



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ | ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εκτίμηση ωφέλιμου όγκου ταμιευτήρα για επιλεγμένες χρήσεις νερού και
διάφορα ποσοστά ικανοποίησης της ζήτησης .**

ΝΤΑΝΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Επιβλέπων:

Επικ. Καθηγητής Λάμπρος Βασιλειάδης

ΒΟΛΟΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2024

© 2024 Βασιλική Ντάνα

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).



UNIVERSITY OF THESSALY

**SCHOOL OF ENGINEERING | DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF HYDRAULIC AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

DIPLOMA THESIS

**Reservoir active storage capacity estimation for different water uses and reliability
thresholds**

NTANA VASILIKI

Supervisor:

Assistant Professor Lampros Vasiliades

Ευχαριστίες

Θα ήθελα πρωτίστως να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς τον καθηγητή μου, τον κύριο Βασιλειάδη Λάμπρο, για την καθοδήγηση, την υπομονή και την πολύτιμη εμπειρογνωμοσύνη του. Η επιστημονική του προσέγγιση και οι συμβουλές του ήταν καθοριστικές για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Ένα ειλικρινές ευχαριστώ απευθύνεται επίσης στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας και το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών για την παροχή των ακαδημαϊκών και τεχνικών πόρων που κατέστησαν εφικτή την εκπόνηση της παρούσας εργασίας

Τέλος, αλλά εξίσου σημαντικό, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένεια και τους φίλους μου για την αγάπη, την υπομονή και την ατελείωτη υποστήριξη που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διαδικασία. Η πίστη τους στις δυνατότητές μου και η στήριξή τους ήταν η βάση πάνω στην οποία κατάφερα να υπερβώ τις προκλήσεις και να φτάσω στην ολοκλήρωση αυτού του σημαντικού επιστημονικού έργου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την εκτίμηση του ωφέλιμου όγκου ταμιευτήρων και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων στην περιοχή της Θεσσαλίας. Η Θεσσαλία, μια από τις κεντρικές γεωργικές περιοχές της Ελλάδας, αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις λόγω της αυξανόμενης ζήτησης νερού και των μεταβαλλόμενων κλιματικών συνθηκών.

Στόχος της έρευνας είναι η αξιολόγηση και σύγκριση διαφορετικών μεθόδων και υδρολογικών μοντέλων για την εκτίμηση του ωφέλιμου όγκου των ταμιευτήρων, οι οποίες είναι κρίσιμες για την αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων. Οι μεθοδολογίες που εξετάστηκαν περιλαμβάνουν τη μέθοδο Dincer (Gould-Dincer Normal), τη μέθοδο Alexander και τον Αλγόριθμο Διαδοχικής Αιχμής (Sequent Peak Algorithm - SPA).

Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν τα υδρολογικά μοντέλα UTHBAL και GR2M για την προσομοίωση της απορροής και την εκτίμηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του νερού. Τα μοντέλα αυτά επιτρέπουν την καλύτερη κατανόηση των υδρολογικών διεργασιών και την πρόβλεψη των απαιτήσεων αποθήκευσης νερού.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης υποδεικνύουν ότι, αν και κάθε μέθοδος προσφέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και αντιμετωπίζει διάφορους περιορισμούς, η μέθοδος SPA αναδείχθηκε ως η πλέον κατάλληλη για την ακριβή και αξιόπιστη εκτίμηση του ωφέλιμου όγκου στο ταμιευτήρα. Η εργασία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή της μεθόδου SPA, παρέχοντας ταυτόχρονα ευελιξία και ακρίβεια, αποτελεί την ιδανική λύση για την εκτίμηση ωφέλιμου όγκου σε συγκεκριμένες περιοχές, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές συνθήκες και ανάγκες.

Η έρευνα αυτή προσφέρει πολύτιμες γνώσεις και εργαλεία για τη βελτίωση της διαχείρισης των υδάτινων πόρων στην περιοχή της Θεσσαλίας, με την προοπτική της εξασφάλισης αειφορίας και υδατικής ασφάλειας. Τα ευρήματα μπορούν επίσης να εφαρμοστούν σε άλλες περιοχές με παρόμοιες κλιματικές και υδρολογικές συνθήκες.

Abstract

This thesis examines the estimation of the beneficial volume of reservoirs and the management of water resources in the Thessaly region. Thessaly, one of the central agricultural areas in Greece, faces significant challenges due to increasing water demand and changing climatic conditions.

The aim of the research is to evaluate and compare different methods and hydrological models for estimating the beneficial volume of reservoirs, which are critical for the effective management of water resources. The methodologies examined include the Dincer method (Gould-Dincer Normal), the Alexander method, and the Sequent Peak Algorithm (SPA).

Additionally, the UTHBAL and GR2M hydrological models were used to simulate runoff and estimate parameters that affect water availability. These models allow for a better understanding of hydrological processes and the prediction of water storage requirements.

The results of the analysis indicate that, although each method offers specific advantages and faces various limitations, the SPA method emerged as the most suitable for the accurate and reliable estimation of the beneficial volume in the reservoir. The study concludes that the application of the SPA method, providing both flexibility and accuracy, is the ideal solution for estimating beneficial volume in specific areas, taking into account local conditions and needs.

This research provides valuable insights and tools for improving the management of water resources in the Thessaly region, with the prospect of ensuring sustainability and water security. The findings can also be applied to other regions with similar climatic and hydrological conditions.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
Abstract	7
Περιεχόμενα	8
Ευρετήριο Εικόνων	10
Ευρετήριο Πινάκων	10
Ευρετήριο Διαγραμμάτων.....	12
Ευρετήριο Χαρτών	12
1.Εισαγωγή.....	12
2.Ταμιευτήρες και φράγματα	14
2.1 Γενικά	14
2.2 Στάδια Μελέτης	15
2.3 Τύποι φραγμάτων.....	15
2.4 Χαρακτηριστικοί όγκοι και στάθμες ταμιευτήρα	20
2.5 Συνοδευτικά έργα φράγματος :.....	21
3. Περιοχή Μελέτης.....	23
3.1 Γεωγραφική Θέση.....	23
3.2 Υδατικό Διαμέρισμα.....	24
3.3 Λεκάνη απορροής μελέτης	25
3.4 Γεωμορφολογία	26
3.5 Γεωλογία	26
3.6 Κλιματικά Στοιχεία	28
3.7 Υδρολογία	29
3.8 Φράγμα Μουζακίου Καρδίτσας.....	29
4.Μεθοδολογία	32
4.1 Γενικά.....	32
4.2 Μέθοδος Dincer (Gould Dincer method)	32
4.3 Μέθοδος Alexander (Alexander's Method).....	36
4.4 Μέθοδος αλγορίθμου διαδοχικής αιχμής (Sequent Peak Algorithm)	40
4.5 Υδρολογικά μοντέλα	42
5.Εφαρμογή της μεθοδολογίας και αποτελέσματα- παρουσίαση R	47
5.1 Εφαρμογή και Αποτελέσματα μεθόδων	52
5.2 Γλώσσα προγραμματισμού R- Project.	55
5.3 Οικολογική παροχή.....	60

5.4 Σύγκριση μεθοδολογιών	64
6.Συμπεράσματα.....	67
Παράρτημα	69
A. Πίνακες	69
B. Κώδικες.....	78
7.Βιβλιογραφία	82

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1 Φράγμα Μαραθώνα, φράγμα βαρύτητας	16
Εικόνα 2. Φράγμα Ταυρωπού στη Καρδίτσα , τοξωτό φράγμα διπλής καμπυλότητας	17
Εικόνα 3. Φράγμα Λάδωνα στην Αρκαδία , αντιηδωτό φράγμα	18
Εικόνα 4.Φράγμα Θησαυρού, ορεινά της Δράμας , το μεγαλύτερο λιθορριπτό φράγμα της Ελλάδας.	19
Εικόνα 5. Υδροηλεκτρικό χωμάτινο φράγμα Ιλαρίωνα, Κόζανη – Έργο πολλαπλής σκοπιμότητας.....	19
Εικόνα 6.Δύο Εκκενωτές και Υπερχειλιστές του φράγματος Ταυρωπού.....	22

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.Ετήσια απορροή για χρονική περίοδο από τον Οκτώβριο του 1960 έως το Σεπτέμβριος του 1992.	50
Πίνακας 2.Ετήσια απορροή για χρονική περίοδο από τον Οκτώβριο του 1960 έως το Σεπτέμβριος του 2002-UTHBAL.....	51
Πίνακας 3.Ετήσια απορροή για χρονική περίοδο από τον Οκτώβριο του 1960 έως το Σεπτέμβριος του 2002 – GR2M.	51
Πίνακας 4.Αποτελέσματα μεθόδου Dincer - Qobs.....	52
Πίνακας 5. Αποτελέσματα μεθόδου Dincer - UTHBAL	53
Πίνακας 6.Αποτελέσματα μεθόδου Dincer - GR2M.....	53
Πίνακας 7.Αποτελέσματα μεθόδου Alexander – Qobs	53
Πίνακας 8.Αποτελέσματα μεθόδου Alexander – UTHBAL	54
Πίνακας 9.Αποτελέσματα μεθόδου Alexander – GR2M	54
Πίνακας 10.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για σταθερή ζήτηση – Qobs	58
Πίνακας 11.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για σταθερή ζήτηση– UTHBAL	58
Πίνακας 12.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για σταθερή ζήτηση– GR2M	59
Πίνακας 13.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για μεταβαλλόμενη ζήτηση– Qobs	59
Πίνακας 14.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για μεταβαλλόμενη ζήτηση– UTHBAL.....	60
Πίνακας 15.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για μεταβαλλόμενη ζήτηση– GR2M.....	60
Πίνακας 16. Αποτελέσματα οικολογικής παροχής - Qobs	62
Πίνακας 17. Ικανοποίηση ζήτησης για Qobs.....	62
Πίνακας 18.Αποτελέσματα οικολογικής παροχής - UTHBAL	63
Πίνακας 19.Ικανοποίηση ζήτησης για UTHBAL.....	63
Πίνακας 20.Αποτελέσματα οικολογικής παροχής - GR2M	63
Πίνακας 21.Ικανοποίηση ζήτησης για GR2M.....	64
Πίνακας 22. Τελικός συγκεντρωτικός πίνακας όλων των αποτελεσμάτων των μεθόδων - Qos	66
Πίνακας 23.Τελικός συγκεντρωτικός πίνακας όλων των αποτελεσμάτων των μεθόδων - UTHBAL.....	69
Πίνακας 24.Τελικός συγκεντρωτικός πίνακας όλων των αποτελεσμάτων των μεθόδων - GR2M.....	70
 Πίνακας Α. 1 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 10% απόληψη - Qobs	71
Πίνακας Α. 2 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 20% απόληψη – Qobs	71

Πίνακας Α. 3 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 30% απόληψη - Qobs	71
Πίνακας Α. 4 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 40% απόληψη – Qobs	71
5 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 50% απόληψη - Qobs	72
Πίνακας Α. 6 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 60% απόληψη - Qobs	72
Πίνακας Α. 7 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 70% απόληψη - Qobs	72
Πίνακας Α. 8 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 80% απόληψη - Qobs	72
Πίνακας Α. 9 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 90% απόληψη - Qobs	73
Πίνακας Α. 10 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 10% απόληψη - UTHBAL	73
Πίνακας Α. 11 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 20% απόληψη - UTHBAL	73
Πίνακας Α. 12 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 30% απόληψη - UTHBAL	73
Πίνακας Α. 13 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 40% απόληψη - UTHBAL	74
Πίνακας Α. 14 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 50% απόληψη - UTHBAL	74
Πίνακας Α. 15 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 60% απόληψη - UTHBAL	74
Πίνακας Α. 16 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 70% απόληψη - UTHBAL	74
Πίνακας Α. 17 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 80% απόληψη - UTHBAL	75
Πίνακας Α. 18 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 90% απόληψη - UTHBAL	75
Πίνακας Α. 19 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 10% απόληψη - GR2M	75
Πίνακας Α. 20 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 20% απόληψη - GR2M	75
Πίνακας Α. 21 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 30% απόληψη - GR2M	76
Πίνακας Α. 22 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 40% απόληψη - GR2M	76
Πίνακας Α. 23 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 50% απόληψη - GR2M	76
Πίνακας Α. 24 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 60% απόληψη - GR2M	76
Πίνακας Α. 25 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 70% απόληψη - GR2M	77
Πίνακας Α. 26 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 80% απόληψη - GR2M	77
Πίνακας Α. 27 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 90% απόληψη - GR2M	77

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.Πιθανότητα η ροή x να είναι μικρότερο του μεγέθους X	37
Διάγραμμα 2.Καμπύλες πιθανότητας χωρητικότητας- δεξαμενής-ρύθμισης.....	39
Διάγραμμα 3.....	41
Διάγραμμα 4.Μέση μηνιαία απορροή για την περίοδο Οκτώβριος του 1960 έως Σεπτέμβριο του 1994.	48
Διάγραμμα 5.Μέση μηνιαία απορροή με την μέθοδο UTHBAL για την περίοδο Οκτώβριος του 1960 έως Σεπτέμβριο του 2002.....	48
Διάγραμμα 6.Μέση μηνιαία απορροή με την μέθοδο GR2M για την περίοδο Οκτώβριος του 1960 έως Σεπτέμβριο του 2002.	49

Ευρετήριο Χαρτών

Χάρτης 1.Χάρτης της Ελλάδας που απεικονίζεται η Θεσσαλία.....	23
Χάρτης 2.Τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας.....	24
Χάρτης 3.Το υδατικό διαμερίσματα της Θεσσαλίας	25
Χάρτης 4.Χάρτης Γεωλογίας Ελληνικού Χώρου.	27
Χάρτης 5.Χάρτης που απεικονίζει τη περιοχή μελέτης - ArcGis.....	31

1.Εισαγωγή

Η διαχείριση των υδάτινων πόρων αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα που αντιμετωπίζει η σύγχρονη κοινωνία, ειδικά σε περιοχές με έντονη γεωργική και βιομηχανική δραστηριότητα, όπως η Θεσσαλία. Οι ταμιευτήρες, ως κεντρικό στοιχείο της διαχείρισης αυτής, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εξασφάλιση της επάρκειας νερού για πολλαπλές χρήσεις - από την ύδρευση και την άρδευση έως την παραγωγή ενέργειας και την προστασία από πλημμύρες.

Η περιοχή της Θεσσαλίας, μια από τις σημαντικότερες γεωργικές περιοχές της Ελλάδας, αντιμετωπίζει συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση νερού, ενώ ταυτόχρονα οι κλιματικές αλλαγές και οι ασταθείς υδρολογικές συνθήκες επιδεινώνουν το πρόβλημα της διαχείρισης των υδάτων. Η ανάγκη για έναν ορθολογικό και αειφόρο σχεδιασμό των ταμιευτήρων καθίσταται επιτακτική για τη διασφάλιση της επάρκειας των υδάτινων πόρων και τη στήριξη της οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης της περιοχής.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, στόχος είναι η εκτίμηση του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα Μουζακίου και η ανάλυση της ικανότητάς του να καλύψει τις ανάγκες σε νερό σε διαφορετικές συνθήκες. Μέσω της χρήσης και της σύγκρισης διάφορων υδρολογικών μοντέλων και μεθοδολογιών - όπως η μέθοδος Dincer, η μέθοδος Alexander και ο Αλγόριθμος Διαδοχικής Αιχμής (SPA) - η έρευνα επιδιώκει να προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για την αξιολόγηση και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των ταμιευτήρων.

Επιπλέον, η εργασία εξετάζει τη χρήση των προηγμένων υδρολογικών μοντέλων UTHBAL και GR2M για την προσομοίωση της απορροής και την πρόβλεψη των απαιτήσεων αποθήκευσης νερού. Αυτά τα μοντέλα παρέχουν βαθύτερη κατανόηση των υδρολογικών διεργασιών και επιτρέπουν την ακριβέστερη εκτίμηση της διαθεσιμότητας νερού.

Η σημασία αυτής της μελέτης δεν περιορίζεται μόνο στην περιοχή της Θεσσαλίας. Τα αποτελέσματα και οι μεθοδολογίες που αναπτύσσονται μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλες περιοχές με παρόμοιες υδρολογικές και κλιματικές συνθήκες. Με την ενσωμάτωση των καλύτερων πρακτικών και την αξιοποίηση των προηγμένων εργαλείων ανάλυσης, η εργασία αυτή φιλοδοξεί να συμβάλει στη βελτίωση της διαχείρισης των υδάτινων πόρων, εξασφαλίζοντας την αειφορία και την υδατική ασφάλεια για το μέλλον.

Με τον τρόπο αυτό, η παρούσα διπλωματική εργασία δεν αποσκοπεί μόνο στην επίλυση ενός τεχνικού προβλήματος, αλλά και στην προώθηση μιας ευρύτερης κατανόησης της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτινων πόρων, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη διασφάλιση της ποιότητας ζωής και στην προστασία του περιβάλλοντος στην περιοχή της Θεσσαλίας και πέρα από αυτήν.

2. Ταμιευτήρες και φράγματα

2.1 Γενικά

Φράγμα ονομάζεται το τεχνικό έργο το οποίο κατασκευάζεται κάθετα προς τον άξονα της ροής (εγκάρσιο έργο) με σκοπό την αποκοπή της φυσικής παροχής και την αποθήκευση της ροής για τη δημιουργία ενός ταμιευτήρα. Το νερό που δεσμεύεται χρησιμοποιείται για ύδρευση οικισμών, άρδευση καλλιεργειών ή τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. (Κουτίτας, Χ. (2020)).

Η ανάγκη για άρδευση των καλλιεργειών του, ήταν αυτή που ανάγκασε τον άνθρωπο να κατασκευάσει φράγματα, στη συνέχεια όμως τα φράγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σαν κατασκευή και συντήρηση αποτελούν ένα πολύ δαπανηρό έργο, αλλά η μεγάλη απόδοση τους επιδιώκει τη κατασκευή τους. (Γεωργίου, Δ. (2022). "Η σημασία των φραγμάτων στη διαχείριση υδατικών πόρων".)

Ανάλογα τον σκοπό που έχει να επιτελέσει ένα φράγμα γίνεται και η απαραίτητη μελέτη για την καλύτερη εξυπηρέτηση του σκοπού του και έτσι προκύπτει ο καλύτερος τύπος και οι κατάλληλες διαστάσεις καθώς κάθε φράγμα έχει δική του λειτουργικότητα και δεν είναι δυνατόν να τυποποιηθεί. Κύριοι σκοποί της κατασκευής τους είναι πρωτίστως η εκταμίευση νερού για ύδρευση οικισμών και βιομηχανιών, η άρδευση μεγάλων εκτάσεων με καλλιέργειες και η παραγωγή η υδροηλεκτρικής ενέργειας. Δευτερευόντως εξυπηρετούνται σκοποί όπως η προστασία των κατάντη περιοχών από πλημμύρες, η ανάγκες ψύξης σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, η αποθήκευση νερού για πυρόσβεση αλλά και εμπλουτισμού του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα. Τέλος εξυπηρετούνται σκοποί ψυχαγωγίας, τουρισμού και άθλησης. Τα φράγματα που εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς ονομάζονται φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας. (Παπαδόπουλος, Η. (2020). Υδάτινοι Πόροι και Διαχείριση Φραγμάτων. Αθήνα: Εκδόσεις Περιβάλλον.)

2.2 Στάδια Μελέτης

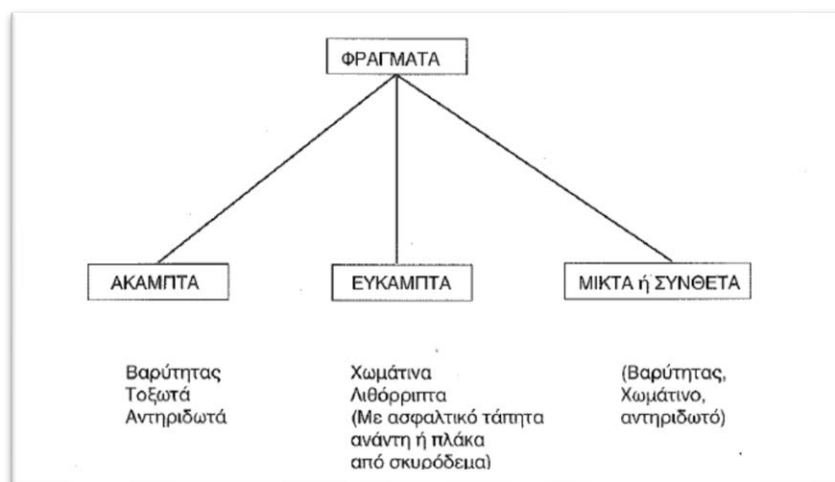
Με βάση τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά μια περιοχής και τις ανάγκες της σε νερό γίνεται η μελέτη για το σχεδιασμό του φράγματος ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικός.(

Η μελέτη για το σχεδιασμό του ταμιευτήρα αποτελείται από τα εξής στάδια :

1. Αναγνωριστική Μελέτη, κατά την οποία καθορίζονται οι ανάγκες του έργου και οι βοηθητικές εργασίες.
2. Προκαταρκτική Μελέτη, με βάση την οποία προσδιορίζεται ο τύπος και το είδος του φράγματος αλλά και των έργων που θα το συνοδεύσουν.
3. Προμελέτη, κατά την οποία δίνονται εναλλακτικές προτάσεις για τον τύπο και τη διάταξη του φράγματος και ορίζεται η βέλτιστη λύση βάση τεχνικών και οικονομικών κριτηρίων. Και τέλος συζητούνται τα βασικά προβλήματα για την υλοποίηση της κατασκευής.
4. Οριστική Μελέτη λύνονται τα προβλήματα που έχουν προκύψει στο στάδιο της προμελέτης και προκύπτουν τα οριστικά σχέδια και οι προδιαγραφές για τη μέθοδο κατασκευής και τον έλεγχο των υλικών. (Παπαδόπουλος, Η. (2020). Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Κατασκευή Φραγμάτων. Αθήνα: Εκδόσεις Περιβάλλον.)

2.3 Τύποι φραγμάτων

Ανάλογα από τα υλικά κατασκευής τους τα φράγματα διακρίνονται σε άκαμπα , εύκαμπα και σύνθετα ή μεικτά. Τα άκαμπα φράγματα είναι εκείνα που κατασκευάζονται από υλικά όπως σκυρόδεμα και παλιότερα από λίθους και διακρίνονται σε φράγματα βαρύτητας, τοξωτά και αντιρηδωτά. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα αποτελεί ότι αντιδρούν με τις υδροστατικές πιέσεις , την άνωση και τις δυνάμεις ανατροπής. Εύκαμπα ή φράγματα επίχωσης χαρακτηρίζονται τα φράγματα εκείνα που είναι κατασκευασμένα από γαιώδη υλικά όπως άργιλο, άμμο, κροκάλες κ.α. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα χωμάτινα και τα λιθορριπτά φράγματα. Τα φράγματα αυτά έχουν τη δυνατότητα κατασκευής σε οποιοδήποτε σημείο και είναι οικονομικότερα στη κατασκευή λόγω των υλικών που χρησιμοποιούνται. Μειονέκτημα τις κατασκευής τους αποτελεί ότι δεν μπορεί να επιτευχθεί η απολυτή στεγανότητα. Και τέλος τα σύνθετα ή μεικτά αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω τύπων. (Adeloye, A. J., & Rustum, R. (2015))



Σχήμα 1. Τύποι φραγμάτων

Άκαμπτα φράγματα:

- **Φράγματα βαρύτητας:** Ονομάστηκαν έτσι καθώς η λειτουργία τους στηρίζεται στο βάρος τους το οποίο αντισταθμίζει τις υδροστατικές πιέσεις, την άνωση, τις σεισμικές φορτίσεις και τις δυνάμεις ανατροπής. Κατασκευάζονται συνήθως ευθείας διατομής αλλά μπορεί να έχουν κάποια μικρή κύρτωση. Η θεμελίωση της κατασκευής απαιτεί εξειδικευμένες μεθοδολογίες πριν τη κατασκευή. Τα στενά περάσματα των κοιλάδων είναι συνήθως η θέση που κατασκευάζονται τα παραπάνω φράγματα, όπου το πέτρωμα είναι πιο υγιές. Η κατασκευή τους γίνεται από άοπλο σκυρόδεμα ή κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (R.C.C.- Roller Compacted Concrete), ενώ σε παλιότερες εποχές κατασκευάζονταν από λίθους. Ένα από τα γνωστότερα φράγματα βαρύτητας στον ελληνικό χώρο είναι του Μαραθώνα στην Αττική που κατασκευάστηκε για να καλύψει τις ανάγκες για νερό της πρωτεύουσας.



Εικόνα 1 Φράγμα Μαραθώνα, φράγμα βαρύτητας

- Τοξωτά φράγματα: Στα φράγματα αυτά οι υδροστατικές πιέσεις μεταφέρονται στα αντερείσματα. Σε αντίθεση με τα φράγματα βαρύτητας κατασκευάζονται σε στενώματα κοιλάδων μεγάλων υψών με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται μικρότερες απαιτήσεις σε σκυρόδεμα και γίνεται οικονομία έως και 70%. Τα τοξωτά φράγματα είναι κατασκευασμένα από οπλισμένο σκυρόδεμα και λίγες φορές μπορεί να κατασκευαστούν από άοπλο και όταν ξεπεράσουν το επιθυμητό πάχος λειτουργούν ως φράγματα βαρύτητας. Είναι καμπύλο στο σχεδιασμό με τη κυρτή επιφάνεια προς τα ανάντη.



Εικόνα 2. Φράγμα Ταυρωπού στη Καρδίτσα , τοξωτό φράγμα διπλής καμπυλότητας

- Αντιρηδωτά φράγματα: Αποτελεί ειδική περίπτωση των φραγμάτων βαρύτητας. Η πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα στηρίζεται και ενισχύεται από μια σειρά υποστηριγμάτων (αντηρίδες) παράλληλα προς τη διεύθυνση του ρεύματος. Στα αντιρηδωτά φράγματα οι υδροστατικές πιέσεις μεταφέρονται στην επιφάνεια θεμελίωσης και λιγότερο στα αντερείσματα. Σε αντίθεση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνουν οικονομία σκυροδέματος έως και 90%. (Τσουπάκη & Χανιώτης , 2022)

Παρακάτω στην Εικόνα παρουσιάζεται το φράγμα Λάδωνα στην Αρκαδία, ένα αντιρηδωτό φράγμα που χτίστηκε με σκοπό την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 3. Φράγμα Λάδωνα στην Αρκαδία , αντιρηδωτό φράγμα

Εύκαμπτα φράγματα :

- Χωμάτινα φράγματα: Στα χωμάτινα φράγματα το μεγαλύτερο τους μέρος αποτελείται από εδαφικά υλικά ή είναι λιθορριπτά με ένα κεντρικό τμήμα από αργιλώδη υλικά (πυρήνα). Μπορούν να κατασκευαστούν σε οποιαδήποτε κοιλάδα, ενώ τα υλικά κατασκευής τους είναι πάρα πολύ οικονομικά. Η θεμελίωση των παραπάνω φραγμάτων δεν αποτελεί εξειδικευμένες μεθοδολογίες θεμελίωσης. Τα χωμάτινα φράγματα με τη σειρά τους χωρίζονται σε ομογενή και ζωνώδη. (Τσουπάκη & Χανιώτης , 2022)
- Λιθόρριπτα φράγματα :Μπορούν να ονομαστούν και ετερογενή χωμάτινα φράγματα και κατασκευάζονται από αδρανή υλικά και πυρήνα που συνήθως είναι από άργιλο. Όπως και τα χωμάτινα έχουν την δυνατότητα να κατασκευαστούν σε οποιαδήποτε κοιλάδα και τα υλικά παραγωγής τους είναι πολύ φθηνότερα από τα άκαμπτα φράγματα. (Τσουπάκη & Χανιώτης , 2022)



Εικόνα 4. Φράγμα Θησαυρού, ορεινά της Δράμας, το μεγαλύτερο λιθορριπτό φράγμα της Ελλάδας.

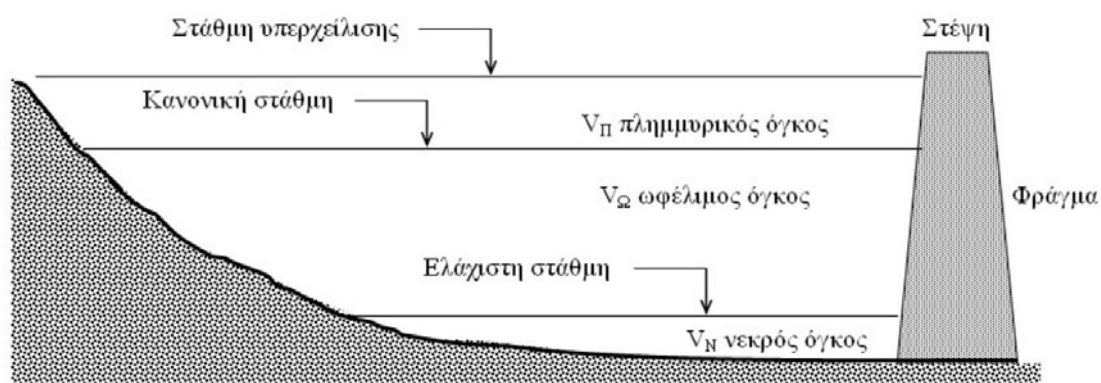


Εικόνα 5. Υδροηλεκτρικό χωμάτινο φράγμα Ιλαρίωνα, Κοζάνη – Έργο πολλαπλής σκοπιμότητας.

2.4 Χαρακτηριστικοί όγκοι και στάθμες ταμιευτήρα

Με την κατασκευή ενός φράγματος εγκάρσια στην διατομή ενός ποταμού για την ανακοπή ροής δημιουργείται ανάντη του φράγματος μια τεχνητή λίμνη που ονομάζεται ταμιευτήρας. Συνήθως οι ταμιευτήρες κατασκευάζονται για να επιτελέσουν παραπάνω από έναν σκοπούς (ύδρευση, άρδευση, υδροηλεκτρική ενέργεια, προστασίας, ψυχαγωγία κτλ.) οι οποίοι συχνά αντικρούονται μεταξύ τους. (Mays, L. W. (2010))

Οι χαρακτηριστικοί όγκοι ενός ταμιευτήρα είναι ο νεκρός όγκος (V_N), ο ωφέλιμος όγκος (V_Ω) και ο πλημμυρικός όγκος (V_Π) και καθορίζονται από την ελάχιστη, τη κανονική και τη στάθμη υπερχειλίσσης αντίστοιχα του κάθε ταμιευτήρα.



Σχήμα 2.Χαρακτηριστικές στάθμες και όγκοι ταμιευτήρα

1. Νεκρός όγκος ή αδρανής χωρητικότητα(V_N) ονομάζεται ο όγκος που αποτελείται μεταξύ του πυθμένα του ποταμού και της ελάχιστης στάθμης λειτουργίας, από την οποία το νερό δεν πρέπει να μειωθεί γιατί θα επηρεαστεί η κανονική λειτουργία του ταμιευτήρα. Στο νεκρό όγκο συσσωρεύονται τα φερτά υλικά της διάβρωσης που λαμβάνει χώρα στη λεκάνη απορροής, λόγω του μηδενισμού της ταχύτητας ροής. Για να υπολογίσουμε τον νεκρό όγκο θα πρέπει να υπολογίσουμε τον όγκο των φερτών που εναποτίθενται κατά τη διάρκεια λειτουργίας του ταμιευτήρα (περίπου 50 χρόνια). (Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας)

2. Ωφέλιμος όγκος ή χωρητικότητα (V_{Ω}) ορίζεται ο όγκος που εμπεριέχεται μεταξύ της ελάχιστης και της κανονικής στάθμης λειτουργίας. Η κανονική στάθμη λειτουργία είναι η μέγιστη στάθμη που μπορεί να φτάσει ο ταμιευτήρας υπό κανονική λειτουργία και καθορίζει τον μέγιστο όγκο νερού που μπορεί να αποθηκευτεί στον ταμιευτήρα. (Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας)
3. Πλημμυρικός όγκος (V_{Π}) ονομάζεται ο όγκος που εμπεριέχεται μεταξύ της κανονικής στάθμης και της στάθμης υπερχειλίσης. Η στάθμη υπερχειλίσης είναι το ανώτερο τμήμα που εκτιμάται ότι μπορεί να φτάσει το νερό κατά τη πλημμύρα σχεδιασμού. (Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας)

2.5 Συνοδευτικά έργα φράγματος :

Τα έργα που συνοδεύουν έναν ταμιευτήρα στη λειτουργία, την ασφάλεια του και τη σκοπιμότητα του χωρίζονται σε 3 κατηγορίες.

- Προκαταρκτικά έργα: Στη κατηγορία αυτή ανήκουν τα έργα που πραγματοποιούνται στη περιοχή για να προετοιμάσουν το έδαφος για τη σωστή λειτουργία του εργοταξίου για κατασκευή του έργου. Τέτοια εργά αποτελούν η σήραγγα εκτροπής και το άναντη πρόφραγμα. Με τη σήραγγα εκτροπής γίνονται ευκολότερες οι εργασίες κατασκευής του φράγματος καθώς τα νερά του ποταμού εκτρέπονται κατάντη και επιλέγεται για μεγάλα φράγματα. Για μικρότερα ύψους φράγματα κατασκευάζεται μικρά χωμάτινα αναχώματα άναντη του φράγματος (προφράγματα). Με τη λήξη του έργου φράζονται τα προκαταρκτικά έργα ώστε να μπορέσει να ξεκινήσει η πλήρωση του ταμιευτήρα. Αργότερα η σήραγγα εκτροπής μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τμήμα του εκχειλιστή (υπερχειλιστή) οπου σε περίπτωση πλήρωσης πάνω από την ανώτατη στάθμη λειτουργίας θα εξασφαλιστεί τη κανονική ροή του περισσέματος νερού προς τα κατάντη. Επίσης θα μπορέσει να λειτουργήσει και ως εκκενωτής πυθμένα, ο οποίος θα συμβάλει στη ολοσχερή εκκένωση του ταμιευτήρα όταν κρίνει ότι υπάρχει πρόβλημα στο έργο.(Σαχπάζης, Κ., 2018.)
- Έργα προσαγωγής και απαγωγής : Τα έργα προσαγωγής και απαγωγής έρχονται να συμβάλουν τη σύνδεση των ταμιευτήρων με τις κατασκευές

υδροηλεκτρικών σταθμών και στη συνέχεια το επαναφέρουν πίσω στον ταμιευτήρα. Τέτοια έργα είναι η σήραγγα προσαγωγής, οι αγωγοί και δικλείδες φυγής και οι αγωγοί πτώσεως. (Σαχπάζης, Κ., 2018.)

Έργα ασφαλείας στη κατασκευή ενός φράγματος: Με τα έργα αυτά εξασφαλίζεται η ασφάλεια κατά τη κατασκευή του έργου καθώς είναι προσωρινά έργα που τα οποία διακόπτουν τη ροή του ποταμού σε αναγκαίες περιπτώσεις όπως αναπάντεχη πλημμύρα. Τα έργα αυτά όπως προ είπαμε στα προκαταρκτικά έργα είναι οι εκχυλιστές και οι εκκενωτές πυθμένα αντίστοιχα. Παράλληλα έργα ασφαλείας αποτελούν επίσης τα φρεάτια αναπλάσεως και οι θάλαμοι ισορροπίας καθώς προστατεύουν τους αγωγούς από το φαινόμενο του υδραυλικού πλήγματος. (Ευστρατιάδης et. al. 2015. Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο(www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1591/)



Εικόνα 6.Δύο Εκκενωτές και Υπερχειλιστές του φράγματος Ταυρωπού.

3. Περιοχή Μελέτης

3.1 Γεωγραφική Θέση

Η Θεσσαλία είναι γεωγραφικό διαμέρισμα της Ελλάδας και βρίσκεται βορειοανατολικά της κεντρικής Ελλάδας. Η Θεσσαλία αποτελείται από τους νομούς Λαρίσης, Μαγνησίας, Τρικάλων και Καρδίτσας και έχει την έκταση της και τα νησιά των Βόρειων Σποράδων. Η συνολική έκταση της είναι 14.037 τετραγωνικά χιλιόμετρα, έκταση που μεταφράζεται στο 11% της συνολικής έκτασης της Ελλάδας και ο συνολικός πληθυσμός σύμφωνα με απογραφή που έγινε το 2021 είναι 688,255 κάτοικοι. (Υ.ΠΕ.ΘΕ. (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλία), 2009.)



Χάρτης 1.Χάρτης της Ελλάδας που απεικονίζεται η Θεσσαλία

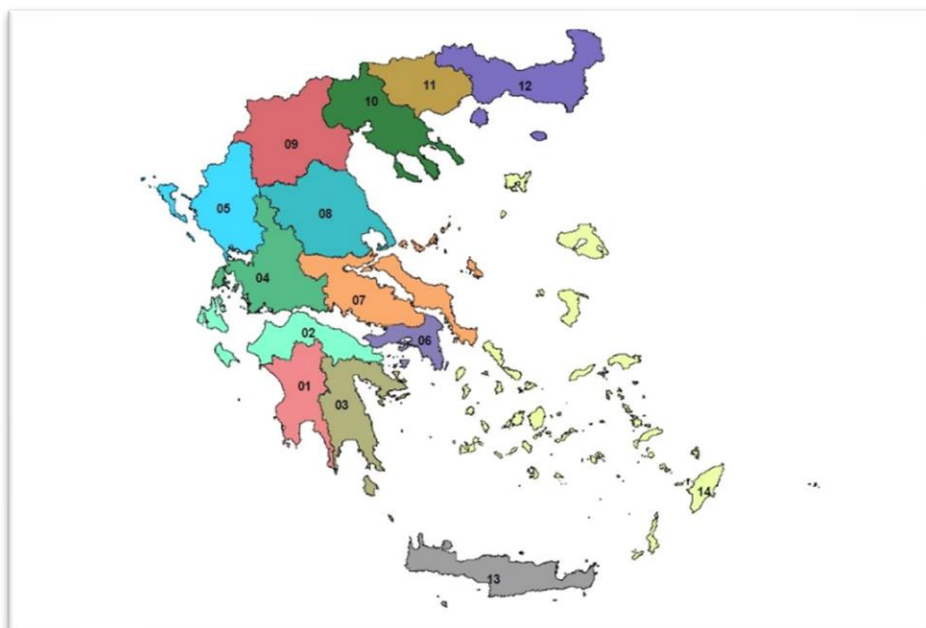
Η Θεσσαλία συνορεύει από τα βόρεια με τη κεντρική και δυτική Μακεδονία μέσω του Άνω και Κάτω Ολύμπου, του Τιτάρου, των Καμβουνίων, των Αντιχασίων και των Χασίων. Νότια συνορεύει με τη Στερεά Ελλάδα μέσω του Αχελώου και δυτικά με την Ήπειρο μέσω της οροσειράς της νότιας Πίνδου ενώ στα ανατολικά περιβάλλεται από το Αιγαίο Πέλαγος και το νότιο τμήμα του Θερμαϊκού Κόλπου.

Η Θεσσαλία στο μεγαλύτερο μέρος της αποτελείται από πεδιάδες και γεωργικές εκτάσεις (Θεσσαλικός κάμπος) που αποτελούν την κύρια πηγή οικονομίας της περιοχής για τον λόγο αυτό το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού ασχολείται με τον πρωτογενή τομέα και υπάρχει γεωργική ανάπτυξη. Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι μεγάλοι όγκοι νερού καταλήγουν για άρδευση καλλιεργειών ενώ μικρότεροι πηγαίνουν στην ύδρευση της περιοχής για αστική και βιομηχανική χρήση, κτηνοτροφία και τουρισμό. (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2017)

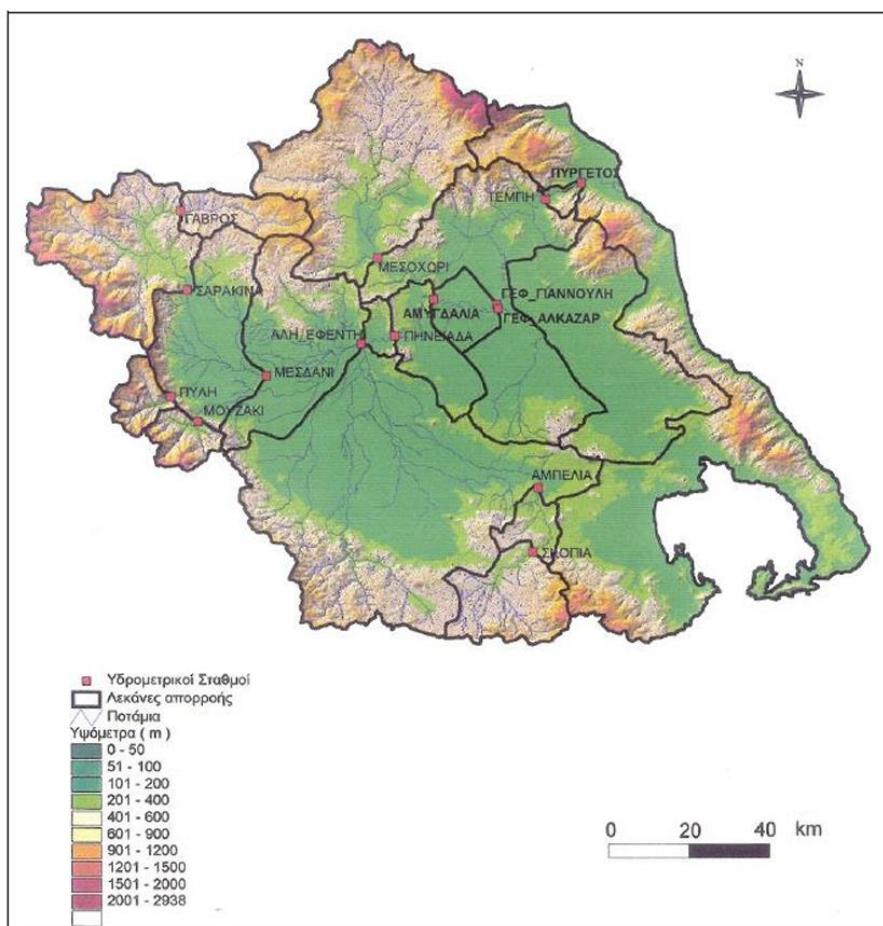
3.2 Υδατικό Διαμέρισμα

Η Ελλάδα χωρίζεται σε δεκατέσσερα (14) υδατικά διαμερίσματα , με τη Θεσσαλία να ανήκει στο όγδοο (8) υδατικό διαμέρισμα το οποίο έχει έκταση 13.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα ,σχεδόν ίση με το αντίστοιχο γεωγραφικό διαμέρισμα. Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του νομού Λαρίσης (σχεδόν ολόκληρο) ,μεγάλο μέρος των νομών Μαγνησίας ,Τρικάλων ,Καρδίτσας και μικρότερα τμήματα των νομών Πιερίας, Γρεβενών και Φθιώτιδας.

Το παραπάνω υδατικό διαμέρισμα είναι εκείνο που έχει υπό τη κατοχή του τα μεγαλύτερα ποσοστά των πεδινών εκτάσεων στην Ελλάδα γι' αυτό και η ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων της περιοχής αποτελεί μείζον θέμα. (Τύραλης, Χ., 2015)



Χάρτης 2. Τα υδατικά διαμερίσματα της Ελλάδας



Χάρτης 3.Το υδατικό διαμερίσματα της Θεσσαλίας .

3.3 Λεκάνη απορροής μελέτης

Λεκάνη απορροής ή υδρολογική λεκάνη ενός ποταμού ονομάζεται η επιφάνεια του εδάφους που συγκεντρώνονται όλα τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και καταλήγουν στη συνέχεια στη θάλασσά, λίμνη ή χείμαρρο.

Κύρια υδρολογική λεκάνη του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας αποτελεί η λεκάνη του Πηνειού ποταμού με έκταση 11.062 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Κύριοι παραπόταμοι του Πηνειού απαρτίζουν στο νότιο τμήμα του ο Ενιπέας, ο Φαρσαλιώτης , ο Σοφαδιτης και ο Καλεντζής, από τα δυτικά κυλάει ο Πάμισος και ο Πορταϊκός ενώ στο βόρειο τμήμα του έχουμε τον Ληθαίο, τον Νεοχωρίτη και τον Τιταρήσιο. Οι παραπάνω ακολουθούν τη πορεία του Πηνειού μέχρι να εκβάλει στο Αιγαίο. (Υ.ΠΕ.ΘΕ. (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλία), 2009.)

Πιο συγκεκριμένα στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται το ενδεχόμενο κατασκευής φράγματος και κατά συνέπεια ταμιευτήρα εγκάρσια του χείμαρρου Πάμισου, τη περιοχή Μουζάκι της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας.

Το Μουζάκι βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της πεδιάδας της Καρδίτσας και στα άκρα του όρους Ίταμος (υψόμετρο 180 μέτρων) . Διασχίζεται από τον χείμαρρο Πάμισο ο οποίος ξεκινάει από τα Άγραφα στις βουνοπλαγιές των Καραάβα , Καραβούλα και Καζάρμα στο χωριό Οξία και χύνεται στον Πηνειό ποταμό. Το νερό του δικτιού χρησιμοποιείται κυρίως για άρδευση. Η περιοχή είναι το ίδιο εμπλουτισμένη και στον υπόγειο υδροφορέα της οπού η εκμετάλλευση του γίνεται μέσω πηγαδιών που διανοίγουν με μεγάλες γεωτρήσεις για την κάλυψη των αναγκών προκειμένου να αρδευτούν οι καλλιέργειες. (Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (ΥΔ GR 08) - Υ.ΠΕ.ΘΕ.)

3.4 Γεωμορφολογία

Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας δεν παρουσιάζει πολύπλοκη γεωμορφολογία καθώς οι ορεινοί όγκοι της περιβάλλουν τις πεδινές εκτάσεις και ο μέσος όρος του υψομέτρου της περιοχής είναι 285m.

Η περιφέρεια Καρδίτσας επίσης παρουσιάζει απλή δομή καθώς είναι περικυκλωμένη από βουνά ενώ τα πεδινά τμήματα της βρίσκονται στις κεντρικές περιοχές. Ποσοστιαία το 49% του εδάφους της είναι πεδινό , το 42% είναι ημιορεινό ενώ το υπόλοιπο 9% είναι ορεινό.

Τέλος το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης μεταβάλλεται από ομαλό με μικρές κλίσεις στα πεδινά, σε ανώμαλο με πολύ μεγάλες κλίσεις στις ορεινές περιοχές.

Το υψόμετρο της λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου κυμαίνεται από 200 έως 2000 μέτρα με τη μέση τιμή να είναι 825 m. (Τύραλης, Χ., 2015)

3.5 Γεωλογία

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης ,δηλαδή το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας περιέχει σύνθετες γεωλογικές συνθήκες. Αναλυτικότερα προχωρώντας από βορεία και δυτικά σε νότια και ανατολικά οι γεωτεκτονικές ζώνες που παρατηρούνται είναι τρεις, η Πελαγονική ζώνη, η Υποπελαγονική ζώνη και η ζώνη Ωλονού – Πίνδου.

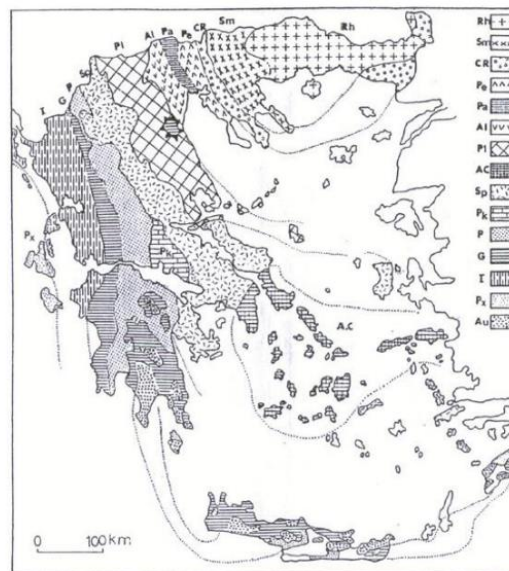
- Η Πελαγονική ζώνη συναντάται στα ανατολικά του νομού και συντίθεται από κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, τους γευσιώμενους γρανίτες , τα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα, τους οφειόλιθους και τα Ανωκρήτιδικά επικλυσιογενή ιζήματα.

- Η Υποπελαγονική ζώνη συναντάται στα κεντρικά του νομού και ονομάζεται αλλιώς και Ζώνη Ανατολικής Ελλάδας. Η ονομασία που τις δόθηκε δείχνει τη σύνδεση της με τη πελαγονική ζώνη που καθόρισε τη γεωγραφική θέση της υποπελαγονικής ζώνης. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αποτελούν οι τεράστιες οφειολιθικές μάζες.
- Ζώνη Ωλονού – Πίνδου συναντάται στα δυτικά τμήματα της Θεσσαλίας. Σύμφωνα με ερευνητές η ζώνη της Πίνδου είναι η παλαιότερη αποτελεί μαζί με την υποπελαγονική ζώνη εξέλιξη του παλαιού ωκεανού της Νέο Τηθύος.

Η περιοχή μελέτης μας , δηλαδή το Μουζάκι Καρδίτσας ανήκει στα σύνορα Υποπελαγονικής ζώνης και Ζώνης Ωλονού – Πίνδου.

Επιπροσθέτως οι κατηγορίες εδαφών που παρατηρούνται στη περιοχή μελέτης είναι σκληροί ασβεστόλιθοι και ψαμμιτικός φλύσχος σε ποσοστό 80%, αργιλικός φλύσχος σε ποσοστό 10% ,κολλούβια φλύσχη σε ποσοστό 5% και τα υπόλοιπα εδάφη (τριτογενείς αποθέσεις και οι κοίτες ποταμών) σε ποσοστό 5%.

(Μουντράκης, 2010)



Rh : Μάζα της Ροδόπης	Sp : Υποπελαγονική Ζώνη
Sm : Σερβομακεδονική μάζα	Pk : Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας
CR : Περιροδοπική ζώνη	P : Ζώνη Πίνδου
Pe : Ζώνη Παιωνίας (Ζώνη Αξιού)	G : Ζώνη Γαβρώβου-Τριπόλεως
Pa : Ζώνη Πάικου (Ζώνη Αξιού)	I : Ιόνιος Ζώνη
Al : Ζώνη Αλμωπίας (Ζώνη Αξιού)	Px : Ζώνη Παξών ή Προαπούλια
Pl : Πελαγονική Ζώνη	Au : Ενότητα "Ταλέα Όρη-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι"
Ac : Αττικο-κυκλαδική Ζώνη	

Χάρτης 4.Χάρτης Γεωλογίας Ελληνικού Χώρου.

3.6 Κλιματικά Στοιχεία

Το κλίμα της Θεσσαλίας στα ανατολικά τμήματα της χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό καθώς έχει θερμά και ξηρά καλοκαίρια αλλά και ήπιους χειμώνες. Από την άλλη πλευρά ο θεσσαλικός κάμπος λόγω του ότι είναι περικυκλωμένος από βουνά και εμποδίζουν την άμεση επίδραση της θάλασσας, έχει ηπειρωτικό κλίμα με πολύ θερμά καλοκαίρια και πολύ ψυχρούς χειμώνες. Τέλος στα δυτικά τμήματα του νομού (ορεινές περιοχές) το κλίμα χαρακτηρίζεται ως ορεινό, με κύρια χαρακτηριστικά την πληθώρα χιονοπτώσεων και τις συχνές βροχοπτώσεις. (Δημητρίου, Ε., & Παπαδόπουλος, Α. (2019))

Τα μετεωρολογικά στοιχεία που προσδιορίζουν το κλίμα μια περιοχής είναι τα παρακάτω:

Θερμοκρασία: Η μέση ετήσια θερμοκρασία της περιοχής είναι 13°C ενώ οι μέσες τιμές των ακραίων θερμοκρασιών είναι 18°C το μέγιστο και 8°C το ελάχιστο. Πιο ψυχρούς μήνες αλληπαλλήλους παγετούς αποτελούν ο Δεκέμβριος , Ιανουάριος, Φεβρουάριος ενώ πιο θερμούς μήνες αποτελούν ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. (Δημητρίου, Ε., & Παπαδόπουλος, Α. (2019))

Βροχοπτώσεις : Το ύψος των βροχοπτώσεων είναι σχετικά υψηλό στα δυτικά και στα ορεινά ανατολικά τμήματα της περιοχής ενώ ελαττώνεται στο κεντρικό πεδινό τμήμα. Μια ενδεικτική μέση ετήσια βροχόπτωση σύμφωνα με βροχομετρικό σταθμό που είναι τοποθετημένος στο πιο ορεινό Μουζάκι είναι 1143 mm. Βροχερότερους μήνες αποτελούν οι μήνες από τον Οκτώβριο έως τον Ιανουάριο ενώ οι πιο ξηροί είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. (Δημητρίου, Ε., & Παπαδόπουλος, Α. (2019))

Χιονοπτώσεις : Η περιοχή των Τρικάλων γενικότερα κατά τους χειμερινούς μήνες και ειδικότερα Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο δέχεται μεγάλους όγκους χιονιού οι οποίοι αποτελούν σημαντικά υδατικά αποθέματα καθώς εμπλουτίζουν τον υπόγειο υδροφόρο αλλά και τους ταμιευτήρες. Οι χιονοπτώσεις είναι εντονότερες στα ορεινά τμήματα ενώ γίνονται εντονότερες από τα νότια προς τα βόρεια και από τα ανατολικά προς τα δυτικά. (Δημητρίου, Ε., & Παπαδόπουλος, Α. (2019))

3.7 Υδρολογία

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο Πηνειός ποταμός είναι εκείνος που κυριαρχεί στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας καθώς είναι ο μεγαλύτερος σε έκταση και σε εκείνος καταλήγουν οι περισσότεροι ποταμοί της περιοχής.

Όσον αφορά την περιοχή μελέτης, το υδρογραφικό δίκτυο της υδρολογικής λεκάνης του Πάμισου είναι αρκετά πυκνό με κλίσεις υδατορεμάτων που είναι πολύ μικρές στις πεδινές περιοχές και πολύ μεγάλες στις ορεινές περιοχές.

Η σύσταση του εδάφους της περιοχής ευνοεί τη δημιουργία υδροφόρων οριζόντων τόσο ελεύθερων όσο και με πίεση. Στην περίπτωση υπάρξεις στρώσεις αργίλου, ο εμπλουτισμός το υπόγειων υδροφορέων με διήθηση βρόχινου νερού γίνεται πολύ δύσκολα χάρη στην μικρή διαπερατότητα του υλικού. Η τροφοδότηση των υδροφόρων οριζόντων γενικά, γίνεται κυρίως από τα υδατορέματα της περιοχής.

(Υ.ΠΕ.ΘΕ. (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλία), 2009)

3.8 Φράγμα Μουζακίου Καρδίτσας

Πιο συγκεκριμένα το φράγμα Μουζακίου βρίσκεται στον νομό Καρδίτσας και αποτελεί ένα σημαντικό υδραυλικό έργο για την περιοχή. Είναι χτισμένο στον Ποταμό Πάμισο, ο οποίος είναι παραπόταμος του Πηνειού και αποτελεί χωμάτινο φράγμα με αργιλώδη πυρήνα με ύψος που φτάνει περίπου τα 30 μέτρα. Εξυπηρετεί πολλαπλούς σκοπούς, όπως άρδευση, ύδρευση, παραγωγή ενέργειας και αντιπλημμυρική προστασία.

Η κύρια χρήση του φράγματος είναι η παροχή νερού για άρδευση των γεωργικών εκτάσεων στην πεδιάδα της Θεσσαλίας που αποτελεί την μεγαλύτερη πεδιάδα της Ελλάδας. Παράλληλα παρέχει νερό για τις ανάγκες ύδρευσης των τοπικών κοινοτήτων και των γειτονικών περιοχών και συμβάλλει στη διασφάλιση της ποιότητας και της ποσότητας του νερού που διατίθεται για ανθρώπινη κατανάλωση. Επίσης αν και η κύρια χρήση του δεν είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το φράγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας μέσω μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Και τέλος λειτουργεί ως προστατευτικός μηχανισμός για την περιοχή από πλημμυρικά φαινόμενα καθώς ελέγχει την ροή του

νερού του ποταμού Πάμισου και μειώνει τον κίνδυνο πλημμύρας στις παρακείμενες περιοχές.

Όσον αφορά τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, το φράγμα επηρεάζει το τοπικό οικοσύστημα, μεταβάλλοντας τον φυσικό ρυθμό ροής του ποταμού και το υδρολογικό καθεστώς της περιοχής. Οι αλλαγές στη ροή μπορεί να επηρεάσουν την τοπική χλωρίδα και πανίδα, ειδικά τα είδη που εξαρτώνται από το ποτάμι για την επιβίωσή τους. Από την άλλη πλευρά στη κοινωνία, παρέχει σημαντικά οφέλη για την τοπική οικονομία μέσω της βελτιωμένης παροχής νερού για γεωργία και ύδρευση και δημιουργεί ευκαιρίες αναψυχής.

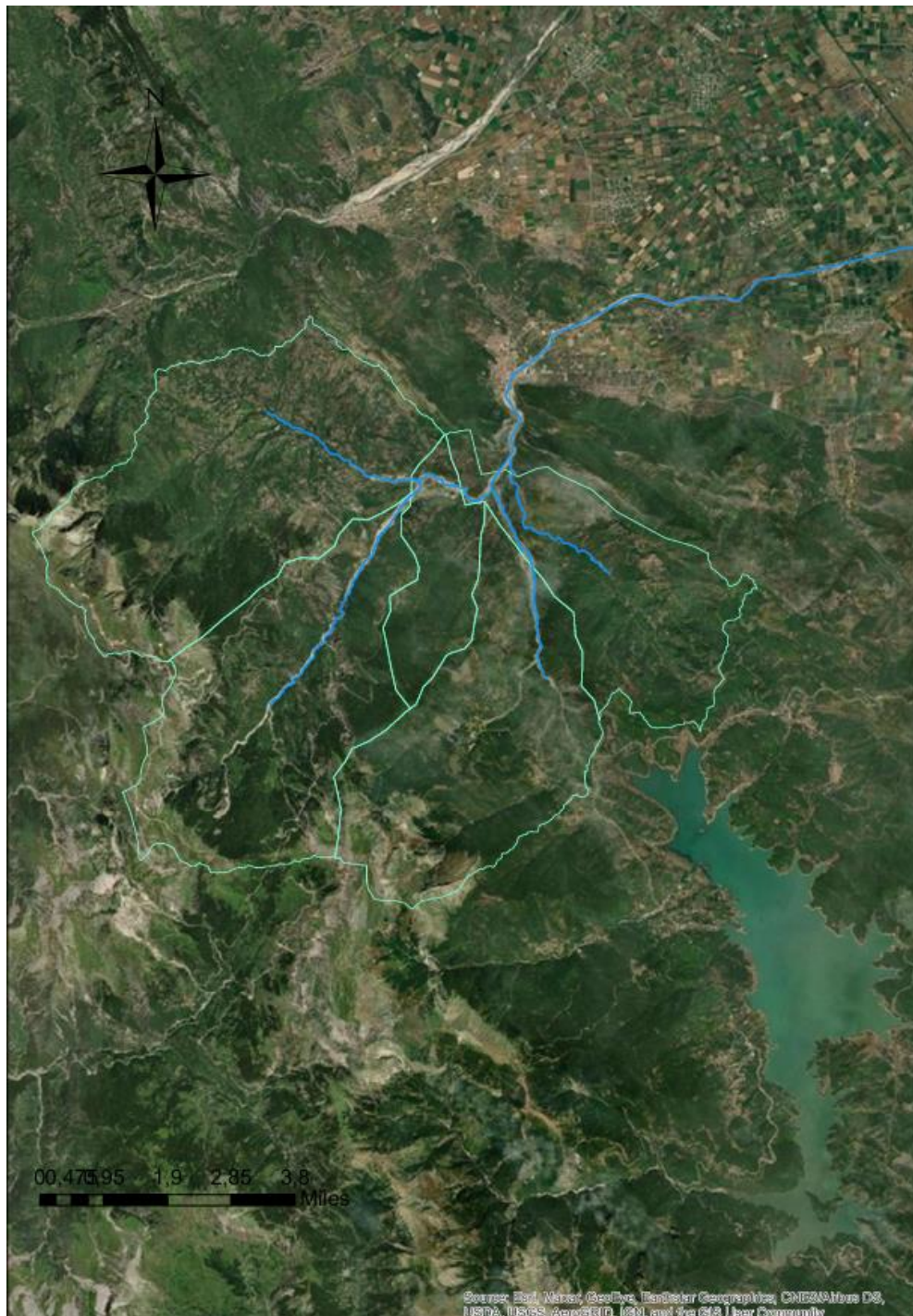
Συμπερασματικά το Φράγμα Μουζακίου αποτελεί ένα σημαντικό έργο υποδομής για την περιοχή της Καρδίτσας και την ευρύτερη Θεσσαλία. Η πολυλειτουργική του φύση το καθιστά κρίσιμο για την υποστήριξη της γεωργίας, την παροχή νερού και την προστασία από πλημμύρες, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη της περιοχής.

Για την εύρεση της λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου στο Μουζάκι Τρικάλων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ArcGIS . Πιο συγκεκριμένα η αρχή έγινε με την συγκέντρωση δεδομένων, δηλαδή ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) της περιοχής μελέτης και δεδομένων υδρογραφίας (ποτάμια) τα οποία εισήχθησαν και γεωαναφέρθηκαν στο ArcGIS. Στη συνέχεια ξεκίνησε η δημιουργία του υδρολογικού δικτύου κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω εντολές από το πακέτο 'Hydrology' με την ακόλουθη σειρά :

1. Fill DEM με την με την οποία έγινε το γέμισμα πιθανών κενών (sinks) στο DEM.
2. Flow Direction για την δημιουργία ενός raster με τις κατευθύνσεις ροής του νερού.
3. Flow Accumulation για την δημιουργία ενός raster που δείχνει τη συσσώρευση ροής σε κάθε σημείο.
4. Stream Definition με την οποία ορίστηκαν ποτάμια με βάση τη ροή.
5. Stream Link για τη σύνδεση τμημάτων των ποταμών.
6. Watershed για τον τελικό καθορισμό των λεκανών απορροής.

Μέσω της παραπάνω διαδικασίας υπολογίστηκε τελικά ότι η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής είναι 144 km² .Στη συνέχεια δημιουργήθηκε χάρτης για την

τελική απεικόνιση και παρουσίαση του αποτελέσματος όπου η μπλε γραμμή αντιπροσωπεύει το δίκτυο υδρογραφίας, δείχνοντας πώς συνδέονται οι διάφορες υδάτινες διαδρομές στην περιοχή .



Χάρτης 5.Χάρτης που απεικονίζει τη περιοχή μελέτης - ArcGis

4.Μεθοδολογία

4.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2 οι χωρητικότητες- όγκοι ενός ταμιευτήρα είναι η αδρανής χωρητικότητα ή νεκρός όγκος (V_N), η ωφέλιμη χωρητικότητα (V_Ω) και πλημμυρικός όγκος(V_Π). Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση και ο υπολογισμός του ωφέλιμου όγκου δηλαδή της ποσότητας που μπορεί να παράσχει ένας ταμιευτήρας κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου.

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ωφέλιμης χωρητικότητας των ταμιευτήρων μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες . Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει μεθόδους που θα χρησιμοποιηθούν στη παρούσα διπλωματική και βασίζονται στις ιστορικές χρονοσειρές εισροών (critical period techniques). Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν πιθανοθεωρητικές μεθοδολογίες που βασίζονται στη Θεωρία του Moran (transition probability methods) , στη τρίτη κατηγορία περιλαμβάνονται μεθοδολογίες με συνθετικές χρονοσειρές εισροών ενώ στη τέταρτη και τελευταία κατηγορία ανήκουν οι μέθοδοι προσομοίωσης λειτουργίας ταμιευτήρα.

Στις μεθόδους που χρησιμοποιούν ιστορικές χρονοσειρές εισροών για τον υπολογισμό της ωφέλιμης χωρητικότητας ανήκουν οι μέθοδοι Dincer , Alexander, SPA και Ripple.

4.2 Μέθοδος Dincer (Gould Dincer method)

Η μέθοδος Dincer προήλθε από τον καθηγητή T. Dincer του Τεχνικού Πανεπιστημίου Μέσης Ανατολής (1966) για την εύρεση του ωφέλιμου όγκου – απόδοσης ταμιευτήρα, χρησιμοποιεί την κανονική κατανομή με σκοπό να προσαρμοστούν τα αθροίσματα των ετήσιων απορροών. Αποτελεί μια από τις απλούστερες μεθόδους υπολογισμού ωφέλιμου όγκου. Η εξισώσεις που αντιπροσωπεύουν το μοντέλο G-D αναπτύσσονται ακολούθως.

(McMahon, T. A., Pegram, G. G. S., Vogel, R. M., & Peel, M. C. (2007))

Εξετάζεται μια ακολουθία ετήσιων ροών οι οποίες θεωρούνται ανεξάρτητες και κανονικά κατανομημένες (με μέση τιμή $\bar{x}$ και τυπική απόκλιση s), οι διαδοχικές εισροές n - ετών σε μια δεξαμενή μπορούν να οριστούν ως :

Για μια ακολουθία n - ετών ο μέσος όρος

$$\bar{x}_n = n\bar{x} \quad \text{εξ. 4.2.1}$$

Ενώ η τυπική απόκλιση για n - ετών

$$s_n = \sqrt{\Sigma^n s^2} = n^{1/2}s \quad \text{εξ. 4.2.2}$$

Ως αποτέλεσμα του θεωρήματος Κεντρικού Ορίου η κατανομή του αθροίσματος από n συνεχόμενες ετήσιες απορροές προσεγγίζει την κανονικότητα καθώς αυξάνεται το n .

Συμπερασματικά η ελάχιστη απορροή του για n έτη με πιθανότητα παρουσίας $p\%$ δίνεται από τη σχέση :

$$q_{n,p} = n\bar{x} - z_p\sqrt{ns} \quad \text{εξ. 4.2.3}$$

Όπου $q_{n,p}$ είναι η ροή για n έτη με πιθανότητα παρουσίας $p\%$

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

Κατά τη διάρκεια της κρίσιμης περιόδου (χρόνος που χρειάζεται για να αδειάσει ο ταμιευτήρας χωρίς υπερχείλιση), ο απαιτούμενος αποθηκευτικός όγκος ισούται με την εκροή μείον την εισροή.

Και δίνεται από τον τύπο :

$$C_{\eta,p} = D_{\eta} - q_{n,p} \quad \text{εξ. 4.2.4}$$

Οπού :

- $C_{\eta,p}$ δηλώνει τη μείωση του αποθέματος κατά τη περίοδο n ετών στην οποία η ετήσια απορροή $q_{n,p}$ μπορεί να εμφανιστεί με πιθανότητα $p\%$,
- D_n είναι η σταθερή ζήτηση νερού από τον ταμιευτήρα για περίοδο n ετών και ισούται με $D_n = Dn\bar{x}$,
- D είναι η σταθερή ζήτηση σε αναλογία της μέσης ετήσιας απορροής.

Από τα παραπάνω προκύπτει η εξίσωση 4.2.5:

$$\begin{aligned} C_{n,p} &= Dn\bar{x} - n\bar{x} + z_p\sqrt{ns} \\ &= \bar{n}(D - 1) + z_p\sqrt{ns} \end{aligned} \quad \text{εξ. 4.2.5}$$

Για την εύρεση του μέγιστου απαιτούμενου ωφέλιμου όγκου, η παραπάνω εξίσωση παραγωγίζεται ως προς τον τα χρόνια n και μηδενίζοντας την προκύπτει :

$$CP = \frac{z_p^2}{4(1-D)^2} C_v^2 \quad \text{εξ. 4.2.6}$$

Και ως εκ τούτου

$$T = \frac{C}{\bar{x}} = \frac{z_p^2}{4(1-D)} C_v^2 \quad \text{εξ. 4.2.7}$$

Οπού :

- CP συμβολίζει την διάρκεια της κρίσιμης περιόδου σε έτη,
- C_v είναι ο συντελεστής διακύμανσης,
- C είναι η μέγιστη απαιτούμενη ωφέλιμη χωρητικότητα σε μονάδες όγκου,
- T είναι η μέγιστη απαιτούμενη χωρητικότητα δηλωμένη ως προς τη μέση ετήσια απορροή.

Στη μέθοδο Dincer γίνεται η παραδοχή ότι ο ταμιευτήρας είναι αρχικά γεμάτος και επιτρέπεται μόνο μια αστοχία κατά τη διάρκεια της, εκτός από τη παραπάνω, γίνονται και οι εξής παραδοχές:

- Η κρίσιμη περίοδος είναι αρκετά μεγάλη ώστε οι ετήσιες απορροές να τείνουν να ακολουθήσουν τη κανονική κατανομή
- Ανεξαρτησία μεταξύ των ετήσιων απορροών,
- Σταθερός ρυθμός απόληψης.

Για τις απορροές εκείνες που δεν ακολουθούν τη κανονική κατανομή, λαμβάνοντας υπόψη τη παραπάνω μεθοδολογία, υπερεκτιμάται ο απαιτούμενος αποθηκευτικός χώρος. Το σφάλμα αντισταθμίζεται από την αρχική παραδοχή του γεμάτου ταμιευτήρα που δεν αστοχεί (υπερχείλιση). Η παραδοχή αυτή τείνει να υποεκτιμά τα αποτελέσματα.

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση 4.2.6 με ον δείκτη συμπεριφοράς 4.2.8 προκύπτει:

$$m = \frac{(1-D)}{C_v} \quad \text{εξ. 4.2.8}$$

$$K = \frac{z_p^2}{4m} \quad \text{εξ. 4.2.9}$$

Οπού K είναι η ανοιγμένη ωφέλιμη χωρητικότητα

m ο δείκτης συμπεριφοράς

Αξίζει να αναφερθεί ότι για μια δεδομένη πιθανότητα, όσο το K μειώνεται το m αυξάνεται. (McMahon, T. A., Pegram, G. G. S., Vogel, R. M., & Peel, M. C. (2007))

4.3 Μέθοδος Alexander (Alexander's Method)

Η μέθοδος Alexander (1962) αναπτύσσει μια σειρά από καμπύλες ξηρασίας για διαφορετικές πιθανότητες εμφάνισης και από εκείνες προκύπτουν γενικευμένες καμπύλες αποθήκευσης- ρύθμισης- πιθανοτήτων.(Biswas, A. K. (1997))

Ο Alexander υπέθεσε ότι η ετήσια ροή του ρέματος θα μπορούσε να αναπαρασταθεί από μια κατανομή Γάμμα από την οποία καθόρισε τις εισροές μάζας για διάφορα διαστήματα υποτροπής. Το διάστημα επανάληψης είναι το αντίστροφο της πιθανότητας , έτσι προκύπτει :

$$T = \text{διάστημα υποτροπής (χρόνια)} = \frac{1}{\text{Πιθανότητα εμφάνισης}} \quad \text{εξ. 4.3.1}$$

Για την κατανόηση της μεθόδου Alexander είναι απαραίτητο να κατανοηθεί η κατανομή Γάμμα και οι ιδιότητες της.

Η συνάρτηση πιθανότητας της κατανομής Γάμμα δύο παραμέτρων ορίζεται ως εξής:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^a \tau(a)} x^{a-1} e^{-x/\beta} \quad \text{εξ.4.3.2}$$

Οπού : x είναι η τιμή της απορροής,

a είναι η παράμετρος σχήματος ,

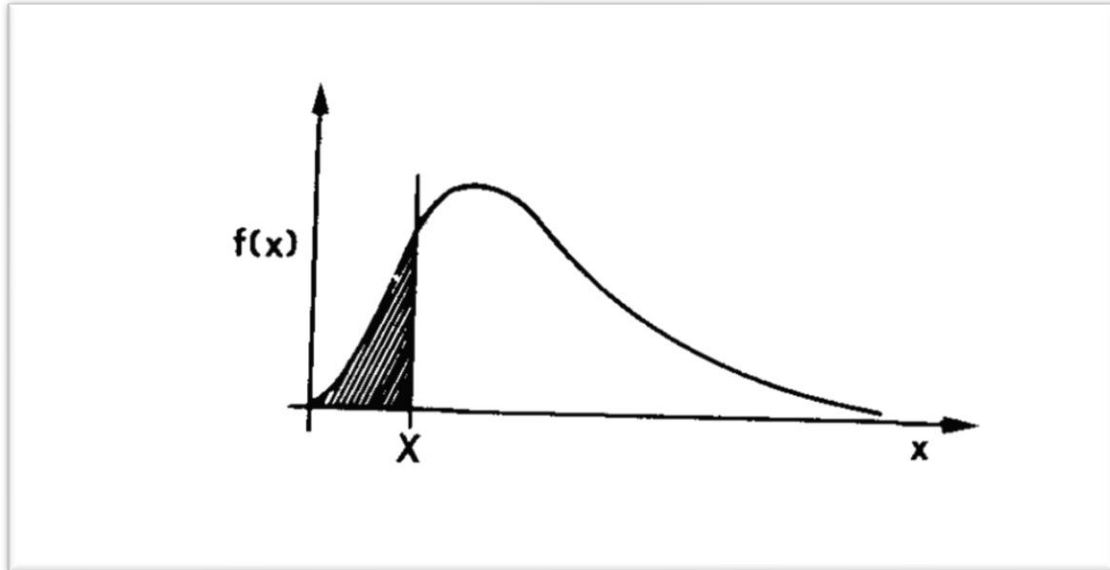
β είναι η παράμετρος κλίμακας

$\tau(a)$ η συνάρτηση Γάμμα που ισούται με το ολοκλήρωμα $\int_0^\infty x^{a-1} e^{-x/\beta} dx$

Για να εκτιμηθεί η πιθανότητα μια ροή μεγέθους x να είναι μικρότερη από κάποια τιμή X με δεδομένο ότι οι ροές ακολουθούν Γάμμα κατανομή , υπολογίζεται :

$$\text{Prod}(x \leq X) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\beta^a \tau(a)} \cdot \int_0^x x^{a-1} e^{-x/\beta} dx \quad \text{εξ.4.3.3}$$

Στο παρακάτω διάγραμμα γίνεται αντιληπτό ότι η εξίσωση 4.4.3 εκτιμά το εμβαδόν του σκιασμένου τμήματος της κατανομής πιθανοτήτων.



Διάγραμμα 1. Πιθανότητα η ροή x να είναι μικρότερο του μεγέθους X

Για τον υπολογισμό των παραμέτρων α και β της κατανομής Γάμμα ο Thorn (1958) χρησιμοποίησε τη μέθοδο μέγιστης πιθανότητας, έτσι προκύπτουν οι εξισώσεις 4.3.4 και 4.3.5:

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}}{4A} \quad \text{εξ.4.3.4}$$

όπου $A = \log_e \bar{x} - \overline{\log_e x}$ δηλαδή είναι η αφαίρεση του λογάριθμου του μέσου όρου μείον τον μέσο όρο των λογαρίθμων των απορροών.

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad \text{εξ.4.3.5}$$

Οπού $\bar{x}$ είναι η μέση ετήσια ροή.

Κατά την ανάπτυξη της μεθόδου του, ο Αλέξανδρος χρησιμοποίησε μια ιδιότητα της Γάμμα κατανομής η οποία δηλώνει ότι το άθροισμα n ανεξάρτητων μεταβλητών Γάμμα με τις παραμέτρους α και β είναι μια μεταβλητή Γάμμα με τις παραμέτρους:

$$a_n = n\alpha \quad \text{εξ. 4.3.6}$$

Άρα και
$$\overline{x_n} = n\bar{x}$$

$$B_n = \frac{\bar{x}_n}{a_n} = \frac{n\bar{x}}{n\alpha} = \beta \quad \text{εξ. 4.3.7}$$

όπου a_n είναι η παράμετρος σχήματος για n συνεχόμενα έτη,

β_n είναι η παράμετρος κλίμακας για n συνεχόμενα έτη.

Από τα παραπάνω, υποθέτοντας ότι η ετήσια ροή είναι κατανομής Γάμμα και γνωρίζοντας τη παράμετρο σχήματος των ετήσιων ροών για ένα δεδομένο ρεύμα εξ. 4.3.6 επιτρέπεται ο υπολογισμός της παραμέτρου σχήματος για όλα τα n συνεχόμενα έτη ροής.

Χρησιμοποιώντας αυτή την ιδέα ανέπτυξε μια σειρά από καμπύλες που σχετίζονται με τη σταθερά ρύθμισης ή απελευθέρωσης της χωρητικότητας του ταμιευτήρα ως αναλογία μέσης ετήσιας ροής και διαστήματος επανάληψης για μια σχηματική παράμετρο της ένωσης. Οι χωρητικότητες αποθήκευσης για απορροές με παραμέτρους σχήματος που δεν είναι ενωμένες προκύπτουν διαιρώντας την εκτιμώμενη χωρητικότητα για $\alpha=1$ με τη σωστή παράμετρο σχήματος.

Τα υπολογιστικά βήματα είναι τα εξής;

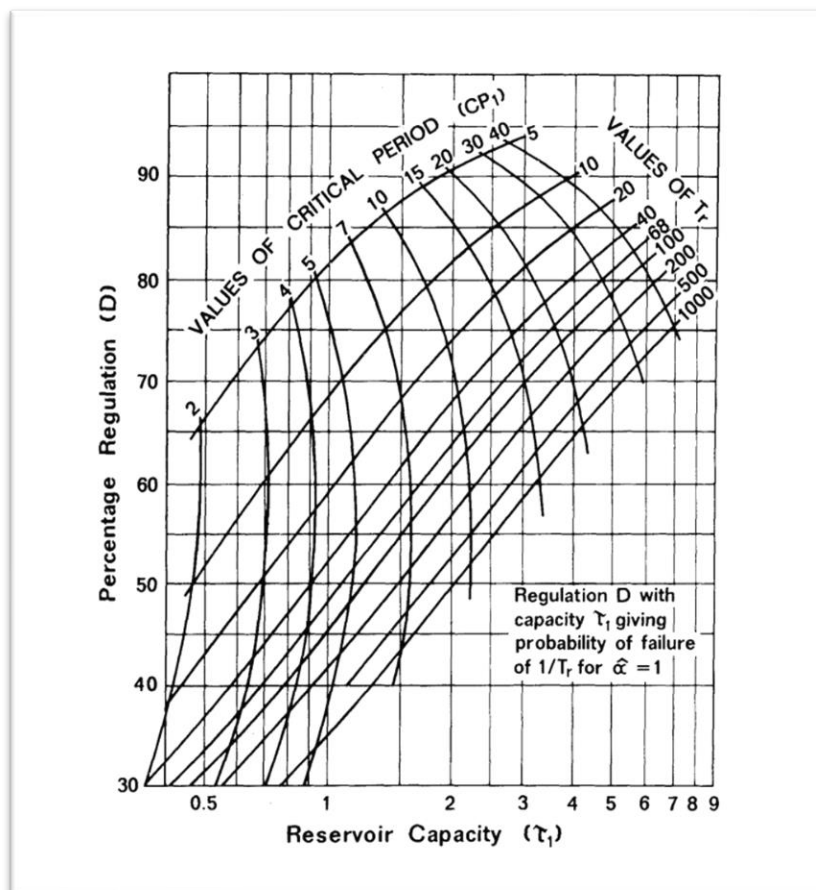
1. Επιλέγεται η ποσοστιαία ζήτηση σε σχέση με τη μέση απορροή (D). Η ζήτηση είναι σταθερή.
2. Υπολογισμός της σχηματικής παραμέτρου α της Γάμμα κατανομής για ετήσιες ροές με την εξίσωση 4.3.4

3. Ορίζεται πιθανότητα αποτυχίας ή υποτροπής διαστήματος (T) της κρίσιμης περιόδου σχεδιασμού.
4. Χρησιμοποιείται το Διάγραμμα 2. για την εκτίμηση των τ και CP έχοντας δεδομένα τη περίοδο T και τη ζήτηση D όπου τ είναι η χωρητικότητα δεξαμενής ως λόγος της μέσης ετήσιας ροής για $\alpha=1$ και CP η κρίσιμη περίοδος για $\alpha=1$.
5. Υπολογισμός της απαιτούμενης χωρητικότητας δεξαμενής (σε μονάδες όγκου) έτσι, η χωρητικότητα δεξαμενής δίνεται από την εξίσωση :

$$c = \frac{\tau}{a} \bar{x} \quad \text{εξ. 4.3.8}$$

6. Η αντίστοιχη περίοδος σε χρόνια δίνεται από την εξίσωση :

$$CP = \frac{CP_i}{a} \quad \text{εξ.4.3.9}$$



Διάγραμμα 2. Καμπύλες πιθανότητας χωρητικότητας- δεξαμενής-ρύθμισης

Οι υποθέσεις που έγιναν για τη μέθοδο αυτή είναι οι παρακάτω:

1. Οι ετήσιες ροές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.
2. Οι ετήσιες ροές ακολουθούν Γάμμα κατανομή.
3. Η δεξαμενή είναι γεμάτη στην αρχή της κρίσιμης περιόδου.

Ενώ οι περιορισμοί που ακολουθούνται είναι οι εξής :

1. Η δεξαμενή είναι αρχικά πλήρης και η κατάσταση αυτή δεν μεταβάλλεται.
2. Η μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψη τις απώλειες λόγω εξάτμισης. Εάν απαιτείται, θα προστεθεί στην υπολογισμένη αξία που θα καλύψει αυτή η απώλεια , ένα επιπλέον ποσοστό του αποθηκευτικού χώρου.
3. Επειδή γίνεται χρήση ετήσιων δεδομένων , αγνοούνται οι εποχικές διακυμάνσεις με αποτέλεσμα οι εκτιμήσεις του αποθηκευτικού όγκου να υποτιμώνται ιδιαίτερα για τις κρίσιμες περιόδους μικρής διάρκειας.

Αξίζει να σημειωθεί :

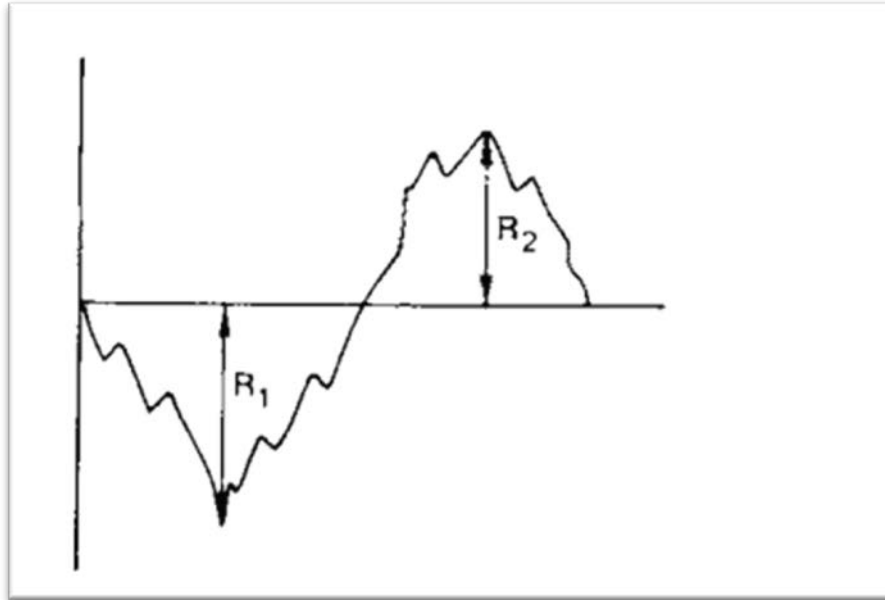
1. Η διαδικασία είναι γρήγορη και απλή.
2. Η μέθοδος είναι αρκετά ακριβής για να χρησιμοποιηθεί ως προκαταρκτικό στάδιο τεχνικής σχεδίασης αλλά όχι ως τελικό εργαλείο σχεδιασμού.
3. Μέσω της εκτίμησης του διαστήματος υποτροπής του ελαχίστου της ροής, προκύπτουν πιθανότητες αστοχίας. (Biswas, A. K. (1997))

4.4 Μέθοδος αλγορίθμου διαδοχικής αιχμής (Sequent Peak Algorithm)

Ο Thomas (1963) πρότεινε τον αλγόριθμο διαδοχικής αιχμής ως μέθοδο για την εύρεση του αρχικού όγκου αποθήκευσης του ταμιευτήρα όπως απαιτείται στη διαδικασία της καμπύλης μάζας. (Adeloye, A. J., & Rustum, R. (2015))

Η διαδικασία υπολογισμού των διαδοχικών κορυφών περιγράφεται από τον Fiering (1967) ακολούθως. Λαμβάνεται υπόψη ένα σύνολο N ετών της ροής του ποταμού στη θέση του προτεινόμενου φράγματος και απαιτείται να βρεθεί μια δεξαμενή ελάχιστης χωρητικότητας σαν του σχεδιασμού που μπορεί πάντα να ικανοποιηθεί

εάν οι ροές είναι επαναλαμβανόμενες σε μια κυκλική εξέλιξη, κύκλων N περιόδων ο καθένας. Η λύση απαιτεί μόνο δύο κύκλους. Ο λόγος για τη δεύτερη περίοδο φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Διάγραμμα 3. Καμπύλη αποθήκευσης με μέγιστα R_1 και R_2

Όπου η καμπύλη αποθήκευσης παρουσιάζει μέγιστα στα R_1 και R_2 αλλά το εύρος ισούται με το άθροισμα R_1+R_2 .

Τα βήματα της μεθόδου παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω :

1. Υπολογισμός της διαφοράς $X_i - D_i$ δηλαδή εισροή μείον τη ζήτηση για $i=1,2,..2N$ και υπολογισμός της καθαρής αθροιστικής εισροής $\sum_{i=1}^t (X_i - D_i)$ για $t=1,2,...,2N$.
2. Εντοπίζεται η πρώτη αιχμή (τοπικό μέγιστο) , P_1 των καθαρών αθροιστικών εισροών.
3. Εντοπίζεται η ακολουθία αιχμής P_2 , που αποτελεί αιχμή μεγαλύτερου μεγέθους από τη προηγούμενη.
4. Στο ενδιάμεσο του ζεύγους αιχμών βρίσκεται το κατώτερο σημείο (τοπικό ελάχιστο) T_1 και γίνεται υπολογισμός της διαφοράς P_1-T_1 .

5. Από το P2 και εντοπίζεται η επόμενη ακολουθία αιχμής P3 η οποία είναι μεγαλύτερη της προηγούμενης, δηλαδή της P2.
6. Βρίσκεται το χαμηλότερο σημείο ,T2, μεταξύ P2 και P3 και υπολογίζεται η διαφορά P2 – T2.
7. Ξεκινάμε από το P3 , βρίσκουμε το P4 και T3 και υπολογίζουμε τη διαφορά P3-T3.
8. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις ακολουθίες αιχμών για 2N περιόδους.
9. Η ζητούμενη ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα είναι:

$$C = \max(P_k - T_k) \quad \text{εξ.4.4.1}$$

Η μέθοδος του αλγορίθμου ακολουθίας αιχμής όπως προαναφέρθηκε εφαρμόζεται για περίοδο σχεδιασμού που ισούται με 2N περιόδους. Η εφαρμογή της συγκεκριμένης περιόδου μπορεί να οδηγήσει σε υπολογισμό ωφέλιμης χωρητικότητας μεγαλύτερης από της απαιτούμενης για την κάλυψη της ζήτησης. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι η ωφέλιμη χωρητικότητα που χρησιμοποιείται είναι από την αρχή μεγάλη ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν θα αστοχήσει ο ταμιευτήρας ανεξάρτητα της ωφέλιμης χωρητικότητας του.(

4.5 Υδρολογικά μοντέλα

Στη παρούσα διπλωματική εργασία τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν υδρολογικά μοντέλα. Τα υδρολογικά μοντέλα UTHBAL και GR2M που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούν δύο προηγμένα εργαλεία που συνδράμουν στην προσομοίωση και διαχείριση των υδρολογικών διεργασιών σε λεκάνες απορροής. Κάθε ένα από αυτά τα μοντέλα προσφέρει μοναδικές δυνατότητες και είναι σχεδιασμένα για να ανταποκρίνονται σε διαφορετικές ανάγκες και εφαρμογές μέσα στον τομέα της υδρολογίας

Υδρολογικό Μοντέλο UTHBAL

Το υδρολογικό μοντέλο UTHBAL αποτελεί μία καινοτόμο προσέγγιση στην προσομοίωση και διαχείριση υδρολογικών διεργασιών σε λεκάνες απορροής. Αναπτύχθηκε από ερευνητές στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, στοχεύοντας στη βελτίωση της ακρίβειας των υδρολογικών προβλέψεων μέσα από τη χρήση τεχνολογικά προηγμένων αλγορίθμων και την εκτεταμένη αξιοποίηση δεδομένων.

Το UTHBAL χαρακτηρίζεται από την ημι-κατανεμημένη του φύση, διαχωρίζοντας τη λεκάνη απορροής σε πολλαπλές υδρολογικές ζώνες, κάθε μία εκ των οποίων αναπαριστά διαφορετικά γεωμορφολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά. Αυτό επιτρέπει την ακριβέστερη μοντελοποίηση της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης σε διάφορες κλιματικές και υδρολογικές συνθήκες. (Thompson, L. R., & Fiegna, F. (2018).)

Η αποτελεσματική διαχείριση υδάτινων πόρων απαιτεί ακριβείς προβλέψεις και το UTHBAL προσφέρει εργαλεία για την εκτίμηση βροχόπτωσης, απορροής, καθώς και δυναμικών εξατμισοδιαπνοής στις λεκάνες απορροής. Αυτό το καθιστά ιδανικό για την προγραμματισμένη διαχείριση υδάτων, την πρόβλεψη και πρόληψη πλημμυρών, και την αξιολόγηση επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής στους υδάτινους πόρους. (Thompson, L. R., & Fiegna, F. (2018).)

Το UTHBAL είναι περισσότερο από ένα απλό υδρολογικό μοντέλο. Είναι ένα εργαλείο που βοηθά τους επιστήμονες και τους μηχανικούς να κατανοήσουν καλύτερα τις περίπλοκες διεργασίες που διαμορφώνουν το υδρολογικό σύστημα μιας περιοχής και να αναπτύξουν βιώσιμες στρατηγικές για τη διαχείριση των φυσικών πόρων. Με τη βοήθεια του UTHBAL, διαχειριστές υδάτινων πόρων μπορούν να προσδιορίσουν πιο αποτελεσματικά τις πολιτικές και τα μέτρα που θα υποστηρίξουν τη βιώσιμη χρήση του νερού στις κοινότητές τους.

Το μοντέλο χρησιμοποιεί μια σειρά από εξισώσεις για να περιγράψει τις υδρολογικές διεργασίες, όπως η βροχόπτωση, η αποθήκευση υγρασίας, η εξατμισοδιαπνοή και η απορροή.

1. Εξίσωση Υγρασίας Εδάφους:

$$S_{t+1} = S_t + (P_t - E_t - Q_t) \quad \text{εξ. 4.5.1}$$

Όπου :

- S_{t+1} είναι η αποθηκευμένη υγρασία στο τέλος της χρονικής περιόδου t
- S_t είναι η αποθηκευμένη υγρασία στην αρχή της χρονικής περιόδου t
- P_t είναι η βροχόπτωση κατά τη χρονική περίοδο t
- E_t είναι η εξατμισοδιαπνοή κατά τη χρονική περίοδο t
- Q_t είναι η απορροή κατά τη χρονική περίοδο t

2. Εξίσωση Απορροής :

$$Q_t = C \cdot (s_t - s_{\min})^n \quad \text{εξ. 4.5.2}$$

Όπου :

- C είναι ένας εμπειρικός συντελεστής
- $s_{\min}$ είναι το ελάχιστο επίπεδο υγρασίας του εδάφους
- N είναι ένας εκθέτης που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής

3. Εξίσωση Εξατμισοδιαπνοής:

$$E_t = PET_t \cdot f(S_t) \quad \text{εξ. 4.5.3}$$

Όπου :

- PET_t είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή κατά τη χρονική περίοδο t
- $f(S_t)$ είναι μια συνάρτηση της αποθηκευμένης υγρασίας του εδάφους

Αν και είναι ένα προηγμένο υδρολογικό εργαλείο, φέρει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και περιορισμούς που καθορίζουν το πλαίσιο και τις συνθήκες χρήσης του. Διακρίνεται για την υψηλή ακρίβεια στην προσομοίωση των υδρολογικών διεργασιών. Μέσω της λεπτομερούς ανάλυσης και της ημι-κατανεμημένης προσέγγισης, το μοντέλο αντικατοπτρίζει ακριβώς την απορροή και άλλες υδρολογικές διεργασίες στις λεκάνες απορροής. Είναι ευέλικτο ως προς την προσαρμογή των παραμέτρων του, επιτρέποντας την εφαρμογή του σε διαφορετικές κλίμακες και περιοχές. Αυτή η προσαρμοστικότητα το καθιστά ιδανικό για διαφορετικά περιβάλλοντα και υδρολογικές συνθήκες. Και τέλος έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί σε ποικίλες κλίμακες, από μικρές τοπικές λεκάνες μέχρι μεγάλες περιοχές λεκάνης απορροής, παρέχοντας έτσι σημαντική ευελιξία στην υδρολογική ανάλυση και σχεδιασμό.

Όσον αφορά τους περιορισμούς το UTHBAL απαιτεί υψηλής ποιότητας δεδομένα εισόδου για ακριβείς προσομοιώσεις. Η έλλειψη ακριβών μετεωρολογικών, υδρολογικών ή γεωμορφολογικών δεδομένων μπορεί να περιορίσει την αποτελεσματικότητα του μοντέλου. Παράλληλα η εφαρμογή και η διαχείριση του UTHBAL απαιτεί συγκεκριμένη τεχνογνωσία λόγω της πολυπλοκότητας των παραμέτρων και των διαδικασιών του μοντέλου. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων απαιτεί βαθιά κατανόηση υδρολογικών διεργασιών. Και τέλος σε περιοχές όπου τα υδρολογικά δεδομένα είναι ελλιπή ή μη αξιόπιστα, το μοντέλο μπορεί να μην λειτουργεί αποτελεσματικά ή να μην παρέχει αξιόπιστες προβλέψεις. (Thompson, L. R., & Fiegna, F. (2018).)

Υδρολογικό Μοντέλο GR2M

Το GR2M (Global Rainfall-Runoff Model, Monthly step) είναι ένα εννοιολογικό, συμπαγές υδρολογικό μοντέλο σχεδιασμένο για τη μοντελοποίηση της μηνιαίας απορροής από λεκάνες απορροής. Αναπτύχθηκε για την απλοποίηση της διαδικασίας προσομοίωσης υδρολογικών διεργασιών, παρέχοντας ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την εκτίμηση της απορροής με βάση μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. (Thompson, L. R., & Fiegna, F. (2018).)

Το μοντέλο είναι δομημένο γύρω από δύο κύριες εξισώσεις που διαχειρίζονται την υδρολογική ισορροπία και την απορροή. Η πρώτη εξίσωση υπολογίζει την αλλαγή στην αποθήκευση νερού στη λεκάνη απόρροής, λαμβάνοντας υπόψη τη βροχόπτωση, την εξατμισοδιαπνοή και την πραγματική απορροή. Η δεύτερη εξίσωση, μοντελοποιεί την απορροή βάσει της υπάρχουσας αποθηκευμένης υγρασίας, ενσωματώνοντας παραμέτρους που ανταποκρίνονται στις φυσικές ιδιότητες της λεκάνης απορροής. (Thompson, L. R., & Fiegna, F. (2018).)

1. Εξίσωση Υδατικής Ισορροπίας :

$$S_{t+1} = S_t + P_t - ETt - Q_t \quad \text{εξ. 4.5.4}$$

Όπου:

- S_t είναι η αποθήκευση στο τέλος του μήνα t ,
- P_t είναι η βροχόπτωση κατά τη χρονική περίοδο t ,
- ETt η εξατμισοδιαπνοή κατά τη χρονική περίοδο t ,
- Q_t η απορροή κατά τη χρονική περίοδο t

2. Εξίσωση Απορροής

$$Q_t = \left(s_t \times \left(1 - e^{-\frac{P_t}{s_t \times x_1}} \right) \right) \times x_2 \quad \text{εξ. 4.5.5}$$

- X_1 και X_2 παράμετροι ,οι οποίες διαμορφώνουν την ανταπόκριση της απορροής στις εισερχόμενες βροχοπτώσεις, λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμική της λεκάνης απορροής.

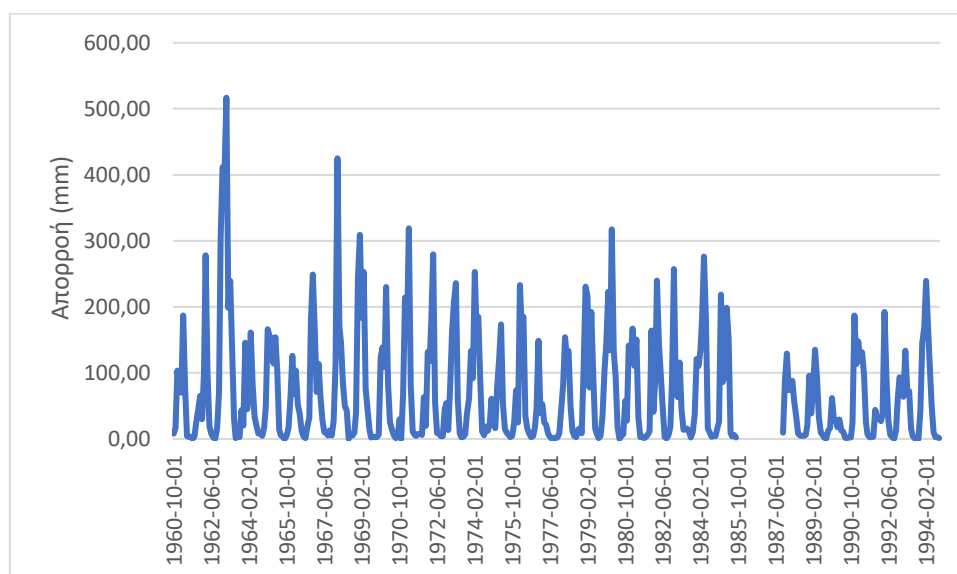
Η ευκολία χρήσης και η αποδοτικότητα του μοντέλου επιτρέπουν την ταχεία ανάλυση και προσομοίωση υδρολογικών δεδομένων, παρέχοντας έγκυρες εκτιμήσεις για τη λήψη αποφάσεων και την εφαρμογή βιώσιμων μέτρων διαχείρισης. Μέσω της συνεχούς ανάπτυξης και ενημέρωσης του GR2M, το μοντέλο συνεχίζει να παρέχει ακριβείς και πρακτικές λύσεις σε πολύπλοκα υδρολογικά προβλήματα, βελτιώνοντας την κατανόηση και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων παγκοσμίως.

5. Εφαρμογή της μεθοδολογίας και αποτελέσματα- παρουσίαση R

Στη παρούσα διπλωματική για την εκτίμηση της ωφέλιμης χωρητικότητας χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι που χρησιμοποιούν ιστορικές χρονοσειρές εισροών και αναλύθηκαν και παραπάνω:

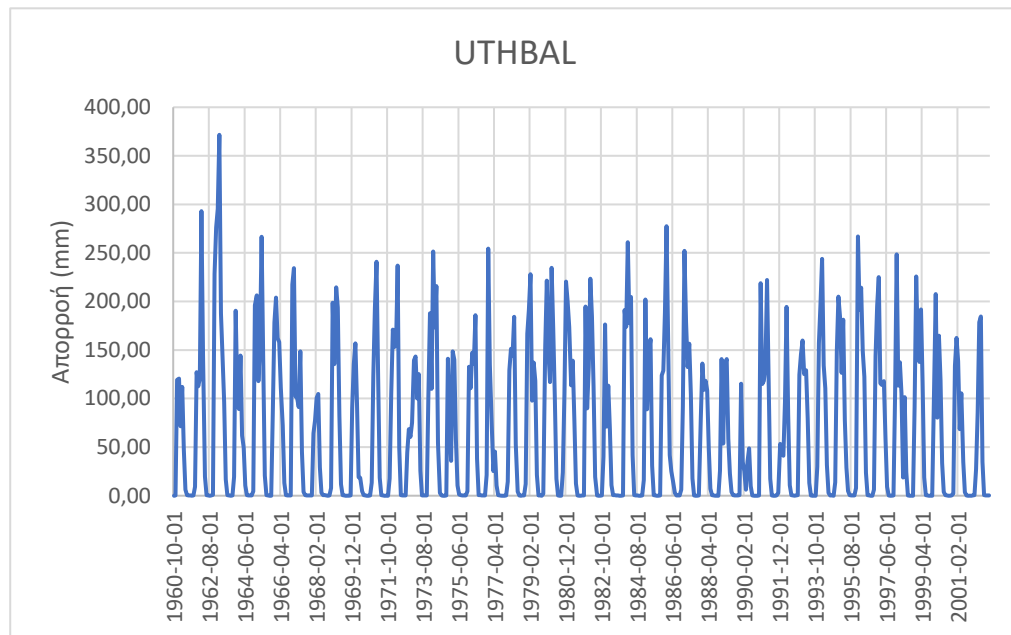
- Μέθοδος Dincer (Gould Dincer Normal)
- Μέθοδος Alexander
- Μέθοδος αλγορίθμου διαδοχικής αιχμής (Sequent Peak Algorithm)

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις μεθοδολογίες αποτελούν μηνιαίες μετρήσεις απορροής για τριάντα δυο (32) υδρολογικά έτη, ξεκινώντας από τον Οκτώβριο 1960 του έως τον Σεπτέμβριο του 1994.

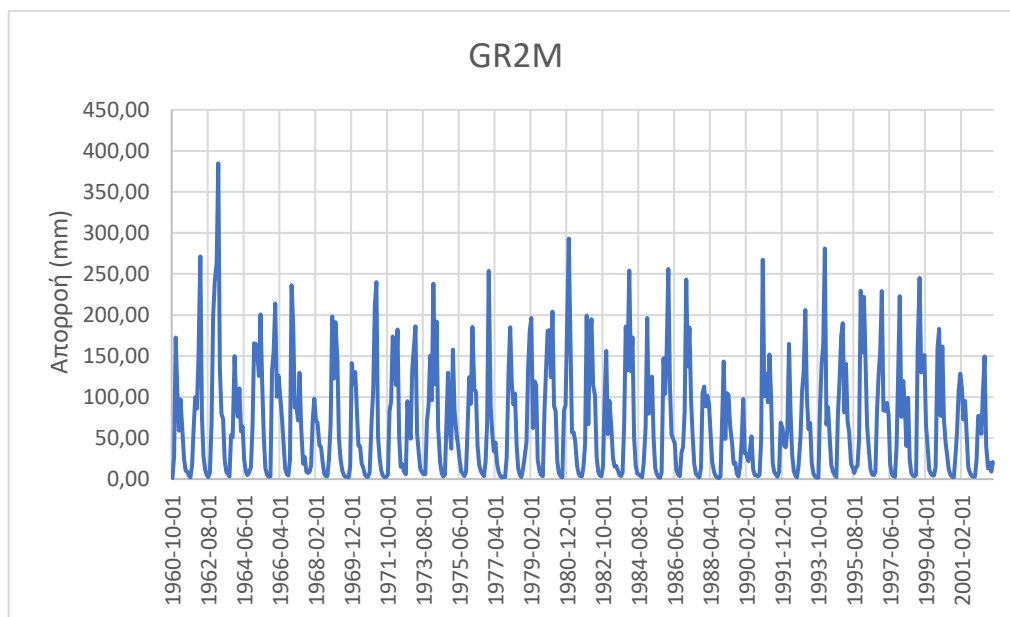


Διάγραμμα 4. Μέση απορροή για την περίοδο Οκτώβριος του 1960 έως Σεπτέμβριο του 1994.

Παράλληλα για τα υδρολογικά μοντέλα UTHBAL και GR2M για τα οποία υπάρχουν μηνιαία δεδομένα σαράντα δύο (42) υδρολογικών ετών ξεκινώντας από τον Οκτώβριο του 1960 έως τον Σεπτέμβριο του 2002:



Διάγραμμα 5. Μέση απορροή με την μέθοδο UTHBAL για την περίοδο Οκτώβριος του 1960 έως Σεπτέμβριο του 2002.



Διάγραμμα 6. Μέση απορροή με την μέθοδο GR2M για την περίοδο Οκτώβριος του 1960 έως Σεπτέμβριο του 2002.

Σε πρώτο στάδιο υπολογίστηκε ο όγκος απορροής ως γινόμενο της επιφανειακής απορροής με την έκταση της λεκάνης απορροής .

$$V_{\text{απορροής}} = R * E_{\text{λεκάνης}}$$

Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται οι ετήσιοι όγκοι απορροής για τα τριάντα δύο (32) υδρολογικά έτη.

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΙΣΡΟΗ	ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΙΣΡΟΗ
1960-61	80,090	1976-77	52,693
1961-62	99,321	1977-78	91,364
1962-63	334,018	1978-79	140,377
1963-64	92,868	1979-80	174,953
1964-65	134,312	1980-81	118,035
1965-66	72,910	1981-82	123,374

1966-67	135,712	1982-83	103,676
1967-68	155,203	1983-84	156,654
1968-69	170,443	1984-85	118,527
1969-70	107,304	1985-86	83,472
1970-71	129,880	1986-87	74,600
1971-72	126,303	1987-88	32,375
1972-73	126,277	1988-89	123,654
1973-74	155,125	1989-90	71,692
1974-75	84,781	1990-91	88,308
1975-76	113,344	1991-92	138,480

Πίνακας 1.Ετήσια απορροή για χρονική περίοδο από τον Οκτώβριο του 1960 έως το Σεπτέμβριος του 1992.

Για τα σαράντα δύο (42) υδρολογικά έτη (UTHBAL και GR2M) :

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΙΣΡΟΗ	ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΙΣΡΟΗ
1960-61	68,935	1981-82	138,043
1961-62	119,307	1982-83	69,518
1962-63	232,944	1983-84	151,544
1963-64	97,097	1984-85	93,294
1964-65	160,312	1985-86	139,275
1965-66	142,197	1986-87	135,512
1966-67	136,154	1987-88	87,605
1967-68	54,997	1988-89	83,794
1968-69	121,814	1989-90	39,862
1969-70	74,897	1990-91	136,172
1970-71	103,040	1991-92	76,123
1971-72	128,218	1992-93	112,181
1972-73	112,880	1993-94	130,914
1973-74	158,555	1994-95	140,178
1974-75	88,653	1995-96	140,797
1975-76	109,058	1996-97	142,204
1976-77	81,445	1997-98	122,915
1977-78	98,186	1998-99	135,440
1978-79	140,305	1999-00	101,501
1979-80	168,279	2000-01	93,690
1980-81	153,806	2001-02	73,933

**Πίνακας 2.Ετήσια απορροή για
χρονική περίοδο από τον
Οκτώβριο του 1960 έως το
Σεπτέμβριος του 2002-ΥΤΗΒΑΛ.**

**Πίνακας 3.Ετήσια απορροή
για χρονική περίοδο από τον
Οκτώβριο του 1960 έως το
Σεπτέμβριος του 2002 –
GR2M.**

ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΙΣΡΟΗ	ΥΔΡ. ΕΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΙΣΡΟΗ
1960-61	82,736	1981-82	136,736
1961-62	116,301	1982-83	80,484
1962-63	213,968	1983-84	149,100
1963-64	101,407	1984-85	97,356
1964-65	156,084	1985-86	137,883
1965-66	142,342	1986-87	129,406
1966-67	137,294	1987-88	87,065
1967-68	64,776	1988-89	90,954
1968-69	122,189	1989-90	51,144
1969-70	88,031	1990-91	134,241
1970-71	106,335	1991-92	81,631
1971-72	130,715	1992-93	111,769
1972-73	116,788	1993-94	132,140
1973-74	151,374	1994-95	139,237
1974-75	98,055	1995-96	135,986
1975-76	110,630	1996-97	139,041
1976-77	86,732	1997-98	122,380
1977-78	105,643	1998-99	138,965
1978-79	132,905	1999-00	110,280
1979-80	160,268	2000-01	98,766
1980-81	147,371	2001-02	85,715

Ως απόληψη D (ζήτηση) θεωρούμε εύρος τιμών ξεκινώντας από 10% και φτάνοντας έως και 90%. Η απόληψη καθορίζεται βάση τις αρδευτικές και υδρευτικές ανάγκες του οικισμού αλλά και περιβαλλοντικά κριτήρια που εξασφαλίζουν τη βιωσιμότητα κατάντη του φράγματος.

5.1 Εφαρμογή και Αποτελέσματα μεθόδων

Για την εύρεση της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα με τη μέθοδο Dincer έγινε χρήση των ετήσιων όγκων απορροής σε συνδυασμό με τη πιθανότητα πραγματοποίησης της ζήτησης.

Παρακάτω απεικονίζονται οι πίνακες με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των εξισώσεων της μεθόδου Dincer (για τις διάφορες τιμές απόληψης) της ωφέλιμης χωρητικότητας και παρατηρείται ότι όσο οι τιμές πιθανότητας μειώνονται, τόσο μειώνεται και η ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Το ίδιο παρατηρείται και σε περιπτώσεις όπου η τυπική απόκλιση των ετήσιων απορροών είναι αρκετά μικρότερη από τον μέσο όρο.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τις παρατηρούμενες ετήσιες απορροές , ακολουθήθηκε και για την απορροές που υπολογίσθηκαν με τις μεθόδους UTHBAL και GR2M.

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα (10 ⁶ m ³)						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	5,962	3,379	2,633	1,689	1,025	0,671	0,442
20%	13,415	7,603	5,925	3,801	2,307	1,509	0,995
30%	22,997	13,033	10,158	6,516	3,955	2,587	1,706
40%	35,774	20,274	15,801	10,135	6,153	4,024	2,653
50%	53,661	30,410	23,701	15,203	9,229	6,036	3,980
60%	80,491	45,616	35,552	22,804	13,843	9,054	5,970
70%	125,208	70,958	55,303	35,474	21,534	14,084	9,287
80%	214,642	121,642	94,804	60,812	36,915	24,144	15,921
90%	482,946	273,694	213,310	136,827	83,059	54,325	35,822

Πίνακας 4.Αποτελέσματα μεθόδου Dincer - Qobs

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα (10 ⁶ m ³)						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	2,993	1,696	1,322	0,848	0,515	0,337	0,222
20%	6,734	3,816	2,974	1,908	1,158	0,757	0,499
30%	11,544	6,542	5,099	3,271	1,985	1,299	0,856
40%	17,957	10,177	7,931	5,088	3,088	2,020	1,332
50%	26,936	15,265	11,897	7,631	4,633	3,030	1,998
60%	40,404	22,898	17,846	11,447	6,949	4,545	2,997
70%	62,850	35,618	27,760	17,807	10,809	7,070	4,662
80%	107,744	61,060	47,589	30,526	18,530	12,120	7,992
90%	242,423	137,386	107,075	68,683	41,693	27,269	17,981

Πίνακας 5. Αποτελέσματα μεθόδου Dincer - UTHBAL

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα (10 ⁶ m ³)						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	2,056	1,165	0,908	0,582	0,354	0,231	0,152
20%	4,626	2,622	2,043	1,311	0,796	0,520	0,343
30%	7,930	4,494	3,503	2,247	1,364	0,892	0,588
40%	12,336	6,991	5,448	3,495	2,122	1,388	0,915
50%	18,503	10,486	8,173	5,242	3,182	2,081	1,372
60%	27,755	15,729	12,259	7,863	4,773	3,122	2,059
70%	43,175	24,468	19,070	12,232	7,425	4,857	3,202
80%	74,014	41,945	32,691	20,969	12,729	8,326	5,490
90%	166,530	94,376	73,554	47,181	28,641	18,732	12,352

Πίνακας 6. Αποτελέσματα μεθόδου Dincer - GR2M

Παρομοίως για την μέθοδο Alexander προκύπτουν :

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	2,842	1,791	1,362	1,039	0,744	0,343	0,155
20%	7,543	4,666	3,742	2,632	1,934	1,533	1,034
30%	14,306	8,743	7,095	5,011	3,353	2,723	2,224
40%	23,895	14,401	11,616	8,209	5,732	4,139	3,414
50%	37,826	22,590	18,172	12,555	8,665	6,519	4,926
60%	59,242	35,027	28,022	19,164	12,869	9,544	7,306
70%	95,461	55,844	44,409	29,926	19,697	14,254	10,670
80%	168,523	97,554	77,075	51,128	32,880	23,125	16,811
90%	360,824	198,550	165,342	113,931	71,346	48,541	33,852

Πίνακας 7. Αποτελέσματα μεθόδου Alexander – Qobs

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	2,029	1,157	1,037	0,797	0,315	0,242	0,866
20%	5,631	3,469	2,845	1,953	1,471	0,914	0,290
30%	10,736	6,557	5,186	3,734694	2,627	2,070	1,446
40%	17,902	10,781	8,668	6,047	4,149	3,226	2,602
50%	28,399	16,930	13,665	9,392	6,461	4,767	3,758
60%	44,457	26,292	21,045	14,371	9,636	7,079	5,459
70%	71,653	41,923	33,339	22,458	14,801	10,702	8,025
80%	126,502	73,229	57,856	38,376	24,681	17,345	12,625
90%	285,714	158,415	129,325	85,586	53,556	36,436	25,410

Πίνακας 8.Αποτελέσματα μεθόδου Alexander – UTHBAL

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	1,354	0,906	0,707	0,182	0,615	1,387	0,830
20%	3,237	1,915	1,641	0,987	0,074	0,764	1,580
30%	6,122	3,673	2,822	2,168	1,255	0,416	0,399
40%	10,221	6,034	5,004	3,348	2,436	1,597	0,781
50%	16,188	9,610	7,781	5,396	3,616	2,778	1,962
60%	25,352	14,968	11,941	8,203	5,520	3,958	3,143
70%	40,851	23,904	19,009	12,804	8,426	6,081	4,471
80%	72,130	41,753	32,987	21,873	14,075	9,888	7,194
90%	166,356	95,286	74,777	48,799	30,536	20,776	14,489

Πίνακας 9.Αποτελέσματα μεθόδου Alexander – GR2M

Η μέθοδο SPA ,η οποία όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιεί μηνιαία δεδομένα έχει την δυνατότητα να υπολογίζει τον ωφέλιμο όγκο για σταθερή μηνιαία ζήτηση αλλά και για μηνιαία μεταβαλλόμενη ζήτηση. Για τον λόγο αυτό για τον υπολογισμό των ωφέλιμων όγκων με την μέθοδο SPA έγινε χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R μέσω του RStudio και συγκεκριμένα του πακέτου ‘reservoir package’ το οποίο εμπεριείχε τις απαραίτητες εξισώσεις και εντολές με σημαντικότερη την εντολή ‘storage’.

5.2 Γλώσσα προγραμματισμού R- Project.

Η R είναι μια διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού η οποία έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει τη στατιστική ανάλυση και τη γραφική αναπαράσταση των δεδομένων.

Βασικά χαρακτηριστικά της είναι η επεξεργασία δεδομένων και η στατιστική ανάλυση καθώς προσφέρει μια εκτενή βιβλιοθήκη από ενσωματωμένων στατιστικών συναρτήσεων και τεχνικών ανάλυσης δεδομένων. Παράλληλα υποστηρίζει τη διαχείριση και την επεξεργασία μεγάλων συνόλων δεδομένων επιτρέποντας στους χρήστες να εισάγουν και να μετασχηματίζουν δεδομένα με μεγάλη ευκολία. Επίσης χάρη στην ενεργή κοινότητα ανάπτυξης, υπάρχουν χιλιάδες πακέτα διαθέσιμα στο CRAN (Comprehensive R Archive Network) που επεκτείνουν τις δυνατότητες της.

Μέσω της R και του πακέτου ‘reservoir’ του CRAN δημιουργήθηκαν οι παρακάτω κώδικες για την ανάλυση και εκτίμηση της απαιτούμενης χωρητικότητας αποθήκευσης νερού (storage) για να καλυφθούν διαφορετικές ανάγκες (demands) και να διασφαλιστεί η αξιοπιστία (reliability) των υδάτινων πόρων, χρησιμοποιώντας δεδομένα ροής από τρία διαφορετικά μοντέλα : Qobs, UTHBAL, και GR2M για σταθερή μηνιαία ζήτηση και για μεταβαλλόμενη μηνιαία ζήτηση.

Ανάλυση του κώδικα για μηνιαία σταθερή ζήτηση :

1. Ο κώδικας ξεκινά με τη φόρτωση διαφόρων βιβλιοθηκών που είναι απαραίτητες για την επεξεργασία των δεδομένων:

library(readxl) : Για την ανάγνωση Excel αρχείων.

library(dplyr) : Για τον χειρισμό και τον μετασχηματισμό δεδομένων.

library(reservoir) : Για την ανάλυση της απαιτούμενης χωρητικότητας αποθήκευσης.

library(lubridate) : Για τον χειρισμό ημερομηνιών.

library(tidyr) : Για τον αναδιάταξη και την διαμόρφωση δεδομένων.

2. Φόρτωση δεδομένων από το Excel και επεξεργασία τους προσθέτοντας τους στήλες για το έτος, τον μήνα και μετατρέποντας τις ροές σε χωρητικότητα (hectare-meter cubed):

```
# Load your data
df <- read_excel("Υπολογισμός ωφέλιμου όγκου.xlsx", sheet = "Q_Runoff (mm)")

# Ensure DatesR is a Date type and add Month and Year
df <- df %>%
  mutate(
    DatesR = as.Date(DatesR),
    Year = year(DatesR),
    Month = month(DatesR),
    Qobs_hm3 = Qobs * 0.144,
    UTHBAL_hm3 = UTHBAL * 0.144,
    GR2M_hm3 = GR2M * 0.144
  )
```

3. Ορισμός της ποσότητας ζήτησης και των τιμών αξιοπιστίας που θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση :

```
# Example demand fractions and success rates
demands <- seq(0.1, 0.9, by = 0.1)
reliabilities <- c(99.9, 99, 98, 95, 90, 85, 80) / 100
```

4. Δημιουργία μιας συνάρτησης για την αναδιάταξη και τον μετασχηματισμό των αποτελεσμάτων αποθήκευσης για εύκολη ανάλυση και παρουσίαση

```
# Function to reshape and reorder the results
reshape_results <- function(results_df) {
  results_df$Reliability <- factor(results_df$Reliability, levels = sort(unique(results_df$Reliability)))

  results_wide <- spread(results_df, key = Reliability, value = Storage)

  results_wide <- results_wide %>%
    arrange(desc(Demand))

  row.names(results_wide) <- results_wide$Demand
  results_wide <- results_wide[, -1]

  results_wide <- results_wide[, rev(colnames(results_wide))]

  return(results_wide)
}
```

5. Δημιουργία μιας συνάρτησης που υπολογίζει την απαιτούμενη χωρητικότητα αποθήκευσης για κάθε πηγή δεδομένων και κάθε μήνα. Αυτή η συνάρτηση επεξεργάζεται τα δεδομένα και υπολογίζει τη μέση ζήτηση και την απαιτούμενη χωρητικότητα αποθήκευσης χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `storage` από το πακέτο `reservoir`:

```
# Function to calculate required storage for each data source and month
calculate_and_reshape_storage <- function(df, data_source, area_factor = 0.144) {
  storage_results <- expand.grid(Demand = demands, Reliability = reliabilities, stringsAsFactors = FALSE)
  storage_results$Storage <- NA # Initialize storage column

  for (i in 1:nrow(storage_results)) {
    demand_fraction <- storage_results$Demand[i]
    reliability <- storage_results$Reliability[i]

    mean_demand <- mean(df[[data_source]], na.rm = TRUE) * area_factor * demand_fraction

    x_ts <- ts(df[[data_source]], start = c(min(df$Year), min(df$Month)), frequency = 12)
    x_ts[x_ts == 0] <- NA

    x_ts_dum <- x_ts
    x_ts_dum[is.na(x_ts_dum)] <- 0

    storage_calculation <- storage(x_ts_dum, yield = mean_demand, reliability = reliability)
    storage_results$Storage[i] <- storage_calculation$Required_storage
  }

  reshaped_results <- reshape_results(storage_results)
  return(reshaped_results)
}
```

6. Εκτέλεση των υπολογισμών για κάθε μια από τις τρεις πηγές δεδομένων (Qobs, UTHBAL, GR2M) και στη συνέχεια δημιουργία και αποθήκευση γραφημάτων και αποτελεσμάτων σε μορφή PDF και CSV:

```
# Loop through each data source, calculate storage, reshape results, and save to CSV and PDF for plots
data_sources <- c("Qobs_hm3", "UTHBAL_hm3", "GR2M_hm3")
for (data_source in data_sources) {
  pdf_filename <- paste0(data_source, "_Plots.pdf")

  # Open PDF for plots
  pdf(pdf_filename)
  reshaped_results <- calculate_and_reshape_storage(df, data_source)
  # Generate plots (ensure this is where the storage function generates its plots)

  plot(df$DatesR, df[[data_source]], type = 'l', main = paste("Time Series of", data_source))

  # Close the PDF device
  dev.off()
  csv_filename <- paste0(data_source, "_Storage_Results.csv")

  # Write results to CSV
  write.csv(reshaped_results, csv_filename, row.names = TRUE)
}
```

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον παραπάνω κώδικα είναι τα εξής :

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη Χωρητικότητα						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	13,7031	12,9941	12,2852	10,1411	6,5619	3,2766	1,4265
20%	27,5358	26,118	24,6828	20,3947	13,2708	6,5619	2,9827
30%	41,4031	39,2591	37,115	30,7001	19,9797	9,9682	4,5735
40%	55,5471	52,6768	49,8238	41,2648	26,9825	13,3918	6,4236
50%	69,6738	66,1119	62,5327	51,8296	33,9853	16,85	8,2564
60%	83,8178	79,5297	75,2415	62,3943	40,9709	20,5329	10,1411
70%	97,9445	92,9474	87,9504	72,9591	47,9737	24,2505	11,9913
80%	112,0712	106,3652	100,6592	83,5239	54,9592	27,9681	13,8414
90%	126,2152	119,783	113,368	94,0886	61,9621	31,6684	15,7088

Πίνακας 10.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για σταθερή ζήτηση – Qobs

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	0,7276	0,6054	0,5943	0,4832	0,4055	0,3277	0,2499
20%	1,6496	1,4274	1,2941	1,1053	0,972	0,7609	0,6721
30%	2,6271	2,2717	1,994	1,8384	1,5385	1,1942	1,1053
40%	3,6047	3,1048	2,6938	2,5383	2,105	1,6274	1,5385
50%	4,5822	3,949	3,4047	3,2492	2,6827	2,105	1,9717
60%	5,5598	4,8155	4,2379	3,9602	3,2603	2,6716	2,3939
70%	6,5373	5,6597	5,0821	4,6599	3,8269	3,3603	2,8382
80%	7,5149	6,504	5,9152	5,3598	4,3823	3,9157	3,2603
90%	8,4924	7,3371	6,8261	6,093	4,9488	4,5267	3,6824

Πίνακας 11.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για σταθερή ζήτηση– UTHBAL

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
20%	0,130	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
30%	0,411	0,163	0,141	0,028	0,006	0,006	0,006
40%	0,816	0,524	0,377	0,208	0,028	0,006	0,006
50%	1,391	0,828	0,693	0,400	0,186	0,006	0,006
60%	1,954	1,334	1,053	0,749	0,366	0,130	0,006
70%	2,517	1,909	1,481	1,075	0,591	0,287	0,017
80%	3,091	2,415	1,954	1,379	0,873	0,445	0,175
90%	3,676	2,866	2,483	1,807	1,267	0,704	0,366

Πίνακας 12.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για σταθερή ζήτηση– GR2M

Ανάλυση του κώδικα για μηνιαία μεταβαλλόμενη ζήτηση :

Ο κώδικας αυτός είναι πιο εξελιγμένος και κατάλληλος για περιπτώσεις όπου απαιτείται λεπτομερής ανάλυση της απαιτούμενης χωρητικότητας αποθήκευσης, λαμβάνοντας υπόψη διαφορετικά επίπεδα αξιοπιστίας και πολλαπλές πηγές δεδομένων. Ο κώδικας έχει την ίδια διάρθρωση με εκείνον που αναλύθηκε παραπάνω με την διαφορά ότι χρησιμοποιεί διαφορετικά δεδομένα εισόδου και φαίνεται στο παράρτημα . Τα αποτελέσματα του φαίνονται αναλυτικά παρακάτω :

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	8,926	6,971	6,904	4,860	4,782	2,883	2,827
20%	18,001	14,058	13,991	11,214	9,692	5,826	5,760
30%	28,277	21,145	21,056	18,601	14,613	8,781	8,704
40%	39,074	33,897	28,154	26,866	19,534	11,714	11,647
50%	53,526	42,984	35,908	34,120	24,444	20,312	14,591
60%	72,233	52,460	46,339	41,884	29,354	29,110	17,546
70%	90,950	63,446	60,980	49,183	34,464	34,186	20,501
80%	124,831	82,275	77,254	58,369	43,295	39,118	23,433
90%	166,843	116,844	107,691	79,075	60,658	44,073	38,163

Πίνακας 13.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για μεταβαλλόμενη ζήτηση– Qobs

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	4,465	3,733	3,361	2,381	1,661	0,569	0,006
20%	11,671	9,576	8,867	6,897	5,444	3,530	1,661
30%	18,866	15,600	14,463	12,155	9,081	8,034	3,023
40%	26,252	22,795	20,093	17,999	13,033	11,783	4,746
50%	34,922	31,949	26,106	24,360	20,847	15,916	6,874
60%	53,928	40,146	35,248	31,398	27,479	20,025	18,629
70%	72,935	49,469	47,612	39,730	34,539	25,171	23,201
80%	105,644	66,742	61,393	50,393	40,563	33,683	26,939
90%	148,645	102,559	85,444	66,629	52,408	42,894	31,116

Πίνακας 14.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για μεταβαλλόμενη ζήτηση– UTHBAL

ΖΗΤΗΣΗ	Ωφέλιμη χωρητικότητα						
	99,90%	99%	98%	95%	90%	85%	80%
10%	0,971	0,942	0,890	0,715	0,470	0,239	0,116
20%	1,949	1,891	1,786	1,437	0,947	0,486	0,240
30%	2,928	2,842	2,684	2,161	1,426	0,733	0,369
40%	3,907	3,792	3,582	2,885	1,904	0,981	0,498
50%	4,887	4,743	4,481	3,609	2,383	1,229	0,627
60%	6,162	5,989	5,675	4,629	3,158	1,724	1,088
70%	8,213	8,011	7,644	6,423	4,707	3,023	1,619
80%	10,263	10,032	9,613	8,218	6,256	4,332	2,621
90%	12,313	12,054	11,582	10,013	7,806	5,640	3,982

Πίνακας 15.Αποτελέσματα μεθόδου SPA για μεταβαλλόμενη ζήτηση– GR2M

5.3 Οικολογική παροχή

Η οικολογική παροχή (Environmental Flow ή E-Flow) είναι η ποσότητα και ποιότητα του νερού που χρειάζεται να διατηρείται σε έναν ποταμό, λίμνη ή άλλο υδάτινο σώμα για να υποστηρίζονται οι οικολογικές του λειτουργίες και να διασφαλίζεται η υγεία των οικοσυστημάτων που εξαρτώνται από αυτό. Σκοπός της είναι η προστασία της βιοποικιλότητας και η διατήρηση των οικολογικών διεργασιών και υπηρεσιών που παρέχουν τα υδάτινα οικοσυστήματα. Η έννοια της είναι θεμελιώδης για τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων και τη διατήρηση της υγείας των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Η οικολογική παροχή είναι σημαντική για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, καθώς η σωστή διαχείριση της ροής του νερού βοηθά στην υποστήριξη της ποικιλίας των ειδών που ζουν σε και γύρω από τα υδάτινα σώματα. Πολλά είδη εξαρτώνται από συγκεκριμένα πρότυπα ροής για τις διαδικασίες ζωής τους, όπως η αναπαραγωγή και η μετακίνηση. Παράλληλά η συνεχής ροή βοηθά στη διατήρηση της ποιότητας του νερού, εμποδίζοντας τη συγκέντρωση ρυπαντών και υποστηρίζοντας την οξυγόνωση. Η σημαντικότητα της οικολογικής παροχής εμφανίζεται και στην ανθρώπινη κοινωνία καθώς τα υγιή οικοσυστήματα παρέχουν σημαντικές υπηρεσίες στους ανθρώπους, όπως καθαρό νερό για ύδρευση, άρδευση, αναψυχή και στήριξη της αλιείας. Και τέλος η παροχή του νερού επηρεάζει φυσικές διαδικασίες, όπως η διάβρωση και η απόθεση ιζημάτων, που είναι κρίσιμες για τη διαμόρφωση του υδάτινου περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με την οδηγία 2000/60/EK για να εξασφαλιστεί η οικολογική παροχή πρέπει η ποσότητα νερού που παραμένει στο ποτάμι να είναι μεγαλύτερη από ένα από τα παρακάτω τρία μεγέθη:

1. **Το 30% της μέσης παροχής των θερινών μηνών (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος)**
Αυτή η προσέγγιση λαμβάνει υπόψη την ανάγκη για διατήρηση επαρκούς ροής κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, οι οποίοι συχνά είναι οι πιο ξηροί μήνες με τη μικρότερη φυσική ροή. Διασφαλίζει ότι τουλάχιστον το 30% της μέσης ροής αυτής της περιόδου παραμένει στο ποτάμι.
2. **Το 50% της μέσης παροχής του μηνός Σεπτεμβρίου**
Ο Σεπτέμβριος μπορεί να είναι μια κρίσιμη περίοδος μετά το τέλος του καλοκαιριού και πριν την έναρξη της εποχής των βροχών. Η διατήρηση του 50% της μέσης παροχής του μήνα Σεπτεμβρίου μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της υδρολογικής και οικολογικής ισορροπίας του ποταμού κατά την μετάβαση από τους ξηρούς μήνες στις πιο υγρές περιόδους.
3. **Η 30 l/s σε κάθε περίπτωση.**
Αυτή η ελάχιστη σταθερή ροή (30 L/s) διασφαλίζει ότι υπάρχει μια βασική ροή νερού, ανεξάρτητα από τις εποχιακές διακυμάνσεις. Αυτή η ελάχιστη ροή είναι κρίσιμη για τη διατήρηση των βασικών οικολογικών λειτουργιών, όπως η παροχή οξυγόνου και η υποστήριξη των υδρόβιων οργανισμών.

Εκτός από τα παραπάνω μεγέθη, υπάρχει η δυνατότητα τεκμηριωμένης αύξησης της οικολογικής παροχής αν το απαιτούν οι συνθήκες του κατάντη οικοσυστήματος, όπως

η ύπαρξη σημαντικού οικοσυστήματος που χρειάζεται περισσότερη ροή νερού για να διατηρηθεί σε υγιή κατάσταση. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορεί να απαιτείται λεπτομερής περιβαλλοντική μελέτη για την τεκμηρίωση των αναγκών του οικοσυστήματος και την προσαρμογή των υδροληψιών ανάλογα.

Για την παρούσα διπλωματική εργασία και τα δεδομένα για τον ποταμό Πάμισο λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία προκύπτουν τα αποτελέσματα :

<u>Qθερινό hm³/m</u>	<u>Qθερινό hm³/y</u>
0,348	4,178
<u>Qσεπτ hm³/m</u>	<u>Qσεπτ hm³/y</u>
0,364	4,368
<u>30l/s ->hm³/m</u>	<u>30l/s ->hm³/y</u>
0,078	0,933

Πίνακας 16. Αποτελέσματα οικολογικής παροχής - Qobs

Άρα από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι **Qοικ. = 4,368 hm³/y**

Για να εξεταστεί η ικανοποίηση της ζήτησης θα αφαιρεθεί από την ετήσια εισροή η οικολογική παροχή που υπολογίστηκε παραπάνω και το αποτέλεσμα που θα προκύψει πρέπει να είναι μικρότερο από τη ζήτηση . Από την αφαίρεση προκύπτει ότι η παροχή που θα υπάρχει μέσα στον ταμιευτήρα είναι **114,45 hm³**.

Και πράγματι φαίνεται να ικανοποιείται κάθε ζήτηση παρακάτω :

ΖΗΤΗΣΗ	11,898	< 114,54	ok
	23,797	< 114,55	ok
	35,695	< 114,56	ok
	47,594	< 114,57	ok
	59,492	< 114,58	ok
	71,390	< 114,59	ok
	83,289	< 114,60	ok
	95,187	< 114,61	ok
	107,085	< 114,62	ok

Πίνακας 17. Ικανοποίηση ζήτησης για Qobs

Παρομοίως για τα υδρολογικά μοντέλα UTHBAL και GR2M :

Qθερινό hm ³ /m	Qθερινό hm ³ /y
0,123	1,487
Qσεπτ hm ³ /m	Qσεπτ hm ³ /y
0,004	0,054
30l/s ->hm ³ /m	30l/s ->hm ³ /y
0,077	0,933

Πίνακας 18.Αποτελέσματα οικολογικής παροχής - UTHBAL

Άρα από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι **Qοικ. = 1,487 hm³/y**

ΖΗΤΗΣΗ	11,648	< 114,9	ok
	23,296	< 114,9	ok
	34,944	< 114,9	ok
	46,592	< 114,9	ok
	58,240	< 114,9	ok
	69,888	< 114,9	ok
	81,536	< 114,9	ok
	93,184	< 114,9	ok
	104,832	< 114,9	ok

Πίνακας 19.Ικανοποίηση ζήτησης για UTHBAL

Qθερινό hm ³ /m	Qθερινό hm ³ /y
0,489	5,864
Qσεπτ hm ³ /m	Qσεπτ hm ³ /y
0,285	3,426
30l/s ->hm ³ /m	30l/s ->hm ³ /y
0,0778	0,933

Πίνακας 20.Αποτελέσματα οικολογικής παροχής - GR2M

Άρα από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι **Qοικ. = 5,864 hm³/y**

ΖΗΤΗΣΗ	11,806	<112,20	ok
	23,613	<112,20	ok
	35,419	<112,20	ok
	47,226	<112,20	ok
	59,033	<112,20	ok
	70,839	<112,20	ok
	82,646	<112,20	ok
	94,452	<112,20	ok
	106,259	<112,20	ok

Πίνακας 21.Ικανοποίηση ζήτησης για GR2M

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι η οικολογική παροχή του ποταμού ικανοποιείται για κάθε ζήτηση.

5.4 Σύγκριση μεθοδολογιών

Η αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων αποτελεί ένα θεμελιώδες ζήτημα για την αειφορία των υδατικών συστημάτων, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλες υδρολογικές και κλιματικές διακυμάνσεις. Στο πλαίσιο αυτό, η εκτίμηση του ωφέλιμου όγκου των ταμιευτήρων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποτελεσματική εκμετάλλευση των υδάτινων δεξαμενών. Η παρούσα ανάλυση εστιάζει στη σύγκριση τριών κυρίων μεθοδολογιών (Dincer, Alexander, και SPA) με στόχο την κατανόηση των πλεονεκτημάτων και περιορισμών τους στο πλαίσιο της εφαρμογής τους στη Θεσσαλία.

Ανακεφαλαιώνοντας η μέθοδος Dincer εφαρμόζει την κανονική κατανομή για την πρόβλεψη των απορροών και είναι κατάλληλη για αρχικές εκτιμήσεις. Ωστόσο, η μειωμένη ευελιξία της σε περιπτώσεις μη κανονικών δεδομένων και η τάση της να υπερεκτιμά την απαιτούμενη χωρητικότητα υποδεικνύουν ότι πρέπει να γίνεται χρήση της με προσοχή. Η μέθοδος Alexander χρησιμοποιώντας την κατανομή Γάμμα είναι πιο ευέλικτη και παρέχει ακριβέστερες εκτιμήσεις σε σύνθετες υδρολογικές συνθήκες. Και τέλος η SPA είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για περιοχές με σημαντικές διακυμάνσεις στις απορροές. Αυτή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη τις υψηλότερες διαφορές μεταξύ εισροών και εκροών, προσφέροντας ακριβείς και ευέλικτες εκτιμήσεις.

Δεδομένης της ικανότητάς της να ανταποκρίνεται σε κρίσιμες και μεταβαλλόμενες συνθήκες, η SPA αποτελεί μία εξαιρετική επιλογή για την περιοχή της Θεσσαλίας. Οι ακριβείς εκτιμήσεις της είναι κατάλληλες για τη διαχείριση των υδατικών αναγκών και την πρόληψη ενδεχόμενων κρίσεων που οφείλονται στις διακυμάνσεις των απορροών.

Πιο συγκεκριμένα, για την περιοχή της Θεσσαλίας, η επιλογή του κώδικα SPA για μεταβαλλόμενη μηνιαία ζήτηση είναι η κατάλληλη επιλογή καθώς εμφανίζει σημαντικές εποχικές διακυμάνσεις στην υδρολογική δυναμική της, που επηρεάζεται από τις εποχές και τα κλιματικά φαινόμενα. Η περιοχή αντιμετωπίζει περιόδους με υψηλές βροχοπτώσεις τον χειμώνα και ξηρασίες το καλοκαίρι. Επίσης υποστηρίζει εκτεταμένη γεωργική δραστηριότητα, η οποία εξαρτάται από την άρδευση και κατ' επέκταση από τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Η ζήτηση για νερό μεταβάλλεται ανάλογα με τις καλλιεργητικές περιόδους.

Ενσωματώνοντας τη μεταβλητότητα των υδρολογικών και κλιματικών συνθηκών καθώς και τις εποχικές και αγροτικές ανάγκες, ο κώδικας μπορεί να προσφέρει πιο ακριβείς και αποτελεσματικές λύσεις για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων της περιοχής. Αυτό θα βοηθήσει στην κατανόηση και ενσωμάτωση των αναγκών προσαρμοστικής διαχείρισης των υδάτινων πόρων, επιτρέποντας μια πιο ευέλικτη ανταπόκριση σε περίπτωση ακραίων γεγονότων όπως ξηρασίες ή πλημμυρώδεις βροχοπτώσεις.

Ωφέλιμη χωρητικότητα

Ζήτηση	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	99,90%								
Dincer Method	5,962	13,415	22,997	35,774	53,661	80,491	80,491	214,642	482,946
Alexander method	2,842	7,543	14,306	23,895	37,826	59,242	95,461	168,523	360,824
SPA (constant demand)	13,703	27,536	41,403	55,547	69,674	83,818	97,945	112,071	126,215
SPA (variable demand)	8,926	18,001	28,277	39,074	53,526	72,233	90,95	124,831	166,843
	99%								
Dincer Method	3,379	7,603	13,033	20,274	30,410	45,616	45,616	121,642	273,694
Alexander method	1,791	4,666	8,743	14,401	22,590	35,027	55,844	97,554	198,550
SPA (constant demand)	12,994	26,118	39,259	52,677	66,112	79,530	92,947	106,365	119,783
SPA (variable demand)	6,971	14,058	21,145	33,897	42,984	52,46	63,446	82,275	116,844
	98%								
Dincer Method	2,633	5,925	10,158	15,801	23,701	35,552	35,552	94,804	213,310
Alexander method	1,362	3,742	7,095	11,616	18,172	28,022	44,409	77,075	165,342
SPA (constant demand)	12,285	24,683	37,115	49,824	62,533	75,242	87,950	100,659	113,368
SPA (variable demand)	6,904	13,991	21,056	28,154	35,908	46,339	60,98	77,254	107,691
	95%								
Dincer Method	1,689	3,801	6,516	10,135	15,203	22,804	22,804	60,812	136,827
Alexander method	1,039	2,632	5,012	8,209	12,555	19,164	29,926	51,128	113,931
SPA (constant demand)	10,141	20,395	30,700	41,265	51,830	62,394	72,959	83,524	94,089
SPA (variable demand)	4,86	11,214	18,601	26,866	34,12	41,884	49,183	58,369	79,075
	90%								
Dincer Method	1,025	2,307	3,955	6,153	9,229	13,843	13,843	36,915	83,059
Alexander method	0,744	1,934	3,353	5,732	8,665	12,869	19,697	32,880	71,346
SPA (constant demand)	6,562	13,271	19,980	26,983	33,985	40,971	47,974	54,959	61,962
SPA (variable demand)	4,782	9,692	14,613	19,534	24,444	29,354	34,464	43,295	60,658
	85%								
Dincer Method	0,671	1,509	2,587	4,024	6,036	9,054	9,054	24,144	54,325
Alexander method	0,343	1,533	2,723	4,139	6,519	9,544	14,254	23,125	48,541
SPA (constant demand)	3,277	6,562	9,968	13,392	16,850	20,533	24,251	27,968	31,668
SPA (variable demand)	2,883	5,826	8,781	11,714	20,312	29,11	34,186	39,118	44,073
	80%								
Dincer Method	0,442	0,995	1,706	2,653	3,980	5,970	5,970	15,921	35,822
Alexander method	0,155	1,034	2,224	3,414	4,926	7,306	10,670	16,811	33,852
SPA (constant demand)	1,427	2,983	4,574	6,424	8,256	10,141	11,991	13,841	15,709
SPA (variable demand)	2,827	5,76	8,704	11,647	14,591	17,546	20,501	23,433	38,163

Πίνακας 22. Τελικός συγκεντρωτικός πίνακας όλων των αποτελεσμάτων των μεθόδων - Qos

6.Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία, επικεντρώθηκε στην εκτίμηση του ωφέλιμου όγκου του φράγματος του Μουζακίου Τρικάλων στη Θεσσαλία, λαμβάνοντας υπόψη τα ποσοστά ικανοποίησης της ζήτησης για διάφορες χρήσεις νερού. Η ανάλυση εστίασε σε ιστορικές χρονοσειρές και προσομοιώσεις μέσω υδρολογικών μοντέλων (UTHBAL και GR2M), προκειμένου να καθοριστούν οι απαραίτητες χωρητικότητες για να καλυφθούν οι ανάγκες σε νερό, ειδικά σε περιοχές με έντονα γεωμορφολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά.

Το υδρολογικό μοντέλο UTHBAL είναι ένα ημι-κατανεμημένο υδρολογικό μοντέλο που χρησιμοποιεί εκτεταμένες κλιματικές και υδρολογικές δεδομένα για την προσομοίωση της απορροής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το UTHBAL προσφέρει ακριβείς προβλέψεις της απορροής και της αποθήκευσης υγρασίας, γεγονός που το καθιστά χρήσιμο για την ανάλυση μακροπρόθεσμων υδρολογικών τάσεων. Το GR2M είναι ένα πιο απλό εννοιολογικό μοντέλο που βασίζεται σε μηνιαία δεδομένα και είναι εύκολο στη χρήση. Παρά την απλότητά του, το GR2M παρείχε ικανοποιητικές εκτιμήσεις της μηνιαίας απορροής, καθιστώντας το ένα αξιόπιστο εργαλείο για τη διαχείριση υδάτινων πόρων σε μακροπρόθεσμη βάση.

Η ανάλυση περιλάμβανε τρεις βασικές μεθόδους υπολογισμού του ωφέλιμου όγκου- χωρητικότητας του ταμιευτήρα:

- Μέθοδος Dincer (Gould-Dincer Normal)
- Μέθοδος Alexander
- Μέθοδος Αλγορίθμου Διαδοχικής Αιχμής (Sequent Peak Algorithm - SPA)

Η μέθοδος Dincer βασίζεται στην κανονική κατανομή των ετήσιων απορροών και προσφέρει μια απλή προσέγγιση για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ωφέλιμης χωρητικότητας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προκύψανε βγήκε το συμπέρασμα ότι η μέθοδος Dincer τείνει να υπερεκτιμά τον απαιτούμενο όγκο, ειδικά όταν οι εισροές δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σχεδιασμό υπερβολικά μεγάλων ταμιευτήρων, αυξάνοντας το κόστος και την πολυπλοκότητα των έργων. Παρά τις υπερεκτιμήσεις, η μέθοδος μπορεί να είναι χρήσιμη ως αρχικό εργαλείο σχεδιασμού, ιδίως σε περιοχές όπου οι ετήσιες απορροές

είναι σχετικά σταθερές και προβλέψιμες. Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος Alexander χρησιμοποιεί τη Γάμμα κατανομή για να περιγράψει τις ετήσιες ροές και επιτρέπει τον υπολογισμό της απαιτούμενης αποθήκευσης για διάφορα διαστήματα υποτροπής. Όσον αφορά τα αποτελέσματα, παρέχει μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση σε σύγκριση με τη μέθοδο Dincer, ιδιαίτερα για ροές που δεν είναι κανονικά κατανεμημένες. Τα αποτελέσματα της μεθόδου Alexander είναι συνήθως πιο κοντά στις πραγματικές ανάγκες αποθήκευσης, μειώνοντας τις πιθανότητες υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης του ωφέλιμου όγκου. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη διαχείριση υδάτινων πόρων σε περιοχές με μεταβλητές απορροές και μπορεί να εφαρμοστεί σε μια ευρεία γκάμα υδρολογικών και κλιματικών συνθηκών. Και τέλος, η μέθοδος αλγορίθμου διαδοχικής αιχμής SPA είναι μια πιο δυναμική προσέγγιση που εξετάζει τις αιχμές στην απορροή και υπολογίζει την απαιτούμενη χωρητικότητα για να καλύψει τις περιόδους ξηρασίας. Η μέθοδος αυτή αποδείχθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη για την εκτίμηση των κρίσιμων περιόδων με τη μεγαλύτερη ανάγκη για αποθηκευτικό χώρο. Η SPA είναι ιδανική για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση ταμιευτήρων σε περιοχές με έντονες διακυμάνσεις στις ροές και τις ανάγκες σε νερό, όπως η περιοχή της Θεσσαλίας. Συμπερασματικά οι τρεις μέθοδοι υπολογισμού του ωφέλιμου όγκου παρείχαν διαφορετικές εκτιμήσεις, με τον SPA να προσφέρει την πιο δυναμική και αξιόπιστη εκτίμηση για τις κρίσιμες περιόδους.

Η Θεσσαλία είναι μια περιοχή με έντονα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και σημαντική γεωργική δραστηριότητα που αντιμετωπίζει προκλήσεις που σχετίζονται με τις μεταβλητές βροχοπτώσεις, τις περιόδους ξηρασίας και την ανάγκη για την κάλυψη των αναγκών σε νερό για την άρδευση και την ύδρευση. Η ορθολογική διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι κρίσιμη για την υποστήριξη της τοπικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης. Η χρήση των προαναφερόμενων μεθόδων και μοντέλων επιτρέπει την ακριβή εκτίμηση του ωφέλιμου όγκου των ταμιευτήρων, προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα για τον σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων στην περιοχή.

Η ανάλυση και η εφαρμογή κατάλληλων μεθοδολογιών για την εκτίμηση του ωφέλιμου όγκου ταμιευτήρων είναι ζωτικής σημασίας για την ασφαλή και αποτελεσματική διαχείριση των υδατικών πόρων. Οι μέθοδοι SPA, Alexander, και Dincer παρέχουν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας, ευελιξίας, και πρακτικότητας, με την SPA να ξεχωρίζει για την καταλληλότητά της σε περιοχές με μεγάλες διακυμάνσεις, όπως η Θεσσαλία.

Παράρτημα

Α. Πίνακες

Ωφέλιμη χωρητικότητα									
Ζήτηση	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	99,90%								
Dincer Method	5,962	13,415	22,997	35,774	53,661	80,491	80,491	214,642	482,946
Alexander method	2,842	7,543	14,306	23,895	37,826	59,242	95,461	168,523	360,824
SPA (constant demand)	13,703	27,536	41,403	55,547	69,674	83,818	97,945	112,071	126,215
SPA (variable demand)	8,926	18,001	28,277	39,074	53,526	72,233	90,95	124,831	166,843
	99%								
Dincer Method	3,379	7,603	13,033	20,274	30,410	45,616	45,616	121,642	273,694
Alexander method	1,791	4,666	8,743	14,401	22,590	35,027	55,844	97,554	198,550
SPA (constant demand)	12,994	26,118	39,259	52,677	66,112	79,530	92,947	106,365	119,783
SPA (variable demand)	6,971	14,058	21,145	33,897	42,984	52,46	63,446	82,275	116,844
	98%								
Dincer Method	2,633	5,925	10,158	15,801	23,701	35,552	35,552	94,804	213,310
Alexander method	1,362	3,742	7,095	11,616	18,172	28,022	44,409	77,075	165,342
SPA (constant demand)	12,285	24,683	37,115	49,824	62,533	75,242	87,950	100,659	113,368
SPA (variable demand)	6,904	13,991	21,056	28,154	35,908	46,339	60,98	77,254	107,691
	95%								
Dincer Method	1,689	3,801	6,516	10,135	15,203	22,804	22,804	60,812	136,827
Alexander method	1,039	2,632	5,012	8,209	12,555	19,164	29,926	51,128	113,931
SPA (constant demand)	10,141	20,395	30,700	41,265	51,830	62,394	72,959	83,524	94,089
SPA (variable demand)	4,86	11,214	18,601	26,866	34,12	41,884	49,183	58,369	79,075
	90%								
Dincer Method	1,025	2,307	3,955	6,153	9,229	13,843	13,843	36,915	83,059
Alexander method	0,744	1,934	3,353	5,732	8,665	12,869	19,697	32,880	71,346
SPA (constant demand)	6,562	13,271	19,980	26,983	33,985	40,971	47,974	54,959	61,962
SPA (variable demand)	4,782	9,692	14,613	19,534	24,444	29,354	34,464	43,295	60,658
	85%								
Dincer Method	0,671	1,509	2,587	4,024	6,036	9,054	9,054	24,144	54,325
Alexander method	0,343	1,533	2,723	4,139	6,519	9,544	14,254	23,125	48,541
SPA (constant demand)	3,277	6,562	9,968	13,392	16,850	20,533	24,251	27,968	31,668
SPA (variable demand)	2,883	5,826	8,781	11,714	20,312	29,11	34,186	39,118	44,073
	80%								
Dincer Method	0,442	0,995	1,706	2,653	3,980	5,970	5,970	15,921	35,822
Alexander method	0,155	1,034	2,224	3,414	4,926	7,306	10,670	16,811	33,852
SPA (constant demand)	1,427	2,983	4,574	6,424	8,256	10,141	11,991	13,841	15,709
SPA (variable demand)	2,827	5,76	8,704	11,647	14,591	17,546	20,501	23,433	38,163

Πίνακας 23. Τελικός συγκεντρωτικός πίνακας όλων των αποτελεσμάτων των μεθόδων - UTHBAL

Ωφέλιμη χωρητικότητα									
Ζήτηση	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
	99,90%								
Dincer Method	2,993	6,734	11,544	17,957	26,936	40,404	62,850	107,744	242,423
Alexander method	2,029	5,631	10,736	17,902	28,399	44,457	71,653	126,502	285,714
SPA (constant demand)	0,728	1,650	2,627	3,605	4,582	5,560	6,537	7,515	8,492
SPA (variable demand)	4,465	11,671	18,866	26,252	34,922	53,928	72,935	105,644	148,645
	99%								
Dincer Method	1,696	3,816	6,542	10,177	15,265	22,898	35,618	61,060	137,386
Alexander method	1,157	3,469	6,557	10,781	16,930	26,292	41,923	73,229	158,415
SPA (constant demand)	0,605	1,427	2,272	3,105	3,949	4,816	5,660	6,504	7,337
SPA (variable demand)	3,733	9,576	15,6	22,795	31,949	40,146	49,469	66,742	102,559
	98%								
Dincer Method	1,322	2,974	5,099	7,931	11,897	17,846	27,760	47,589	107,075
Alexander method	1,037	2,845	5,186	8,668	13,665	21,045	33,339	57,856	129,325
SPA (constant demand)	0,594	1,294	1,994	2,694	3,405	4,238	5,082	5,915	6,826
SPA (variable demand)	3,361	8,867	14,463	20,093	26,106	35,248	47,612	61,393	85,444
	95%								
Dincer Method	0,848	1,908	3,271	5,088	7,631	11,447	17,807	30,526	68,683
Alexander method	0,797	1,953	3,735	6,047	9,392	14,371	22,458	38,376	85,586
SPA (constant demand)	0,483	1,105	1,838	2,538	3,249	3,960	4,660	5,360	6,093
SPA (variable demand)	2,381	6,897	12,155	17,999	24,36	31,398	39,73	50,393	66,629
	90%								
Dincer Method	0,515	1,158	1,985	3,088	4,633	6,949	10,809	18,530	41,693
Alexander method	0,315	1,471	2,627	4,149	6,461	9,636	14,801	24,681	53,556
SPA (constant demand)	0,406	0,972	1,539	2,105	2,683	3,260	3,827	4,382	4,949
SPA (variable demand)	1,661	5,444	9,081	13,033	20,847	27,479	34,539	40,563	52,408
	85%								
Dincer Method	0,337	0,757	1,299	2,020	3,030	4,545	7,070	12,120	27,269
Alexander method	0,242	0,914	2,070	3,226	4,767	7,079	10,702	17,345	36,436
SPA (constant demand)	0,328	0,761	1,194	1,627	2,105	2,672	3,360	3,916	4,527
SPA (variable demand)	0,569	3,53	8,034	11,783	15,916	20,025	25,171	33,683	42,894
	80%								
Dincer Method	0,222	0,499	0,856	1,332	1,998	2,997	4,662	7,992	17,981
Alexander method	0,866	0,290	1,446	2,602	3,758	5,459	8,025	12,625	25,410
SPA (constant demand)	0,250	0,672	1,105	1,539	1,972	2,394	2,838	3,260	3,682
SPA (variable demand)	0,006	1,661	3,023	4,746	6,874	18,629	23,201	26,939	31,116

Πίνακας 24. Τελικός συγκεντρωτικός πίνακας όλων των αποτελεσμάτων των μεθόδων - GR2M

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98
s	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714
CV	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
T_a	0,501	0,284	0,221	0,142	0,086	0,056	0,037
$V_{\omega\phi}$	5,962	3,379	2,633	1,689	1,025	0,671	0,442

Πίνακας Α. 1 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 10% απόληψη - Qobs

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98
s	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714
CV	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
T_a	0,564	0,319	0,249	0,160	0,097	0,063	0,042
$V_{\omega\phi}$	13,415	7,603	5,925	3,801	2,307	1,509	0,995

Πίνακας Α. 2 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 20% απόληψη – Qobs

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98
s	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714
CV	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
T_a	0,644	0,365	0,285	0,183	0,111	0,072	0,048
$V_{\omega\phi}$	22,997	13,033	10,158	6,516	3,955	2,587	1,706

Πίνακας Α. 3 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 30% απόληψη - Qobs

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98
s	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714
CV	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
T_a	0,752	0,426	0,332	0,213	0,129	0,085	0,056
$V_{\omega\phi}$	35,774	20,274	15,801	10,135	6,153	4,024	2,653

Πίνακας Α. 4 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 40% απόληψη – Qobs

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98
s	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714
CV	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
T_a	0,902	0,511	0,398	0,256	0,155	0,101	0,067
$V_{\omega\phi}$	53,661	30,410	23,701	15,203	9,229	6,036	3,980

5 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 50% απόληψη - Qobs

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98
s	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714
CV	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
T_a	1,127	0,639	0,498	0,319	0,194	0,127	0,084
$V_{\omega\phi}$	80,491	45,616	35,552	22,804	13,843	9,054	5,970

Πίνακας Α. 6 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 60% απόληψη - Qobs

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98
s	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714
CV	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
T_a	1,127	0,639	0,498	0,319	0,194	0,127	0,084
$V_{\omega\phi}$	80,491	45,616	35,552	22,804	13,843	9,054	5,970

Πίνακας Α. 7 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 70% απόληψη - Qobs

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98
s	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714
CV	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
T_a	2,255	1,278	0,996	0,639	0,388	0,254	0,167
$V_{\omega\phi}$	214,642	121,642	94,804	60,812	36,915	24,144	15,921

Πίνακας Α. 8 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 80% απόληψη - Qobs

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98	118,98
s	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714	51,714
CV	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435
T_a	4,510	2,556	1,992	1,278	0,776	0,507	0,335
$V_{\omega\phi}$	482,946	273,694	213,310	136,827	83,059	54,325	35,822

Πίνακας Α. 9 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 90% απόληψη - Qobs

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480
s	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252
CV	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
T_a	0,257	0,146	0,113	0,073	0,044	0,029	0,019
$V_{\omega\phi}$	2,993	1,696	1,322	0,848	0,515	0,337	0,222

Πίνακας Α. 10 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 10% απόληψη - UTHBAL

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480
s	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252
CV	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
T_a	0,289	0,164	0,128	0,082	0,050	0,033	0,021
$V_{\omega\phi}$	6,734	3,816	2,974	1,908	1,158	0,757	0,499

Πίνακας Α. 11 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 20% απόληψη - UTHBAL

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480
s	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252
CV	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
T_a	0,330	0,187	0,146	0,094	0,057	0,037	0,025
$V_{\omega\phi}$	11,544	6,542	5,099	3,271	1,985	1,299	0,856

Πίνακας Α. 12 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 30% απόληψη - UTHBAL

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
x	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480
s	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252
CV	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
T_a	0,385	0,218	0,170	0,109	0,066	0,043	0,029
$V_{\omega\phi}$	17,957	10,177	7,931	5,088	3,088	2,020	1,332

Πίνακας Α. 13 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 40% απόληψη - UTHBAL

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
x	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480
s	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252
CV	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
T_a	0,462	0,262	0,204	0,131	0,080	0,052	0,034
$V_{\omega\phi}$	26,936	15,265	11,897	7,631	4,633	3,030	1,998

Πίνακας Α. 14 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 50% απόληψη - UTHBAL

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
x	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480
s	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252
CV	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
T_a	0,578	0,328	0,255	0,164	0,099	0,065	0,043
$V_{\omega\phi}$	40,404	22,898	17,846	11,447	6,949	4,545	2,997

Πίνακας Α. 15 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 60% απόληψη - UTHBAL

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
x	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480
s	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252
CV	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
T_a	0,771	0,437	0,340	0,218	0,133	0,087	0,057
$V_{\omega\phi}$	62,850	35,618	27,760	17,807	10,809	7,070	4,662

Πίνακας Α. 16 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 70% απόληψη - UTHBAL

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480
s	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252
CV	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
T_a	1,156	0,655	0,511	0,328	0,199	0,130	0,086
$V_{\omega\phi}$	107,744	61,060	47,589	30,526	18,530	12,120	7,992

Πίνακας Α. 17 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 80% απόληψη - UTHBAL

Πιθανότητα(%)	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480	116,480
s	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252	36,252
CV	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
T_a	2,312	1,311	1,021	0,655	0,398	0,260	0,172
$V_{\omega\phi}$	242,423	137,386	107,075	68,683	41,693	27,269	17,981

Πίνακας Α. 18 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 90% απόληψη - UTHBAL

Πιθανότητα	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066
s	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250
CV	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256
T_a	0,174	0,099	0,077	0,049	0,030	0,020	0,013
$V_{\omega\phi}$	2,056	1,165	0,908	0,582	0,354	0,231	0,152

Πίνακας Α. 19 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 10% απόληψη - GR2M

Πιθανότητα	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066
s	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250
CV	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256
T_a	0,196	0,111	0,087	0,056	0,034	0,022	0,015
$V_{\omega\phi}$	4,626	2,622	2,043	1,311	0,796	0,520	0,343

Πίνακας Α. 20 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 20% απόληψη - GR2M

Πιθανότητα	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066
s	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250
CV	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256
T_a	0,224	0,127	0,099	0,063	0,039	0,025	0,017
$V_{\omega\phi}$	7,930	4,494	3,503	2,247	1,364	0,892	0,588

Πίνακας Α. 21 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 30% απόληψη - GR2M

Πιθανότητα	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066
s	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250
CV	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256
T_a	0,261	0,148	0,115	0,074	0,045	0,029	0,019
$V_{\omega\phi}$	12,336	6,991	5,448	3,495	2,122	1,388	0,915

Πίνακας Α. 22 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 40% απόληψη - GR2M

Πιθανότητα	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066
s	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250
CV	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256
T_a	0,313	0,178	0,138	0,089	0,054	0,035	0,023
$V_{\omega\phi}$	18,503	10,486	8,173	5,242	3,182	2,081	1,372

Πίνακας Α. 23 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 50% απόληψη - GR2M

Πιθανότητα	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066
s	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250
CV	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256
T_a	0,522	0,296	0,231	0,148	0,090	0,059	0,039
$V_{\omega\phi}$	43,175	24,468	19,070	12,232	7,425	4,857	3,202

Πίνακας Α. 24 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 60% απόληψη - GR2M

Πιθανότητα	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066
s	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250
CV	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256
T_a	0,392	0,222	0,173	0,111	0,067	0,044	0,029
$V_{\omega\phi}$	27,755	15,729	12,259	7,863	4,773	3,122	2,059

Πίνακας Α. 25 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 70% απόληψη - GR2M

Πιθανότητα	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066
s	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250
CV	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256
T_a	0,784	0,444	0,346	0,222	0,135	0,088	0,058
$V_{\omega\phi}$	74,014	41,945	32,691	20,969	12,729	8,326	5,490

Πίνακας Α. 26 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 80% απόληψη - GR2M

Πιθανότητα	99,9	99	98	95	90	85	80
Z_p	3,090	2,326	2,054	1,645	1,282	1,036	0,842
χ	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066	118,066
s	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250	30,250
CV	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256	0,256
T_a	1,567	0,888	0,692	0,444	0,270	0,176	0,116
$V_{\omega\phi}$	166,530	94,376	73,554	47,181	28,641	18,732	12,352

Πίνακας Α. 27 Αναλυτικά αποτελέσματα από τη μεθοδολογία Dincer για 90% απόληψη - GR2M

B. Κώδικες

Κώδικας υπολογισμού ωφέλιμης χωρητικότητας για σταθερή μηνιαία ζήτηση .

```
library(readxl)
library(dplyr)
library(reservoir)
library(lubridate)
library(tidyr)

# Load your data
df <- read_excel("ΕΥΟΕΕΩΕ»ΕΩΕ³ΕΗΟfΕΟΟ□Ο, Ο%Ο†Ε-Ε»ΕΗΕΟΕΩΟ...
Ο□Ε³ΕΙΕΩΟ...xlsx", sheet = "Q_Runoff (mm)")

# Ensure DatesR is a Date type and add Month and Year
df <- df %>%
  mutate(
    DatesR = as.Date(DatesR),
    Year = year(DatesR),
    Month = month(DatesR),
    Qobs_hm3 = Qobs * 0.144,
    UTHBAL_hm3 = UTHBAL * 0.144,
    GR2M_hm3 = GR2M * 0.144
  )

# Example demand fractions and success rates
demands <- seq(0.1, 0.9, by = 0.1)
reliabilities <- c(99.9, 99, 98, 95, 90, 85, 80) / 100

# Function to reshape and reorder the results
reshape_results <- function(results_df) {
  results_df$Reliability <- factor(results_df$Reliability,
    levels = sort(unique(results_df$Reliability)))

  results_wide <- spread(results_df, key = Reliability, value
    = Storage)

  results_wide <- results_wide %>%
    arrange(desc(Demand))

  row.names(results_wide) <- results_wide$Demand
  results_wide <- results_wide[, -1]

  results_wide <- results_wide[, rev(colnames(results_wide))]

  return(results_wide)
}

# Function to calculate required storage for each data source
and month
calculate_and_reshape_storage <- function(df, data_source,
  area_factor = 0.144) {
  storage_results <- expand.grid(Demand = demands, Reliability
    = reliabilities, stringsAsFactors = FALSE)
```

```

storage_results$Storage <- NA # Initialize storage column

for (i in 1:nrow(storage_results)) {
  demand_fraction <- storage_results$Demand[i]
  reliability <- storage_results$Reliability[i]

  mean_demand <- mean(df[[data_source]], na.rm = TRUE) *
area_factor * demand_fraction

  x_ts <- ts(df[[data_source]], start = c(min(df$Year),
min(df$Month)), frequency = 12)
  x_ts[x_ts == 0] <- NA

  x_ts_dum <- x_ts
  x_ts_dum[is.na(x_ts_dum)] <- 0

  storage_calculation <- storage(x_ts_dum, yield =
mean_demand, reliability = reliability)
  storage_results$Storage[i] <-
storage_calculation$Required_storage
}

reshaped_results <- reshape_results(storage_results)
return(reshaped_results)
}

# Loop through each data source, calculate storage, reshape
results, and save to CSV and PDF for plots
data_sources <- c("Qobs_hm3", "UTHBAL_hm3", "GR2M_hm3")
for (data_source in data_sources) {
  pdf_filename <- paste0(data_source, "_Plots.pdf")

  # Open PDF for plots
  pdf(pdf_filename)
  reshaped_results <- calculate_and_reshape_storage(df,
data_source)
  # Generate plots (ensure this is where the storage function
generates its plots)
  plot(df$DatesR, df[[data_source]], type = 'l', main =
paste("Time Series of", data_source))

  # Close the PDF device
  dev.off()
  csv_filename <- paste0(data_source, "_Storage_Results.csv")

  # Write results to CSV
  write.csv(reshaped_results, csv_filename, row.names = TRUE)
}

```

Κώδικας υπολογισμού ωφέλιμης χωρητικότητας για μεταβαλλόμενη μηνιαία ζήτηση .

```
library(readxl)
library(dplyr)
library(reservoir)
library(lubridate)
library(tidyr)
# Load your data
df <- read_excel("Ε"ΕΗΟΕΕ»Ο%ΕΟΕ±Ο„ΕΗΕΤΕ®.xlsx", sheet =
"Q_Runoff (mm)")
# Ensure DatesR is a Date type and add Month and Year
df <- df %>%
  mutate(
    DatesR = as.Date(DatesR),
    Year = year(DatesR),
    Month = month(DatesR),
    Qobs_hm3 = Qobs * 0.144,
    UTHBAL_hm3 = UTHBAL * 0.144,
    GR2M_hm3 = GR2M * 0.144
  )
# Example demand fractions and success rates
demands <- seq(0.1, 0.9, by = 0.1)
reliabilities <- c(99.9, 99, 98, 95, 90, 85, 80) / 100 #
Convert percentages to proportions
# Function to reshape and reorder the results
reshape_results <- function(results_df) {
  results_df <- results_df %>%
    mutate(Reliability = factor(Reliability, levels =
sort(unique(Reliability)))) %>%
    spread(key = Reliability, value = Storage) %>%
    arrange(desc(Demand))

  row.names(results_df) <- results_df$Demand
  results_df <- results_df[, -1]
  results_df <- results_df[, rev(colnames(results_df))]

  return(results_df)
}
# Function to calculate required storage for each data source
and month
calculate_and_reshape_storage <- function(df, data_source,
area_factor = 0.144) {
  monthly_averages <- df %>%
    group_by(Month) %>%
    summarise(Monthly_Average = mean(!sym(data_source), na.rm
= TRUE)) %>%
    ungroup()

  overall_average <- mean(monthly_averages$Monthly_Average,
na.rm = TRUE)

  monthly_averages$Demand_Profile <-
monthly_averages$Monthly_Average / overall_average
```

```

demand_profile <-
monthly_averages$Demand_Profile[order(monthly_averages$Month)]

storage_results <- expand.grid(Demand = demands, Reliability
= reliabilities, stringsAsFactors = FALSE)
storage_results$Storage <- NA # Initialize storage column

for (i in 1:nrow(storage_results)) {
  demand_fraction <- storage_results$Demand[i]
  reliability <- storage_results$Reliability[i]

  x_ts <- ts(df[[data_source]], start = c(min(df$Year),
min(df$Month)), frequency = 12)
  x_ts[x_ts == 0] <- NA

  x_ts_dum <- x_ts
  x_ts_dum[is.na(x_ts_dum)] <- 0

  storage_calculation <- storage(x_ts_dum, yield =
mean(df[[data_source]], na.rm = TRUE) * demand_fraction,
                                reliability = reliability,
demand_profile = demand_profile)
  storage_results$Storage[i] <-
storage_calculation$Required_storage
}

reshaped_results <- reshape_results(storage_results)
return(reshaped_results)
}
# Loop through each data source, calculate storage, reshape
results, and write to CSV and PDF for plots
data_sources <- c("Qobs_hm3", "UTHBAL_hm3", "GR2M_hm3")
for (data_source in data_sources) {
  pdf_filename <- paste0(data_source, "_Plots.pdf")
  pdf(pdf_filename)
  reshaped_results <- calculate_and_reshape_storage(df,
data_source)
  write.csv(reshaped_results, csv_filename, row.names = TRUE)
  print(paste('\n', data_source, '\n'))
  print(reshaped_results)

  plot(df$DatesR, df[[data_source]], type = 'l', main =
paste("Time Series of", data_source))
  dev.off() # Close the PDF device
  csv_filename <- paste0(data_source,
"_Storage_Results_Fractions.csv")
}

```

7.Βιβλιογραφία

Ξένα και ελληνική βιβλιογραφία :

- Biswas, A. K. (1997). Water Resources: Environmental Planning, Management, and Development. McGraw-Hill.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill.
- Davies, P., & Day, J. (1998). Vanishing Waters. University of Cape Town Press.
- Dooge, J. C. I. (1997). Principles of Hydrology. McGraw-Hill Education.
- Dunne, T., & Leopold, L. B. (1978). Water in Environmental Planning. W.H. Freeman.
- Gleick, P. H. (2014). The World's Water, Volume 8: The Biennial Report on Freshwater Resources. Island Press.
- Mays, L. W. (2010). Water Resources Engineering. John Wiley & Sons.
- Αθανασιάδης, Ν. Κ. (2002). Περιβαλλοντική Διαχείριση Υδάτινων Πόρων. University Studio Press.
- Δημητρίου, Ε., & Παπαδόπουλος, Α. (2019). "Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους υδάτινους πόρους της Ελλάδας." Ελληνικό Περιοδικό Περιβαλλοντικών Επιστημών, 35(2), 14-25.
- Κουτίτας, Χ. (2020). Υδρολογία και Υδραυλικές Κατασκευές. Ζυγός.
- Παπαδάκης, Μ. (2018). Διαχείριση Υδάτινων Πόρων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Παπαδημητρίου, Σ. (2014). Υδρολογία: Θεωρία και Πράξη. Εκδόσεις Συμμετρία.
- Σιδηρόπουλος, Π. 2018. Ταμιευτήρες και Φράγματα. Σημειώσεις Μαθήματος Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Σαχπάζης, Κ., 2018. Γεωτεχνική μηχανική των φραγμάτων
- Τύραλης, Χ., 2015. Ολοκληρωμένη διαχείριση των επιφανειακών υδατικών πόρων των λεκανών απορροής ποταμών Αχελώου και Πηνειού.
- Υ.ΠΕ.ΘΕ. (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλία), 2009. Οριστική μελέτη κατασκευή φράγματος Πύλης και συναφών εργασιών. Προμελέτη: Τ1 - Τεχνική έκθεση & Παραρτήματα, Περιφέρεια Θεσσαλίας, Γενική Δ/ση Περιφέρειας, Δ/ση δημόσιων έργων.

ΦΕΚ1154Β/12.8.2003, 2003. Αρ. Φύλλου 1154: Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας. Τεύχος Δεύτερο.

Χατζηγεωργίου, Δ. & Γεωργίου, Π., 2017. Υπολογισμός ωφέλιμης χωρητικότητας ταμιευτήρων και ανάλυση λειτουργίας τους. 10ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, 28-29 Σεπτέμβριος, 77 - 86.

Bell, F., 2007. Engineering geology. Second Edition.

Άρθρα

Davis, K. (2019). Climate impacts on hydrological cycles. Journal of Environmental Management, 64(3), 112-120.

Δημητρίου, Ε., & Παπαδόπουλος, Α. (2019). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους υδάτινους πόρους της Ελλάδας. Ελληνικό Περιοδικό Περιβαλλοντικών Επιστημών, 35(2), 14-25

Lee, C. (2021). Sustainable water practices in urban areas. Journal of Sustainable Development, 12(5), 78-89. <https://www.jsustainable.org/sustainable-water>

Singh, A., & Panda, S. N. (2017). Climate Change Impact on Hydrological Processes: A Review. Hydrology, 4(3), 59.

Thompson, L. R., & Fiegna, F. (2018). New Insights into the Hydraulic and Corrosion Characteristics of Upstream Pumping Installations. Journal of Hydraulic Engineering, 144(9), 04018072.

Ηλεκτρονικές πηγές

INSETE. (2020). Έκθεση Περιφέρεια Θεσσαλίας.

<https://insete.gr/wp-content/uploads/2020/04/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%86%CE%AD%CF%81%CE%B5%CE%B9%CE%B1-%CE%98%CE%B5%CF%83%CF%83%CE%B1%CE%BB%CE%AF%CE%B1%CF%82.pdf>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2017). Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Για Τη Διαχειριστική Περιοχή Υδάτων Θεσσαλίας.

http://wfdver.ypeka.gr/wpcontent/uploads/2017/04/files/GR08/GR08_SDLAP.pdf

Ελευκάς, Γ. (2019). Αξιολόγηση Επιπτώσεων Υδροηλεκτρικών Έργων.

https://www.elekkas.gr/images/attachments/031_19.pdf

Γεωργίου, Δ. (2022). "Η σημασία των φραγμάτων στη διαχείριση υδατικών πόρων".

<https://www.water-resources.gr/dams-importance>

Water Resources Engineering. (n.d.). Οικολογική Παροχή στα Φράγματα.

<https://www.waterresourcesengineering.com/%cf%86%cf%81%ce%ac%ce%b3%ce%bc%ce%b1%cf%>

Adeloye, A. J., & Rustum, R. (2015). Reservoir operation for flood management. *Water Resources Management*, 29(13), 4681-4694.

<https://doi.org/10.1007/s11269-015-1091-9>

McMahon, T. A., Pegram, G. G. S., Vogel, R. M., & Peel, M. C. (2007). Review of Gould-Dincer reservoir storage-yield-reliability estimates. *Advances in Water Resources*, 30(10), 1873–1882.

<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2007.02.004>