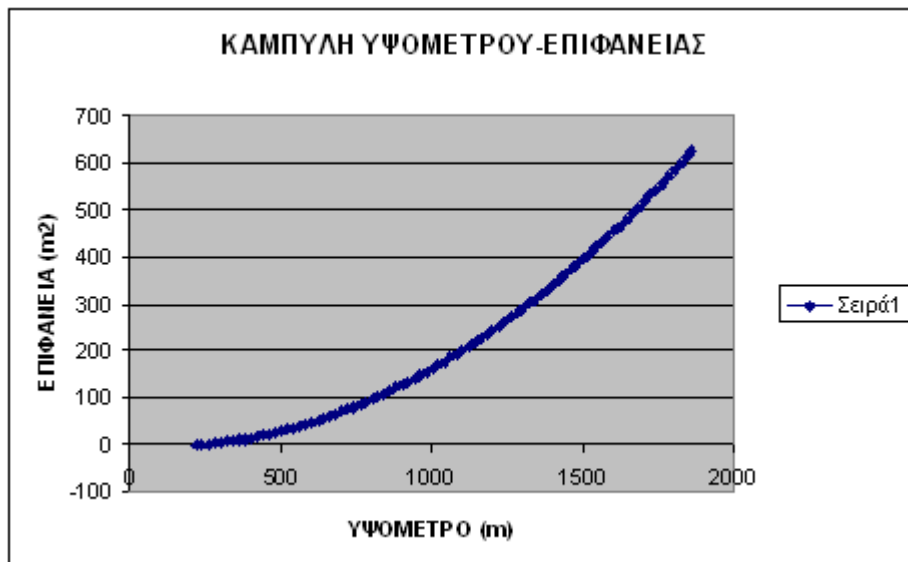
$$I_{1,2}= I_1 + I_2 / 2$$

$$N_{i+1}=N_i+(I_{i,i+1}-Q_i)$$

Συνδυάζω λοιπόν την αποθήκευση , την εκροή και την εισροή έτσι ώστε να μετασχηματίσω το υδρογράφημα εισροής σε υδρογράφημα εκροής μέσω του υπερχειλιστή . Τα βήματα που ακολουθούμε είναι τα εξής :

- Ορίζουμε τα ύψη H από z_0 και πάνω ανά 1 ή για μεγαλύτερη ακρίβεια ανά 0,5 m , όπου z_0 είναι το ύψος στέψεως του υπερχειλιστή ασφαλείας . Για την λεκάνη του Μουζακίου το ελάχιστο υψόμετρο που αποτελεί και το σημείο αναφοράς είναι τα 223 m . Από τις εξισώσεις του Μουζακίου όγκου – ύψους , και έχοντας υπολογίσει τους νεκρούς και ωφέλιμους όγκους , βρίσκουμε το επίπεδο στο οποίο είναι η στάθμη του ταμιευτήρα (νεκρός + ωφέλιμος) πάνω από τον οποίο θα εναποτεθεί ο πλημμυρικός όγκος .

Μουζάκι	$A=0.0002*Y^2-0.035*Y-3.37$	$V=0.0486*Y^2-21.456*Y+2369$



$V_{\omega\phi} =$	9307047	m ³
$V_{νεκρ} =$	2423031	m ³
$V_{\omega\phi} + V_{νεκρ} =$	11730079	m ³
$V=0.0486*Y^2-21.456*Y+2369$		
ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ	223	m
$H(V_{\omega\phi} + V_{νεκρ}) =$	236	m
$H_o =$	236	m
$z_o =$	237	m
$A =$	144100	στρεμ/τα
$\Delta t =$	0,5	hrs
$\Delta t =$	1800	sec

- Η παροχή εκροής δίνεται από την σχέση του υπερχειλιστή σε m³/sec:

$$Q=4,8*(H-z_o)^{3/2}$$

- Η αποθήκευση δίνεται από την σχέση σε 10⁶ m³ :

$$S=(H-H_o)*A/100$$

Όπου H_o είναι η αφετηρία ίση με την στάθμη του υπερχειλιστή

- Το χρονικό βήμα ορίζεται ίσο με $\Delta t=D*3600\text{sec}$, όπου D είναι η κοινή χρονική βάση του ΣΜΥΓ και της χρονικής κατανομής του ύψους βροχής.

- Η αποθηκευτικότητα S διαιρείται με το χρονικό βήμα Δt για να προκύψει παροχή m³/sec

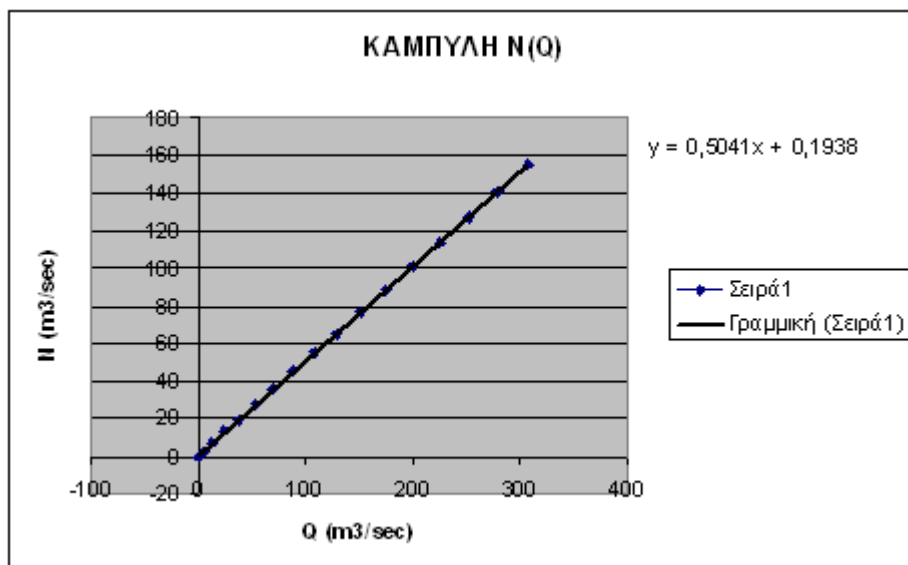
- Η παροχή εκροής διαιρείται δια 2 m³/sec

προσδιορίζεται με τα παραπάνω η σχέση :

$$N=N(Q)=S/\Delta t+Q/2 \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

Της οποίας κάνουμε το γράφημα

H (m)	Q(m3/sec)	S(hm3)	S/ Δt (m3/sec)	Q/2(m3/sec)	N(m3/sec)
236	0	0	0	0	0
237	0	144,1	0,080055556	0	0,080055556
238	4,8	288,2	0,160111111	2,4	2,560111111
239	13,57645	432,3	0,240166667	6,788225099	7,028391766
240	24,941532	576,4	0,320222222	12,47076581	12,79098804
241	38,4	720,5	0,400277778	19,2	19,60027778
242	53,665631	864,6	0,480333333	26,83281573	27,31314906
243	70,545305	1008,7	0,560388889	35,2726523	35,83304118
244	88,897244	1152,8	0,640444444	44,44862203	45,08906647
245	108,6116	1296,9	0,7205	54,3058008	55,0263008
246	129,6	1441	0,800555556	64,8	65,60055556
247	151,78933	1585,1	0,880611111	75,89466384	76,77527496
248	175,11779	1729,2	0,960666667	87,55889447	88,51956113



- Στον επόμενο πίνακα έχουμε ως χρόνο τα πολλαπλάσια του D , την εισροή I σε (m3/sec) και το ημίθροισμα των διαδοχικών εισροών . Από το άνω γράφημα όταν $N=0$, $Q=0$ και $\Delta N=I-Q=I \rightarrow N+\Delta N =N'$. Έτσι πραγματοποιούνται διαδοχικές επαναλήψεις μέχρι τα ΔN να ξεκινήσουν να είναι αρνητικά οπότε σταματάμε .

Τελικός στόχος μας είναι :

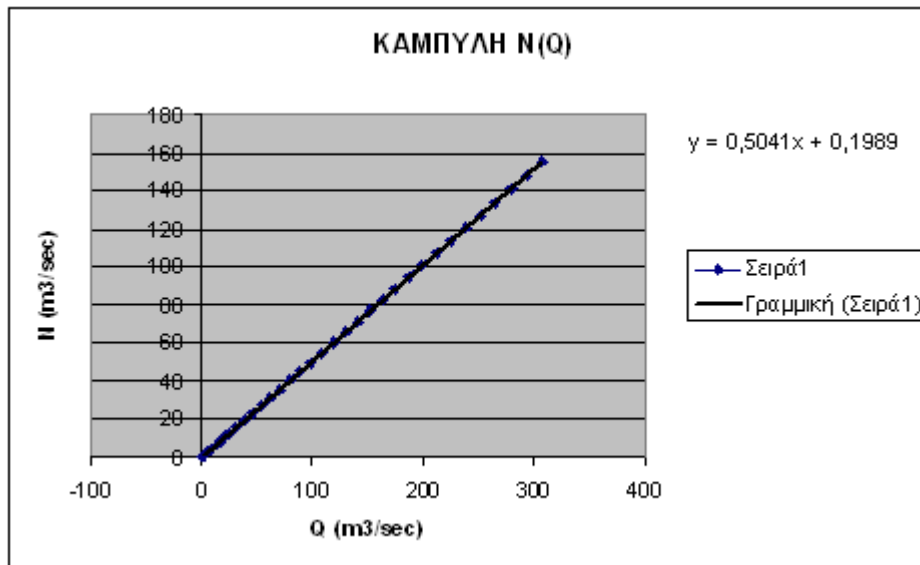
- Να προσδιορίσουμε την μέγιστη παροχή που διέρχεται από τον υπερχειλιστή
- Να προσδιορίσουμε την ανώτατη στάθμη του νερού στον ταμιευτήρα
- Να προσδιορίσουμε την χρονική στιγμή στην οποία συμβαίνουν τα παραπάνω .

t (hrs)	I (m3/sec)	I' (m3/sec)	Q (m3/sec)	$\Delta N = I' - Q$ (m3/sec)	Ni (m3/sec)
0	0,0312228		0		0
0,5	0,0624457	0,04683425	0	0,046834251	0,04683425
1	0,0936685	0,07805708	0	0,078057084	0,12489134
1,5	0,1248913	0,10927992	0,0800858	0,109279918	0,23417125
2	0,1561142	0,14050275	0,19993692	0,060416949	0,2945882
2,5	0,2031886	0,17965138	0,15969582	-0,02028554	0,27430266
3	0,3250532	0,26412088	0,36684731	0,104425065	0,37872773
3,5	0,4875798	0,40631647	0,4451436	0,039469159	0,41819689
4	0,6501063	0,56884305	0,69053034	0,123699457	0,54189634
4,5	0,8126329	0,73136964	0,77154462	0,040839301	0,58273564
5	1,057673	0,93515298	1,09609997	0,163608352	0,746344
5,5	1,3777254	1,2176992	1,33732041	0,121599222	0,86794322
6	1,7927933	1,58525932	1,82916511	0,247938912	1,11588213
6,5	2,335382	2,06408765	2,2951888	0,234922543	1,35080467
7	3,0429978	2,68918991	3,07678195	0,394001108	1,74480578
7,5	3,4705677	3,25678275	3,43385556	0,180000805	1,92480659
8	3,9581475	3,71435761	3,99029684	0,28050205	2,20530864
8,5	4,5132383	4,23569289	4,47709717	0,24539605	2,45070469
9	5,1483422	4,83079024	5,17872991	0,353693061	2,80439775
9,5	5,8709604	5,50965129	5,83518969	0,330921378	3,13531912
10	5,9320181	5,90148925	5,96671034	0,066299558	3,20161868
10,5	6,7646326	6,34832536	6,72373279	0,381615018	3,5832337
11	6,3762245	6,57042854	6,41961804	-0,153304249	3,42992945
11,5	5,8493984	6,11281146	5,81099559	-0,306806574	3,12312288

ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΥ ΔΙΕΡΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ Q_{max}	6,723733	m3/sec
ΑΝΩΤΑΤΗ ΣΤΑΘΜΗ H	238,2491	m
Q_{max} ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ	10,5	hrs

Επιλέγουμε όμως για μεγαλύτερη ακρίβεια ως βήμα στο ύψος τα 0,5 μ για μεγαλύτερη ακρίβεια :

H (m)	Q(m3/sec)	S(hm3)	S/ Δt (m3/sec)	Q/2(m3/sec)	N(m3/sec)
236	0	0	0	0	0
236,5	0	72,05	0,040027778	0	0,04002778
237	0	144,1	0,080055556	0	0,08005556
237,5	1,69705627	216,15	0,120083333	0,848528137	0,96861147
238	4,8	288,2	0,160111111	2,4	2,56011111
238,5	8,81816307	360,25	0,200138889	4,409081537	4,60922043
239	13,5764502	432,3	0,240166667	6,788225099	7,02839177
239,5	18,973666	504,35	0,280194444	9,486832981	9,76702742
240	24,9415316	576,4	0,320222222	12,47076581	12,790988
240,5	31,429922	648,45	0,36025	15,71496102	16,075211
241	38,4	720,5	0,400277778	19,2	19,6002778
241,5	45,8205194	792,55	0,440305556	22,91025971	23,3505653
242	53,6656315	864,6	0,480333333	26,83281573	27,3131491
242,5	61,913488	936,65	0,520361111	30,95674401	31,4771051
243	70,5453046	1008,7	0,560388889	35,2726523	35,8330412
243,5	79,5447044	1080,75	0,600416667	39,77235221	40,3727689
244	88,8972441	1152,8	0,640444444	44,44862203	45,0890665



t (hrs)	I (m³/sec)	I' (m³/sec)	Q (m³/sec)	ΔN = I'-Q (m³/sec)	Ni (m³/sec)
0	0,031222834		0		0
0,5	0,062445668	0,04683425	0	0,046834251	0,046834251
1	0,093668501	0,07805708	0	0,078057084	0,124891335
1,5	0,124891335	0,10927992	0,06996876	0,109279918	0,234171253
2	0,156114169	0,14050275	0,20988939	0,070533989	0,304705243
2,5	0,203188595	0,17965138	0,14990524	-0,03023801	0,274467232
3	0,325053173	0,26412088	0,37647862	0,114215642	0,388682875
3,5	0,48757976	0,40631647	0,43566895	0,029837842	0,418520716
4	0,650106346	0,56884305	0,69985087	0,133174106	0,551694822
4,5	0,812632933	0,73136964	0,76237571	0,031518773	0,583213595
5	1,057673017	0,93515298	1,10511974	0,172777266	0,755990861
5,5	1,377725373	1,2176992	1,32844736	0,112579454	0,868570316
6	1,792793271	1,58525932	1,83789382	0,256811959	1,125382274
6,5	2,335382029	2,06408765	2,28660207	0,22619383	1,351576105
7	3,042997783	2,68918991	3,085229	0,402587833	1,754163938
7,5	3,470567726	3,25678275	3,42554591	0,171553756	1,925717694
8	3,958147486	3,71435761	3,99847131	0,288811694	2,214529388
8,5	4,51323829	4,23569289	4,46905567	0,237221576	2,451750964
9	5,148342182	4,83079024	5,1866406	0,361734564	2,813485528
9,5	5,87096039	5,50965129	5,82740768	0,323010683	3,136496211
10	5,932018114	5,90148925	5,97436577	0,074081573	3,210577784
10,5	6,764632603	6,34832536	6,71620189	0,37395959	3,584537374
11	6,376224483	6,57042854	6,42702643	-0,145773349	3,438764025
11,5	5,84939844	6,11281146	5,8037077	-0,314214972	3,124549053

ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΑΡΟΧΗ ΠΟΥ ΔΙΕΡΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΝ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗ Q_{max}	6,716201892	m ³ /sec
ΑΝΩΤΑΤΗ ΣΤΑΘΜΗ H	238,248195	m
Q_{max} ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΔΙΟΔΕΥΣΗΣ	10,5	hrs
Μονζάκι	$V=0.0486*Y^2-21.456*Y+2369$	
ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	$V_{\omega\phi}+V_{νεκρ}+V_{\pi\lambda}$	
238,248195	15,7897658	hm ³
$V_{\omega\phi} + V_{νεκρ}$	11,73007855	hm ³
$V_{\pi\lambda}$	4,059687248	hm ³

6.4 Συμπεράσματα κεφαλαίου

Όσων αφορά τον νεκρό όγκο επιλέξαμε την μέθοδο του Miller ως τελικό αποτέλεσμα διότι περιλαμβάνει στον υπολογισμό την συμπίεση των φερτών στην πορεία του χρόνου , σημαντική παράμετρο την οποία δεν συμπεριλαμβάνουν οι άλλες μέθοδοι . Για τον ωφέλιμο χρησιμοποιήσαμε τελικά την μέθοδο Dincer γιατί περιλαμβάνει στατιστική παράμετρο του επιπέδου ικανοποίησης της ζήτησης και γιατί για αρδευτική χρήση μας δίνει ένα αποδεκτό όγκο. Εν τέλει για το πλημμυρικό όγκο από τις αιχμές των δύο μεθόδων η μέθοδος SCS μας δίνει μεγαλύτερο αποτέλεσμα κάτι το οποίο μπορεί να μας οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση.

Παρακάτω παραθέτουμε τα τελικά αποτελέσματα του υδρολογικού σχεδιασμού:

ΝΕΚΡΟΣ ΟΓΚΟΣ			
GAVRILOVIC	2,26083524	hm3	
USLE	2,86933864	hm3	
MIMIKOY	2,42303109	hm3	
ΩΦΕΛΙΜΟΣ ΟΓΚΟΣ			
RIPPL	1,2	hm3	
STALL	24,01	hm3	
DINCER	9,30704747	hm3	
ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΣ ΟΓΚΟΣ			
DDF-NEVADA	3,25	hm3	
DDF-SCS	4,25	hm3	
ΤΕΛΙΚΟΙ ΟΓΚΟΙ			
Υνεκρ =	2,42303109	hm3	
Υωφ =	9,30704747	hm3	
Υπλυμ =	4,05968725	hm3	
ΥΨΟΜΕΤΡΑ			
Υνεκρ =	237,249335	m	Ελαχιστη σταθμη
Υωφ =	233,898312	m	Σταθμη Υπερχειλισης
Υπλ =	241,95363	m	Σταθμη Φραγματος
ΑΠΟΛΥΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ			
Υωφ =	10,8983123	m	
Υνεκρ =	3,35102259	m	
Υπλ =	4,7042947	m	

Κεφάλαιο 7 Επιλογή και διαστασιολόγηση του φράγματος και υδραυλικών έργων ασφαλείας

7.1 Επιλογή Φράγματος

Επιλέξαμε στην εργασία μας να κατασκευάσουμε χωμάτινο φράγμα . Η αιτιολόγηση φαίνεται παρακάτω . Γενικά τα χωμάτινα φράγματα κατασκευάζονται με γαιώδη υλικά που διατηρούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους . Αντλούν την αντοχή τους από την τοποθέτηση ,τον συντελεστή εσωτερικής τριβής και την συνάφειά τους . Παρόλη όμως την συμπύκνωσή τους αφήνουν κενά ανάμεσα στους κόκκους . Σε αντίθεση με τα υλικά του σκυροδέματος που συσσωματώνονται σε μια ενιαία σκληρή και अपαραμόρφωτη μάζα τα γαιώδη υλικά συνιστούν μια εύπλαστη και εύκαμπτη μάζα που μπορεί να παρακολουθήσει ελαφρές υποχωρήσεις του εδάφους στο οποίο θεμελιώνεται χωρίς κίνδυνο καταστροφής . Ένα χωμάτινο φράγμα κατασκευάζεται κατά επάλληλες στρώσεις που συμπυκνώνονται με μηχανικά μέσα Το υλικό εκσκάπτεται από δανειοθαλάμους που έχουν ερευνηθεί ως προς την ποιότητα του υλικού , μεταφέρεται με φορτηγά αυτοκίνητα στην θέση του φράγματος , διαστρώνεται με graders για παράδειγμα σε στρώσεις μικρού πάχους 0,50-0,30m , καταβρέχεται για να αποκτήσει την κατάλληλη υγρασία και συμπυκνώνεται με οδοστρωτήρες . Τα χωμάτινα φράγματα έχουν συνήθως τραπεζοειδή διατομή με κλίσεις . Τα γαιώδη υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται είναι υδατοδιαπερατά μέσα και κάτω από το φράγμα . Για την αντιμετώπιση αυτής της υγρασίας που εισέρχεται πέρα από την καλύτερη δυνατή συμπύκνωση που μπορούμε να επιδιώξουμε , εσωτερικά τοποθετούμε συμπυκνωμένα στρώματα αργίλου –αργιλικός πυρήνας – και κάτω από το φράγμα πραγματοποιούμε κουρτίνα τσιμεντενέσεων . Τα χωμάτινα φράγματα τα προτιμούμε όταν απαιτείται μεγάλο ύψος και μήκος φράγματος και όταν το έδαφος θεμελίωσης δεν είναι πολύ καλό για σταθερότητα και από άποψη διήθησης . Σε αυτό το σημείο ας θυμηθούμε τα χαρακτηριστικά της λεκάνης του Μουζακίου και τον μέχρι τώρα υδρολογικό σχεδιασμό .

Χαρακτηριστικά		Πύλη	Μουζάκι	Μεσοχώρα
Ελάχιστο	Υψόμετρο	281	223	674

Μισγάγγειας (m)

Είδος	εδαφικού	Αλλουβιακό	Αλλουβιακό	Αλλουβιακό
στρώματος		Αμμοχαλικώδες	Αμμοχαλικώδες	Αμμοχαλικώδες
Οριζόντια υδραυλική		1,31	0,46	59,47
αγωγιμότητα (cm/s)				
Μέγιστο βάθος				
εδαφικού στρώματος		15,3	21,6	5,37
στη μισγάγγεια (m)				
(από την επιφάνεια				
του εδάφους μέχρι το				
υδραυλικά				
αδιαπέρατο στρώμα)				

Από τα χαρακτηριστικά αυτά καθώς και από τον πίνακα που παρατίθεται για τον προσδιορισμό του νεκρού όγκου , έχουμε μια έκταση με αρκετά έντονες κλίσεις άρα με σχετικά στενό πλάτος και αμμώδες άρα σχετικά διαπερατό έδαφος . Από την στιγμή που το υλικό θεμελίωσης είναι διαπερατό και επιτρέπει την ροή κάτω από το φράγμα , το να επιλέξουμε ένα υλικό σαν το σκυρόδεμα θα είναι αντιοικονομικό για τον συνολικό προϋπολογισμό του φράγματος λόγω μεγάλου όγκου (από τον υδρολογικό σχεδιασμό καταλήξαμε σε ένα φράγμα ύψους περί τα 23 m) και λόγω των επιπρόσθετων έργων που θα αποτρέπουν από ανεπιθύμητες ροές . Αν υποθέσουμε λοιπόν ότι υπάρχει κοντά μια θέση εκσκαφής που μειώνει το κόστος μεταφοράς , λόγω του μεγάλου όγκου είναι καλύτερο να προτιμήσουμε το χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα και άλλα έργα άρα ετερογενές φράγμα και να επενδύσουμε περισσότερο στα τεχνικά έργα που θα μας προστατέψουν από την αστοχία . Γενικά πάντως ένα σημαντικό κίνητρο για να προτιμήσουμε ένα χωμάτινο είναι τα χαμηλά κόστη σε σχέση με τα φράγματα από σκυρόδεμα .

Ετερογενή φράγματα : Ο πιο συνηθισμένος τύπος χωμάτινου φράγματος είναι αυτός που σε μια διατομή του έχει μια ζώνη από αδιαπέρατο υλικό (πυρήνας) της οποίας οι ανάντη και κατάντη επιφάνειες προστατεύονται με ζώνες από ημιπερατά υλικά ενώ διαπερατά υλικά αποτελούν το σώμα του φράγματος . Τα τμήματα αυτά λέγονται κελύφη γιατί συγκρατούν το ουσιαστικά αδιαπέρατο τμήμα του φράγματος και το προστατεύουν ανάμεσά τους . Αν

κατασκευαστούν μόνο με αδιαπέρατο τμήμα (πυρήνα) σε μικρό πλάτος το νερό δε θα μπορούσε να περάσει . Λόγω όμως της πολύ μικρής γωνίας τριβής το πλάτος θα έπρεπε να είναι τεράστιο για την ευστάθειά του . Αντίθετα αν κατασκευαζόταν μόνο το διαπερατό τμήμα για να μειωθεί η διήθηση θα έπρεπε το μήκος του να είναι τεράστιο και πρακτικά ανεφάρμοστο . Έτσι γίνεται συνδυασμός των πλεονεκτημάτων των διαφόρων υλικών για την κατασκευή κατά τον καλύτερα τεχνικό και οικονομικά συμφέροντα τρόπο .

7.2 Διαστασιολόγηση Φράγματος

7.2.1 Ύψος κύματος hK

Τα χωμάτινα φράγματα πρέπει να έχουν αρκετά ελεύθερο ύψος πάνω από την μέση στάθμη της λίμνης για να μην υπερπηδούνται από τα κύματα που δημιουργεί ο άνεμος . Από πειραματικές έρευνες στις ΗΠΑ σε δύο μεγάλες λίμνες βρέθηκε ότι για τον υπολογισμό του ύψους των κυμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση που ισχύει για τα κύματα των ωκεανών με την αλλαγή του συντελεστή . Έχουμε λοιπόν :

$$H=0,005 * V^{1,06} * L^{0,47}$$

Όπου:

H το μέσο ύψος των κυμάτων σε m

V η ταχύτητα του ανέμου km/h

L το μήκος της λίμνης σε km.

7.2.2 Ελεύθερο ύψος hελ

Το ελεύθερο ύψος για το χωμάτινο φράγμα θεωρείται ίσο με 3m .

7.2.3 Πλάτος της στέψης

Δίνεται από την σχέση:

$$W=3,6 \sqrt[3]{h} - 3 \text{ σε m}$$

Όπου h το ύψος του φράγματος πάνω από την κοίτη του ποταμού .

7.2.4 Πλάτος βάσης

Δίνεται από την σχέση

$$L=10+5 h$$

Όπου L το πλάτος της βάση σε m και h το ύψος του φράγματος σε m.

7.2.5 Κλίσεις πρανών

Οι επιλεγμένες τιμές κλίσης των πρανών είναι τιμές που λαμβάνονται συνήθως δηλαδή

Κλίση ανάντη : 1: 2,5

Κλίση κατόντη : 1: 2,5

7.2.6 Πυρήνας

Επιλέγεται πυρήνας με άργιλο με πλάτος βάσης ίσο με 2,5 φορές το ύψος του φράγματος .

$$B=2,5 H$$

7.2.7 Διήθηση

Το νερό που συγκεντρώνεται πίσω από ένα φράγμα τείνει πάντοτε να διαφύγει προς τα κατόντη μέσα ή κάτω από το φράγμα . Αυτή η τάση δημιουργεί 3 βασικά προβλήματα διήθησης που μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές δυσκολίες και σε ορισμένες περιπτώσεις να οδηγήσουν στην καταστροφή του φράγματος . Τα προβλήματα είναι τα εξής :

- Διάνοιξη διαύλων (διασωλήνωση) που συμβαίνει όταν το νερό παρασύρει κόκκους εδάφους και τους μεταφέρει μέσα από τα κενά του εδάφους . Αναπτύσσονται έτσι δίαυλοι μέσα στο σώμα του φράγματος ή στο έδαφος της θεμελίωσης .
- Αστοχίες των πρανών που προκαλούνται από δυνάμεις διήθησης
- Σημαντικές απώλειες νερού .

Για τον έλεγχο της διήθησης υπάρχουν τρεις σημαντικές μέθοδοι :

- Η χρησιμοποίηση φίλτρων για την αποφυγή της διασωλήνωσης
- Η κατασκευή αδιαπέρατων στρωμάτων για την μείωση της διήθησης
- Η χρήση στραγγιστηριών.

Η διήθηση μέσα ή κάτω από το φράγμα μπορεί να τεθεί υπό έλεγχο αν ληφθούν ορισμένα μέτρα ελέγχου χωρίς όμως και να εξαλειφθεί . Το νερό πάντα θα βρίσκει διόδους που παρουσιάζουν την μικρότερη αντίσταση μέσα σε ένα πορώδες στρώμα . Γι αυτόν τον λόγο σε κάθε σημαντικό φράγμα πρέπει να εγκαθίστανται όργανα που θα ελέγχουν την πορεία της διήθησης . Παράλληλα ένα τελειωμένο φράγμα θα πρέπει να ελέγχεται για να είναι σίγουρη η βιωσιμότητα του .

7.2.8 Αδιαπέρατος τάπητας ανάντη

Το μήκος της διαδρομής του διηθούμενου νερού σε διαπερατά εδάφη μπορεί να αυξηθεί με την κατασκευή ενός τάπητα από αδιαπέρατο υλικό που συνδέεται με τον πυρήνα και κατασκευάζεται προς τα ανάντη . Εφαρμόζεται όταν το βάθος του διαπερατού στρώματος είναι μεγάλο και στην περίπτωσή μας είναι σημαντικό (21,6m). Ο τάπητας εκτείνεται όχι μόνο στον πυθμένα της κοιλάδας αλλά και στα πρανή . Το μήκος του τάπητα το δεχόμαστε 6 ή 8 φορές το ύψος του νερού στην θέση του φράγματος ή από την σχέση :

$$x = K * h * d - p * Q * L / P * Q$$

όπου:

x το μήκος του μονωτικού τάπητα

K ο συντελεστής διαπερατότητας του διαπερατού στρώματος κατά την οριζόντια κατεύθυνση

h το βάθος του νερού

d το βάθος του διαπερατού στρώματος

p η εκατοστιαία επιθυμητή μείωση της ροής

L το πλάτος του φράγματος

Q η παροχή διήθησης κάτω από το φράγμα χωρίς τον τάπητα .

7.2.9 Υπολογισμός της διήθησης

Η ροή ανά μέτρο μήκους μεταξύ δύο γραμμών ροής μπορεί να προσδιοριστεί από την εξίσωση του Darcy :

$$Q=k*i*E$$

Όπου:

Q η παροχή σε m³/sec

E η επιφάνεια σε m² από την οποία περνά το νερό

i υδραυλική κλίση

K συντελεστής διαπερατότητας

Για μοναδιαίο μήκος :

$$Q= k * y \, dy/dx$$

Ο Koreny για $\phi=180^\circ$ η γραμμή διήθησης εξαρτάται από την σχέση :

$$x=y^2-y_o^2 / 2 \, y_o$$

η οποία είναι εκφράζει παραβολή με :

$$y_o=(\sqrt{h^2 + L^2}) - L$$

Το σημείο στο οποίο η παραβολή τέμνει το κατάντη πρηνές του φράγματος βρίσκεται από την εξίσωση της παραβολής σε πολικές συντεταγμένες :

$$r=y/1-\sin\phi$$

$$r=\alpha+\alpha'$$

$$y=y_o$$

$$\alpha+\alpha'=y_o/1-\sin\phi$$

Στην πραγματικότητα η γραμμή διήθησης δεν ακολουθεί την παραβολή αλλά κοντά στο κατάντη πρανές χαμηλώνει και τέμνει το πρανές στο σε ένα σημείο . Ο Casagrande απέδειξε ότι η τιμή του α ποικίλλει ανάλογα με την γωνία ϕ του πρανούς .

7.2.10 Διήθηση με στραγγιστικό τάπητα

Τα περισσότερα φράγματα έχουν στο κατάντη άκρο τους στραγγιστικό τάπητα για να διατηρείται χαμηλά η γραμμή κορεσμού και να αποφεύγεται η έξοδος του διηθούμενου νερού στο κατάντη πρανές .

Η εφαρμογή του στραγγιστικού τάπητα κατάντη παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την κατασκευή στραγγιστήρα στο κατάντη άκρο . Για την διευκόλυνση των υπολογισμών της διήθησης στο φράγμα , χωρίζουμε το φράγμα σε τρία τμήματα :

- το ανάντη τμήμα
- το μεσαίο τμήμα
- το κατάντη τμήμα .

Για το ανάντη τριγωνικό τμήμα το οποίο θεωρούμε ορθογώνιο με ύψος εκείνο του φράγματος και μήκος ίσο με :

$$\Delta L = \beta \cdot H$$

Όπου:

H το ύψος του νερού

β συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τον λόγο L/H και την κλίση των πρανών m .

Το ύψος της γραμμής κορεσμού δίνεται μέσω της σχέσης του Dupuit από την σχέση :

$$h = H \cdot (\sqrt{1 - 2q/kH \cdot (\beta + 0,1)})$$

όπου ο λόγος q/kH δίνεται από πίνακα συναρτήσεων του λόγου L/H .

Καθώς προχωράμε στο τμήμα II το άγνωστο ύψος σε διατομή της γραμμής κορεσμού δίνεται από την σχέση :

$$h_x = \sqrt{h^2 - 2q/k \cdot x}$$

Στο τρίτο και τελευταίο τμήμα της διατομής πάλι με βάση την σχέση του Dupuit δίνεται από την παρακάτω εξίσωση :

$$h = H \cdot \sqrt{1 + (\Delta l_1 h_o^2 / H^2) / (1 + \Delta l_1)}$$

7.2.11 Διαστάσεις του στραγγιστικού τάπητα

Η κύρια λειτουργία της στράγγισης είναι να αυξήσει την απόσταση ανάμεσα στην γραμμή κορεσμού και το κατάντη πρανές . Όσο βαθύτερα μέσα στο φράγμα βρίσκεται η γραμμή κορεσμού τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση . Επειδή η κατασκευή του τάπητα είναι δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία κατασκευάζεται με το μικρότερο δυνατό μήκος . Το ελάχιστο μήκος του τάπητα προκύπτει από τον προσδιορισμό της ελάχιστης απόστασης α της γραμμής κορεσμού από το πρανές που εξαρτάται από το βάθος το οποίο μπορεί να φτάσει ο παγετός στο έδαφος και η τριχοειδής ανύψωση του φρεάτιου ορίζοντα :

$h_k = q \cdot m/k$ το ύψος της γραμμής κορεσμού σε μια διατομή κατάντη

$\alpha = (l_{στ} + x) \eta m - h_k$ συν α η απόσταση της γραμμής κορεσμού από το πρανές

$l_{στ} = \alpha / \eta m + m h_k - x$ το μήκος του τάπητα

$\Delta l_{στ} = H \cdot f(l_{στ}/H)$ το μήκος του ενεργού τμήματος

Επειδή το ύψος της γραμμής κορεσμού είναι συνάρτηση του μήκους του τάπητα η λύση επιτυγχάνεται με την υπόθεση διαφόρων τιμών μήκους τάπητα και εύρεση των αντίστοιχων τιμών ύψους γραμμής κορεσμού και απόστασης από το πρανές η οποία πρέπει να είναι μια αποδεκτή τιμή .

7.2.12 Στραγγιστήρας στο κατάντη άκρο

Σε πολλές περιπτώσεις τα χωμάτινα φράγματα έχουν στραγγιστήρα στο κατάντη άκρο τους. Η κλίση του κατάντη πρανούς του στραγγιστήρα είναι ίδια με την κλίση του κατάντη πρανούς ενώ η ανάντη διαμορφώνεται κατάλληλα. Η κατασκευή στραγγιστήρα έναντι τάπητα παρουσιάζει πλεονεκτικότερη είσοδο του νερού όσο και στην πτώση της γραμμής κορεσμού. Η ποσότητα που στραγγίζει στο στραγγιστήρα είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα του στραγγιστικού τάπητα. Η διαδικασία είναι παρόμοια με του τάπητα :

$l_{στ} = b_1 + (m_2 + m_3) h_{στ}$ σχέση η οποία συσχετίζει τις διαστάσεις του στραγγιστήρα

$\alpha = l_{στ} \eta_{μα} (1 - (m_2 - m_1)/(m_2 + m_3) + b_1 \eta_{μα} ((m_2 - m_1)/(m_2 + m_3) - 1) - h_k \sigma_{να} + x \eta_{μα}$

Διήθηση σε χωμάτινο φράγμα με πυρήνα

Το φράγμα θεωρητικά χωρίζεται σε τρεις ζώνες με διαφορετική διήθηση η κάθε μια

- Το ανάντη τμήμα του πυρήνα με συντελεστή διαπερατότητας K_1
- Τον πυρήνα με συντελεστή διαπερατότητας K_0
- Το κατάντη τμήμα με συντελεστή διαπερατότητας K_2 το οποίο εμείς θεωρούμε ίσο με K_1 .

Η ποσότητα διήθησης ρυθμίζεται από τον πυρήνα γιατί η διαπερατότητά του είναι πάντα πιο μικρή από τις υπόλοιπες ζώνες του φράγματος. Αποτέλεσμα αυτού είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στο ανάντη τμήμα να είναι πολύ ψηλά ενώ στο κατάντη πολύ χαμηλά με μικρή κλίση προς τον στραγγιστήρα. Είναι αποδεκτό να θεωρήσουμε ότι η στάθμη στο ανάντη τμήμα είναι ίδια με του ταμιευτήρα :

$h_1 = H \sqrt{(K_0 L_{στ} / (K_0 L_{στ} + K_1 t))}$ το φορτίο αμέσως μετά τον πυρήνα

$H_1 = \sqrt{(H^2 - 2q_0 / K_1 (\beta * H + C))}$ το φορτίο του πυρήνα

$h_a = H - H_1$ η απώλεια φορτίου στο ανάντη τμήμα

7.3 Υπερχειλιστής

Οι υπερχειλιστές είναι τεχνητές υδραυλικές κατασκευές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της ροής σε φυσικούς ή τεχνητούς αγωγούς ή και για την μέτρηση της παροχής τους. Επίσης ο υπερχειλιστής είναι έργο που αποσκοπεί στη διατήρηση της στάθμης του νερού στο προκαθορισμένο απόλυτο υψόμετρο. Σε περίοδο πλημμυρών τα ρεύματα που τροφοδοτούν τον ταμιευτήρα (λίμνη) ανυψώνουν τη στάθμη του. Η ανύψωση αυτή της στάθμης του ταμιευτήρα πρέπει να διατηρείται μέχρι μια μέγιστη στάθμη κάτω από τη στέψη του φραγματος για να μην υπάρχει κίνδυνος υπερχειλίσσης του νερού πάνω από το φράγμα και καταστροφή του. Έτσι ο υπερχειλιστής λειτουργεί ως μια δικλίδας ασφαλείας ενός φραγματος. Αποτελείται δε από έναν κατακορυφό τοίχο, ο οποίος υπερυψώνει τη στάθμη του νερού στα ανάντη, και από ένα ανοίγμα, συνήθως ορθογωνικής διατομής, μέσα από το οποίο εκχειλίζεται η ροή. Το νερό των αγωγών έχει στους ακινητούς υπερχειλιστές τις εξής δυνατότητες ροής: πτώση του νερού μετά την υπερχειλίση του πάνω από τον ακίνητο τοίχο του εκχειλίστη, που φράζει τη ροή, όπως π.χ. σε φράγματα με ελεύθερη υδατόπτωση, όπου ο υδάτινος κορμός πέφτει ελεύθερα και με φυσικό αερισμό. Από υδραυλική άποψη η αποδοτικότητα ενός υπερχειλίστη αυξάνει, όσο λιγότερους στροβίλους δημιουργεί στη ροή η παρουσία του. Αυτό διότι ο στροβιλισμός προκαλεί τη μείωση του συντελεστή υπερχειλίσσης μ , με συνέπεια την προσθετή υπερύψωση της στάθμης του νερού στα ανάντη του. Στο συγκεκριμένο φράγμα επιλέχθηκε ένας σταθερός (αμετάβλητος) ελεύθερος εκχειλίστης με σχετικά χαμηλό τοίχο εκχείλισης. Η διαβρεχόμενη επιφάνεια Of του νερού που απορρέει στα ανάντη τους, είναι αρκετά μεγάλη και συνεπώς η ταχύτητα ροής του (ταχύτητα προσπέλασης) εκεί είναι μικρή ($U_0 < 1 \text{ m/sec}$), ώστε να μπορεί να παραληφθεί κατά τους υπολογισμούς. Στην περίπτωση αυτή η εξίσωση του Weisbach γίνεται κατά Poleni :

$$Q = \mu \cdot 2,95 \cdot b \cdot (H_u)^{2/3} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

Όπου:

b = πλάτος της στέψης (m),

μ = συντελεστής που διορθώνει τις αποκλίσεις του αρχικού τύπου από τις πραγματικές τιμές, προσδιορίζεται δε εμπειρικά, ενώ για στεψη αποστρογγυλωμένη ή ελλειπτική δίνεται $\mu=0,75$, και

H_u = ύψος σταθμης νερου πανω από τη στεψη στα αναντη του εκχειλιστη και σε απόσταση από αυτόν τόση, ώστε να μην επηρεάζεται από την καμπύλη πτώσης του νερου.

Επισης όσον αφορά την ροη του νερου πανω από τον εκχειλιστη ισχύει συμφωνα με τους νόμους της πτώσης η παρακάτω εξίσωση :

$$U = \sqrt{2 * g * H} \quad (m/sec)$$

Οπου:

U = η ταχύτητα της ροής σε m/sec,

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας σε m/sec² και

H = το ύψος νερου σε m.

Αξίζει τέλος να αναφερθει οτι ενα από τα βασικότερα στοιχεία μελέτης ενός υπερχειλισθεί είναι ο περιορισμός της διάβρωσης του αποδεκτή ποταμου κατάντη του φραγματος. Μια τεραστία ποσοτητα ενέργειας πρεπει να καταστραφεί, πριν το νερο φτάσει στη φυσική κοίτη. Η κατασκευή που θα μειώσει αυτή την ενέργεια μπορεί να είναι μια λεκάνης ηρεμίας που εφαρμοζεται τις περισσότερες φορές ή ακόμη κάδοι εκτροπής και βυθισμένες δεξαμενές.

7.4 Λεκάνη Ηρεμίας

Στη λεκανη ηρεμίας συμβαίνει η μειωση της ενέργειας του νερου που φεύγει από τον ταμιευτηρα και καταλήγει στον αποδέκτη ποταμό. Οι διαστάσεις της λεκάνης (μήκος, πλάτος) αποτελουν τα βασικά της στοιχεία. Το μήκος μιας λεκάνης ηρεμίας πρεπει να είναι ίσο με το μήκος του υδραυλικού άλματος. Το πλάτος μιας λεκάνης ηρεμίας προσδιοριζεται με προσοχή Ετσι ώστε να δέχεται την ποσοτητα του νερου χωρίς προβλήματα, με τις πιο οικονομικές διαστάσεις λεκάνης και με ελάχιστο κόστος εκσκαφών και σκυροδέματος. Από την άλλη πλευρά δεν πρεπει να ξεχνάμε τις βοηθητικές εγκαταστάσεις μιας λεκάνης. Πιο συγκεκριμενα αυτές μπορεί να είναι κεκλιμένα μπλόκα, βυθισμένα βάθρα και υπερυψωμένο το κατάντη άκρο της λεκάνης. Κατασκευάζονται συνηθως για να βοηθήσουν

τη λειτουργία της λεκάνης ηρεμίας. Τα κεκλιμένα μπλόκια κατασκευάζονται στο σημείο εισόδου του νερού από τον υπερχειλιστή στη λεκανή ηρεμίας και αποσκοπούν στην αύξηση του ενεργού βάθους του εισερχόμενου ρεύματος και στη διάσπαση της ροής σε έναν αριθμό ανυψούμενων υδάτινων δεσμών ροής, που αυξάνουν το στροβιλισμό και επιτυγχάνουν την απαιτούμενη μείωση της ενέργειας σε μήκος πολύ μικρότερο από το απαιτούμενο χωρίς αυτά. Κατασκευάζονται δε συμμετρικά προς τον κατά μήκος άξονα της λεκάνης. Επίσης έχουμε τα βυθισμένα βάθρα τα οποία κατασκευάζονται για να προκαλέσουν το υδραυλικό άλμα και να αυξήσουν τους στροβιλισμούς με την έντονη πρόσκρουση επάνω τους της δέσμης του νερού. Πολλές φορές κατασκευάζονται και όταν ακόμα η μελέτη δεν τα κρίνει απαραίτητα αλλά η χρησιμοποίησή τους μειώνει το μήκος της λεκάνης και βοηθάει την απόσβεση της ενέργειας. Αποκλείει έτσι την πιθανότητα εξόδου του νερού στον αποδεκτή με ταχύτητα και κίνδυνο υποσκαφής της κοιτης. Τέλος έχουμε το υπερυψωμένο άκρο μιας λεκάνης ηρεμίας το οποίο μπορεί να είναι κατακορυφο, κεκλιμένο, κλιμακωτό ή με άλλη μορφή. Σκοπός του είναι να σηκώσει τη δέσμη της ροής πάνω από τον πυθμένα του ρεύματος, στο οποίο βγαίνει, και να προκαλέσει ένα ρεύμα πυθμένα προς τα ανάντη, που αναγκάζει υλικά του πυθμένα να μεταφερθούν ανάντη προς το άκρο της λεκάνης ηρεμίας. Διευκολύνει επίσης την απομάκρυνση της ροής με μεγάλη ταχύτητα από τον πυθμένα και διευκολύνει έτσι την λειτουργία της λεκάνης ηρεμίας. Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση ενέργειας (Bernoulli) :

$$H = z + y + \alpha \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Οπου:

H = ύψος ενέργειας,

z = υψομετρο πυθμένα από επιπεδο αναφοράς,

y = βάθος ροής,

V = μέση ταχύτητα νερού στη διατομή,

α = διορθωτικός συντελεστής λόγω ανομοιομορφίας του προφίλ ταχύτητας,

g = επιτάχυνση βαρύτητας.

Επιπλέον πήραμε τον αριθμό Froude :

$$Fr = U1 / \sqrt{g \cdot y1}$$

Οπου:

Fr = ο πυκνομετρικός αριθμός που είναι αδιαστατος και

U_1, y_1 = η ταχύτητα και το βάθος για μια συγκεκριμένη διατομή.

7.5 Συμπεράσματα κεφαλαίου

Συμπερασματικά λοιπόν στον παρακάτω πίνακα παραθέτω τα τελικά αποτελέσματα της διαστασιολόγησης :

ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΤΗΣ		(ΚΩΤΟΥΛΑΣ)	
ΣΤΑΘΕΡΟΣ ΕΚΧΕΙΛΙΣΤΗΣ ΜΕ ΨΗΛΟ ΤΟΙΧΟ ΕΚΧΕΙΛΙΣΗΣ:			
$Q_{υπερχ} =$	6,764632603	m ³ /sec	
$H_u =$	1	m	
$g =$	9,81	m ² /sec	
$\mu =$	0,75	πιν.5.1 φυλ.	
$b =$	3,057461064	m	τυπος 5.3
$w =$	0,562871102	m	τυπος 5.6
$V_u =$	4,429446918	m/sec	
ΛΕΚΑΝΗ ΗΡΕΜΙΑΣ		(ΤΣΟΓΚΑΣ)	
$g =$	9,81	m ² /sec	
$y_u =$	0,75	m	
$y_1 =$	0,5	m	
$V_u =$	4,429446918	m/sec	
$V_1 =$	4,952272206	m/sec	μεσω Bernoulli
$y_2 =$	2	m	
$y_2/y_1 =$	4	-	
$H_{\alpha}/y_1 =$	1,8	σχ.114 φυλ.	
$H_{\alpha} =$	0,9	m	
$Fr =$	2,236067977	-	
$L/y_1 =$	12	σχ.115 φυλ.	
$L =$	6	m	
ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ			
ΥΠΕΡΥΨΩΜΕΝΟ ΑΚΡΟ			
$y_1 =$	0,5	m	
$V_1 =$	4,952272206	m/sec	
$Fr =$	2,236067977	-	
$\Delta h =$	0,25	m	
$\Delta h/y_1 =$	0,5	-	
$y_3/y_1 =$	2,5	σχ.121 φυλ.	
$y_3 =$	1,25	m	

Κεφάλαιο 8 Έλεγχοι Φράγματος

8.1 Ευστάθεια

Η ευστάθεια ενός χωμάτινου φράγματος εξασφαλίζεται όταν η διατμητική αντοχή των υλικών της κατασκευής κατά μήκος μιας συγκεκριμένης επιφάνειας είναι μεγαλύτερη από τις διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται λόγω του βάρους ή άλλων εξωτερικών φορτίων. Όσον αφορά τον συνδυασμό φορτίσεων και τους συντελεστές ασφαλείας επιλέγουμε την συνήθη φόρτιση δηλαδή την κατάσταση στην οποία το φράγμα δέχεται σαν φορτία την υδροστατική πίεση, την άνωση, την ιλύ, τον πάγο και το ίδιο βάρος του.

8.1.1 Ευστάθεια σε Ανατροπή

Ο συντελεστής ασφαλείας είναι $> 1,50$. Αν δεχθούμε ότι στο φράγμα ασκούνται και δυνάμεις από την υποπίεση του νερού που διηθείται κάτω από το φράγμα τότε οι δυνάμεις που τείνουν να ανατρέψουν το φράγμα είναι η συνιστάμενη υδροστατική H , η συνιστάμενη των υποπιέσεων A και η δύναμη που αντισταθμίζει είναι το ίδιο βάρος B . Αν συμβολίσουμε με $M_{αν}$ τις ροπές που τείνουν να ανατρέψουν το φράγμα και M_B την ροπή του βάρους του φράγματος τότε πρέπει :

$$M_B / M_{αν} \geq \text{από συντελεστή ασφαλείας}$$

8.1.2 Ευστάθεια σε Ολίσθηση

Ο συντελεστής ασφαλείας είναι $> 3,00$. Ένα φράγμα μπορεί να ολισθήσει στην βάση του ή κατά ένα οποιοδήποτε οριζόντιο επίπεδο όταν οι οριζόντιες δυνάμεις ΣH πάνω από το επίπεδο ολίσθησης είναι μεγαλύτερες από την αντίσταση των τριβών. Θα πρέπει δηλαδή να ισχύει :

$$\Sigma(B-A) \cdot \epsilon \phi \phi + L \cdot C / \Sigma H \geq K$$

Όπου:

V = το σύνολο των κατακόρυφων δυνάμεων

ϕ =γωνία τριβής

B=ίδιο βάρος του φράγματος

A= συνιστάμενη άνωση

L=πλάτος φράγματος στην διατομή ελέγχου

C= διατμητική αντίσταση εδάφους

Ο συντελεστής K που είναι προς το μέρος της ασφάλειας αν υπάρχουν αυξημένοι κίνδυνοι για την ανθρώπινη ζωή λαμβάνεται ίσος με 4 .

8.1.3 Έλεγχος των αναπτυσσόμενων τάσεων

Αναπτυσσόμενες τάσεις 30Kg / cm² .Αν B είναι η κατακόρυφη δύναμη που ασκείται σε ένα οριζόντιο επίπεδο πλάτους b τότε η μέση τάση στο επίπεδο είναι :

$$\sigma_o = B/b$$

Η κατανομή των τάσεων θα είναι ομοιόμορφη μόνον αν η δύναμη ασκείται στο κέντρο της διατομής . Αν η δύναμη ασκείται εκτός κέντρου τότε οι τάσεις στα δύο άκρα είναι :

$$\sigma_{E} = B/b * (1 \pm 6 e/b)$$

με e την εκκεντρότητα ($e = \Sigma M / \Sigma B$).

8.2 Συμπεράσματα κεφαλαίου

Συμπερασματικά λοιπόν στον παρακάτω πίνακα παραθέτω τα τελικά αποτελέσματα των ελέγχων:

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ		
ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ TAYLOR		
Hστ =	23,29289756	m
Cu =	65	kN/m2
γsat =	18	kN/m3
nd =	1	-
β =	21,8	μοίρες
Ns =	0,1	Σχ.5.5.17.α
Cστ =	41,9272156	kN/m2
F =	1,550305668	-
ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ BISHOP&MORG		
Hστ =	23,29289756	m
C' =	20	kN/m2
γsat =	18	kN/m3
β =	21,8	μοίρες
φ' =	28	μοίρες
ru =	0,3	-
Βασμτ. υποστρ. =	21,6	m
D =	1,927321298	-
C/(γ*H)	0,047701713	-
m	2,2	-
n	1,9	-
F =	1,63	-
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΑΝΑΤΡΟΠΗ		
Hστ =	23,29289756	m
γ H2O =	1	t/m3
γ Εδ.υλικού =	2,4	t/m3
W =	7,28232	m
B1 (ορθογώνιο) =	407,1032009	t/m
B2 (2*τριγωνο) =	2*(0,5*γ*h*x)	t/m
H =	271,2795383	t/m
A =	0,5*γ*0,6*h*(x+vw)	t/m
κ = M8/Mαν >	1,5	-
x =	4,6	m
L =	16,48232	m
Lυπολ =	126,4644878	m
Lυπολ > L	126,46 > 16,482	OK
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΣΕ ΟΛΙΣΘΗΣΗ		
Hστ =	23,29289756	m
εφ(φ) =	0,7	-
C =	600	kN/m2
c =	4	-
γ H2O =	1	t/m3
γ Εδ.υλικού =	2,4	t/m3
Υποπίεσεις Ανώσης =	60	% της Υδροστατικής
γ =	0,6	-
H =	271,2795383	t/m
W =	7,28232	m
L =	126,4644878	m
L*W =	119,1821678	m
h' =	13,97573853	m
ΣB =	7069,73846	t/m
A =	883,7173075	t/m
K =	249,0510679	-
K > c	249,051 > 4	OK
ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ ΤΑΣΕΩΝ		
B1 =	407,1032009	t/m
B2 =	6662,635259	t/m
ΣB =	7069,73846	t/m
H =	271,2795383	t/m
L =	126,4644878	m
L/2 =	63,23224389	m
W =	7,28232	m
L*W =	119,1821678	m
((L-W)/2)*(2/3)+(W/2) =	43,36854926	m
γ H2O =	1	t/m3
Υποπίεσεις Ανώσης =	60	% της Υδροστατικής
γ =	0,6	-
Hστ =	23,29289756	m
Μοχλ/νας (B1) =	0	m
Μοχλ/νας (B2) =	43,36854926	m
Μοχλ/νας (H) =	7,764299185	m
Φορά Μοχλ/να (B1,B2) =	1	θετική
Φορά Μοχλ/να (H) =	-1	αρνητική
M(B1) =	0	t/m/m
M(B2) =	288948,8254	t/m/m
M(H) =	-2106,295498	t/m/m
ΣM =	575791,3553	t/m/m
σ =	81,44450585	m
σ1 =	160,1097094	t/m2
σ2 =	271,9156177	t/m2
σ (υποπίεσεις κατανι) =	0	t/m2
σ (υποπίεσεις ανανι) =	13,97573853	t/m2
σα =	257,9398791	t/m2
σκ =	160,1097094	t/m2
Δεν αναπτύσσονται εφελκ/κές τάσεις και συνεπώς δεν υπάρχει κίνδυνος ρηγμάτων		

Κεφάλαιο 9 Προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα

9.1 Παρουσίαση Μοντέλου

Η προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα έγινε με τη χρήση και κατάλληλη προσαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης και λειτουργίας UTHRL, για τις ιστορικές χρονοσειρές εισροών και εκροών του ταμιευτήρα (1960-2002). Έτσι, εισήχθησαν στο μοντέλο τα εξής δεδομένα:

- Οι δοθείσες χρονοσειρές της μηνιαίας απορροής της υδρολογικής λεκάνης απορροής του Μουζακίου για τα ανωτέρω έτη.
- Η μηνιαία εξάτμιση από τον ταμιευτήρα υπολογίσθηκε από τη μέθοδο εξατμισοδιαπνοής Thornthwaite για το μέσο απόλυτο υψόμετρο της στάθμης νερού του ταμιευτήρα και προσαυξημένη κατά 30%.
- Η υετόπτωση στον ταμιευτήρα υπολογίσθηκε με τη μέθοδο της τροποποιημένης μεθόδου Thiessen, για το μέσο απόλυτο υψόμετρο της στάθμης νερού του ταμιευτήρα.
- Οι μηνιαίες υπόγειες διαφυγές θεωρήθηκαν σταθερές και ίσες με 17mm.

Χρησιμοποιώντας τα ανωτέρω καθοριζόμενα συντάχθηκε το μοντέλο λειτουργίας του ταμιευτήρα UTHRL:

α. Σαν δεδομένα εισαγωγής έχουμε την απορροή – εισροή όπως υπολογίσθηκε από το μοντέλο UTHBAL σε mm

Qres(mm)
0,74
3,91
67,12
107,28
68,60
96,33
63,04
18,53
9,63
7,72
6,14
4,26
5,94
28,42

β. Την απορροή την ανάγουμε σε hm³ πολλαπλασιάζοντας τα άνω μεγέθη με την έκταση της λεκάνης απορροής που είναι ίση με 144,1Km²

Qi(hm ³)
0,11
0,56
9,67
15,46
9,88
13,88
9,08
2,67
1,39
1,11
0,89
0,61
0,86
4,09

γ. Θεωρούμε μια μέση στάθμη ταμιευτήρα στην οποία αντιστοιχεί ένας μέσος όγκος 7 hm³ . Από την σχέση όγκου στάθμης προσδιορίζουμε αυτό το υψόμετρο

7

δ. Από τις σχέσεις έκτασης στάθμης και όγκου στάθμης προσδιορίζουμε μια σχέση έκτασης όγκου

$A(t)=0,6746+0,022 \cdot V_{\omega\phi}$
15,02628825
15,01844184
15,02320942
15,03713137
15,03713137
15,03713137
15,03713137
15,03713137
15,03713137
15,01608846
15,00904145
15,00278893
14,99274276
14,98436063
14,99146558

ε. Εισάγουμε τις τιμές ωφέλιμου και νεκρού όγκου που ήδη προσδιορίσαμε

$V_{\text{νεκρός}}$
2,423031

στ. Εισάγουμε σταθερές υπόγειες διαφυγές ίσες με 17mm

$I_{\text{res}}(\text{mm})$
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00
17,00

ζ. Εισάγουμε τα δεδομένα εξατμισοδιαπνοής όπως τα υπολογίσαμε από τον Thornthwaite τα οποία αναφέρονται στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης γι αυτό μέσω της θερμοβαθμίδας(μέση τιμή) της ανάγουμε στο μέσο υψόμετρο του ταμιευτήρα

η. Εισάγουμε τα δεδομένα υετόπτωσης όπως τα υπολογίσαμε από την μέθοδο της τροποποιημένης βροχοβαθμίδας τα οποία αναφέρονται στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης

γι αυτό μέσω της βροχοβαθμίδας βαθμίδας(μέση τιμή) της ανάγουμε στο μέσο υψόμετρο του ταμιευτήρα.

Ebasin	Pbasin	Eres(mm)	Rres(mm)
68,3	62,74361	99,7	37,11184
26,5	145,8927	41,3	120,2609
25,6	271,2051	40,0	245,5734
12,3	120,7401	21,4	95,10828
12,7	59,4018	21,9	33,77003
12,4	135,4459	21,6	109,8141
52,7	83,84035	77,9	58,20857
79,6	46,44747	115,6	20,8157
116,4	27,03434	167,1	1,402574
128,4	71,53217	183,9	45,9004
123,7	24,65678	177,3	-0,97499
89,8	16,88513	129,9	-8,74665
59,2	179,3872	87,1	153,7554
29,6	165,5351	45,6	139,9033

θ. Εισάγουμε την επιθυμητή ζήτηση σε hm³

Ai(hm ³)
0,568285
0,421131
0,421131
0,429052
0,486613
0,570874
2,376829
5,187739
11,62972
15,16104
14,04595
6,320955
0,568285
0,421131

ι. Υπολογίζουμε την πραγματική ζήτηση .

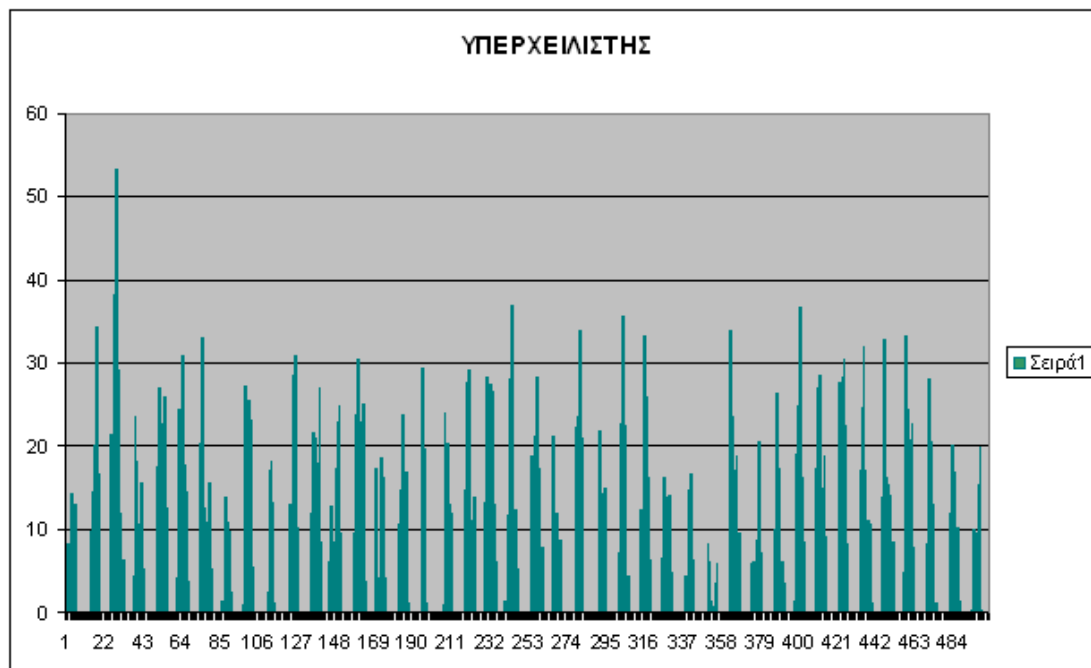
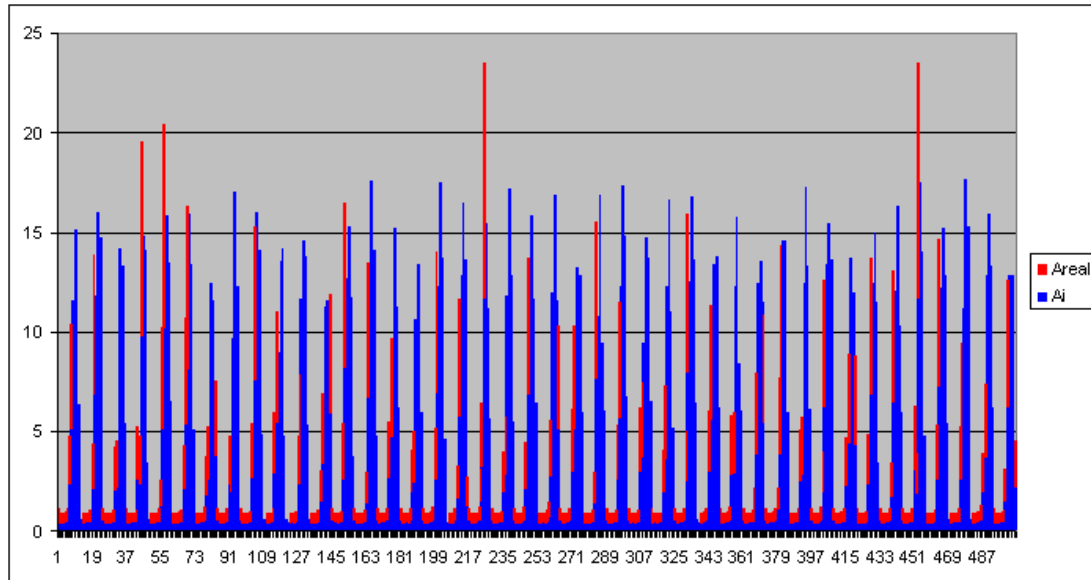
Areal(hm3)
0,568285383
0,421130523
0,421130523
0,429052037
0,486613097
0,570874395
2,37682948
5,187738773
0
0
0
0
0
0,421130523

9.2 Συμπεράσματα κεφαλαίου

Η προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα, θα αποτελέσει σημαντικό στοιχείο για την επιλογή των κατασκευαστικών και λειτουργικών δεδομένων του, καθώς δύναται να παραγάγει μία επαρκή εικόνα περί της συμπεριφοράς του ταμιευτήρα στο πέρασμα του χρόνου και έτσι να εκτιμηθεί το μέγεθος και οι διαστάσεις των επιμέρους στοιχείων που τον απαρτίζουν κατά τη φάση της μελέτης κατασκευής ενός φράγματος στην εξεταζόμενη περιοχή.

Από τα αποτελέσματα (στήλες F,K) και από το γράφημα συμπεραίνουμε πως η πραγματική και η επιθυμητή ζήτηση ταυτίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό άρα ο όγκος του ταμιευτήρα που υπολογίσθηκε μέσω υδρολογικών και εδαφολογικών δεδομένων μπορεί να ικανοποιήσει την αρδευτική ζήτηση για την οποία θα κατασκευασθεί . Από τις αιχμές του γραφήματος , οι οποίες φανερώνουν σε πια σημεία δεν θα μπορέσει να ικανοποιηθεί η επιθυμητή ζήτηση λόγω ξηρασίας για παράδειγμα , οι οποίες είναι 3 , θεωρείται ότι φράγμα δεν θα μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες ζήτησης μόνο 3 φορές συνολικά στα 42 χρόνια που έγινε ο έλεγχος λειτουργίας του (πιθανότητα αστοχίας $p=m/N=4/42=0,07$ ή 7 %) . Αυτό σημαίνει ότι μόνο 1 έτος στα 7 περίπου οι

ανάγκες σε νερό της ευρύτερης περιοχής δεν θα μπορέσουν να ικανοποιηθούν από το προτεινόμενο φράγμα .



Κεφάλαιο 10 Συμπεράσματα

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής ήταν η εκτίμηση της ωφέλιμης χωρητικότητας του φράγματος του Μουζακίου στη Θεσσαλία. Η ωφέλιμη χωρητικότητα υπολογίστηκε με τρεις μεθόδους, με τη μέθοδο αλγορίθμου ακολουθίας αιχμής (Sequent Peak Algorithm), με τη μέθοδο Dincer (Gould Dincer Normal), και με τη μέθοδο Stall. Βάσει της επιφανειακής απορροής και της έκτασης της λεκάνης απορροής υπολογίστηκε ο όγκος απορροής του ταμιευτήρα για δεδομένα μετρήσεων μηνιαίας απορροής για χρονική περίοδο σαράντα δύο (42) υδρολογικών ετών, από τον Οκτώβριο του 1960 έως τον Σεπτέμβριο του 2002. Έπειτα, υπολογίστηκε η ωφέλιμη χωρητικότητα με τις τρεις μεθόδους, για όλα τα δεδομένα μετρητικά μοντέλα.

Η ωφέλιμη χωρητικότητα με τη μέθοδο του αλγορίθμου ακολουθίας αιχμής υπολογίστηκε με μέσα μηνιαία δεδομένα. Η ωφέλιμη χωρητικότητα στη μέθοδο Dincer υπολογίστηκε με ετήσια δεδομένα, ενώ στη μέθοδο Stall υπολογίστηκε με αναλυτικά μηνιαία δεδομένα. Γενικά, η μέθοδος ακολουθίας αιχμής λαμβάνει υπόψη την εποχικότητα και άλλες παραμέτρους ροής στη διαδικασία υπολογισμού της ωφέλιμης χωρητικότητας, γι' αυτό και θεωρείται ως η πλέον πρόσφορη μέθοδος εξαγωγής αποτελεσμάτων.

Συμπερασματικά, το μοντέλο UTHBAL χρησιμοποιεί διάφορες παραδοχές για την αποτύπωση του τρόπου λειτουργίας του ταμιευτήρα οι οποίες προσπαθούν να προσεγγίσουν τα παρατηρούμενα μετρητικά δεδομένα (βροχόπτωση, EPT). Σε καμία περίπτωση, όμως, δεν μπορεί να λεχθεί ότι η αξιοπιστία των δεδομένων μοντέλων δύναται να είναι μεγαλύτερη από την αξιοπιστία που προκύπτει από τις αληθινές μετρήσεις παροχής, καθώς αποστολή των πρώτων είναι να αναπληρώσουν τυχόν ελλείψεις σε μηνιαία στοιχεία απορροών.

Βασικός σκοπός του μοντέλου UTHRL είναι η εξέταση της δυνατότητας του ταμιευτήρα να είναι λειτουργικός ει δυνατόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (η δυνατότητα απόληψης Α να είναι εφικτή συνεχώς) και να μπορεί, έτσι, να εκπληρώσει τον σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε (άρδευση). Η παρατήρηση της απόδοσης του δυνητικού ταμιευτήρα σε όλο το 40ετές διάστημα μετρήσεων, μιλώντας πάντα για τα

δεδομένα μετρήσεων παροχής, βοηθά στο να ρυθμιστούν τα κατασκευαστικά και λειτουργικά δεδομένα του ταμιευτήρα, έτσι ώστε να διασφαλισθεί η λειτουργικότητά του για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Καταλυτικό ρόλο στην αξιοπιστία του ταμιευτήρα παίζει το ποσό ζήτησης νερού για την ικανοποίηση των αναγκών λειτουργίας του ταμιευτήρα. Η αξιοπιστία του ταμιευτήρα είναι ένα πολυπαραγοντικό προϊόν το οποίο εξαρτάται από τον αρχικό όγκο του ταμιευτήρα, το υδατικό ισοζύγιο και τις απολήψεις από τον ταμιευτήρα. Συνεπώς, δεν είναι δυνατόν να εγγυηθεί κανείς ότι μειώνοντας τον όγκο του ταμιευτήρα μειώνεται η πιθανότητα αστοχίας, καθόσον οι ανωτέρω προαναφερθέντες παράγοντες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Για να επιτευχθούν η μείωση των αστοχιών του ταμιευτήρα και η υψηλή αξιοπιστία του σε βάθος χρόνου, πρέπει πρώτα να αποσαφηνισθεί ο γενικός σκοπός αξιοποίησής του, ο οποίος δεν πρέπει να διασαλευθεί στο μέλλον, και κατόπιν να αποφασισθούν με λελογισμένα κριτήρια (π.χ. πραγματικές ανάγκες απόληψης) τα κατασκευαστικά - τεχνικοϋδρολογικά στοιχεία αυτού.

Βιβλιογραφία

Σημειώσεις μαθήματος «Υδρολογία» Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Τέγος, Ευστρατιάδης, Βαρβέρης, Μαμάσης, Κουκουβίνος & Κουτσογιάννης, Εκτίμηση και υλοποίηση περιορισμών οικολογικής παροχής σε μεγάλα Υ/Η έργα: Η περίπτωση του Αχελώου.

Ευστρατιάδης, Μίχας & Δερματάς, Διαχείριση οικολογικής παροχής και φερτών.

Ιωάννης Μαστραφτσής, Μηνιαία υδρολογική προσομοίωση με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R-Project: Εφαρμογή στη λεκάνη απορροής Πορταϊκού ποταμού, σελ. 26-33.

Δέσποινα Ευσταθιάδου, Μελέτη της χωρητικότητας ενός ταμιευτήρα. Συγκριτική ανάλυση των μεθόδων: Αλγόριθμος ακολουθίας αιχμής, Μέθοδος Dincer και μέθοδος Gould. Εφαρμογή στον ταμιευτήρα Πύλης Θεσσαλίας, σελ. 18-27, 30-45, 55-63.

Βουβαλίδης, Σφέικος, Παράσχου, Κεχαγιά, Ψωμιάδης (2005), Η επίδραση της γεωλογίας και της τεκτονικής στην εξέλιξη του υδρογρα-φικού δικτύου και της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου της Θεσσαλίας, σελ. 86-100.

ΥΠΕΚΑ / Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Υδρολογική Ανάλυση λεκάνης Πάμισου

Νικόλας Νικολαΐδης, Αξιολόγηση ποιοτικών χαρακτηριστικών ασβεστολιθικών πετρωμάτων Κύπρου ως προς την καταλληλότητά τους για παραγωγή υδραυλικής ασβέστου, σελ. 11.

Τσογκας Χ. και Τσογκα Ε., Υδροδυναμικά Έργα – Φράγματα , Εκδ. Ιων 2000

Τσακίρης Γ., Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία , Εκδ. Συμμετρία, Αθήνα 1995

Μιμίκου Μ., Τεχνολογία Υδατικών Πορων , Εκδ. Παπασωτηριου, Αθήνα 1994

Παπαμιχαήλ Δ., Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων , Θεσσαλονίκη 2001

Κωτούλας Δ., Μαθήματα Γενικής Υδρολογίας και Υδραυλικής , Θεσσαλονίκη 1986

Τσογκας Χ., Φράγματα – Τεχνικές Λίμνες : Υδραυλικά Έργα , Θεσσαλονίκη

Κουτσογιάννης Δ., Υδρομετεωρολογία / Πιθανή Μεγιστη Κατακρήμνιση , Αθήνα 2000

Λουκάς Αθ., Κατασκευή Φραγματος Βασιλειάδας – Μελισσοτοπου, Υδρολογική Μελέτη

Λουκάς Αθ. και συνεργατες, Υδρολογικό Μοντελο UTHBAL, 2003

Λουκάς Αθ., Μοντελο Προσομοίωσης

Henderson F.M., Open Channel Flow , Macmillan Editions

Maidment D.R. (Editor), Handbook of Hydrology

Mays L.W. (Editor), Water Resources Handbook