

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Υδρολογική Διερεύνηση της Λεκάνης Απορροής
του Φράγματος Νεστορίου Καστοριάς»

Κορίνα Δ. Αβραμάκη

Επιβλέπων: Άρης Ψιλοβίκος, Λέκτορας Π.Θ

Βόλος, 2007



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
& ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αρ. Πρωτοκ. 1569
Ημερομηνία: 1-11-07

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6820/1
Ημερ. Εισ.: 13-01-2009
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΙΥΠ
2007
ΑΒΡ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1. Άρης Ψιλοβίκος, Λέκτορας, Π.Θ., Επιβλέπων
2. Γεώργιος Δήμος, Αναπληρωτής καθηγητής, Π.Θ.
3. Μάριος Σαπουντζής, Λέκτορας, Π.Θ.

Αφιερώνεται,
στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Αφήνοντας ένα κομμάτι της ζωής μου σε αυτή τη πτυχιακή εργασία, αισθάνομαι ιδιαίτερα χαρούμενη με την επιτυχία της ολοκλήρωσης της, αλλά και ιδιαίτερα λυπημένη για τις εκπληκτικές στιγμές που επισφραγίζει στο παρελθόν. Η πτυχιακή αυτή διατριβή πραγματοποιήθηκε στο σύνολό της στο τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Θέμα της διατριβής είναι 'Υδρολογική διερεύνηση της λεκάνης απορροής του φράγματος Νεστορίου Καστοριάς'. Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου και λέκτορα του τμήματος Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κύριο Άρη Ψιλοβίκο για την συνεχή και συστηματική παρακολούθηση του ερευνητικού μου έργου. Ευχαριστώ επίσης τον καθηγητή του τμήματος Δρ. Γ. Δήμο και τον λέκτορα κ. Μ. Σαπουντζή μέλη της τριμελούς εξαταστικής επιτροπής, που συνέβαλαν τις συμβουλές τους.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του τμήματος του δήμου καθώς και της Νομαρχίας Καστοριάς, για τη χορήγηση των απαραίτητων στοιχείων και μελετών για τη λίμνη.

Νιώθω την ανάγκη να εκφράσω ειδικά ευχαριστήρια σε μερικούς πραγματικούς φίλους που με στήριξαν και με ενθάρρυναν με την υπερπολύτιμη συμβολή τους. Από τα βάθη της ψυχής μου θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλα αυτά τα άτομα που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια της φοιτητικής ζωής.

Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου Δημήτρη και Φωτεινή, τον αδερφό μου, καθώς και κάποια άλλα πάρα πολύ αγαπημένα μου συγγενικά μου πρόσωπα για την ψυχολογική συμπαράσταση και την κατανόηση που έδειξαν όλον αυτόν τον καιρό.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.1	Περίγραμμα της υδρολογίας	6
1.2	Σύντομη ιστορική αναδρομή της υδρολογίας	7
1.3	Ο υδρολογικός κύκλος	12
1.3.1	Μέρη του υδρολογικού κύκλου	14
1.4	Εκτίμηση του νερού της γης	15
1.4.1	Η κατανομή των κατακρημνισμάτων	19
1.4.2	Γενική υδρογραφία της Ελλάδας	20
1.5	Επιφανειακοί υδατικοί πόροι της Ελλάδας	21
1.5.1	Παράγοντας φύση – υδρολογικά φαινόμενα	21
1.6	Το υδατικό δυναμικό της Ελλάδας	23
1.6.1	Ποταμοί	23
1.6.2	Φυσικές και τεχνητές λίμνες	25
2.	Περιγραφή της περιοχής μελέτης της λεκάνης απορροής του φράγματος του Νεστορίου	27
2.1	Περιγραφή της λεκάνης απορροής	27
2.1.2	Στοιχεία υδρολογικής λεκάνης απορροής	28
2.2	Οι υδρομετεωρολογικοί σταθμοί	31
2.3	Ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων	32
2.3.1	Μέση βροχόπτωση περιοχής	32
2.3.1.1	Μέθοδος του αριθμητικού μέσου όρου	33
2.3.1.2	Η μέθοδος των πολυγώνων του Thiessen	33
2.3.1.3	Τροποποιημένη μέθοδος των πολυγώνων του Thiessen	34
2.3.1.4	Η μέθοδος των ισόβροχων καμπυλών	34
2.3.1.5	Μέθοδος βροχοβαθμίδας	35
2.3.1.6	Μέθοδος Kriging	36
2.4	Υπολογισμός υδατικού δυναμικού της λεκάνης	42
2.4.1.	Υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης	42
2.5.	Ο κύκλος της απορροής	46
2.5.1	Μέτρηση της απορροής	46
2.6	Υπολογισμός μέσης επιφανειακής εξατμισοδιαπνοής	49
2.6.1	Εξατμισοδιαπνοή (ET mm)	49

3.	Υδρολογικό ισοζύγιο	56
3.1	Εισαγωγή	56
3.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ «Q»	58
3.2.1	Υπολογισμός ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ K	58
3.2.2	Υπολογισμός «curve number» (cn)	59
3.2.3	Εφαρμογή υδρολογικού μοντέλου για τον υπολογισμό του υδατικού δυναμικού της λεκάνης	61
3.3	Εκτίμηση υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής	66
4.	Συζήτηση – συμπεράσματα	71
5.	Βιβλιογραφία	74

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

Εισαγωγή

1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ

Ο τυπικός ορισμός που μπορεί να δοθεί για την επιστήμη της υδρολογίας, ο οποίος φθάνει τα όρια της γενικής σχεδόν αποδοχής δίνεται από τον Chow (1964) και αποδίδεται ως εξής: **Υδρολογία είναι η επιστήμη του γήινου νερού και περιλαμβάνει την εμφάνιση, κυκλοφορία και κατανομή του, τις χημικές και φυσικές ιδιότητές του και την αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον.** Επομένως μπορούμε να εννοήσουμε ότι αντικείμενο της υδρολογίας είναι η **συμπεριφορά** του οπουδήποτε της γης νερού.

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό που δόθηκε, η υδρολογία είναι μια πολύ ευρεία επιστήμη, η οποία μπορεί να δανείζεται ένα πλήθος στοιχείων από άλλους κλάδους διάφορων επιστημών τα οποία μπορεί να ενσωματώνει σε δικές της ολοκληρωμένες διαδικασίες, για την διερεύνηση των διάφορων υδρολογικών προβλημάτων που μπορεί να εμφανιστούν στην εξέλιξή της. Ορισμένες από αυτές τις επιστήμες που αναφέρθηκε παραπάνω που χρησιμοποιούνται βοηθητικά στην υδρολογική έρευνα μπορεί να είναι η φυσική, η χημεία, τα μαθηματικά, η μετεωρολογία, η γεωλογία, η στατιστική και αρκετές άλλες. Παρόλα αυτά η υδρολογία έχει το πλεονέκτημα διότι μπορεί και διακρίνεται σε τρεις βασικούς τομείς όπου αυτοί έχουν το προνόμιο και παρουσιάζουν μια αυτονομία μεταξύ τους. Αυτοί οι τομείς είναι οι ακόλουθοι:

- 1) Η **Υδρομετεωρολογία**, η οποία έχει ως κύριο αντικείμενο τη μελέτη των διάφορων επιπτώσεων από μετεωρολογικά φαινόμενα που παίρνουν μέρος στις υδρολογικές διαδικασίες.
- 2) Η **Υδρογεωλογία**, όπου κύρια ασχολία της είναι η μελέτη των υπόγειων νερών.
- 3) Η **Ποταμολογία**, με βασικό σκοπό τη σωστή μελέτη της συμπεριφοράς και της διαίτας των επιφανειακών υδάτινων ρευμάτων.

Επιπλέον ορισμένοι άλλοι τομείς που μπορεί να θεωρηθούν ιδιαίτερα σημαντικοί για την επιστήμη της υδρολογίας μπορεί να είναι η **Λιμνολογία**, η

οποία ασχολείται με τη μελέτη των λιμνών αλλά και η **Κρυολογία**, που ως κύριο αντικείμενο μελέτης έχει την μελέτη του χιονιού και του πάγου.

Όσον αφορά τη σωστή υδρολογική διερεύνηση μιας οποιασδήποτε περιοχής σύμφωνα με τους Linsley et. al. (1949) λαμβάνουμε υπόψην τρεις παραμέτρους:

1. Μέτρηση, καταγραφή και ταξινόμηση των παρατηρήσεων υδρολογικών παραμέτρων,

2. Σωστή χρήση των παρατηρήσεων αυτών για τη διαμόρφωση βασικών υδρολογικών θεωριών ή την επέκταση των ήδη υφιστάμενων και

3. Την εφαρμογή των δεδομένων και των διάφορων θεωριών για την επίλυση των υδρολογικών προβλημάτων. Επομένως σύμφωνα με την παραπάνω μπορούμε να έχουμε μια σωστή αλλά και πετυχημένη υδρολογική ανάλυση.

1.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ

Η ιστορία εξέλιξης της επιστήμης της υδρολογίας, έχει παραμεληθεί. Ο αριθμός των επιστημόνων που ασχολήθηκαν μ' αυτήν είναι συγκεκριμένος, Meinzer (1942), Adams (1954), Chow (1964), Biswas (1969), Παπαζαφειρίου (1980) και Chow et al. (1988). Αυτό ίσως οφείλεται στη σημερινή τάση για μελέτη των σύγχρονων και μόνο θεωριών και εξελίξεων μιας επιστήμης, αγνοώντας εντελώς τις διαδικασίες και τα στάδια μέσα από τα οποία οι θεωρίες αυτές έφθασαν στο σημερινό τους επίπεδο. Η μελέτη της ιστορίας δε βοηθάει μόνο για την καλύτερη κατανόηση, για την εξέλιξη της επιστήμης αλλά μπορεί ακόμα και να οδηγήσει στη χάραξη των ορίων μέχρι τα οποία μπορεί να φθάσει η γνώση γύρω από συγκεκριμένα θέματα της συγκεκριμένης επιστήμης.

Έτσι όσον αφορά την ιστορία της υδρολογίας έχουμε ενδείξεις διάφορων οργάνων για την παρατήρηση των διάφορων υδρολογικών παραμέτρων στην εποχή του προ 3000 π.Χ εποχή. Έτσι στο μουσείο Παλέρμο στη Σικελία υπάρχει το αρχαιότερο ίσως νειλόμετρο (συσκευή με την οποία παρακολουθούσαν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι τις διακυμάνσεις της στάθμης του νερού του ποταμού Νείλου). Τα όργανα αυτά ήταν τοποθετημένα κυρίως σε ναούς, και σκοπό είχαν να προειδοποιούν για τυχόν πλημμύρες.

Παρόλα αυτά όμως η ανάπτυξη της υδρολογίας του υπόγειου νερού άρχισε με την επινόηση των **κανάτ**. Αυτό ήταν ένα τεχνητό υπόγειο κανάλι το οποίο μετέφερε νερό σε μακρινές αποστάσεις από διάφορες πηγές ή ακόμα και υπόγεια υδροφόρα στρώματα (διάνοιξη δοκιμαστικών πηγαδιών), (Βαβλιάκης Ε., 1989)

Ακόμα έχουν εντοπιστεί και διάφορα άλλα υδρολογικά έργα αυτά τα χρόνια. Ένα από αυτά είναι η εκτροπή του Νείλου ποταμού από την κοίτη του (3000 π.Χ), η μεταφορά νερού από πηγή στο Παλάτι της Κνωσσού (2200 π.Χ), η σύνδεση του Νείλου με την Ερυθρά Θάλασσα με πλωτό κανάλι (1950 π.Χ), η διατύπωση του κώδικα νερού του βασιλιά Χαμουραμπή (1750 π.Χ), η κατασκευή φραγμάτων στον Τίγρη (1500 π.Χ), η χρήση υδρόμετρων στην Όαση Γκανταμές της Β. Αφρικής (1050 π.Χ), η κατασκευή φραγμάτων στον ποταμό Μουργκάμπ της Περσίας (600 π.Χ), αλλά και διάφορα άλλα έργα σε διάφορες περιοχές.

Επίσης την εμφάνισή τους άρχισαν να κάνουν και τα υδρολογικά πειράματα. Ένα από τα αρχαιότερα έγινε από τον Ιπποκράτη (460-400 π.Χ), όπου έδειξε ότι το νερό χάνοταν προς το περιβάλλον μέσω του φαινομένου της εξάτμισης.

Σχεδόν την ίδια χρονική περίοδο έγινε και η προσπάθεια εξήγησης των διάφορων διαδικασιών του υδρολογικού κύκλου από τον Πλάτωνα (427-347 π.Χ), έτσι έχουμε την ύπαρξη δύο διαφορετικών υποθέσεων. Η κυριότερη είναι η ύπαρξη ενός εκτεταμένου δικτύου από αλληλοσυνδεόμενα κανάλια τα οποία βρίσκονται κάτω από τη γη τα οποία επικοινωνούν με μια κεντρική δεξαμενή όπου αναφέρεται σαν τα **Τάρταρα**. Το νερό που υπάρχει μέσα σ' αυτή είναι σε αναταραχή δημιουργώντας έτσι ροή σε ποτάμια και ρεύματα. Με σκοπό αυτό το νερό να καταλήγει πάλι στην αρχική του τοποθεσία, δηλαδή τα Τάρταρα. Η δεύτερη υπόθεσή του ήταν ότι το νερό στα ποτάμια και τις πηγές προέρχεται από τη βροχή.

Εκτός από αυτά όλα όμως ο Αριστοτέλης (384-322 π.Χ) στα **Μετεωρολογικά** του δέχεται ότι στη γη μπορεί να υπάρχουν ένα πλήθος από κοιλότητες η οποίες είναι γεμάτες από αέρα όπου όταν ψύχονται, μεταβάλλονται σε νερό. Επίσης υπάρχει και μια πιθανότητα ποτάμια να σχηματίζονται και από νερά βροχής.

Στα **Μετεωρολογικά** έχουμε και εξηγήσεις για τους διάφορους μηχανισμούς που προκαλούν τα διάφορα κατακρημνίσματα όπως και για το πώς πνέουν οι άνεμοι.

Την ίδια χρονική περίοδο στην Ινδία έχουμε την πρώτη ποσοτική μέτρηση της βροχής. Το εργαλείο όπου χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση ήταν κάτι σαν βροχόμετρο.

Έπειτα παίρνει μέρος στο προσκήνιο η Ρωμαϊκή εποχή, η οποία διακρίνονταν για τους πρακτικούς μηχανικούς της, οι οποίοι μπόρεσαν και σχεδίασαν μεγάλα έργα ύδρευσης, αρδευτικά και αποχετευτικά. Η κύρια όμως συμβολή στην ανάπτυξη της υδρολογίας τη συγκεκριμένη εποχή έγινε από τον Ήρωνα της Αλεξάνδρειας, ο οποίος μπόρεσε και διατύπωσε την αρχή ότι η παροχή των ρευμάτων εξαρτάται από την υγρή διατομή και την ταχύτητα. Αλλά αυτή η αρχή δε βρήκε άμεση ανταπόκριση και συνεχίζονταν να πιστεύεται από τους διάφορους μηχανικούς ότι η παροχή είναι συνάρτηση μόνο της υγρής διατομής.

Στην συνέχεια ακολουθεί η εποχή του Μεσαίωνα όπου η μόνη πρόοδος που υπήρξε έγινε στην Κίνα από το 1247 με την χρήση των κυλινδρικών βροχομέτρων και χιονομέτρων. Επίσης τότε διατυπώθηκε και μια μέθοδος για τον υπολογισμό της μέσης βροχόπτωσης πάνω σε μια περιοχή χρησιμοποιώντας βροχομετρήσεις σε ορισμένα σημεία της.

Ένα άλλο από τα γνωστά πρόσωπα που μπόρεσε και ασχολήθηκε με την επιστήμη της υδραυλικής ήταν ο Leonardo da Vinci (1452-1519). Αυτός μπόρεσε και διατύπωσε δύο θεωρίες για τον υδρολογικό κύκλο του νερού, όπου η μία από τις δύο ήταν και η σωστή. Στη συνέχεια την ίδια σχεδόν εποχή ένας άλλος Γάλλος ο Bernard Palissy (1510-1590) διατύπωσε την αρχή ότι το νερό των πηγών αλλά και των ποταμών προέρχεται από την βροχή. Επιπλέον ο ίδιος διατύπωσε αρχές για τα αρτεσιανά φρεάτια, για τον εμπλουτισμό αυτών από ποτάμια. Τέλος τα έργα αυτής της εποχής έρχεται και κλείνει ένας Ιταλός αρχιτέκτονας Giovanni Fontana ο οποίος ασχολήθηκε συστηματικά με την ανάλυση των πλημμύρων και συγκεκριμένα με την καταστρεπτική τότε πλημμύρα του Τίβερι.

Ακολουθεί ο 17^{ος} αι. όπου έχουμε ενδιαφέρουσες αλλά ταυτόχρονα και ουσιώδεις επιτεύξεις γύρω από την επιστήμη της υδρολογίας.

Ένα από τα σημαντικότερα είναι η αποδοχή της αρχής της συνέχειας των Perrault, Mariotte και Halley. Ο Pierre Perrault (1608-1680) κατόρθωσε τελικά και ανακοίνωσε ότι η βροχή που πέφτει σε μια περιοχή μπορεί να εξασφαλίσει τη ροή σε ποταμούς και λίμνες. Υπολόγισε την ετήσια βροχόπτωση που πέφτει στη λεκάνη του Seine κοντά στο Παρίσι όπως και την ετήσια παροχή του ποταμού Seine και βρήκε ότι περίπου το 1/6 της βροχής αλλά και του χιονιού που πέφτει στη λεκάνη απορροής είναι ένα αρκετό ποσοστό για να εξασφαλίσει την ετήσια παροχή του ποταμού. Τέλος, ο Edmond Halley (1656-1742) απέδειξε το άλλο μισό του υδρολογικού κύκλου, ότι η εξάτμιση του νερού από τους ωκεανούς και τις θάλασσες ήταν αρκετή για τη δημιουργία βροχών οι οποίες να μπορούν να συντηρούν τη ροή των ποταμών. Επίσης την ίδια εποχή έχουμε την εμφάνιση των αυτογραφικών βροχογράφων αλλά και μετρητές ροής.

Αντίθετα ο 18^{ος} αι. χαρακτηρίζεται από την ανακάλυψη του σωλήνα του Pitot από τον Henry de Pitot (1695-1771) όπου έχουμε την μέτρηση ταχυτήτων σε διάφορα βάθη, από τη χρησιμοποίηση της εξίσωσης του Chezy (1718-1798) για τον υπολογισμό της ροής διωρύγων και της αντίστοιχης αλλά πιο πολύπλοκης εξίσωσης του De Buat (1738-1809). Επίσης αυτά τα χρόνια έχουμε διάφορες εργασίες για την πρέλευση των πηγών, για τη μεταβολή της βροχόπτωσης σε σχέση με το υψόμετρο, τη μέτρηση της παροχής ρευμάτων κ.α.

Ακόμα η ανάπτυξη της υδρολογίας το 19^ο αι. είναι φανερή. Έτσι έχουμε τις πρώτες αναλύσεις δεδομένων παροχής ρευμάτων όπου έγιναν στη Γερμανία και αφορούσαν το Ρήνο ποταμό. Τότε συστηματοποιούνται οι υδρομετρήσεις ποταμών σε πολλές χώρες καθώς επίσης εντείνεται και η προσπάθεια για τη διατύπωση μιας σχέσης παροχής η οποία να μπορεί να έχει παγκόσμια εφαρμογή. Όσον αφορά την εκτίμηση της απορροής ενός ρεύματος, η και σήμερα εφαρμοζόμενη **ορθολογική** σχέση (rational formula) η οποία συνδέει την απορροή με την ένταση της βροχής, την έκταση της υδρολογικής λεκάνης και ένα συντελεστή απορροής, θεμελιώθηκε από τον Ιρλανδό Thomas James Mulvane (1822-1892). Βέβαια ο αιώνας αυτός έγινε ακόμη πιο γνωστός από τις εργασίες του Darcy, που αποτελούν θεμέλιο της υδρολογίας των υπόγειων υδάτων.

Ο νόμος του Darcy σήμερα έχει την ίδια αξία για την κίνηση των υγρών σε πορώδη μέσα με αυτήν του νόμου του Ohm στον ηλεκτρισμό.

Τον 20^ο αι. έχουμε την ανάπτυξη διάφορων εμπειρικών σχέσεων για την επίλυση ορισμένων υδρολογικών προβλημάτων που εμφανίζονταν στη πορεία. Έτσι έχουμε την ανάπτυξη μοντέλου για τη διήθηση από τους Green and Ampt (1911), ο Hazen (1914) εισήγαγε την ανάλυση συχνότητας πλημμύρων και αποθηκευμένου όγκου νερού ταμιευτήρων, ο Richards (1931) διαμόρφωσε τη βασική εξίσωση ακόρεστης ροής, ο Sherman (1932) εισήγαγε τη μέθοδο του μοναδιαίου υδρογραφήματος για το μετασχηματισμό της απορροϊκής βροχής σε άμεση απορροή, ο Horton ανέπτυξε τη θεωρία διήθησης (1933) και μπόρεσε και περιέγραψε το ιδρογραφικό δίκτυο μιας λεκάνης απορροής (1945), ο Gumbel πρότεινε μια κατανομή για την ανάλυση ακραίων συμβάντων (1941) και τέλος ο Hurst (1951) διατύπωσε το φαινόμενο της εμμονής.

Σήμερα η ανάπτυξη της υδρολογίας σε όλους τους κλάδους της μπορούμε να πούμε ότι είναι πολύπλευρη αλλά επίσης μπορεί κάλλιστα να χαρακτηριστεί ως πολύπλοκη. Βέβαια όλα αυτά που αναφέραμε για την ανάπτυξη της υδρολογίας και σε συνδυασμό με την αλματώδη ανάπτυξη των υπολογιστών και την οργάνωση εκτεταμένων καθώς και σύγχρονων δικτύων μέτρησης των διάφορων υδρολογικών μεταβλητών, έχει σαν στόχο τον πιο ασφαλή και οικονομικό σχεδιασμό των κάθε φύσης και μορφής υδραυλικών έργων (Παπαμιχαήλ Δημ. Μ.,2004).

1.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Ο υδρολογικός κύκλος, ή αλλιώς ο κύκλος του νερού, περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της Γης, καθώς και κάτω και πάνω απ' αυτή. Το νερό της Γης είναι πάντα σε κίνηση και πάντα σε αλλαγή, από την υγρή μορφή στην αέρια ή σε πάγο ξανά και αντίστροφα. Ο κύκλος του νερού λειτουργεί εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια. Η ζωή στη Γη εξαρτάται απ' αυτόν. Η Γη θα ήταν πολύ αφιλόξενο μέρος για τη ζωή χωρίς τον υδρολογικό κύκλο.

Ο υδρολογικός κύκλος, θεωρείται ότι ξεκινά απ' τη θάλασσα. Ο ήλιος, που κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς) το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα. Νερό εξατμίζεται ακόμα από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι μιλούμε για εξατμισοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάγους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή.

Ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι μικρότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Επειδή όμως σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί πια να συγκρατεί όλη τη μάζα των υδρατμών, ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω απ' την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται και μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν απ' τον ουρανό ως κατακρημνίσματα, η συχνότερη μορφή των οποίων είναι η βροχή. Μια μορφή κατακρημνίσματος είναι το χιόνι, το οποίο όταν συσσωρεύεται σχηματίζει πάγους και παγετώνες. Σε σχετικά θερμότερα κλίματα, όταν έρχεται η άνοιξη, το χιόνι λιώνει και το ξεπαγωμένο νερό ρέει, σχηματίζοντας την απορροή από λιώσιμο του χιονιού. Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς. Από την ποσότητα που πέφτει στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος

καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Η επιφανειακή απορροή μπορεί ακόμη να καταλήξει στις λίμνες, που αποτελούν, μαζί με τους ποταμούς, τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς την επιφάνεια της γης εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναμπαίνει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού "τελειώνει" και "ξεκινάει".

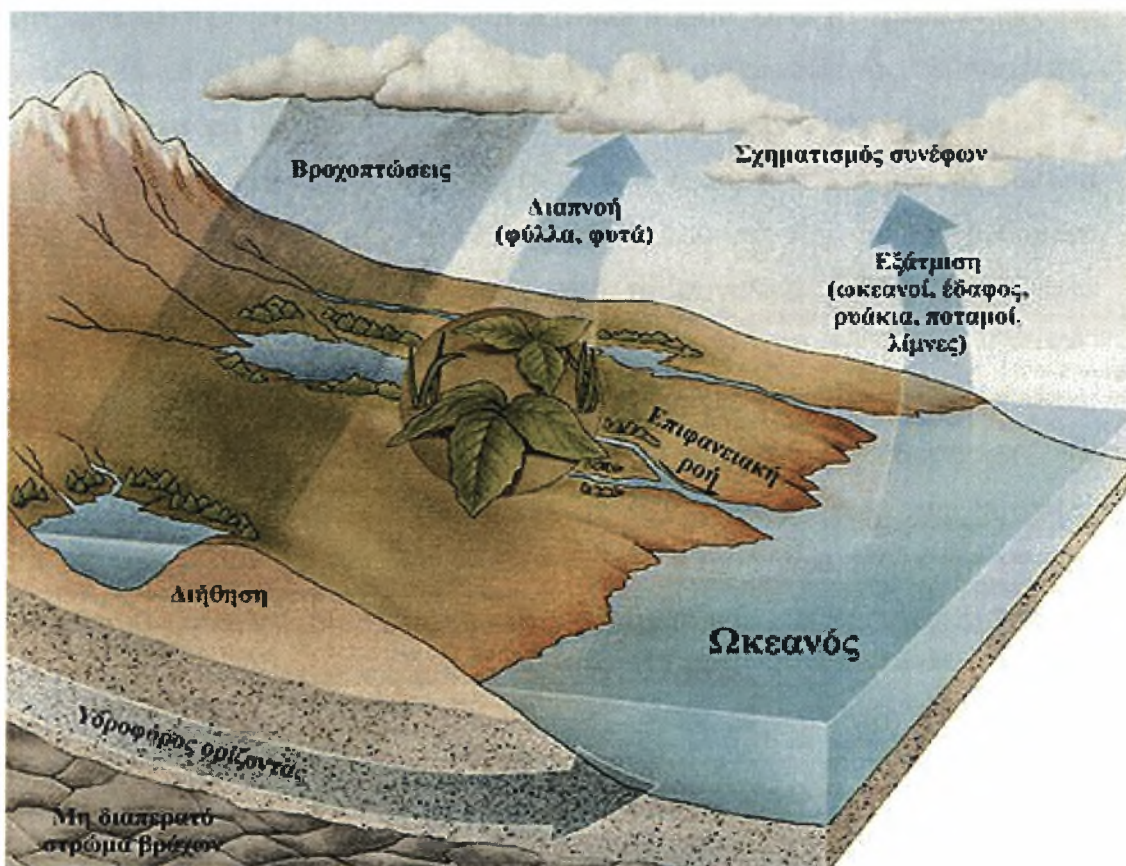
1.3.1. Μέρη του υδρολογικού κύκλου

Η Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS) έχει διακρίνει 16 μέρη του υδρολογικού κύκλου:

- ▶ Αποθήκευση νερού στη θάλασσα
- ▶ Εξάτμιση
- ▶ Εξατμισοδιαπνοή
- ▶ Εξάχνωση
- ▶ Νερό στην ατμόσφαιρα
- ▶ Συμπύκνωση
- ▶ Κατακρημνίσματα
- ▶ Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνια
- ▶ Απορροή από λιώσιμο του χιονιού
- ▶ Επιφανειακή απορροή
- ▶ Ροή σε υδατορεύματα
- ▶ Αποθήκευση γλυκού νερού
- ▶ Διήθηση
- ▶ Αποθήκευση υπόγειου νερού
- ▶ Εκφόρτιση υπόγειου νερού
- ▶ Πηγές



Εικόνα 1.1 Περιγραφή υδρολογικού κύκλου



Εικόνα 1.2 Ο υδρολογικός κύκλος

1.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ

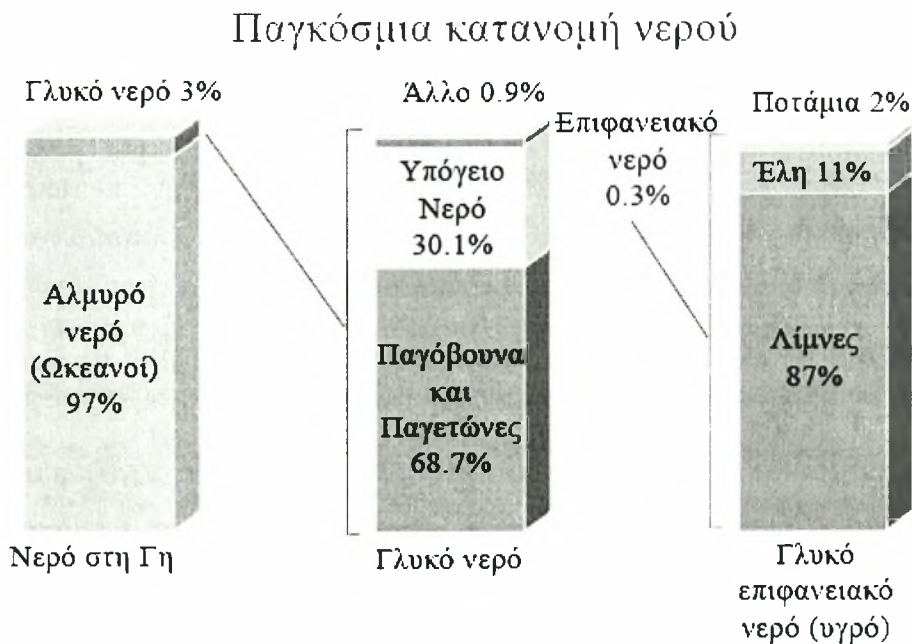
Στη φύση το υδατικό στοιχείο κατέχει τα δύο τρίτα της επιφάνειας της γης περίπου, με τους ωκεανούς και τις θάλασσες. Το υπόλοιπο ένα τρίτο κατέχουν οι ήπειροι, οι οποίες φιλοξενούν τους ποταμούς και τις λίμνες στην επιφάνειά τους και τους υπόγειους υδροφορείς στο βάθος.

Οι διάφοροι υδάτινοι πόροι μέσω των διάφορων διεργασιών του υδρολογικού κύκλου, αποτελούν ανανεώσιμους πόρους του πλανήτη μας και για το λόγο αυτό έχουν τη δυνατότητα της αιφορίας.

Οι συνολικές ποσότητες νερού που υπάρχουν στη γη (μαζί και με το θαλασσινό), ανακυκλώνονται μέσω του υδρολογικού κύκλου, ανέρχονται σε $1.4 \cdot 10^{18} \text{m}^3$ ενώ τα αποθέματα του γλυκού νερού είναι μόλις $36 \cdot 10^{15} \text{m}^3$, δηλαδή αποτελούν το 2.57 % της συνολικής ποσότητας. Το 70% αυτού του γλυκού νερού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο, εφόσον είναι δεσμευμένο στους παγετώτες. Από το υπόλοιπο 30 % που βρίσκεται σε υγρή μορφή, το 98 % το συναντάμε στους υπόγειους υδροφορείς και μάλιστα το

απαγορευτικές για την εκμετάλλευσή του. Το υπόλοιπο 2% που βρίσκεται στα ποτάμια και τις λίμνες (επιφανειακοί υδατικοί πόροι), είναι το άμεσο διαθέσιμο νερό από το οποίο εξαρτάται η ανάπτυξη της ανθρωπότητας. Η ποσότητα αυτή επαρκεί για να συντηρήσει όλες τις μορφές ζωής στο πλανήτη.

Το παρακάτω διάγραμμα και ο πίνακας δεδομένων, παρουσιάζουν μια λεπτομερή περιγραφή της κατανομής του νερού της Γης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Παρατηρούμε πως από τα συνολικά 1.386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα του νερού στη Γη περισσότερο από 96% είναι αλμυρό. Επίσης, το 68% του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε πάγο και παγετώνες. Ακόμα ένα 30% του γλυκού νερού βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς. Το επιφανειακό γλυκό νερό που βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες είναι συνολικά 93.100 κυβικά χιλιόμετρα και αντιπροσωπεύει περίπου το 1/700 του 1% του συνολικού νερού στη Γη. Παρά ταύτα, τα ποτάμια και οι λίμνες είναι οι βασικές πηγές νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.



Εικόνα 1.3 Παγκόσμια κατανομή νερού

Πίνακας 1.1 Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού

Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού			
Μορφή Νερού	Όγκος νερού σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό γλυκού νερού	Ποσοστό συνολικού νερού
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	--	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	--	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό	12.870.000	--	0,94
Εδαφική Υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	--	0,013
Γλυκές	91.000	0,26	0,007
Αλμυρές	85.400	--	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Έλη	11.470	0,03	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	-	100

Πηγή: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823. <http://el.wikipedia.org/>

Το γεγονός ότι οι λίμνες και τα ποτάμια, δηλαδή τα επιφανειακά νερά, είναι οι κύριες πηγές νερού, ή αλλιώς υδατικοί πόροι, φαίνεται να έρχεται σε αντίθεση με την εικόνα που δίνει ο παραπάνω πίνακας, σύμφωνα με την οποία τα υπόγεια νερά είναι κατά τάξεις μεγέθους περισσότερα από τα επιφανειακά. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί αν σκεφτούμε ότι οι πόροι του νερού δεν είναι αποθεματικοί (όπως π.χ. είναι το πετρέλαιο) αλλά ανανεώσιμοι. Επομένως αυτό που έχει σημασία δεν είναι η ποσότητα νερού που είναι αποθηκευμένη αλλά αυτή που ανανεώνεται κάθε χρόνο. Έτσι, λοιπόν, τα επιφανειακά νερά διακινούνται – και άρα ανανεώνονται – με πολύ πιο γρήγορους ρυθμούς από τα υπόγεια.

Με άλλα λόγια δεν έχει τόσο σημασία η στατική εικόνα της αποθήκευσης του νερού, αλλά η δυναμική εικόνα της κυκλοφορίας του νερού στην υδρόγειο. Αυτή περιγράφεται από τις ποσότητες των διακινήσεων του νερού ανάμεσα στις διάφορες μορφές, δηλαδή τις ποσότητες που μεταφέρονται μέσα στον υδρολογικό κύκλο. Σε μέση ετήσια βάση, οι ποσότητες αυτές δίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

Πίνακας 1.2 Εκτίμηση των μέσων ετήσιων φυσικών διακινήσεων του νερού της Γης (συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου)

Εκτίμηση των μέσων ετήσιων φυσικών διακινήσεων του νερού της Γης (συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου)

Επιφάνεια αναφοράς	Έκταση σε δισεκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα	Διακίνηση	Μέσος ετήσιος όγκος σε κυβικά χιλιόμετρα	Ποσοστό επί των κατακρημνισμάτων, %
Σύνολο επιφάνειας Γης	510,0	Κατακρημνίσματα = Εξατμοδιαπνοή	577.000	100,0
Ωκεανοί	361,1	Κατακρημνίσματα Εξάτμιση	458.000 505.000	100,0 110,3
Ξηρά	148,9	Κατακρημνίσματα Εξατμοδιαπνοή Συνολική απορροή Επιφανειακή συνιστώσα απορροής Υπόγεια συνιστώσα απορροής	119.000 72.000 47.000 44.700 2.300	100,0 60,5 39,5 37,6 1,9

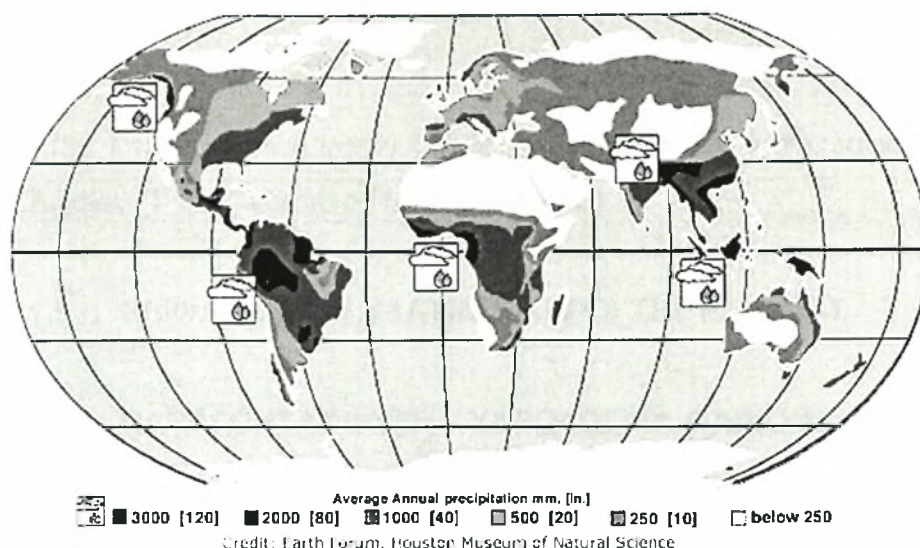
Πηγή: Δ. Κουτσογιάννης και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999. Η επιφανειακή και η υπόγεια συνιστώσα απορροής αναφέρονται στην έξοδο προς τη θάλασσα.

Τα πιο χαρακτηριστικά στοιχεία που παρατηρούμε μελετώντας τον πίνακα είναι ότι: **(1)** Το χερσαίο τμήμα της Γης τροφοδοτείται από το θαλάσσιο, μέσω των μηχανισμών της εξάτμισης και της μεταφοράς από τους ανέμους, με υδρατμούς (δηλαδή νερό σε καθαρή μορφή) που φτάνουν στο 39,5% των χερσαίων κατακρημνισμάτων (το υπόλοιπο 60,5% των χερσαίων κατακρημνισμάτων προέρχεται από τη χερσαία εξατμισοδιαπνοή). **(2)** Η ίδια ποσότητα (39,5%) οδηγείται μέσω της επιφανειακής και υπόγειας απορροής από την ξηρά στη θάλασσα, για να κλείσει έτσι ο υδρολογικός κύκλος και το υδατικό ισοζύγιο της υδρογείου. **(3)** Από τη συνολική απορροή, η οποία αποτελεί και την οροφή του εκμεταλλεύσιμου υδατικού δυναμικού, τη μερίδα του λέοντος παίρνει η επιφανειακή απορροή (η επιφανειακή εκροή στη θάλασσα είναι περίπου 20 φορές μεγαλύτερη από την υπόγεια εκροή).

1.4.1 Η κατανομή των κατακρημνισμάτων μεταβάλλεται γεωγραφικά και χρονικά.

Δεν πέφτουν οι ίδιες ποσότητες κατακρημνισμάτων παντού στο κόσμο, αλλά υπάρχει γεωγραφική και χρονική μεταβλητότητα. Στην Αθήνα, για παράδειγμα, οι καλοκαιρινές καταιγίδες μπορεί να προκαλέσουν περισσότερο από 50 χιλιοστά βροχής σε κάποιες περιοχές και να αφήσουν τελείως ξηρές κάποιες άλλες, μερικά χιλιόμετρα πιο πέρα. Μερικές περιοχές στην Ήπειρο (Βορειοδυτική Ελλάδα) δέχονται περισσότερη βροχή κατά τη διάρκεια ενός μήνα από ότι η Αθήνα σε έναν ολόκληρο χρόνο. Το παγκόσμιο ρεκόρ της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης ανήκει στο όρος Waialeale της Χαβάης, όπου πέφτουν 11.400 χιλιοστά (11,4 μέτρα) βροχής κατά μέσο όρο το χρόνο. Αντίθετα, στο Atica της Χιλής, μέχρι πρόσφατα, είχε να βρέξει για 14 χρόνια.

Ο παρακάτω χάρτης δείχνει το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων παγκοσμίως (σε χιλιοστά [και ίντσες]). Το ανοιχτό πράσινο χρώμα μπορεί να θεωρηθεί "έρημος". Βέβαια, όλοι ξέρουμε ότι η Σαχάρα της Αφρικής είναι έρημος, αλλά αντίστοιχα μικρά ύψη κατακρημνισμάτων έχει και το μεγαλύτερο τμήμα της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής.



Εικόνα 1.4 Μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων παγκοσμίως

1.4.2 Γενική υδρογραφία της Ελλάδας

Η Ελλάδα καλύπτεται με εσωτερικά ύδατα, των οποίων η συνολική επιφάνεια καταλαμβάνει περίπου 2200 km² (ποσοστό κάλυψης 1,7%).

Πίνακας 1.3 Κατανομή νερού στον Ελλαδικό χώρο.

Είδος Εσωτερικών Υδάτων	Αριθμός	Εμβαδό (km ²)	Ποσοστό συμμετοχής
Φυσικές Λίμνες	56	598	25,90
Τεχνητές Λίμνες	25	358	15,50
Λιμνοθάλασσες	72	550	24,80
Έλη	75	58	2,50
Πηγές	17	1	0,04
Εκβολές Ποταμών	42	43	1,90
Δέλτα Ποταμών	12	680	29,40
Ποταμοί	91	22	1,00
Σύνολο:		2310	100,00

Η δυτική Ελλάδα η οποία αποτελεί την πλέον ομβροφόρα περιοχή, εμφανίζει τη μεγαλύτερη κάλυψη με εσωτερικά νερά (444 km²) και ακολουθεί η κεντρική Μακεδονία (386 km²), η Ήπειρος (337 km²), η ανατολική Μακεδονία και Θράκη (316 km²), η δυτική Μακεδονία (213 km²), η Στερεά Ελλάδα (159 km²) ενώ μικρότερες εκτάσεις με εσωτερικά ύδατα και υγροτοπικές περιοχές έχουν η Θεσσαλία (59 km²), τα νησιά του Βορείου

Αιγαίου (33 km²), τα Ιόνια νησιά (22 km²), η Κρήτη (14 km²), τα νησιά του νοτίου Αιγαίου (7 km²) και τέλος η Αττική (5 km²).

1.5 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

1.5.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΦΥΣΗ – ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Στη χώρα μας, λόγω της κλιματικής ζώνης που ανήκει αλλά και του έντονα διαβαθμισμένου αναγλύφου της οριζοντιογραφικά και υψομετρικά, παρατηρείται έντονη χωροχρονική ανισοκατανομή των βροχοπτώσεων. Έτσι μπορούμε να δούμε ότι οι βροχές εκδηλώνονται κυρίως τους χειμερινούς μήνες όπου υπάρχουν μικρότερες ανάγκες σε νερό, ενώ η ανομβρία και η ξηρασία εκδηλώνονται τους θερινούς μήνες με τις μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό, με άμεση επίδραση στους επιφανειακούς αλλά και στους υπόγειους υδατικούς πόρους.

Εκτενέστερα η Αττική, τα νησιά του Αργοσαρωνικού αλλά και οι Κυκλάδες, είναι από τις πιο άνυδρες περιοχές της χώρας μας, οι οποίες δέχονται λιγότερο από 500 mm βροχής το χρόνο αν και το χειμώνα μπορεί να έχουμε και ραγδαίες καταιγίδες αλλά και πλημμύρες. Οι πιο πλούσιες σε κατακρημνίσματα περιοχές βρίσκονται στη Δυτική Ελλάδα (Ήπειρος, Δυτ. Στερεά, Δυτ. Πελοπόννησος, νησιά Ιονίου), στις οποίες το ετήσιο ύψος βροχής ξεπερνάει τα 900 mm και σε μερικές περιπτώσεις τα 1200 mm, ακόμη και τα 2000 mm στα ορεινά, ενώ η υπόλοιπη Ελλάδα δέχεται βροχοπτώσεις το ύψος των οποίων βρίσκεται από 500 έως 900 mm ετησίως (Ψιλοβίκος Άρης, 1999).

Παρόλα αυτά όμως η Ελλάδα έχει χαρακτηριστεί ως μια χώρα πλούσια σε υδατικούς πόρους, σύμφωνα με τα στοιχεία της έκθεσης της ΟΟΣΑ. Έτσι έχουμε ότι:

- Το μέσο υπερετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι περίπου 850 mm, το οποίο αντιστοιχεί σε $115 \cdot 10^9 \text{m}^3$.

- Η μέση ετήσια επιφανειακή απορροή είναι $60 \cdot 10^9 \text{m}^3$, ενώ για τα υπόγεια ύδατα εκτιμάται ότι το ετήσιο δυναμικό τους είναι $2,5 \cdot 10^9 \text{m}^3$.
- Το δυτικό τμήμα της Ελλάδας καταλαμβάνει έκταση περίπου το 37% της συνολικής έκτασης της χώρας και έχει μέσο ετήσιο όγκο βροχοπτώσεων 48,3% της συνολικής βροχόπτωσης της χώρας. Άρα από το παραπάνω συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μια άνιση κατανομή της βροχής μεταξύ ανατολικής και δυτικής Ελλάδος με όριο την οροσειρά της Πίνδου, με επέκταση και στην Πελοπόννησο. Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν για της επιφανειακές απορροές αλλά και για τα υπόγεια ύδατα. Εξάιρεση στις επιφανειακές απορροές αποτελεί η Μακεδονία και η Θράκη όπου καλύπτουν περίπου το 48,2% του συνόλου, οι οποίες δέχονται και απορροές από όμορες χώρες.

Ακόμα σύμφωνα με την πρόσφατη έκθεση του ΟΟΣΑ για την κατάσταση περιβάλλοντος στη χώρα μας, προκύπτει ότι:

1. Λαμβάνει χώρα μια ανισομερής κατανομή των υδατικών πόρων στο υδρολογικό έτος, με μεγάλη συγκέντρωση βροχοπτώσεων κατά τη χειμερινή περίοδο. Στη Νότια Ελλάδα το 80 – 90% των ετήσιων βροχοπτώσεων είναι το χειμώνα, ενώ το θερινό ύψος της βροχής αυξάνεται προς βορρά και στα βορειότερα τμήματα έχει τη μεγαλύτερη τιμή του (20% του ετησίου).

2. Έχουμε χωρική αντιστοιχία της ζήτησης σε σχέση με την κατανομή της προσφοράς. Όσον αφορά τις πόλεις Θεσσαλονίκη-Αθήνα-Πάτρα, πόλεις με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού, δεν διαθέτουν αντίστοιχα σημαντικούς υδατικούς πόρους.

3. Όσον αφορά τώρα τη χρονική αντιστοιχία της ζήτησης σε σχέση με την κατανομή της προσφοράς στο υδρολογικό έτος, ο μεγαλύτερος καταναλωτής του νερού, που είναι η γεωργία (81%), όλη η κατανάλωση γίνεται την ξηρή περίοδο. Συγκεκριμένα τον Ιουλίο-Αύγουστο η κατανάλωση του νερού διπλασιάζεται λόγω άρδευσης και επιπλέον χρήσης του για ύδρευση λόγω τουρισμού.

4. Επιπλέον σημαντικό ρόλο παίζουν και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της χώρας μας. Η γεωμορφολογία, καθώς και η δομή και η

διάταξη των διάφορων πετρωμάτων δημιουργούν ένα πλήθος μικρών υδατορευμάτων με χειμαρρική κυρίως δίαιτα, επιφανειακή απορροή μικρής διάρκειας και συχνά πλημμυρικά φαινόμενα.

5. Η εξάρτηση της Βόρειας Ελλάδας από τις επιφανειακές απορροές των ποταμών όπου έρχονται από άλλα γειτονικά κρατη είναι (περίπου $14 \text{ km}^3/\text{έτος}$)

6. Η Ελλάδα έχει μεγάλο ανάπτυγμα ακτών (15.021 km), όπου συντείνει, λόγω της εντατικής εκμετάλλευσης παράκτιων υδροφορέων, όταν γίνεται η διαδικασία της υφαλμύρησής τους.

7. Τέλος έχει ένα πλήθος άνυδρων ή με ελάχιστους υδατικούς πόρους νησιά.

1.6 ΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

1.6.1 ΠΟΤΑΜΟΙ

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των ελληνικών υδατορευμάτων είναι η χειμαρρώδης δίαιτα, που οφείλεται:

- στο ορεινό ανάγλυφο
- στην ακανόνιστη χρονική κατανομή των βροχοπτώσεων
- στη διάβρωση των εδαφών λόγω ανεπαρκούς φυτοκάλυψης

Οι παροχές παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις και έχει παρατηρηθεί ότι η σχέση μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης παροχής ποικίλει από 1:200 έως 1:700, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες.

Γενικά σπάνια παρατηρείται απορροή κατά τους θερινούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο. Σε ένα σύνολο 40 ποταμών και μεγάλων χειμαρροποτάμων δεκατρείς (13) απ' αυτούς παρουσιάζουν θερινή παροχή μεγαλύτερη των $3 \text{ m}^3/\text{sec}$. Το μήκος των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας κυμαίνεται από 70 έως και 300 km. Από αυτούς, έξι (6) είναι διακρατικοί (Έβρος, Άρδας, Νέστος, Στρυμόνας, Αξιός, Αώος). Οι ποταμοί αυτοί έχουν ως προς τις απορροές τους το χαρακτηριστικό της χειμαρρώδους ροής και των πλημμυρών και παρουσιάζουν μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις .

Αντίθετα εσωτερικοί ποταμοί που έχουν κύρια τροφοδοσία από μεγάλες πηγές (Λούρος, Λάδωνας, Εδεσσαίος) αν και έχουν μικρότερη παροχή, δεν παρουσιάζουν τόσο έντονες διακυμάνσεις.

Πίνακας 1.4 Οι μεγαλύτεροι ποταμοί της Ελλάδας (ΕΣΥΕ 1987)

α/α	Ποταμός	Μήκος σε km	α/α	Ποταμός	Μήκος σε km
1	Αλιάκμονας	297	11	Λούρος	80
2	Αχελώος	220	12	Σπερχειός	80
3	Πηνειός (Θεσ)	205	13	Ταυρωπός	78
4	Έβρος	204	14	Αξιός	76
5	Νέστος	130	15	Αώος	70
6	Στρυμόνας	118	16	Γαλλικός	70
7	Καλαμάς	115	17	Λάδωνας	70
8	Αλφειός	110	18	Μόρνος	70
9	Αραχθός	110	19	Πηνειός (Πελ)	70
10	Ευρώτας	82			

Ρεύματα που δημιουργούνται από την επίδραση των ποταμών

Όταν ένας ποταμός εισέρχεται σε μια λίμνη ή υδατοσυλλογή, το εισερχόμενο νερό ρέει μέσα στη λίμνη, στη στοιβάδα που έχει την πλησιέστερη πυκνότητα με τη δική του. Αυτή η διαδικασία ελέγχεται από τη θερμοκρασία, το διαλυμένο υλικό και τα αιωρούμενα στερεά. Ανάλογα με τη διαφορά πυκνότητας ανάμεσα στο εισερχόμενο νερό και στο νερό της λίμνης μπορεί να προκύψουν τρεις βασικοί τύποι εισροής νερού:

- α) επι-ροή συμβαίνει όταν η πυκνότητα του εισερχόμενου νερού είναι μικρότερη από αυτήν του νερού της λίμνης,
- β) υπο-ροή προκύπτει όταν η πυκνότητα του εισερχόμενου νερού είναι μεγαλύτερη από εκείνη του νερού της λίμνης,
- γ) αν η πυκνότητα του νερού που εισρέει είναι μεγαλύτερη από εκείνη του επιλίμνιου αλλά μικρότερη από αυτήν του μεταλίμνιου ή του υπολίμνιου, η ροή είναι πτερόμορφη σε ένα ενδιάμεσο βάθος και προκύπτει ενδοροή.

Κάποια ποσότητα τυρβώδους μετατόπισης και ανάμειξης σχεδόν πάντοτε, συνοδεύει τη ροή του νερού στη λίμνη, δίνοντας ικανοποιητικές ταχύτητες εισροής. Σε πολλές λίμνες και υδατοσυλλογές η εισροή γίνεται από επιμηκισμένες όχθες, οι οποίες τείνουν να αναστείλουν την πλευρική ανάμειξη. Καθώς το νερό εισέρχεται στη λεκάνη, το βάθος της εισροής αυξάνεται και.

η ταχύτητα σταδιακά ελαττώνεται μέχρι μια περιοχή κρίσιμου βάθους. Η επιροή ή η υπο-ροή αρχίζει σε αυτήν την κρίσιμη περιοχή με μείωση της ταχύτητας εισροής, που μπορεί να συνοδεύεται από απόθεση αιωρούμενων υλικών. Οι αποκλίσεις στη διαφορά πυκνότητας ανάμεσα στο εισερχόμενο νερό και στο νερό αποδέκτη είναι τόσο μεγάλες, που είναι πολύ δύσκολο να γίνουν γενικεύσεις. Η παροχή επίσης ποικίλλει ευρέως εποχικά, όχι μόνο στην ποσότητα νερού αλλά και στο συνοδευτικό φορτίο των διαλυμένων και αιωρούμενων υλικών (Α. Ι. Σίνη, 1999).

1.6.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΛΙΜΝΕΣ

Οι λίμνες, σαν επιφανειακές συγκεντρώσεις του νερού της απορροής, σχηματίζονται σε κλειστά (περιμετρικώς) τοπογραφικά βυθίσματα. Η συγκέντρωση του επιφανειακού νερού, που οδηγείται από τους άξονες της επιφανειακής απορροής, επιτυγχάνεται όταν τα πετρώματα της θέσης, που δημιουργείται η λίμνη, είναι, πρακτικώς, αδιαπέρατα ή εμφανίζουν μια περατότητα πολύ μικρή σε σχέση με τη παροχή των αφίξεων νερού. Οι λίμνες αποτελούν επίπεδο βάσης για τα επιφανειακά νερά και, ενίοτε, μερικώς ή ολικώς, και για τα υπόγεια, συγκρατώντας την απορροή και εμποδίζοντάς την να φθάσει στο φυσικό επίπεδο εκφορτίσεως, που είναι το επίπεδο της θάλασσας. Κάθε λίμνη αποτελεί έναν ιδιαίτερο υγρότοπο, εμφανίζει ιδιαιτερότητες και θερμοκρασιακές ή άλλης μορφής στρωματώσεις στο νερό της. Τέτοιες στρωματώσεις μπορούν να αναφέρονται στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού, σε ρεύματα ή άλλες μορφές υδάτινης κυκλοφορίας, στην εμφανιζόμενη πανίδα ή χλωρίδα κ.α.

Το νερό των λιμνών εμφανίζει μια στρωμάτωση με βασικό κριτήριο τις συνθήκες και τη λειτουργικότητα του κάθε στρώματος. Το επιλίμνιο στρώμα είναι αυτό που φωτίζεται, έχει πάχος περίπου 10 m και στο οποίο σημειώνεται μετακίνηση του νερού. Στο στρώμα αυτό, το οποίο έχει μεγάλες ποσότητες οξυγόνου, επιτελείται, κατά το μεγάλο ποσοστό, η φωτοσύνθεση. Ακολουθεί το μεταλίμνιο ή μεσολίμνιο στρώμα με συνθήκες και λειτουργίες ενδιάμεσες, εξαρτώμενες από τις τοπικές συνθήκες. Το υπολίμνιο στρώμα έχει λίγο ή καθόλου, πρακτικώς οξυγόνο και αυξάνεται η περιεκτικότητά του σε CO₂.

Στο βασίλειο των λιμνών, κυρίαρχη θέση έχει, ασφαλώς, η λίμνη Βαϊκάλη, σαν η βαθύτερη λίμνη στον κόσμο και εκείνη που περιέχει το ένα

πέμπτο του νερού της επιφάνειας της γης. Περιέχει περισσότερα από 23.000 km³ γλυκού νερού, πράγμα που ισοδυναμεί με το 20% των αντίστοιχων παγκόσμιων αποθεμάτων και το 80% των αποθεμάτων της τέως ΕΣΣΔ.

Από τις Ελληνικές λίμνες, φυσικές ή τεχνητές, κάποιες εμφανίζουν ένα ιδιαίτερο οικολογικό ή δυσιογραφικό ενδιαφέρον. Οι φυσικές λίμνες της Αιτωλοακαρνανίας (Τριχωνίδα, Αμβρακία, Οζερός) και οι τεχνητές στην ίδια ευρύτερη περιοχή (Στράτου, Καστρακίου) δημιουργούν ένα σημαντικό και μοναδικό γεωμορφολογικό και οικολογικό σύστημα, απροστάτευτο, όπως σχεδόν όλα. Η Κερκίνη, λίμνη που δημιουργήθηκε από την κατασκευή τεχνητού φράγματος στο ποταμό Στρυμόνα είναι μια θεαματική τέτοια περίπτωση. Στη θέση της λίμνης που αντιπροσωπεύει έναν εξαιρετικής ομορφιάς και οικολογικής σημασίας υγρότοπο, υπήρχαν από την αρχαιότητα υγροτοπικές εκτάσεις, γεμάτες με έλη και βάλτους. Ωστόσο και αυτός ο υγρότοπος απειλείται από προβλήματα που σχετίζονται με την υδατική διαχείριση και τις χρήσεις γης. Τέτοιο πρόβλημα είναι οι μεταβολές της παροχής του Στρυμόνα επομένως της στάθμης της λίμνης, που έχουν σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό των αβαθών περιοχών (των πλέον παραγωγικών) της λίμνης.

Πίνακας 1.5 Οι λίμνες της Ελλάδας

α/α	Λίμνη	Επιφάνεια σε km ²	α/α	Λίμνη	Επιφάνεια σε km ²
1	Τριχωνίδα	96,5	12	Πετρών	14,2
2	Βόλβη	75,6	13	Αμβρακία	13,6
3	Βεγορίτιδα	72,5	14	Λυσιμαχεία	13,2
4	Λαγκαδά	47,9	15	Παραλίμνη	11,5
5	Βιστωνίδα	45,6	16	Χειμαδίτιδα	10,8
6	Μικρή Πρέσπα	43,1	17	Οζερός	10,0
7	Μεγάλη Πρέσπα	38,3	18	Βουλκαριά	9,1
8	Καστοριάς	28,5	19	Μητρικού	5,0
9	Υλίκη	22,7	20	Αλυκή Ροδόπης	3,5
10	Παμβώτιδα	19,1	21	Στυμφαλία	3,2
11	Δοϊράνη	15,0			

Κεφαλαίο 2^ο

Περιγραφή της περιοχής μελέτης της λεκάνης απορροής του φράγματος του Νεστορίου

2.1 Περιγραφή της λεκάνης απορροής

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα στη θέση του Νεστορίου όπου εντάσσεται στο νομό της Καστοριάς, είναι μια υπολεκάνη του Δυτικού κλάδου του ποταμού Αλιάκμονα και εντοπίζεται στο δυτικότερο ίσως άκρο της Μακεδονίας, στην ανατολική ομβροπλευρά του όρους Γράμμου.

Ο **Αλιάκμονας** είναι το μακρύτερο ποτάμι της Ελλάδας και βρίσκεται εξ'ολοκλήρου σε Ελληνικό έδαφος με συνολικό μήκος 322 χλμ. Ο Αλιάκμονας, πριν γίνει το φράγμα της εκτροπής του, κοντά στην Αγία Βαρβάρα (χωριό), στα μέσα της δεκαετίας του 1950, δεν είχε σταθερή (πεδινή) κοίτη. Ο ποταμός πηγάζει από τα βουνά Βέρνο (ή Γράμμος) και Βόιο στα σύνορα της χώρας με την Αλβανία και εκβάλλει στο Αιγαίο Πέλαγος μεταξύ της Θεσσαλονίκης και της Κατερίνης. Περνάει από τους νομούς Καστοριάς, Γρεβενών, Κοζανης, Ημαθίας και χύνεται στο Θερμαϊκό κόλπο.

Εκεί, όπου ο ποταμός ενώνεται με τη Θάλασσα, έχει σχηματίσει με τα χρόνια ένα εκτεταμένο Δέλτα που φτάνει τα 40.000 στρέμματα. Αιτία είναι το μεγάλο φράγμα που κατασκευάστηκε και κατακρατοί ένα μεγάλο μέρος των φερτών υλών. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μειωθούν σημαντικά οι αποθέσεις και κατά την περίοδο του καλοκαιριού, που τα νερά είναι λιγοστά, βλέπουμε τη θάλασσα να εισχωρεί και να κατακλύζει ένα μεγάλο μέρος της κοίτης του ποταμού.



Εικόνα 2.1 Ο Αλιάκμονας από δορυφόρο

2.1.2. Στοιχεία της λεκάνης απορροής του φράγματος του Νεστορίου

Το στόμιο αυτής της λεκάνης απορροής του Αλιάκμονα βρίσκεται σε υψόμετρο κοντά στα 780 m. Εκεί στο σημείο αυτό βρίσκεται ένας υδρομετρικός σταθμός της ΔΕΗ, όπου χάρη σ' αυτόν και στον εγκατεστημένο εξοπλισμό του (σταθμήμετρα, σταθμηγράφο) έχουμε μετρήσεις της παροχής και διάφορων άλλων παραμέτρων. Επιπλέον από το σημείο αυτό ξεκινάει και ο υδροκρίτης όπου δεξιόστροφα, κινούμενοι, οδεύει προς Νότο και φθάνει σε σημείο όπου το υψόμετρό του είναι (+ 1500). Από αυτό το σημείο και μετά στρέφεται προς τα Δυτικά και περνά από τα υψώματα Πύργος (+ 1758), Τούμπα (+ 1644) και την κορυφή Μπαρίκου (+ 1632). Συνεχίζοντας, ο υδροκρίτης φθάνει και μεγαλύτερα υψόμετρα της τάξης των (+ 2146, +2442), έως ότου συναντήσει την κορυφογραμμή του Γράμμου με υψόμετρο + 2520 όπου είναι και το μέγιστο. Στη συνέχεια ο υδροκρίτης με κίνηση προς Βορρά ακολουθεί τα σύνορα με υψόμετρα πάνω από + 2100, ως την κορυφή Μπουλογιάννα (+ 2251). Έπειτα η διεύθυνσή του γίνεται Βορειοανατολική μέχρι τα Καλύβια Κατσάρα (+ 1495) και σ' αυτό το σημείο στρέφεται ανατολικά κινείται πάνω στη συνοριακή γραμμή. Στο ύψωμα Χελώνα (+ 1423) ο υδροκρίτης στρέφεται προς Νοτιοανατολικά περνάει από τα υψόμετρα της Αλεβίτσας (+ 1585), Αμμούδας (+ 1546), Καλλιθέας (+ 1200) και Δίδυμο (+ 1120) κατευθύνεται προς το στόμιο της λεκάνης απορροής του Αλιάκμονα.



Εικόνα 2.2 Χάρτης απεικόνισης της συνολικής λεκάνης απορροής

Όπως προκύπτει από τον εδαφολογικό χάρτη της περιοχής κλίμακας 1:50000 που έχει εκδοθεί από την Δασική Υπηρεσία του υπουργείου Γεωργίας (Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων), το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης (72,2%) καλύπτεται από προϊόντα αποσάθρωσης τριτογενών αποθέσεων, με υφή πηλώδη έως αργιλοπηλώδη (N. Μαυρονικολάου-Δ. Κάρκας & συνεργάτες Ε.Ε. «ΥΔΡΕΤΜΕ», Ν. Σούλης, Κ. Ζαΐμης, Γ. Καφετζής, Γ. Τυπάδης, Σ. Διακοσταυριανός, Π. Θεοδωρόπουλος, 2004). Τα εδάφη αυτά είναι ως επί το πλείστον βαθιά, εξαπλώνονται δε στο σύνολο της λεκάνης, με εξαίρεση το νότιο τμήμα του δυτικότερου άκρου της. Εκεί, επικρατέστερη είναι η παρουσία εδαφών από αποσάθρωση μικτού φλύσχη (22,3%) με υφή πηλώδη έως αργιλώδη (ΓΓΔΦΠ & ΕΘΙΑΓΕ, 1995). Τα εδάφη αυτά είναι στην πλειοψηφία τους βαθιά. Με μικρότερο ποσοστό συνολικής κάλυψης (3,5%), στην ίδια νοτιοδυτική άκρη της λεκάνης, βρίσκονται εδάφη από αποσάθρωση σκληρών ασβεστόλιθων, κατά το μεγαλύτερο μέρος του αβαθή έως γυμνός βράχος. Η υφή των εδαφών αυτών είναι αργιλοπηλώδης έως αργιλώδης. Επίσης, εδάφη από αποσάθρωση περιδοτίτων με υφή πηλώδη καλύπτουν ένα μικρό τμήμα (1,7%) στο νοτιότερο άκρο της δυτικής λεκάνης, στην κοιλάδα του ρεύματος Στάνης Λάμπρου.

Η λεκάνη παρουσιάζει πλούσια δασική βλάστηση με εξαίρεση κυρίως τον ορεινό όγκο του Γράμμου στα δυτικά, όπου η βλάστηση είναι πολύ αραιή. Βασικά, διακρίνονται τρεις οικολογικές περιοχές σύμφωνα με την αναγνώριση της Δασικής Υπηρεσίας. Στο ανατολικότερο άκρο της λεκάνης, εκατέρωθεν της κύριας κοίτης, αναπτύσσεται η ζώνη της φυλλοβόλου δρυός καλύπτοντας το 15,3% της λεκάνης. Από αυτό το ποσοστό μόνο στο 5,1% η ανθρωπογενής επίδραση χαρακτηρίζεται ασθενής. Το 1,8% καλλιεργείται, το δε υπόλοιπο -και μεγαλύτερο μέρος- της ζώνης αυτής (8,4%) χαρακτηρίζεται από έντονη ανθρωπογενή επίδραση. Η δεύτερη οικολογική περιοχή είναι η ζώνη της ελάτης και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο και κεντρικότερο τμήμα της λεκάνης (76,8%). Σ 'αυτήν διακρίνονται διαπλάσεις Ελάτης (19,3%), Οξιές (34,4%) και Μαύρης Πεύκης (23,1%). Στην περιοχή αυτή το μεγαλύτερο (35,8% του συνόλου) έχει απλώς ασθενή ανθρωπογενή επίδραση. Έντονη ανθρωπογενής επίδραση χαρακτηρίζει το 21,6% τα δε 19,3% του συνόλου είναι χορτολίβαδα. Τέλος, η Τρίτη και μικρότερη (7,9%) οικολογική περιοχή είναι η ψευδαλπική ζώνη, αποτελούμενη από λιβάδια. Η ζώνη αυτή είναι

περιορισμένη κατά μήκος του υδροκρίτη στο νοτιοδυτικότερο άκρο της λεκάνης, που είναι και η ζώνη των μεγαλύτερων υψομέτρων. Στο σύνολο της ζώνης αυτής, η ανθρωπογενής επίδραση είναι ασθενής.

2.2. Οι υδρομετεωρολογικοί σταθμοί

Η χρήση των υδρομετεωρολογικών σταθμών είναι αρκετά σημαντική διότι αυτοί συγκροτούν το βροχομετρικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. Αυτοί οι σταθμοί αναφέρονται παρακάτω καθώς δίνονται και ορισμένα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικά υδρομετεωρολογικών σταθμών

Όνομα/θέση σταθμού	Υδρολογικό έτος (μετρήσεις)	Υψόμετρο (m)	Φορέας
ΠΛΗΚΑΤΙ	1971- 2003	1.250 m	ΔΕΗ
ΠΕΥΚΟΣ	1962- 1997	980 m	ΔΕΗ
ΝΕΣΤΟΡΙΟ	1962-2003	850 m	ΔΕΗ
ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑ	1962-2003	990 m	ΔΕΗ
ΜΕΣΟΠΟΤΑΜΙΑ	1962-2003	695 m	ΔΕΗ
ΑΡΓΟΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟ	1962- 1994	650 m	ΔΕΗ

Παρακάτω θα γίνει μια αναλυτική περιγραφή των παραπάνω υδρομετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθένα ξεχωριστά.

Ο **σταθμός στο Πληκάτι** εντάσσεται στη λεκάνη του Σαραντάπορου, αλλά απέχει πάρα πολύ λίγο από τον υδροκρίτη της λεκάνης απορροής του Αλιάκμονα, και είναι εγκαταστημένος στο Νοτιοδυτικό μέρος αυτής.

Ο **σταθμός του Πεύκου** υπήρξε σημαντικός διότι βρίσκεται στο κέντρο της λεκάνης απορροής. Τα πρώτα χρόνια υπήρξε πολύ αποδοτικός μετρώντας τα μηνιαία μεγέθη των κατακρημνησμάτων. Στη πορεία όμως ο σταθμός κρίθηκε ακατάλληλος λόγω κακής λειτουργίας.

Όσον αφορά το **σταθμό του Νεστορίου** εδώ έχουμε δύο σταθμούς τοποθετημένους από δύο διαφορετικά ιδρύματα, το ΙΔΕ (Ίδρυμα Δασικών

Ερευνών) και τη ΔΕΗ. Βέβαια αυτός που λειτουργεί και μέχρι σήμερα είναι ο βροχογράφος της ΔΕΗ. Αυτός ο σταθμός ίσως είναι και ο βασικότερος για τους υπολογισμούς μας. Ο δύο αυτοί σταθμοί, αλλά και σε συνδυασμό με τον σταθμό του Πεύκου (εως το 1978) και το Πληκάτι μετέπειτα είχαμε τη δυνατότητα υπολογισμού των επιφανειακών βροχοπτώσεων.

Ο **σταθμός στη Δαμασκησιά** εντάσσεται εκτός της λεκάνης απορροής του Νεστορίου. Βρίσκεται γύρω στα 11 km Νοτιοανατολικά. Ο σταθμός αυτός χρησιμοποιήθηκε με σκοπό την ανάλυση των καταιγίδων, αλλά πολλές φορές χρησίμευσε για να δώσει τη χρονική κατανομή όταν άλλοι βροχογράφοι μπορεί να λειτουργούσαν και ως βροχόμετρα.

Τέλος οι **σταθμοί στη Μεσοποταμία** και στο **Άργος Ορεστικό** βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τη λεκάνη απορροής, αλλά επειδή ανήκουν στη μείζονα λεκάνη του Αλιάκμονα είναι καλό να ληφθούν υπόψη στην υδρολογική διερεύνηση, (Ν. Μαυρονικολάου-Δ. Κάρκας & συνεργάτες Ε.Ε. «ΥΔΡΕΤΜΕ», Ν. Σούλης, Κ. Ζαϊμης, Γ. Καφειτζής, Γ. Τυπάδης, Σ. Διακοσταυριανός, Π. Θεοδωρόπουλος, 2004).



2.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τη φάση του ελέγχου, της διευθέτησης και της συμπλήρωσης των παρατηρήσεων ακολουθεί η φάση της ανάλυσης τους. Ανάλυση δεδομένων γίνεται με πολλούς τρόπους, ανάλογα με το είδος των διατιθέμενων παρατηρήσεων και το σκοπό για τον οποίο γίνεται. Στη συνέχεια δίνονται διάφοροι τρόποι ανάλυσης που είναι χρήσιμοι από υδρολογική σκοπιά.

2.3.1. Μέση βροχόπτωση περιοχής

Η μέτρηση βροχής που κάνει ένα βροχόμετρο αφορά το σημείο που είναι εγκατεστημένο. Τον υδρολόγο όμως, στις περισσότερες περιπτώσεις, ενδιαφέρει όχι τόσο το ύψος της βροχής σε κάποιο σταθμό αλλά το ύψος βροχής που έπεσε σε μια ολόκληρη περιοχή. Πρέπει λοιπόν οι παρατηρήσεις των σταθμών να τροποποιηθούν έτσι που να δίνουν το μέσο ύψος και αν είναι δυνατόν την κατανομή της βροχής πάνω στην περιοχή. Αυτό μπορεί να γίνει με μια από τις παρακάτω μεθόδους:

2.3.1.1. Μέθοδος του αριθμητικού μέσου όρου

Με τη μέθοδο αυτή αθροίζονται τα ύψη βροχής, που παρατηρήθηκαν σε όλους τους σταθμούς μιας περιοχής και το άθροισμα αυτό διαιρείται με τον αριθμό των σταθμών. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι ο τρόπος αυτός δίνει ένα κάποιο μέσο ύψος βροχής της περιοχής και καθόλου την κατανομή της. Αν n είναι ο αριθμός των σταθμών και p_1, \dots, p_n είναι τα ύψη βροχής, που μετρήθηκαν σε καθένα σταθμό, στη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, το μέσο ύψος βροχής (p_m) που αντιστοιχεί στην περιοχή για τη συγκεκριμένη περίοδο μπορεί να βρεθεί με τη σχέση:

$$p_m = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n} \quad (2.1)$$

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν η περιοχή είναι σχετικά ομοιόμορφη και υπάρχει πυκνό δίκτυο βροχομετρικών σταθμών. Δεν πρέπει να εφαρμόζεται όταν το ανάγλυφο της περιοχής είναι πολύ ανώμαλο και οι σταθμοί λιγοστοί και όχι συμμετρικά κατανεμημένοι.

2.3.1.2. Η μέθοδος των πολυγώνων του Thiessen

Η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί γενικά του αριθμητικού μέσου όρου στο ότι το ύψος βροχής που παρατηρείται σε κάθε σταθμό σταθμίζεται με μια αντιπροσωπευτική έκταση. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η παρακάτω: Οι βροχομετρικοί σταθμοί μιας περιοχής τοποθετούνται πάνω στο χάρτη και ενώνονται μεταξύ τους με ευθείες γραμμές. Στα μέσα των γραμμών αυτών χαράζονται άλλες κάθετες γραμμές που συναντιούνται μεταξύ τους και σχηματίζουν πολύγωνα γύρω από κάθε σταθμό. Το ύψος βροχής που μετρήθηκε σε κάθε σταθμό θεωρείται ότι είναι το ύψος που έπεσε στο πολύγωνο που τον περιβάλλει. Για να βρεθεί το μέσο ύψος βροχής μιας περιοχής, το ύψος βροχής κάθε σταθμού πολλαπλασιάζεται με το εμβαδόν του πολυγώνου που τον περιβάλλει, τα γινόμενα αυτά αθροίζονται και το άθροισμα διαιρείται με το συνολικό εμβαδόν της έκτασης.

Με τη μέθοδο αυτή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθούν και σταθμοί που βρίσκονται γύρω από την περιοχή κάνοντας έτσι πιο αντιπροσωπευτικό το τελικό αποτέλεσμα. Η μέθοδος

στηρίζεται στην παραδοχή ότι το ύψος βροχής μεταβάλλεται γραμμικά από σταθμό σε σταθμό και έτσι δεν επιτρέπει στον αναλυτή να χρησιμοποιήσει την επιδεξιότητα του για την εκτίμηση της επίδρασης του ανάγλυφου του εδάφους κ.λ.π.

2.3.1.3. Τροποποιημένη μέθοδος των πολυγώνων του Thiessen

Η επίδραση του ανάγλυφου του εδάφους στην εκτίμηση της μέσης βροχόπτωσης μιας περιοχής εισάγεται με τη χρησιμοποίηση της τροποποιημένης μεθόδου Thiessen [Wilson (1990)], η οποία παίρνει υπόψη το υψόμετρο της περιοχής και εφαρμόζεται εύκολα. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ενώνονται τα σημεία που βρίσκονται οι σταθμοί, όπως ακριβώς και στη μέθοδο Thiessen, αλλά αντί να χαραχθούν οι μεσοκάθετοι, στις πλευρές των σχηματιζόμενων τριγώνων, χαράσσεται ένα νέο τρίγωνο που έχει σαν κορυφές τα σημεία εκείνα των ευθειών, που ενώνουν δύο σταθμούς, που αντιπροσωπεύουν το μέσο υψόμετρο μεταξύ των δύο σταθμών. Οι διχοτόμοι των γωνιών του νέου τριγώνου συναντιούνται μεταξύ τους και σχηματίζουν πολύγωνα γύρω από κάθε σταθμό. Το ύψος βροχής που μετράται σε κάθε σταθμό θεωρείται ότι είναι το ύψος που έπεσε στο πολύγωνο που τον περιβάλλει.

2.3.1.4. Η μέθοδος των ισόβροχων καμπυλών

Η μέθοδος των ισόβροχων καμπυλών είναι η πιο πλήρης και αντικειμενική για την εκτίμηση της μέσης βροχόπτωσης μιας περιοχής γιατί παίρνει υπόψη την τοπογραφία της περιοχής, τα χαρακτηριστικά της βροχής και άλλα στοιχεία που βοηθούν στη σωστή εκτίμηση. Η εφαρμογή της μεθόδου γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο: Πρώτα παίρνεται ένας χάρτης της περιοχής στον οποίο φαίνεται η τοπογραφική της διαμόρφωση και τοποθετούνται οι θέσεις των βροχομετρικών σταθμών. Μετά, στη θέση κάθε σταθμού τοποθετούνται τα ύψη βροχής που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου της οποίας επιχειρείται η ανάλυση. Στη συνέχεια χαράσσονται οι ισόβροχες καμπύλες που είναι καμπύλες που ενώνουν σημεία ίσου ύψους βροχής. Κατά τη χάραξη τους, όπως και παραπάνω αναφέρθηκε εκτός από τα ύψη βροχής των σταθμών παίρνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά της βροχής, η τοπογραφική διαμόρφωση, η τυχόν

ύπαρξη σχέσεων ανάμεσα στο ύψος βροχής και τα υψόμετρα και κάθε άλλο στοιχείο που μπορεί να φανεί χρήσιμο στην διαμόρφωση σωστής γνώμης. Ακόμη, στη διαδικασία χρησιμοποιούνται και σταθμοί εκτός της περιοχής. Για τον υπολογισμό της μέσης βροχόπτωσης της περιοχής βρίσκονται τα εμβαδά των ζωνών που περικλείονται ανάμεσα σε διαδοχικές ισόβροχες, τα εμβαδά αυτά πολλαπλασιάζονται με το μέσο όρο του ύψους βροχής των ισόβροχων που τα περικλείουν, τα γινόμενα που προκύπτουν προσθέτονται και το άθροισμα αυτό διαιρείται με το εμβαδόν ολόκληρης της περιοχής.

Γενικά η μέθοδος αυτή εκτός από τη μέση βροχόπτωση δίνει και την κατανομή της στην περιοχή και επιτρέπει το χωρισμό της περιοχής σε τμήματα που συμβάλλουν ανάλογα στην απορροή.

2.3.1.5. Μέθοδος βροχοβαθμίδας

Η υψομετρική μέθοδος ή μέθοδος της βροχοβαθμίδας βασίζεται στην παρατήρηση ότι το ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί τη βροχοβαθμίδα που είναι όρος που περιγράφει την αύξηση του ετήσιου βροχομετρικού ύψους ανά 100 m αύξηση του υψομέτρου. Η μέθοδος χρησιμοποιεί μια απλή γραμμική σχέση που συσχετίζει τα υψόμετρα των σταθμών με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κάθε σταθμού και εφόσον υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση (συντελεστής συσχέτισης $r > 0,70$), η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους βροχής, σε οποιοδήποτε υψόμετρο.

Η μέθοδος της βροχοβαθμίδας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τη συμπλήρωση παρατηρήσεων όσο και για την εύρεση της μέσης βροχόπτωσης μιας λεκάνης, με αναγωγή στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Η διαδικασία της βροχοβαθμίδας πρέπει να χρησιμοποιείται με μεγάλη προσοχή και τα μεγέθη να αναφέρονται σε μεγάλο χρονικό βήμα (π.χ. έτος) και στη συνέχεια με μεθόδους επιμερισμού να γίνεται εκτίμηση μεγεθών μικρότερων χρονικών βημάτων (π.χ. μήνας).

2.3.1.6. Μέθοδος Kriging

Για την ορθότερη κατάστρωση μαθηματικών μοντέλων εκτίμησης του υδατικού ισοζυγίου είναι απαραίτητη η γνώση της κατανομής της βροχόπτωσης σε κάθε κόμβο του καννάβου διακριτοποίησης. Πρακτικά αυτό είναι αδύνατο να καλυφθεί από μετρήσεις λόγω της απαίτησης μεγάλου αριθμού σταθμών για την πληρέστερη περιγραφή της κατανομής της βροχόπτωσης. Καθότι όμως η μεταβολή της βροχόπτωσης στο χώρο δεν είναι τυχαία οι εκτιμήσεις των τιμών της στους κόμβους όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις γίνεται με μεθόδους παρεμβολής μεταξύ των οποίων είναι η απλή (simple) και η γενική (universal) μέθοδος Kriging και η Co-Kriging [Krajewski (1987), Creutin et. al. (1988), Παπαμιχαήλ και Μεταξά (1993), Paramichail and Metaxa (1996), Paramichail and Alexiou(1998)].

Οι σημειακές εκτιμήσεις που μπορεί να αναφέρονται σε ετήσια, σε εποχιακά, σε μηνιαία ή ημερήσια ή και σε ύψη βροχής διαφόρων χρονικών διαστημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την εκτίμηση της μέσης βροχόπτωσης με μια από τις παραπάνω μεθόδους. Οι παραπάνω μέθοδοι Kriging μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης και για τη βέλτιστη επιλογή των θέσεων των βρόχο μετρικών σταθμών [Παπαμιχαήλ και Μεταξά (1993), Paramichail and Metaxa (1996)].

- ❖ Παρακάτω δίνονται οι πίνακες των βροχομετρικών δεδομενων για τους σταθμούς που αναφέραμε:

Πίνακας 2.2

ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ

ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΕΥΚΟΥ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ = 980m

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1962-63	166,0	300,0	180,0	122,0	233,0	151,0	95,0	151,0	33,5	25,4	6,0	12,2	1475,1
1963-64	133,0	72,5	203,0	49,0	25,6	85,5	9,5	12,5	94,0	54,4	16,3	15,0	770,3
1964-65	66,5	240,0	207,0	75,3	135,0	97,1	151,0	39,6	24,1	0,0	1,8	0,0	1037,4
1965-66	0,0	127,0	90,0	197,0	15,3	185,0	70,4	83,4	134,0	7,8	10,6	41,0	961,5
1966-67	269,0	235,0	152,0	113,0	88,0	44,8	106,0	113,0	28,4	124,0	60,1	73,8	1407,1
1967-68	45,0	81,9	262,0	126,0	94,5	108,0	19,9	158,0	51,8	0,0	2,6	51,6	1001,3
1968-69	56,2	63,3	204,0	114,0	157,0	191,0	33,9	19,6	9,9	14,0	33,4	75,0	971,3
1969-70	0,0	77,5	281,0	149,0	174,0	130,0	43,0	85,8	30,0	89,5	10,9	34,8	1105,5
1970-71	179,0	58,5	166,0	284,0	87,8	180,0	48,0	43,2	20,9	84,3	36,2	99,3	1287,2
1971-72	54,9	101,0	100,0	132,0	187,0	91,0	156,0	86,0	30,1	117,0	51,6	45,1	1151,7
1972-73	175,0	27,2	19,5	51,1	166,0	165,0	20,4	37,0	26,4	52,6	31,1	73,6	844,9
1973-74	93,9	69,9	134,0	88,3	166,0	71,0	152,0	56,0	34,7	7,8	35,9	41,8	951,3
1974-75	191,0	154,0	11,1	18,0	50,2	77,8	119,0	103,0	70,4	43,9	43,6	18,4	900,4
1975-76	127,0	95,4	78,6	40,5	86,0	55,8	93,6	49,7	63,6	51,2	42,2	27,1	810,7
1976-77	84,2	172,0	74,8	73,3	85,1	24,4	50,2	17,9	31,8	3,6	59,6	85,3	762,2
1977-78	49,2	171,0	60,0	101,0	55,0	77,0	141,0	39,0	28,0	4,0	17,0	68,0	810,2
1978-79	157,0	68,0	40,5	45,5	81,0	35,4	167,0	106,0	45,5	50,6	15,2	5,1	816,8
1979-80	15,2	314,0	106,0	228,0	10,1	81,0	60,7	111,0	35,4	30,4	45,5	20,2	1057,5
1980-81	182,0	202,0	116,0	223,0	101,0	35,4	40,5	50,6	25,3	20,2	40,5	45,5	1082,0
1981-82	132,0	86,0	137,0	70,8	101,0	75,9	81,0	111,0	40,5	40,5	157,0	60,7	1093,4
1982-83	127,0	30,4	202,0	65,8	132,0	15,2	81,0	10,1	50,6	152,0	50,6	25,3	942,0
1983-84	45,5	162,0	152,0	111,0	177,0	137,0	152,0	25,3	15,2	10,1	70,8	15,2	1073,1
1984-85	5,1	70,8	50,6	81,0	157,0	96,0	172,0	96,1	20,2	20,2	0,0	0,0	769,0
1985-86	10,1	116,0	81,0	137,0	319,0	127,0	20,2	243,0	60,7	15,2	10,1	10,1	1149,4
1986-87	25,3	106,0	30,4	374,0	20,2	81,0	132,0	20,2	25,3	0,0	65,8	101,0	981,2
1987-88	40,5	111,0	65,8	50,6	75,9	81,0	30,4	25,3	25,3	55,7	20,2	29,9	611,6
1988-89	25,3	152,0	157,0	15,2	75,9	91,1	70,8	75,9	50,6	96,1	20,2	30,4	860,5
1989-90	116,0	106,0	101,0	35,4	5,1	5,1	75,9	106,0	25,3	10,1	86,0	121,0	792,9
1990-91	45,5	121,0	248,0	45,5	91,1	111,0	187,0	101,0	60,7	0,0	60,7	35,4	1106,9
1991-92	10,1	161,9	30,4	40,5	20,2	5,1	177,1	91,1	55,7	91,1	10,1	0,0	
1992-93	177,1	40,5	161,9	70,8	70,8	111,3	55,7	81,0	45,5	0,0	10,1	50,6	875,3
1993-94	45,5	192,3	187,2	86,0	131,6	70,8	60,7	70,8	30,4	10,1	15,2	20,2	920,8
1994-95	111,3	60,7	101,2	197,3	86,0	70,8	111,3	86,0	60,7	10,1	151,8	60,7	1107,9
1995-96	50,6	485,8	96,1	40,5	182,2	106,3	60,7	55,7	25,3	65,8	30,4	50,6	1250,0
1996-97	126,5	126,5	172,0	40,5	40,5	75,9	86,0	50,6	30,4	10,1	10,1	0,0	769,1
Μέση τιμή	89,6	136,0	127,0	105,0	105,0	89,9	89,5	74,6	41,1	39,1	38,0	41,3	977,2
ΜΑΧ	269,0	485,80	281,00	374,00	319,00	191,00	187,00	243,00	134,00	152,00	157,00	121,00	1407,10
ΜΙΝ	0,00	27,20	11,10	15,20	5,10	5,10	19,90	10,10	9,90	0,00	0,00	0,00	611,60
stand. Dev.	69,73	90,12	70,71	82,44	66,99	49,21	51,38	47,01	23,14	42,03	37,02	31,23	181,20
Variance	4862,14	8121,25	4999,41	6796,65	4487,46	2421,22	2639,96	2210,23	535,23	1766,27	1370,52	975,04	32834,56
Κύρτωση	-0,25	7,27	-0,29	2,47	1,99	-0,11	-1,06	4,01	7,74	0,30	4,02	-0,13	-0,11

Πίνακας 2.3
ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ

ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΛΗΚΑΤΙΟΥ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ =1.250 m

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1972- 73	62,20	165,40	116,80	221,00	162,00	89,90	204,20	119,30	34,00	107,40	83,90	118,40	1484,5
1973- 74	254,80	80,70	30,40	136,40	222,30	192,80	69,20	56,00	87,70	25,20	39,20	92,40	1317,1
1974-75	92,40	105,40	368,60	82,00	154,50	89,50	211,00	140,30	57,40	39,70	49,70	163,10	1553,6
1975- 76	282,20	213,40	28,40	21,70	67,20	97,30	71,90	84,70	80,80	37,10	51,20	1,50	1037,4
1976-77	155,80	123,70	85,10	60,60	19,30	73,30	138,90	66,50	124,60	52,50	62,60	56,40	1019,3
1977-78	95,90	231,20	260,10	118,90	103,50	44,70	41,90	60,50	32,40	2,40	61,60	79,80	1132,9
1978-79	39,90	263,00	91,00	230,40	182,40	145,60	206,50	115,40	52,90	2,00	0,00	185,30	1514,4
1979- 80	73,30	121,70	212,70	357,60	142,60	82,60	213,00	102,10	104,00	18,50	84,90	39,40	1552,4
1980- 81	123,50	268,90	146,20	237,40	52,70	164,50	68,90	210,80	64,00	37,50	44,00	42,00	1460,4
1981-82	238,50	203,20	329,90	169,00	164,40	136,00	89,00	154,00	61,00	2,00	103,10	66,00	1716,1
1982-83	195,00	89,00	396,30	73,40	69,00	63,60	154,30	71,20	52,10	23,00	23,20	46,00	1256,1
1983-84	168,00	205,00	272,40	41,20	215,00	96,30	66,00	79,00	197,80	107,50	26,00	91,60	1565,8
1984-85	61,90	181,00	126,30	259,90	226,20	200,10	133,00	50,90	14,50	1,00	43,00	48,50	1346,3
1985-86	20,20	122,40	34,90	262,90	79,50	197,10	114,30	71,20	15,50	5,00	4,00	15,10	942,1
1986- 87	55,00	328,00	49,00	219,50	268,90	133,20	69,00	223,00	109,00	30,00	62,00	14,00	1560,6
1987-88	74,00	40,00	107,10	303,70	125,00	199,70	60,80	116,40	30,00	93,00	39,00	12,00	1200,7
1988- 89	205,00	231,90	100,00	73,00	179,10	200,00	78,50	7,70	39,00	12,00	19,00	31,00	1176,2
1989-90	69,00	259,80	154,50	2,10	61,70	119,70	110,00	100,40	127,00	99,40	36,00	42,00	1181,6
1990-91	200,90	249,00	118,00	5,00	51,00	6,00	152,30	130,30	30,00	19,00	50,50	32,30	1044,3
1991-92	116,60	171,10	406,50	20,20	233,50	46,50	192,90	160,50	30,70	115,60	145,70	38,00	1677,8
1992-93	64,90	257,90	29,30	20,00	29,40	51,70	289,20	104,90	55,60	53,60	6,00	59,70	1022,2
1993-94	323,50	153,20	200,00	47,80	59,50	113,30	86,50	137,10	40,00	9,50	36,00	43,60	1250,0
1994-95	54,40	256,80	358,90	172,50	162,90	31,40	143,30	56,10	83,40	90,00	49,70	24,40	1483,8
1995-96	89,20	113,10	253,50	193,90	122,10	254,90	114,90	166,80	13,70	67,80	121,50	107,00	1618,4
1996-97	0,00	196,80	279,90	65,80	226,00	179,20	94,20	87,30	87,70	41,00	17,90	187,90	1463,7
1997- 98	98,50	254,30	263,80	51,00	42,00	117,20	132,90	32,10	28,90	29,20	46,70	0,20	1096,8
1998- 99	209,40	102,80	254,80	73,70	99,70	63,80	111,80	173,90	136,90	12,80	58,60	197,20	1495,4
1999-00	139,70	263,60	178,50	109,10	207,20	180,60	119,80	28,70	42,10	145,00	6,10	56,80	1477,2
2000-01	35,10	219,20	341,40	102,80	197,70	115,90	64,60	48,30	24,10	31,90	8,10	15,70	1204,8
2001-02	75,30	153,80	85,20	162,00	84,30	56,80	230,70	57,40	47,00	48,20	87,40	58,70	1146,8
2002-03	21,50	139,70	153,80	50,90	54,00	114,00	204,10	109,50	25,20	137,50	110,60	300,70	1421,5
Μέση τιμή	130,00	36,20	258,90	226,70	131,00	22,20	82,60	45,10	99,50	18,10	49,50	87,80	1187,6
MAX	120,0	181,0	190,0	131,0	131,0	115,0	129,0	99,0	63,4	47,3	50,8	73,6	1331,5
MI N	323,50	328,00	406,50	357,60	268,90	254,90	289,20	223,00	197,80	145,00	145,70	300,70	1716,10
stand. Dev	0,00	36,20	28,40	2,10	19,30	6,00	41,90	7,70	13,70	1,00	0,00	0,20	942,1
Variance	82,12	73,90	116,19	96,83	70,87	62,51	61,58	52,66	42,82	42,25	35,59	67,89	218,62
Κύρτωση	6742,8	5460,97	13500,08	9375,60	5022,18	3907,34	3792,4	2772,7	1833,9	1785,1	1266,6	4608,6	47793,5
	-0,09	-0,78	-1,07	-0,73	-1,21	-0,69	-0,15	-0,14	1,63	-0,26	0,51	2,98	-1,23

**Πίνακας 2.4 ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΝΕΣΤΟΡΙΟΥ
ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ & ΙΔΕ ΥΨΟΜΕΤΡΟ =850 & 792m**

Υδρο. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠ Ρ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1962-63	91,0	114,0	58,0	75,0	122,0	96,0	62,0	107,0	60,0	42,0	22,0	22,0	871,0
1963-64	131,0	53,0	134,0	23,0	24,0	48,0	17,0	88,0	63,0	42,0	12,0	31,0	666,0
1964-65	34,0	164,0	118,0	56,0	80,0	58,0	60,0	28,0	9,0	14,0	7,0	4,0	632,0
1965-66	2,0	70,0	96,0	83,0	39,0	62,0	38,0	23,0	25,0	9,0	15,0	82,0	544,0
1966-67	76,0	216,0	130,0	97,0	19,0	25,0	40,0	58,0	27,0	117,0	29,0	46,0	880,0
1967-68	44,0	57,0	135,0	26,0	26,0	44,0	24,0	87,0	46,0	0,0	30,0	38,0	557,0
1968-69	40,0	41,0	80,0	108,0	73,0	78,0	34,0	15,0	2,0	9,0	15,0	62,0	557,0
1969-70	3,0	49,0	246,0	77,0	80,0	82,0	63,0	47,0	37,0	44,0	5,0	16,0	749,0
1970-71	11,0	31,0	81,0	71,0	64,0	115,0	37,0	31,0	57,0	67,0	36,0	110,0	711,0
1971-72	38,0	76,0	78,0	125,0	72,0	54,0	118,0	45,0	8,0	121,0	90,0	27,0	852,0
1972-73	172,0	0,0	5,0	34,0	97,0	108,0	14,0	30,0	36,0	95,0	19,0	61,0	671,0
1973-74	73,0	50,0	74,0	58,0	130,0	41,0	101,0	32,0	40,0	28,0	17,0	41,0	685,0
1974-75	115,0	114,0	47,0	14,0	79,0	80,0	51,0	83,0	103,0	34,0	19,0	12,0	751,0
1975-76	92,0	59,0	71,0	28,4	67,0	35,5	68,0	68,5	83,5	22,6	43,2	13,5	652,2
1976-77	43,8	98,3	122,0	43,7	62,1	12,3	28,8	32,6	38,9	0,0	63,2	57,0	602,7
1977-78	21,2	105,0	61,8	104,0	47,2	75,9	117,0	41,5	17,8	2,5	7,0	88,4	689,3
1978-79	78,6	41,7	110,0	168,0	69,6	34,5	125,0	86,4	35,6	3,3	41,8	7,3	801,8
1979-80	107,0	269,0	126,0	92,4	43,6	81,1	44,2	116,0	39,9	2,7	30,7	33,0	985,6
1980-81	181,0	111,0	156,0	107,0	66,0	41,1	69,5	58,9	6,9	23,3	103,0	76,5	1000,2
1981-82	130,0	98,6	152,0	25,8	50,2	107,0	151,0	77,4	10,6	14,5	104,0	71,8	992,9
1982-83	96,3	138,0	117,0	35,5	63,0	50,5	27,3	112,0	104,0	54,1	39,5	79,0	916,2
1983-84	37,2	109,0	231,0	97,6	132,0	70,2	95,5	15,6	17,5	1,1	34,5	25,8	867,0
1984-85	20,0	62,0	47,0	124,0	40,5	75,5	116,0	73,5	6,0	5,0	0,0	10,0	579,5
1985-86	47,0	198,0	40,0	94,0	171,0	54,5	36,5	171,0	101,0	30,0	9,0	13,0	965,0
1986-87	66,0	84,0	60,7	131,0	97,0	149,0	47,5	44,0	16,5	34,0	30,5	22,0	782,2
1987-88	126,0	112,0	49,0	42,5	48,0	60,0	48,0	14,1	26,0	4,0	9,6	36,4	575,6
1988-89	46,0	152,0	108,0	1,8	59,0	46,0	15,5	87,0	15,5	117,0	27,5	18,5	693,8
1989-90	97,0	100,5	116,0	0,3	25,5	6,0	55,0	95,0	10,0	17,5	40,0	22,0	584,8
1990-91	36,5	144,0	184,5	38,0	136,5	34,0	176,0	85,0	13,0	38,5	53,0	24,0	963,0
1991-92	34,0	118,0	30,0	19,5	5,5	15,0	128,5	74,0	87,0	83,5	1,5	21,0	617,5
1992-93	131,0	49,5	105,0	89,0	70,0	95,0	44,0	41,0	40,0	0,0	46,0	21,0	731,5
1993-94	61,0	188,0	88,0	126,0	159,0	33,0	77,0	26,0	8,0	89,0	15,0	8,0	878,0
1994-95	84,0	63,0	103,0	167,0	58,5	107,5	39,0	89,0	13,0	81,0	122,0	45,5	972,5
1995-96	0,0	82,5	164,0	65,0	105,0	89,0	28,0	68,0	13,0	57,0	33,0	100,0	804,5
1996-97	77,3	85,5	149,1	48,3	27,6	57,4	83,2	7,3	18,2	20,6	24,8	5,9	605,2
1997-98	200,8	86,8	118,1	38,2	72,3	43,5	27,3	131,6	24,5	10,6	27,0	116,9	897,6
1998-99	75,7	224,3	98,4	87,1	117,2	120,2	44,9	8,9	14,3	76,8	23,3	43,3	934,4
1999-00	37,0	215,9	120,0	52,7	126,1	68,6	21,6	78,5	18,1	11,2	5,4	16,2	771,3
2000-01	58,4	46,5	31,3	102,7	43,5	10,0	76,0	21,4	16,8	45,3	27,4	30,4	509,7
2001-02	14,8	59,2	153,6	31,5	31,5	137,8	118,3	65,2	36,0	87,2	46,1	197,2	978,4
2002-03	70,1	26,7	291,2	158,1	110,0	21,1	60,4	44,7	34,2	3,6	55,7	53,6	929,4
Μέση τιμή	70,7	102,0	109,0	72,3	73,4	64,0	64,1	61,2	33,6	38,0	33,7	44,1	766,0
MAX	200,80	269,00	291,20	168,00	171,00	149,00	176,00	171,00	104,00	121,00	122,00	197,20	1000,20
MIN	0,00	0,00	5,00	0,30	5,50	6,00	14,00	7,30	6,00	0,00	0,00	5,90	509,70
stand. Dev	49,12	60,97	60,37	48,38	40,71	37,20	42,64	37,99	29,70	36,93	30,43	40,36	152,13
Variance	2412,66	3717,94	3644,39	2340,38	1657,29	1384,09	1817,93	1443,50	882,35	1363,90	926,14	1629,15	23143,16
Κύρτωση	0,35	0,72	1,73	-0,87	-0,31	-0,30	-0,35	0,65	1,19	-0,44	1,42	5,73	-1,36

Πίνακας 2.5 ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΤ. ΔΑΜΑΣΚΗΝΙΑΣ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ=990 m

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1962-63	136,0	199,0	294,0	165,0	196,0	76,4	78,6	117,0	37,1	25,1	26,4	14,1	1364,7
1963-64	192,0	18,7	124,0	40,0	61,8	131,0	16,6	89,5	86,2	75,7	5,3	30,6	871,4
1964-65	66,6	261,0	140,0	72,5	196,0	61,0	119,0	31,9	25,3	25,3	8,7	5,2	1012,1
1965-66	6,2	92,2	85,9	195,0	26,9	135,0	44,8	47,2	63,2	12,0	12,9	72,7	794,0
1966-67	70,8	210,0	164,0	112,0	31,7	35,5	82,2	116,0	30,6	126,0	7,7	53,9	1040,4
1967-68	53,6	30,8	205,0	124,0	106,0	70,0	61,5	105,0	79,3	1,6	32,0	58,1	926,9
1968-69	46,7	66,2	271,0	119,0	116,0	199,0	40,7	13,9	29,7	7,2	24,1	104,0	1037,5
1969-70	3,4	41,7	276,0	106,0	123,0	134,0	37,2	71,5	33,8	39,5	3,5	36,8	906,4
1970-71	150,0	20,1	91,5	150,0	99,9	158,0	60,8	28,0	20,2	69,8	23,5	111,0	982,8
1971-72	41,9	70,8	105,0	203,0	132,0	107,0	145,0	45,7	18,3	119,0	66,7	41,4	1095,8
1972-73	204,0	19,3	34,7	112,0	120,0	163,0	17,1	40,6	38,2	79,2	54,9	137,0	1020,0
1973-74	75,9	66,8	236,0	94,6	132,0	70,4	137,0	41,6	25,6	27,5	10,9	55,4	973,7
1974-75	120,0	139,0	39,1	70,5	85,9	73,6	42,7	67,8	85,3	24,3	ΑΛΛ	25,5	817,8
1975-76	98,5	82,2	73,1	29,0	106,0	61,4	71,4	122,0	45,6	29,5	31,6	15,3	765,6
1976-77	55,7	135,0	134,0	78,5	24,9	23,1	39,4	28,4	27,8	1,9	67,3	65,6	681,6
1977-78	29,1	144,0	89,0	164,0	69,8	75,9	127,0	31,1	32,0	0,3	0,0	79,0	841,2
1978-79	128,0	45,0	101,0	143,0	87,6	46,7	129,0	81,7	32,1	16,0	31,3	25,8	867,2
1979-80	111,0	261,0	103,0	125,0	34,0	132,0	35,9	139,0	49,0	16,7	14,2	17,8	1038,6
1980-81	193,0	86,8	201,0	193,0	127,0	36,1	69,4	38,0	22,0	27,5	64,2	50,5	1108,5
1981-82	162,0	158,0	177,0	36,4	110,0	123,0	152,0	72,2	5,4	22,2	56,4	72,1	1146,7
1982-83	175,0	150,0	130,0	40,8	81,2	52,1	28,3	48,1	104,0	88,0	28,0	47,0	972,5
1983-84	43,9	97,2	332,0	113,0	228,0	127,0	108,0	26,8	19,6	0,0	25,6	19,5	1140,6
1984-85	38,4	50,2	56,0	162,0	45,9	117,0	101,0	49,3	20,0	9,3	1,0	14,1	664,2
1985-86	52,2	221,0	41,9	70,7	317,0	103,0	30,0	162,0	67,9	38,8	41,7	19,2	1165,4
1986-87	70,2	88,5	78,4	263,0	102,0	248,0	42,0	57,2	38,9	57,2	30,2	0,2	1075,8
1987-88	130,0	104,0	50,0	45,1	65,6	40,6	54,6	22,2	24,3	0,0	13,1	20,8	570,3
1988-89	46,2	180,0	119,0	7,4	55,7	38,8	16,7	69,4	50,7	75,3	12,6	8,5	680,3
1989-90	77,5	81,3	67,9	3,5	10,8	16,5	54,9	95,1	14,1	7,2	35,4	15,6	479,8
1990-91	36,5	85,2	319,0	33,6	145,0	63,3	162,0	88,4	13,0	61,2	60,1	29,2	1096,5
1991-92	43,3	96,6	36,2	33,7	7,7	19,0	143,0	76,6	55,4	27,5	4,8	17,2	561,0
1992-93	85,6	60,4	101,0	77,5	53,6	85,7	58,5	76,2	23,1	0,0	23,0	18,3	662,9
1993-94	75,0	216,0	91,5	103,0	261,0	24,8	84,2	50,0	10,9	38,0	31,0	26,0	1011,4
1994-95	76,9	70,8	107,0	74,5	46,3	73,5	53,3	90,1	4,8	62,2	58,4	52,0	769,2
1995-96	0,5	68,7	209,0	101,0	120,0	145,0	46,2	55,3	2,4	56,2	26,5	60,7	891,5
1996-97	78,4	72,1	105,4	79,1	34,9	82,6	74,5	14,7	19,3	9,5	22,4	11,3	604,2
1997-98	141,1	102,1	104,5	40,9	75,7	37,9	24,5	137,5	12,0	8,5	22,4	83,8	790,9
1998-99	64,4	245,5	262,8	81,1	60,8	180,4	163,1	41,6	9,1	83,4	30,2	37,3	1259,7
1999-00	37,6	212,4	235,9	172,4	48,1	38,6	65,5	60,6	22,6	26,4	45,0	31,9	997,0
2000-01	95,9	83,9	34,6	93,7	48,6	22,0	78,0	37,5	9,6	29,2	26,9	12,9	572,8
2001-02	33,7	52,9	211,0	16,6	26,6	124,5	121,9	90,8	53,4	22,5	46,7	255,2	1055,8
2002-03	194,7	14,2	521,4	133,5	134,6	31,5	56,5	115,4	69,7	67,0	60,6	66,7	1465,8
Μέση τιμή	86,4	110,0	150,0	99,5	96,5	87,4	75,0	68,1	34,9	36,9	30,0	46,8	921,5
MAX	204,00	261,00	521,40	263,00	317,00	248,00	163,10	162,00	104,00	119,00	67,30	255,20	1465,80
MIN	0,50	14,20	34,60	3,50	7,70	16,50	16,70	14,70	2,40	0,00	0,00	0,20	479,80
stand. Dev	53,94	64,74	107,59	61,85	69,87	54,46	45,81	36,73	24,47	30,79	19,70	47,96	237,00
Variance	2909,92	4190,97	11575,66	3824,87	4882,24	2965,50	2098,78	1348,95	598,67	948,22	388,09	2300,41	56166,75
Κύρτωση	-0,30	-0,06	3,86	0,41	2,94	1,38	-1,08	0,25	1,31	0,19	-0,93	11,86	-0,52

Πίνακας 2.6
ΦΟΡΕΑΣ: ΔΕΗ

ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΡΓΟΥΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟΥ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ =650 m

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1969-70	0,0	27,5	233,5	66,7	84,2	77,2	37,4	55,6	17,0	46,9	4,9	12,9	663,8
1970-71	77,8	10,7	60,0	94,4	48,4	108,9	30,6	33,4	31,2	48,0	13,6	135,5	692,5
1971-72	24,9	40,7	62,0	114,3	80,3	76,4	111,7	33,7	2,0	74,6	27,9	50,4	698,9
1972-73	195,3	9,0	3,7	62,5	106,1	123,1	7,5	26,4	43,2	29,3	27,5	75,9	709,5
1973-74	81,8	53,9	135,2	76,4	134,7	66,7	102,8	36,8	17,2	9,9	14,0	55,8	785,2
1974-75	57,3	105,1	9,8	0,0	40,5	65,3	34,2	50,7	61,7	39,3	4,6	20,1	488,6
1975-76	71,5	46,7	43,8	18,6	39,6	34,9	49,2	79,7	47,6	12,0	46,6	16,0	506,2
1976-77	64,0	79,0	51,2	56,4	33,3	17,0	35,1	26,3	24,3	0,2	48,9	76,4	512,1
1977-78	28,8	107,4	51,1	107,9	43,4	40,7	99,4	24,0	5,8	1,8	0,0	61,3	573,6
1978-79	82,3	29,7	76,2	115,5	56,7	30,5	88,8	68,3	11,4	2,9	27,1	26,3	615,7
1979-80	85,1	167,7	55,5	100,1	8,4	57,7	22,0	110,4	29,7	2,7	9,0	27,5	675,8
1980-81	140,2	66,8	119,1	63,1	61,7	39,0	54,3	55,5	22,7	7,3	45,0	16,5	691,2
1981-82	120,3	67,0	102,0	15,2	52,1	48,2	120,6	45,2	5,2	12,7	116,6	74,5	779,6
1982-83	125,0	116,0	86,6	7,0	29,3	49,4	15,7	67,4	98,1	75,6	42,5	60,2	772,8
1983-84	33,4	89,6	110,8	66,1	127,9	89,0	65,2	15,1	11,9	1,1	23,6	18,9	652,6
1984-85	28,5	59,7	36,6	84,7	19,4	64,4	66,4	87,4	2,3	7,3	0,0	8,2	464,9
1985-86	24,4	184,2	24,0	60,5	157,9	58,2	12,5	93,3	131,9	33,6	37,7	8,6	826,8
1986-87	38,6	61,5	46,3	93,6	62,1	120,5	64,2	60,6	17,3	13,5	13,0	0,2	591,4
1987-88	1246,0	92,3	38,9	37,3	28,2	35,3	42,6	28,3	29,0	1,3	5,1	24,7	487,6
Μέση τιμή	73,9	74,6	70,9	65,3	63,9	63,3	55,8	52,5	32,1	22,1	26,7	40,5	641,5
MAX	195,3	184,2	233,5	115,5	157,9	123,1	120,6	110,4	131,9	75,6	116,6	135,5	826,8
MIN	0,0	9,0	3,7	0,0	8,4	17,0	7,5	15,1	2,0	0,2	0,0	0,2	464,9
stand. Dev	49,7	47,5	53,2	36,0	41,4	30,1	34,8	26,6	33,7	24,4	27,3	34,9	112,3
Variance	2467,5	2254,6	2829,7	1297,2	1715,2	908,8	1213,4	706,5	1135,3	597,0	743,2	1219,9	12620,6
Κύρτωση	0,37	0,57	3,88	-0,82	0,16	-0,19	-0,89	-0,41	3,79	0,33	5,95	1,46	-1,12

Πίνακας 2.7
ΦΟΡΕΑΣ: ΥΠΔΕ

ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΥ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ =1050 m

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1972-73	229,2	14,6	9,8	111,8	125,7	181,8	24,0	43,3	73,5	82,8	42,9	39,0	978,4
1973-74	115,2	32,4	247,0	74,3	168,1	80,5	118,8	44,9	17,7	2,0	5,1	31,4	937,4
1974-75	135,2	136,2	42,3	38,2	92,9	84,3	44,4	104,6	47,0	64,6	61,3	17,5	868,5
1975-76	89,3	94,1	93,6	102,6	150,4	85,6	96,0	74,7	78,7	34,5	32,1	24,8	956,4
1976-77	69,6	124,7	212,2	183,8	42,0	24,4	39,9	21,7	18,8	10,7	27,9	68,4	844,1
1977-78	50,0	49,5	120,6	220,8	161,2	109,0	128,5	37,1	20,1	0,0	1,0	114,7	1012,5
1978-79	143,9	45,7	194,7	249,3	106,6	71,7	135,5	125,1	66,2	20,3	26,4	68,2	1254,3
1979-80	103,0	271,9	112,5	236,0	68,4	162,4	46,2	128,0	37,9	0,5	16,7	15,2	1198,7
1980-81	184,1	120,3	227,8	209,1	185,5	61,0	59,0	60,2	12,5	1,0	65,5	37,5	1223,5
1981-82	179,7	182,7	249,0	42,0	138,0	131,0	134,5	91,3	44,0	12,0	43,1	53,0	1300,3
1982-83	113,2	138,6	147,3	51,8	101,2	42,3	31,6	63,3	117,6	77,2	14,7	57,5	956,3
1983-84	43,6	105,9	235,8	143,9	211,2	159,6	134,1	6,0	81,5	0,5	48,9	15,1	1186,1
1984-85	104	78,0	136,8	246,2	52,8	153,0	139,2	61,2	36,1	19,0	0,0	15,0	947,7
1985-86	56,4	295,0	44,8	130,5	337,2	166,9	22,6	204,9	254,0	21,7	7,0	8,4	1549,4
1986-87	177,4	93,6	45,0	282,7	129,0	285,8	48,6	51,5	37,5	16,3	19,6	0,0	1187,0
1987-88	171,9	122,2	44,2	59,8	114,5	90,9	63,1	19,9	44,2	4,0	1,7	23,6	760,0
1988-89	49,4	241,6	176,8	8,5	67,3	78,9	28,3	92,6	39,4	93,2	15,8	16,8	908,6
1989-90	79,8	13,5	132,5	1,0	29,0	23,6	77,6	112,1	7,6	3,8	47,7	30,5	558,7
1990-91	78,6	119,8	280,0	55,8	122,1	66,3	168,7	89,9	57,5	25,8	26,5	35,4	1126,4
Μέση τιμή	109,5	120,0	144,9	128,8	126,5	108,4	81,1	75,4	57,5	25,8	26,5	35,4	1039,7
MAX	229,2	295,0	280,0	282,7	337,2	285,8	168,7	204,9	254,0	93,2	65,5	114,7	1549,4
MIN	10,4	13,5	9,8	1,0	29,0	23,6	22,6	6,0	7,6	0,0	0,0	0,0	558,7
stand. Dev	59,3	80,6	83,7	90,7	70,7	64,7	48,1	47,4	55,1	30,5	20,4	27,3	225,5
Variance	3512,8	6499,9	7005,1	8231,1	4999,0	4186,5	2312,4	2242,4	3034,2	928,0	414,7	747,0	50841,4
Κύρτωση	-0,73	0,24	-1,27	-1,38	3,37	1,67	-1,45	1,73	9,27	0,30	-0,84	2,7	0,62

2.4. Υπολογισμός υδατικού δυναμικού της λεκάνης

Για τον υπολογισμό του υδατικού δυναμικού της λεκάνης απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί ο υπολογισμός των βροχοπτώσεων που πέφτουν στην περιοχή. Από την άλλη είναι γνωστό ότι μετά την πτώση της βροχής στο έδαφος και πριν τη δημιουργία της απορροής αρχίζουν διάφορες διαδικασίες που συντελούν στη δημιουργία απωλειών αυτής και των οποίων ο υπολογισμός κρίνεται επίσης σημαντικός. Οι κυριότερες από τις διαδικασίες που θα εξεταστούν παρακάτω είναι η εξατμισοδιαπνοή, η συγκράτηση από τα διάφορα φυτικά είδη, καθώς και η διήθηση σε υπόγεια υδροφόρα στρώματα.

Ο υπολογισμός τόσο της βροχόπτωσης, όσο και της εξατμισοδιαπνοής έγινε σε χρονοσειρά μηνιαίων τιμών από το 1962 έως και το 2003.

2.4.1. Υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης

Ο υπολογισμός της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης έγινε με τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας.

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στην παρατήρηση ότι το ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου. Η βροχοβαθμίδα είναι όρος που περιγράφει την αύξηση του ετήσιου βροχομετρικού ύψους ανά 100 m αύξηση του υψομέτρου. Η μέθοδος χρησιμοποιεί μια γραμμική σχέση που συσχετίζει τα υψόμετρα των σταθμών με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κάθε σταθμού και εφόσον υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ αυτών ($r > 0,7$), η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους βροχής σε οποιοδήποτε υψόμετρο.

Για την εκτίμηση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης απορροής του Νεστορίου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα ορισμένων σταθμών που έχουν ήδη αναφερθεί και των οποίων οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις για την περίοδο 1962 - 2003 και τα υψόμετρα αυτών φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 2.8: Μέση ετήσια βροχόπτωση των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν.

Σταθμός	Υψόμετρο	Μ. Βροχόπτωση (mm)
Αργος Ορεστικού	650	641,5
Νεστόριο	850	766,0
Πεύκο	980	977,2
Δαμασκηιά	990	921,5
Πεντάλοφο	1050	1039,7
Πληκάτι	1.250	1331,5

Με τη χρησιμοποίηση των δεδομένων του πίνακα 2.2 προκύπτει η γραμμική σχέση μεταβολής ανάμεσα στη μέση ετήσια βροχόπτωση και το υψόμετρο του κάθε σταθμού, καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης των δύο αυτών μεγεθών, όπου έχει ως εξής:

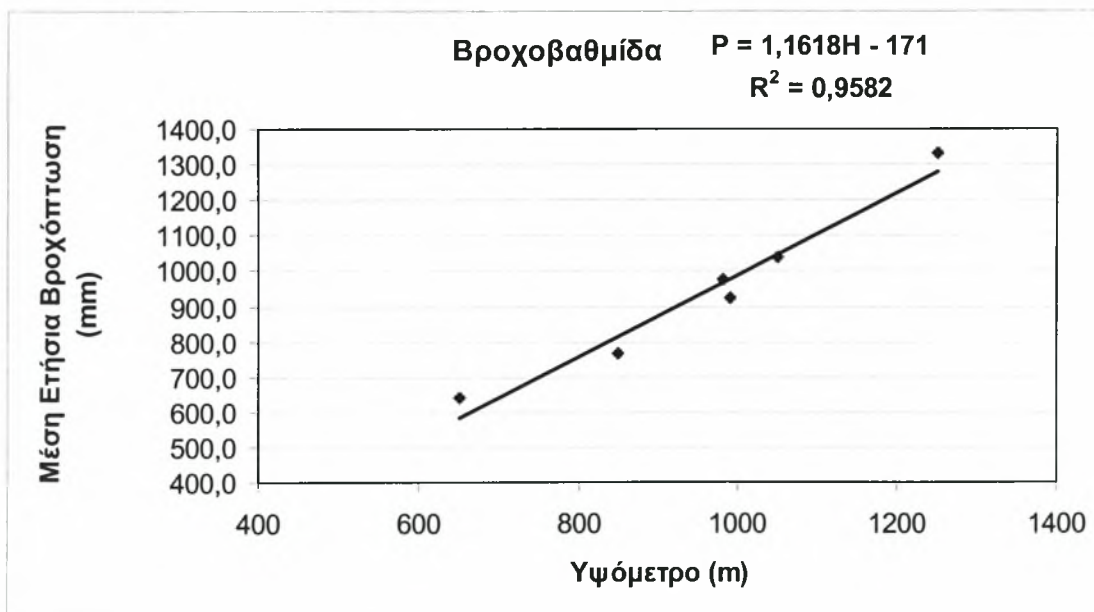
$$P = 1,1618 H - 171 \quad (2.2)$$

με συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0,9582$ όπου

P μέσο ετήσιο ύψος βροχής σε mm

H υψόμετρο του σταθμού σε m

Η γραμμική σχέση μεταξύ των δύο αυτών μεγεθών φαίνεται και στο γράφημα που ακολουθεί:



Σχ 2.1: Γραμμική σχέση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης και του υψόμετρου των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι για κάθε αύξηση του υψόμετρου κατά 100 m, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής αυξάνει κατά 116,18 mm.

Εφόσον η συσχέτιση μεταξύ του μέσου ετήσιου ύψους βροχής και του υψόμετρου είναι ικανοποιητική, η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής του Νεστορίου. Ο υπολογισμός των μηνιαίων υψών βροχόπτωσης που αντιστοιχούν στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής για την περίοδο από το 1962 έως και το 2003 γίνεται με τις παρακάτω σχέσεις:

$$P_k = \frac{P_{T(k)} - (-548 * 116,18)}{100} \quad (2.3)$$

$$P_i^k = \frac{P_k * P_{T^k(i)}}{P_{T(k)}} \quad (2.4)$$

οπού:

$P_{T(k)}$ ετήσιο ύψος βροχής στο σταθμό του Νεστορίου, κατά το έτος k, σε mm,

P_k ετήσιο ύψος βροχής στη λεκάνη απορροής της λίμνης Καστοριάς, κατά το έτος k σε mm,

P_i^k μηνιαίο ύψος βροχής, κατά το μήνα I και κατά το έτος k, στη λεκάνη απορροής του Νεστορίου, σε mm,

$P_{T^k(i)}$ μηνιαίο ύψος βροχής, κατά το μήνα I και κατά το έτος k στο σταθμό του Νεστορίου, σε mm,

116,18 βροχοβαθμίδα που υπολογίστηκε με τη Σχέση 2.2 και

548 διαφορά ανάμεσα στο υψόμετρο του σταθμού του Νεστορίου και του μέσου υψόμετρου της λεκάνης απορροής του Νεστορίου (850-1398 m).

Με εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις που αντιστοιχούν στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής του Νεστορίου. Στο παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις της λεκάνης απορροής του Νεστορίου για την περίοδο από το 1962 έως και το 2003.

Πίνακας 2.9: Υπολογισμός της βροχόπτωσης με το μέσο σταθμισμένο ύψος

της λεκάνης απορροής (σε mm).

Ώρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ(ΣΤΑΘΜΙ- ΣΜΕΝΟ ΥΨΟΣ)	ΕΤΟΣ (ΝΕΣΤΟΡΙΟ)
1962-63	157,5174	197,3295	100,3957	129,822	211,1772	166,1722	107,3195	185,2127	103,8576	72,70033	38,08113	38,08113	1507,6664	871,0
1963-64	256,2302	103,6656	282,098	44,98698	46,94293	93,88587	33,25124	172,1241	123,2252	82,15013	23,47147	60,63462	1302,6664	666,0
1964-65	68,25104	329,2109	236,8713	112,4135	160,5907	116,4282	120,443	56,20674	18,06645	28,10337	14,05168	8,029534	1268,6664	632,0
1965-66	4,340685	151,924	208,3529	180,1384	84,64336	134,5612	82,47302	49,91788	54,25857	19,53308	32,55514	177,9681	1180,6664	544,0
1966-67	130,9848	372,2727	224,053	167,178	32,74621	43,08711	68,93938	99,9621	46,53408	201,6477	49,98105	79,28029	1516,6664	880,0
1967-68	94,29322	122,1526	289,3087	55,71872	55,71872	94,29322	51,43266	186,4434	98,57927	0	64,29083	81,43505	1193,6664	557,0
1968-69	85,72111	87,86413	171,4422	231,447	156,441	167,1562	72,86294	32,14541	4,286055	19,28725	32,14541	132,8677	1193,6664	557,0
1969-70	5,550066	90,65107	455,1054	142,4517	148,0018	151,7018	116,5514	86,95103	68,45081	81,40096	9,250109	29,60035	1385,6664	749,0
1970-71	20,84997	58,75901	153,5316	134,5771	121,3089	127,977	70,13173	58,75901	108,0408	126,9953	68,23627	208,4997	1347,6664	711,0
1971-72	66,39592	132,7918	136,2864	218,4076	125,8028	94,3521	206,1768	78,62675	13,97809	211,4186	157,2535	47,17605	1488,6664	852,0
1972-73	335,1991	0	9,744161	66,26029	189,0367	210,4739	27,28365	58,46497	70,15796	185,1391	37,02781	118,8788	1307,6664	671,0
1973-74	140,8491	96,472	142,7786	111,9075	250,8272	79,10704	194,8734	61,74208	77,1776	54,02432	32,80048	79,10704	1321,6664	685,0
1974-75	212,4922	210,6444	86,84463	25,86861	145,9729	147,8207	94,23567	153,3639	190,3191	62,82378	35,10741	22,1731	1387,6664	751,0
1975-76	181,8088	116,5948	140,309	56,12359	132,4042	70,15449	134,3804	135,3685	165,0113	44,66173	85,3711	26,67847	1288,6664	652,2
1976-77	90,06844	202,1399	250,8756	89,8628	127,6998	25,29319	59,22308	67,03724	79,99229	0	129,9618	117,2124	1239,6664	602,7
1977-78	40,78121	201,9824	118,8811	200,0588	90,7959	146,0044	225,0661	79,83114	34,24083	4,809105	13,46549	170,0499	1325,9664	689,3
1978-79	141,012	74,81173	197,3451	301,3998	124,8656	61,8946	224,2558	155,0056	63,86805	5,920353	74,99114	13,09654	1438,4664	801,8
1979-80	176,1186	442,7655	207,392	152,0875	71,76422	133,488	72,7518	190,9323	65,67414	4,444115	50,53123	54,31696	1622,2664	985,6
1980-81	296,2136	181,6558	255,3001	175,1097	108,0116	67,26176	113,7395	96,39215	11,29212	38,13136	168,5635	125,1952	1636,8664	1000,2
1981-82	213,3585	161,8242	249,4653	42,34345	82,3892	175,6104	247,8241	127,0304	17,39692	23,79768	170,6868	117,8395	1629,5664	992,9
1982-83	163,2188	233,8961	198,3032	60,16891	106,7786	85,5924	46,27074	189,8287	176,2695	91,69403	66,94851	133,897	1552,8664	916,2
1983-84	64,51717	189,0423	400,6308	169,2709	228,9319	121,7502	165,6288	27,05559	30,35082	1,907766	59,83448	44,74578	1503,6664	867,0
1984-85	41,97296	130,1162	98,63645	260,2323	84,99524	158,4479	243,4431	154,2506	12,59189	10,49324	0	20,98648	1216,1664	579,5
1985-86	78,00862	328,6321	66,39032	156,0172	83,8186	90,45681	60,58116	283,8186	167,6356	49,79274	14,93782	21,57685	1601,6664	965,0
1986-87	119,7203	152,3712	110,1064	237,6266	175,9525	270,2775	86,1623	79,8135	29,93006	61,67407	55,32527	39,90675	1418,8664	782,2
1987-88	265,3676	235,8823	103,1985	89,5089	101,0924	126,3655	101,0924	29,69589	54,75838	8,424367	20,21848	76,66174	1212,2664	575,6
1988-89	88,21196	291,483	207,1063	3,451772	113,1414	88,21196	29,72359	166,8357	29,72359	224,3652	52,73541	35,47655	1330,4664	693,8
1989-90	202,603	209,9134	242,2881	0,626607	53,26162	12,53215	114,878	198,4256	20,88691	36,55209	83,54763	45,9512	1221,4664	584,8
1990-91	60,63118	239,2025	306,4781	63,12287	226,744	56,47836	292,3586	141,1959	21,59467	63,95343	88,03979	39,86708	1599,6664	963,0
1991-92	69,05532	239,6626	60,93116	39,60525	11,17071	30,46558	260,9885	150,2969	176,7004	169,5917	3,046558	42,65181	1254,1664	617,5
1992-93	245,0168	92,58269	196,3875	166,4618	130,925	177,6839	82,29572	76,68465	74,81429	0	86,03644	39,2775	1368,1664	731,5
1993-94	105,2331	324,3249	151,8117	217,3667	274,2961	56,92937	132,8352	44,85345	13,80106	153,5368	25,87699	13,80106	1514,6664	878,0
1994-95	138,9923	104,2442	170,431	276,3299	96,79818	177,877	64,53212	147,2656	21,51071	134,0283	201,8697	75,28748	1609,1664	972,5
1995-96	0	147,789	293,7866	116,4398	188,0951	159,433	50,15868	121,8139	23,28796	102,1087	59,11559	179,1381	1441,1664	804,5
1996-97	158,6191	175,4454	305,9522	99,11128	56,63502	117,7844	170,7259	14,97955	37,34628	42,27106	50,88944	12,10676	1241,8664	605,2
1997-98	343,2272	148,3671	201,8682	65,29521	123,5623	74,35449	46,66385	224,9437	41,87782	18,11856	46,15106	199,817	1534,2664	897,6
1998-99	127,2792	377,1299	165,4462	146,4468	197,0558	202,0999	75,49324	14,96414	24,0435	129,1287	39,17578	72,80306	1571,0664	934,4
1999-00	67,5415	394,1138	219,0535	96,201	230,1887	125,2256	39,42963	143,2975	33,04057	20,44499	9,857408	29,57222	1407,9664	771,3
2000-01	131,3475	104,5832	70,39684	230,9826	97,83586	22,491	170,9316	48,13075	37,78488	101,8842	81,62535	68,37265	1146,3664	509,7
2001-02	24,43069	97,72274	253,5509	51,99774	51,99774	227,4695	195,2804	107,6271	59,42599	143,943	76,09828	325,5224	1615,0664	978,4
2002-03	118,1206	44,99029	490,6806	266,4032	185,3532	35,55412	101,7758	75,32082	57,62801	6,066106	93,85614	90,31758	1566,0664	929,4

2.5. Ο κύκλος της απορροής

Ο κύκλος της απορροής είναι εκείνο το μέρος του υδρολογικού κύκλου που περιλαμβάνεται μεταξύ της κατακρήμισης πάνω στο έδαφος και των αποτελεσμάτων της, δηλαδή της απορροής της σε υδάτινους φορείς και της εξατμισοδιαπνοής. Το νερό από της κατακρημνίσεις που δεν απορροφάται από το έδαφος συγκρατείται στην επιφάνεια της γης, και αν υπάρξει κατάλληλη κλίση και βάθος ροής τότε απορρέει δημιουργώντας την επιφανειακή απορροή. Αυτή συγκεντρώνεται σε πολλά μικρά, συνήθως εφήμερα, ρεύματα (χείμαρροι) που σχηματίζουν ένα δίκτυο μέσα από το οποίο το νερό τρέχει σε μεγαλύτερα κανάλια και ποτάμια και από κει καταλήγει της θάλασσες και της ωκεανούς. Τα ποτάμια δέχονται το νερό και από τον υπόγειο ορίζοντα και έτσι έχουν μόνιμη ροή ανεξάρτητη από το εφήμερο της επιφανειακής απορροής. Η ποσότητα του νερού από της κατακρημνίσεις που απορροφάται από το έδαφος κατά ένα μέρος κατακρατείται σαν εδαφικό νερό της σε μη κορεσμένους πόρους ανάμεσα στα στερεά σωματίδια του εδάφους και το υπόλοιπο σαν υπόγεια ροή δια μέσου της διήθησης φτάνει σε μια ζώνη που όλοι οι πόροι είναι κορεσμένοι. Η κίνηση και ροή του εδαφικού νερού γίνεται προς όλες τις κατευθύνσεις κάτω από την επιρροή τριχοειδών μοριακών δυνάμεων, ενώ η κίνηση των υπόγειων νερών γίνεται εξ' αιτίας δυνάμεων βαρύτητας και ελέγχεται από οριακές συνθήκες που υπακούουν της νόμους της υδραυλικής.

2.5.1. Μέτρηση της απορροής

Εφόσον υπάρχουν μετρήσεις της απορροής της λεκάνης του Νεστορίου, μπορούμε να βρούμε και τη σχέση που συνδέει τη βροχή με την απορροή. Αυτό μπορούμε να το βρούμε εύκολα εφόσον δίνονται ορισμένα σημαντικά δεδομένα για την λεκάνη απορροής, όπως είναι το εμβαδό της λεκάνης (m^2), όπου στη περιοχή μελέτης της είναι $E = 255 \text{ km}^2 = 255.000.000 \text{ m}^2$. Στη συνέχεια μετατρέπουμε τα μηνιαία ύψη βροχής από mm σε m, διαιρώντας της τιμές της βροχής με το 1000 και στη συνέχεια πολλαπλασιάζουμε το αποτέλεσμα με το εμβαδο της επιφάνειας ($255.000.000 \text{ m}^2$), ώστε να έχουμε m^3 . Έπειτα, θεωρώντας πάντα ότι ο αριθμός των ημερών του μήνα είναι 30, και αφού εφαρμόσουμε τη παραπάνω διαδικασία για

της τιμές της βροχής ανά μήνα που έχουμε για όλα αυτά τα χρόνια, παίρνουμε της τιμές της μηνιαίας απορροής για την περιοχή όπου μελετάμε. Παρακάτω δίνεται σχετικός πίνακας με τα αποτελέσματα αυτά. Πρέπει να αναφέρουμε ότι οι τιμές της είναι σε m^3/s .

Πίνακας 2.10: Συνολική βροχόπτωση της λεκάνης, μετατρεμένη σε m³/ μήνα.

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1962-63	15,51473318	19,43604	9,888511	12,78687	20,79997	16,36719	10,57048	18,2426	10,22949	7,160646	3,750815	3,750815	148,4982
1963-64	25,23748626	10,21059	25,81544	4,431009	4,623662	9,247323	3,275094	16,95343	12,13711	8,091408	2,311831	5,97223	128,3066
1964-65	6,722411513	32,42575	23,33072	11,07221	15,81744	11,46764	11,86308	5,536104	1,779462	2,768052	1,384026	0,790872	124,9578
1965-66	0,427537406	14,96381	20,5218	17,7428	8,336979	13,25366	8,123211	4,91668	5,344218	1,923918	3,206531	17,52903	116,2902
1966-67	12,9013989	36,66713	22,06818	16,46626	3,22535	4,243881	6,79021	9,845804	4,583392	19,86136	4,922902	7,808741	149,3846
1967-68	9,287445284	12,03146	28,49557	5,488036	5,488036	9,287445	5,065879	18,36381	9,709602	0	6,332349	8,020975	117,5706
1968-69	8,443132077	8,65421	16,88626	22,79646	15,40872	16,46411	7,176662	3,166175	0,422157	1,899705	3,166175	13,08685	117,5706
1969-70	0,546655775	8,928711	44,82577	14,03083	14,57749	14,94192	11,47977	8,564274	6,742088	8,017618	0,911093	2,915497	136,4817
1970-71	2,053625757	5,787491	15,12215	13,25522	11,94837	21,46972	6,90765	5,787491	10,64152	12,50845	6,720957	20,53626	132,7389
1971-72	6,539690657	13,07938	13,42358	21,51214	12,39099	9,293245	20,30746	7,44371	1,376777	20,82375	15,48874	4,646622	146,6267
1972-73	33,01556313	0	0,959755	6,526332	18,61924	20,7307	2,687313	5,758528	6,910234	18,23534	3,647068	11,70901	128,7991
1973-74	13,87298624	9,502045	14,06303	11,02237	24,70532	7,791677	19,19413	6,081309	7,601636	5,321145	3,230695	7,791677	130,178
1974-75	20,92949713	20,7475	8,553794	2,547939	14,37765	14,55965	9,281777	15,10564	18,74555	6,187851	3,457917	2,183948	136,6787
1975-76	17,90732652	11,48405	13,81978	5,527914	13,04121	6,909892	13,23585	13,33317	16,25285	4,398974	8,408658	2,627706	126,9474
1976-77	8,87132428	19,90984	24,71008	8,85107	12,57784	2,491262	5,8332	6,602858	7,87887	0	12,80063	11,54487	122,0719
1977-78	4,01676033	19,89433	11,70924	19,70486	8,942976	14,38076	22,16797	7,862998	3,372563	0,473675	1,326289	16,74913	130,6016
1978-79	13,88903377	7,36861	19,43758	29,68648	12,29869	6,096332	22,08816	15,26733	6,290707	0,583127	7,38628	1,289948	141,6823
1979-80	17,346868	43,61035	20,42715	14,97991	7,068443	13,14795	7,165716	18,80595	6,468598	0,437725	4,977092	5,349969	159,7857
1980-81	29,17566585	17,89226	25,14588	17,24749	10,63864	6,624972	11,20281	9,494181	1,112222	3,755763	16,60273	12,33115	161,2238
1981-82	21,01482223	15,93893	24,57118	4,170634	8,114954	17,29682	24,40952	12,5119	1,713516	2,343961	16,81186	11,60665	160,5047
1982-83	16,07629291	23,03768	19,53194	5,926359	10,5172	8,430455	4,557454	18,69725	17,36173	9,031438	6,594118	13,18824	152,9502
1983-84	6,354642974	18,61979	39,46028	16,6724	22,54873	11,99183	16,31367	2,66485	2,989415	0,187906	5,893419	4,407252	148,1042
1984-85	4,134141846	12,81584	9,715233	25,63168	8,371637	15,60639	23,97802	15,19297	1,240243	1,033535	0	2,067071	119,7868
1985-86	7,683488174	32,36874	6,539139	15,36698	27,95482	8,909577	5,966964	27,95482	16,51133	4,904354	1,471306	2,12522	157,7567
1986-87	11,79189072	15,00786	10,84497	23,40512	17,33051	26,62109	8,486588	7,86126	2,947973	6,07461	5,449283	3,93063	139,7518
1987-88	26,13747591	23,23331	10,16457	8,16212	9,957134	12,44642	9,957134	2,924908	5,393447	0,829761	1,991427	7,550826	119,4026
1988-89	8,688469182	28,70972	20,39901	0,339984	11,14391	8,688469	2,927636	16,43254	2,927636	22,09893	5,194194	3,494276	131,0448
1989-90	19,9554586	20,6755	23,86426	0,061718	5,246023	1,234358	11,31495	19,54401	2,057264	3,600212	8,229055	4,52598	120,3088
1990-91	5,97189025	23,56033	30,18668	6,21731	22,33323	5,562857	28,79596	13,90714	2,126975	6,299117	8,671512	3,926722	157,5597
1991-92	6,801628921	23,60565	6,001437	3,900934	1,100264	3,000719	25,70616	14,80355	17,40417	16,704	0,300072	4,201006	123,5296
1992-93	24,1330217	9,118966	19,34326	16,39572	12,89551	17,50105	8,105748	7,553083	7,368862	0	8,474191	3,868652	134,7581
1993-94	10,36497188	31,9445	14,95275	21,40961	27,01689	5,60728	13,08365	4,417857	1,359341	15,12266	2,548764	1,359341	149,1876
1994-95	13,69009461	10,26757	16,78666	27,21721	9,534173	17,52006	6,356115	14,50498	2,118705	13,20116	19,88323	7,415468	158,4954
1995-96	0	14,55653	28,93662	11,46878	18,52649	15,70341	9,40398	11,99811	2,293756	10,05724	5,822612	17,64428	141,9482
1996-97	15,62324593	17,28056	30,13488	9,762002	5,578287	11,60122	16,81571	1,475416	3,678436	4,163504	5,012374	1,19246	122,3181
1997-98	33,80628562	14,61347	19,88308	6,431275	12,17228	7,323573	4,596173	22,15591	4,124771	1,784595	4,545666	19,68105	151,1181
1998-99	12,53641637	37,14555	16,29569	14,42433	19,40909	19,90591	7,435734	1,473898	2,368174	12,71858	3,858633	7,170764	154,7428
1999-00	6,652524783	38,81838	21,57576	9,475353	22,67252	12,33414	3,883636	14,11414	3,254343	2,013737	0,970909	2,912727	138,6782
2000-01	12,93711622	10,30096	6,933763	22,75072	9,636379	2,21526	16,83597	4,740656	3,721636	10,03513	6,069811	6,734389	112,9118
2001-02	2,406309419	9,625238	24,97359	5,121537	5,121537	22,40469	19,23422	10,60077	5,853185	14,17771	7,495329	32,06245	159,0766
2002-03	11,63432896	4,431335	48,32977	26,23948	18,25644	3,501916	10,02444	7,418752	5,676092	0,597483	9,244395	8,895864	154,2503

2.6. Υπολογισμός μέσης επιφανειακής εξατμισοδιαπνοής της Λεκάνης

2.6.1. Εξατμισοδιαπνοή (ET mm)

Ένα σημαντικό ποσοστό των κατακρημνισμάτων εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα πριν ακόμη το νερό πέσει στην επιφάνεια του εδάφους και να ολοκληρώσει τον υδρολογικό κύκλο του. Το φυσικό αυτό φαινόμενο, όπου το νερό μεταβαίνει από την υγρή στην αέρια φάση καλείται *εξάτμιση*.

Οι σπουδαιότεροι παράγοντες που συμβάλουν στην εξέλιξη του φαινομένου της εξάτμισης είναι:

- η θερμοκρασία του νερού,
- η θερμοκρασία και η απόλυτη υγρασία της ατμόσφαιρας,
- ο άνεμος που απομακρύνει τους υδρατμούς από μια περιοχή στην άλλη,
- η ποσότητα των διαλυμένων στο νερό αλάτων,
- το βάθος επιφάνειας του υπόγειου νερού,
- η δομή και η σύσταση του εδάφους,
- η ένταση και η εποχική περίοδος των βροχοπτώσεων, κλπ.
- **το φαινόμενο της εξάτμισης**, που συντελείται στην επιφάνεια του εδάφους και στις ελεύθερες υδάτινες επιφάνειες, και
- **το φαινόμενο της διαπνοής** που συντελείται από την υπάρχουσα βλάστηση και τις αναπτυσσόμενες καλλιέργειες της περιοχής.

Στον όρο **εξατμισοδιαπνοή** υπεισέρχονται δυο φυσικά φαινόμενα:

Από πρακτική σκοπιά είναι δύσκολο να ξεχωρίσει κανείς τις απώλειες του νερού που σχετίζονται με την εξάτμιση ή με την διαπνοή. Η **εξατμισοδιαπνοή** εκτιμάται με βάση την εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου ή εφαρμόζονται εμπειρικοί τύποι που προσφέρουν ένα προσεγγιστικό αποτέλεσμα.

Η μέση επιφανειακή εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί με τρεις μεθόδους: α) Turk, β) Blaney – Criddle και γ) Thornwaite. Βρίσκοντας την εξατμισοδιαπνοή θα δούμε αν ικανοποιείται η εξίσωση του υδατιού ισοζυγίου $P = Q + E$.

Όπου:

- P το ύψος των κατακρημνισμάτων,
Q η συνολική απορροή (επιφανειακή απορροή και υπόγεια διήθηση)
E η πραγματική εξατμισοδιαπνοή

Παρακάτω παρουσιάζονται οι παραπάνω τρεις μεθοδοι για την εύρεση της εξατμισοδιαπνοής

1. Μέθοδος βασισόμενη στη θερμοκρασία και στην ακτινοβολία

Μέθοδος του Turk, L. (1951).

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται τόσο με την πραγματική μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα (T) όσο και με τη διορθωμένη τιμή (TΔ), η οποία παίρνει υπόψη της την ετήσια πορεία της θερμοκρασίας με την κατανομή των κατακρημνισμάτων. Σύμφωνα με τον Turk ισχύει ότι:

$$E = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

όπου E= η πραγματική Εξατμισοδιαπνοή σε mm

P= το ύψος των ετησίων κατακρημνισμάτων σε mm

$$L = 300 + 25 T + 0,05T^3$$

και T= η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα σε 0°C.

Επιπλέον δίνεται και ένας άλλος παραπλήσιος τύπος που αναπτύχθηκε από τον Turk, L. (1954), όπου και χρησιμοποιήσαμε και εμείς και είναι ο εξής:

$$E_p = \frac{P + 80}{\sqrt{1 + \left(\frac{(P + 45)}{L^{T_c}}\right)^2}} \text{ mm/ 10μέρες}$$

Όπου:

E_p= η δυνητική Εξατμισοδιαπνοή σε (mm/10μέρες)

P= το ύψος των κατακρημνισμάτων σε mm/10μέρες

Ο όρος L^{T_c} δίνεται με τον τύπο

$$L_{Tc} = \frac{(T + 2)\sqrt{H_{sh}}}{16}$$

Όπου:

T η μέση θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2m (C°), και

H_{sh} η προσπίπτουσα ακτινοβολία (cal cm⁻² day⁻¹) για τα δικά μας δεδομένα έχουμε τις παρακάτω τιμές:

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
528	397	318	358	538	663	847	930	1001	941	843	719

2. Μέθοδοι βασιζόμενες στη θερμοκρασία και στη διάρκεια ωρών ημέρας.

Οι μέθοδοι αυτές αναπτύχθηκαν από τους BLANEY – CRIDDLE (1950) και THORNTHWAITTE (1948). Σύμφωνα με τους BLANEY – CRIDDLE η τιμή της E_p δίνεται ως:

$$E_p = C_1^{BC} * P^{BC} (0,457T + 8,13) \text{ mm/ μήνα} \quad (5.6)$$

όπου:

E_p η δυνητική εξατμισοδιαπνοή

T μέση επιφανειακή θερμοκρασία,

P^{BC} ποσοστό ωρών ημέρας ανά μήνα. Η τιμή του προκύπτει από πίνακα και είναι διαφορετική για κάθε μήνα. Από τον πίνακα επιλέγουμε να πάρουμε εκείνες τις τιμές που αντιστοιχούν στο κατάλληλο γεωγραφικό πλάτος (Φ= 40°), για τα δικά μας δεδομένα έχουμε τις εξής τιμές:

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
7,75	6,72	6,52	6,76	6,71	8,33	8,95	10,02	10,08	10,22	9,54	8,39

C₁^{BC} η τιμή του λαμβάνεται ίση με 0,7.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα της Ηνωμένες Πολιτείες, όπου η κατάλληλη εκλογή για την τιμή του φυτικού συντελεστή δίνει αποτελέσματα που πλησιάζουν μάλλον την πραγματική εξατμισοδιαπνοή E_a παρά τη δυνητική. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η μέθοδος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο για μικρές εκτάσεις και της συγκεκριμένες χρονικές

περιόδους για της οποίες υπολογίστηκαν οι χρησιμοποιούμενοι συντελεστές. Σύμφωνα με τον Thornthwaite η τιμή της E_p δίδεται σαν :

$$E_p = 1.6 L_d \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad (2.5)$$

Οπού:

E_p η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm/ μήνα, για μήνες 30 ημερών, με διάρκεια ωρών ημέρας 12 ώρες)

T η μέση μηνιαία θερμοκρασία ($^{\circ}C$) υπολογισμένη από τις μέσες ημερήσιες.

I δείκτης θερμότητας που δίνεται από τη σχέση :

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{T_n}{5} \right)^{1.514} \quad (2.6)$$

Οπου:

T_n Η μέση θερμοκρασία κάθε μήνα

α είναι ίσο με $\alpha = 0.000000675 I^3 - 0.000077 I^2 + 0.01792 I + 0.49239$

L_d διορθωτικός συντελεστής που είναι συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους.

Η μέθοδος αυτή δίνει καλά αποτελέσματα όταν δε χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της E_p σε μικρά χρονικά διαστήματα, διότι η μέση θερμοκρασία δεν είναι ένα κατάλληλο μέτρο για την ενέργεια που διατίθεται στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής.

Βασική παράμετρος για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αποτελεί, όπως είδαμε, η θερμοκρασία. Ο υπολογισμός της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας για τη λεκάνη απορροής έγινε με τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας, η οποία αποτελεί μέθοδο όμοια μ' αυτή της βροχοβαθμίδας. Βασίζεται δηλαδή στην παρατήρηση ότι η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου, ενώ η θερμοβαθμίδα αποτελεί όρο που περιγράφει τη μείωση της θερμοκρασίας ανά 100 m μείωση του υψομέτρου.

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί, των οποίων οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της θερμοβαθμίδας, καθώς και τα υψόμετρα αυτών φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Οι τιμές της μέσης

ετήσιας θερμοκρασίας για κάθε σταθμό προέκυψαν και πάλι από την επεξεργασία των μηνιαίων θερμοκρασιών.

Πίνακας 2.11: Μέση ετήσια θερμοκρασία των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν.

Σταθμός	Μ.Θερμοκρασία (°C)	Υψόμετρο (m)
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	12,51	650
ΦΛΩΡΙΝΑ	12,09	690
ΚΡΑΝΙΑ	10,69	900

Με τη χρήση των δεδομένων του παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η σχέση μεταβολής μεταξύ της θερμοκρασίας και του υψόμετρου, καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης είναι:

$$T = -0,0071 H + 17,048 \quad (2.7)$$

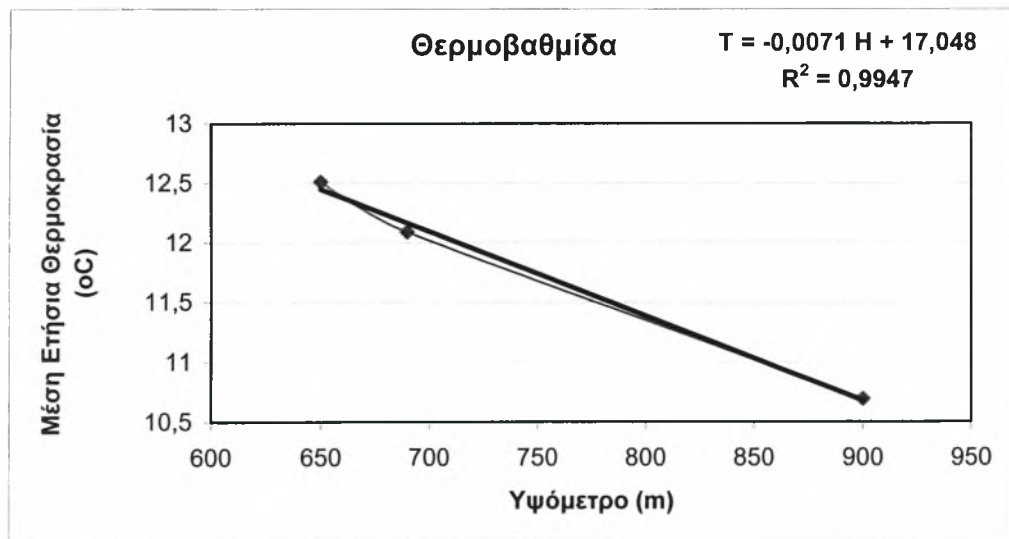
με συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0,9947$

οπού:

T μέση ετήσια θερμοκρασία σε °C

H υψόμετρο σε m

Η σχέση μεταβολής ανάμεσα σ' αυτά τα δύο μεγέθη φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχ. 2.2: Γραμμική σχέση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και των υψόμετρων των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν

Προκύπτει επομένως ότι για κάθε αύξηση του υψόμετρου κατά 100 m, η μέση ετήσια θερμοκρασία μειώνεται κατά 0,71°C.

Για την εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας της λεκάνης απορροής του Νεστορίου χρησιμοποιούνται τα δεδομένα του σταθμού της Καστοριάς. Η εκτίμηση των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας, στο κέντρο βάρους (μέσο σταθμισμένο υψόμετρο 1398 m) της λεκάνης απορροής, γίνεται με τις σχέσεις:

$$T = T_T - \frac{(748 * 0,71)}{100} \quad (2.8)$$

$$T_i = \frac{T * T_{T(i)}}{T_T} \quad (2.9)$$

Όπου:

T_T μέση ετήσια θερμοκρασία στο σταθμό Καστοριάς, σε °C,

T μέση ετήσια θερμοκρασία στη λεκάνη απορροής, σε °C,

T_i μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά το μήνα i , στη λεκάνη απορροής, σε °C,

$T_{T(i)}$ μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά το μήνα i , στο σταθμό Καστοριάς, σε °C,

0,71 θερμοβαθμίδα που υπολογίστηκε με τη σχέση 2.7,

748 διαφορά ανάμεσα στο υψόμετρο του σταθμού Καστοριάς και του μέσου υψόμετρου της λεκάνης απορροής (650 - 1398 m).

Με την εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που αντιστοιχούν στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής. Χρησιμοποιώντας τις συγκεκριμένες τιμές είναι δυνατό να υπολογίσουμε στη συνέχεια τις μέσες μηνιαίες τιμές της εξατμισοδιαπνοής, που αντιστοιχούν επίσης στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης, για την περίοδο αυτή.

Βάση των παραπάνω σχέσεων και με την αντικατάστασή τους βρίσκουμε ότι:

$T = 5,4359$, επομένως και οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες έχουν ως εξής:

Πίνακας 2.12: Μέση μηνιαία θερμοκρασία.

Μήνας	Μ. μηνιαία θερμοκρασία
ΙΑΝ	0,999
ΦΕΒΡ	1,39
ΜΑΡΤ	2,911
ΑΠΡ	4,91
ΜΑΙΟΣ	7,039
ΙΟΥΝ	9,255
ΙΟΥΛ	10,298
ΑΥΓ	9,951
ΣΕΠΤ	8,256
ΟΚΤ	5,736
ΝΟΕ	3,086
ΔΕΚ	1,39

Επομένως από την εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που αντιστοιχούν στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής. Έπειτα κάνοντας χρήση όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων (τιμών) είναι δυνατό να υπολογίσουμε στη συνέχεια τις μέσες μηνιαίες τιμές της εξατμισοδιαπνοής, που αντιστοιχούν επίσης στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης.

Στη συνέχεια δίνονται οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής με εφαρμογή όμως στον τύπο των **BLANEY – CRIDDLE (1950)** για τη λεκάνη απορροής από το 1982-2003.

Πίνακας 2.14: Μέσες μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής με τη χρήση **BLANEY – CRIDDLE** για τη λεκάνη απορροής

Μήνας	Μ. μηνιαία θερμοκρασία
ΙΑΝ	40,632
ΦΕΒΡ	41,171
ΜΑΡΤ	55,164
ΑΠΡ	64,9923
ΜΑΙΟΣ	79,588
ΙΟΥΝ	87,21
ΙΟΥΛ	91,831
ΑΥΓ	84,66
ΣΕΠΤ	69,906
ΟΚΤ	58,325
ΝΟΕ	44,876
ΔΕΚ	40,005

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3° ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΠΟ

3.1. Εισαγωγή

Το υδρολογικό μοντέλο ορίζεται σαν ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων οι οποίες απεικονίζουν κατά προσέγγιση το σύνολο των αλληλοσυσχετιζόμενων φαινομένων που υπεισέρχονται στη διαδικασία μετατροπής της βροχής σε απορροή. Σχηματικά ένα υδρολογικό μοντέλο αναπαριστάται ως εξής :

Είσοδος: Μετεωρολογικές μεταβλητές (κατακρημνίσεις, θερμοκρασία, κλπ).

Εξισώσεις συστήματος: Σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που απεικονίζουν τις φυσικές διαδικασίες μετατροπής της βροχής σε απορροή (κατακράτηση, εξατμισοδιαπνοή, διήθηση, επιφανειακή απορροή, ενδιάμεση απορροή, εδαφική υγρασία, αποθήκευση υπόγειου ορίζοντα).

Έξοδος: Απορροή.

Τα μοντέλα υετόπτωσης - απορροής ταξινομούνται, σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το είδος των εξισώσεων που περιλαμβάνουν, το χρονικό τους βήμα, τη λειτουργία τους σε πραγματικό χρόνο κλπ. Ο πλέον συνήθης διαχωρισμός των μοντέλων είναι πρώτον σε μοντέλα μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος και συνεχή μοντέλα και δεύτερον σε ενιαία (lumped) και κατανεμημένα (discrete). Συγκεκριμένα:

1α). Το μοντέλο ενός μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος περιλαμβάνει ως είσοδο ένα μεμονωμένο γεγονός βροχής και ως έξοδο ένα υδρογράφημα πλημμύρας.

1β). Το συνεχές μοντέλο περιλαμβάνει ως είσοδο μια ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στο χρόνο (χρονοσειρές) μίας ή περισσότερων μετεωρολογικών μεταβλητών.

2α). Τα ενιαία ή αδρομερή μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση της ομοιόμορφης κατανομής στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής των μεγεθών εισόδου (βροχή κλπ) και εξόδου (απορροή).

2β). Τα κατανεμημένα μοντέλα, σε αντίθεση με τα ενιαία, βασίζονται στην υπόθεση της χωρικής κατανομής των μεγεθών εισόδου και εξόδου στην λεκάνη απορροής. Τα μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν το διαχωρισμό της λεκάνης σε τμήματα με ομοιόμορφα τοπογραφικά ή άλλα χαρακτηριστικά (Τσακίρης, 1995). Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές εργασίες στο παρελθόν, όπου έχει γίνει χρήση μοντέλων προσομοίωσης ιδατικών ισοζυγίων διάφορων λεκανών απορροής, όπως έχει χρησιμοποιηθεί και στη λεκανη απορροής της λίμνης της Καστοριάς από τους (Ψιλοβίκος Α. και Ζαρκάδας Π. 2006).

Απλά αδρομερή υδρολογικά μοντέλα, παραμετρικά ή εμπειρικά, τα οποία ενοποιούν τα ετερογενή χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής και προσομοιώνουν την μετατροπή της βροχόπτωσης σε απορροή, είναι γενικά εύκολα στην εφαρμογή τους και απαιτούν περιορισμένα δεδομένα εισόδου. Αν και η προσέγγιση αυτή οδηγεί σε γενίκευση των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, τέτοια μοντέλα είναι απλά και αποδοτικά στη χρήση τους, όπως έχει αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, και είναι χρήσιμα εργαλεία για μηχανικούς και επιστήμονες που ασχολούνται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων (Perrin et. al. 2001).

Αδρομερή μοντέλα υδατικού ισοζυγίου έχουν αναπτυχθεί για διάφορες κλίμακες χρόνου (π.χ. ωριαία, ημερήσια, μηνιαία, και ετήσια) και διάφορους βαθμούς πολυπλοκότητας. Το πρώτο μηνιαίο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1940 από τον Thornthwaite (1948), το οποίο αργότερα αναθεωρήθηκε από τους Thornthwaite και Mather (1955, 1957). Από τότε αδρομερή μοντέλα έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοσθεί σε ένα μεγάλο φάσμα υδρολογικών προβλημάτων (Gabus and Gasparri, 1983; Alley, 1984; Vandewiele and Win, 1998). Πρόσφατα, τέτοια μοντέλα έχουν εφαρμοσθεί για να διαπιστωθούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Arnell, 1992; Panagoulia and Dimou, 1997; Yates and Sterzepek, 1998; Guo et. al., 2002), και την μακροχρόνια πρόγνωση της απορροής (Alley, 1985; Xu and Vandewiele, 1995). Αν και για τις παραπάνω εφαρμογές χρησιμοποιούνται ωριαία ή ημερήσια υδρολογικά μοντέλα, τα μοντέλα αυτά απαιτούν πολλά δεδομένα και έχουν πολλές περισσότερες παραμέτρους από τα αντίστοιχα μηνιαία μοντέλα. Με την συνεχώς αυξανόμενη χρήση των μηνιαίων υδρολογικών μοντέλων ή μοντέλων υδατικού ισοζυγίου σε ένα μεγάλο εύρος υδρολογικών προβλημάτων, έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια για την ανάπτυξη

νέων μοντέλων και τεχνικών για τον προσδιορισμό των παραμέτρων τους. Τέτοια μοντέλα έχουν αναπτυχθεί με μεγάλη διαφορά στην πολυπλοκότητα των αλγορίθμων και τον αριθμό των παραμέτρων τους. Για παράδειγμα, τα μοντέλα του Pitman (1973) που έχει προταθεί για εφαρμογή σε ξηρές περιοχές της Αφρικής με 10 έως 20 παραμέτρους και μοντέλα για εφαρμογές υγρές και ήπιες κλιματολογικά περιοχές με 2 έως 5 παραμέτρους (Vandewiele et. al., 1992).

Για την επιλογή του υδρολογικού μοντέλου, ελήφθη υπόψη η πολυπλοκότητα των μοντέλων υδατικού ισοζυγίου και ο αριθμός των παραμέτρων τους. Όπως έχει διαπιστωθεί από προηγούμενες μελέτες (Pitman, 1973; Vandewiele et. al., 1992; Xu and Singh, 1998) τα μοντέλα υδατικού ισοζυγίου που εφαρμόζονται σε λεκάνες απορροής ξηρών και ημίξηρων κλιμάτων απαιτούν μεγαλύτερο αριθμό παραμέτρων από μοντέλα που εφαρμόζονται σε υγρές και ήπιες κλιματολογικά περιοχές. Εφαρμογή του μοντέλου σε λεκάνες απορροής με παρόμοια χαρακτηριστικά έδειξε ότι το μοντέλο προσομοιώνει βέλτιστα την απορροή καθώς επίσης και τον όγκο της απορροής και εχομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μελέτες διαχείρισης υδατικών πόρων (Λουκάς κ.α., 2003).

3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ «Q»

3.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗΣ K

Η συνολική απορροή Q χωρίζεται στην **επιφανειακή απορροή** και στην **υπόγεια - κατείσδυση (D)** στην υπό θεώρηση περιοχή. Η υπόγεια απορροή εξαρτάται από το είδος των γεωλογικών σχηματισμών, και ανάλογα με τα πετρώματα, ισχύει διαφορετικός συντελεστής κατείσδυσης. Με τη βοήθεια της γεωλογικής χαρτογράφησης η οποία μπορεί να γίνει:

- είτε μέσω ψηφιοποίησης των γεωλογικών χαρτών κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. σε περιβάλλον γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών,
- είτε συμπληρωματικά με εργασίες χαρτογράφησης υπαίθρου όταν επιζητούμε μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτή που δίνει η κλίμακα 1:50.000 στους χάρτες που θέλουμε να κατασκευάσουμε.

Καταλήγουμε στη σύνταξη γεωλογικού χάρτη, από τον οποίο με βάση τα εμβαδά των γεωλογικών σχηματισμών και τις τιμές κατείσδυσης που ισχύουν για κάθε έναν από αυτούς, καταλήγουμε στον κεντροβαρικό μέσο όσο, για τη συνολική περιοχή.

Για τη λεκάνη απορροής, εκτιμάται μια μέση τιμή συντελεστού κατείσδυσης από τις τιμές των επιμέρους περιοχών, σύμφωνα με την εξής σχέση:

$$k = \frac{k_1 * A_1 + k_2 * A_2 + k_3 * A_3}{A} \quad (3.4)$$

όπου:

k_1, k_2, k_3 οι επιμέρους συντελεστές κατείσδυσης

A_1, A_2, A_3 η επιφάνεια που καταλαμβάνει κάθε μια από τις επιμέρους περιοχές που διακρίναμε με τη χρήση του Γ.Σ.Π.

A η ολική επιφάνεια της λεκάνης.

3.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ «CURVE NUMBER» (CN)

Ο δείκτης CN εκφράζει ουσιαστικά τις συνολικές απώλειες της βροχόπτωσης και μπορεί επομένως να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του περισσεύματος βροχής από μια δεδομένη βροχόπτωση, δηλαδή της επιφανειακής απορροής (Τσακίρης, 1995).

Ο δείκτης αυτός διαφοροποιείται ανάλογα με τον υδρολογικό τύπο του εδάφους και τη χρήση γης. Οι κατηγορίες των εδαφών από υδρολογική άποψη είναι τέσσερις:

- **Κατηγορία Α:** Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και υψηλή διαπερατότητα. Συνήθως αμμώδη ή χαλικώδη εδάφη.
- **Κατηγορία Β:** Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα που αποτελούνται από μέσης μέχρι ελαφράς σύστασης εδάφη.
- **Κατηγορία Γ:** Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν εδάφη μέσης μέχρι βαριάς σύστασης.

- **Κατηγορία Δ:** Εδάφη με πολύ μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη με υψηλή στάθμη υπόγειου νερού ή με αδιαπέρατο στρώμα.

Ο δείκτης CN μεταβάλλεται και ανάλογα με τη χρήση γης. Η εύρεση του CN γίνεται για κάθε μια από τις αρκετά μικρές υποπεριοχές που προέκυψαν από την ένωση του αρχείου με τους γεωλογικούς σχηματισμούς μ' αυτό που περιείχε το CORINE. Ανάλογα με τον υδρολογικό τύπο εδάφους και τον τύπο εδαφοκάλυψης της κάθε υποπεριοχής βρίσκεται και διαφορετικός δείκτης CN.

Ο δείκτης CN για κάθε μια από τις μικρές υποπεριοχές προέκυψε από πίνακα, τις τιμές του οποίου πρότεινε ο Wanielista και ο οποίος θεωρείται αντιπροσωπευτικός για τις ελληνικές συνθήκες (Τσακίρης, 1995), ενώ ο δείκτης CN για όλη τη λεκάνη υπολογίζεται από τη σχέση:

$$CN = \frac{CN_1 * A_1 + CN_2 * A_2 + CN_3 * A_3}{A}$$

όπου:

CN ₁ , CN ₂ , CN ₃	οι δείκτες CN των επιμέρους περιοχών,
A ₁ , A ₂ , A ₃	οι επιφάνειες των επιμέρους περιοχών,
A	η συνολική επιφάνεια της λεκάνης.

Κάνοντας χρήση των παραπάνω για τη περιοχή μελέτης όπου εξετάζουμε, ακολουθώντας τον εδαφολογικό χάρτη, η λεκάνη απορροής χωρίσθηκε σε 45 υποπεριοχές διαφοροποιούμενες ως προς κάποιο σημαντικό χαρακτηριστικό από τα απεικονιζόμενα στον χάρτη (μητρικό υλικό, φυσιογραφία, ζώνη βλάστησης, βαθμός ανθρωπογενούς επίδρασης, βάθος εδάφους, διάβρωση, κλίσεις επιφανείας). Κάθε μια υποπεριοχή εμβαδομετρήθηκε και πινακοποιήθηκε μαζί με τα σημαντικά χαρακτηριστικά της. Βάσει αυτών εκτιμήθηκε η κατάταξη ως προς 503 (τύπος εδάφους; A, B, Γ ή Δ, είδος βλάστησης και ποιότητα αυτής: καλή, μέτρια ή κακή) και ακολούθως, υπολογίσθηκε ένας ξεχωριστός CN για κάθε υποπεριοχή. Ο χαρακτηριστικός αριθμός CN της λεκάνης προέκυψε ως ζυγισμένος μέσος όρος των 45 τιμών, CN = 68,34. Όσον αφορά στα γενικότερα γνωρίσματα της

λεκάνης που διαπιστώθηκαν από την περιγραφείσα ανάλυση, αυτά παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2 (Ν. Μαυρονικολάου-Δ. Κάρκας & συνεργάτες Ε.Ε. «ΥΔΡΕΤΜΕ», Ν. Σούλης, Κ. Ζαΐμης, Γ. Καφετζής, Γ. Τυπάδης, Σ. Διακοσταυριανός, Π. Θεοδωρόπουλος, 2004).

Η ανωτέρω τιμή του CN ελέγχθηκε σε συνδυασμό με το μοναδιαίο υδρογράφημα και τις όμβριες καμπύλες και βρέθηκε ότι παράγει ένα ποσοστό απωλειών 63,3% στην πλημμύρα περιόδου 100 ετών. Το αποτέλεσμα κρίθηκε συμβατό, προς τη συντηρητική πλευρά, με τις τιμές του δείγματος των δεκατριών πλημμύρων. Εν τούτοις, για τον λόγο που αναπτύχθηκε παραπάνω αναζητήθηκε ένας τρόπος εύλογης μείωσης των απωλειών, ώστε να καλύπτεται και η περίπτωση εκτεταμένης επιδείνωσης των συνθηκών φυτοκάλυψης.

Δοθέντος ότι η επικρατούσα μορφή φυτοκάλυψης είναι το δάσος, διερευνήθηκαν οι τιμές CN για τα δάση με ποιότητα βλάστησης μέτρια. Διαπιστώθηκε ότι η τιμή 68,34 είναι ανάμεσα στις τιμές 60 και 73 που αντιστοιχούν στις κατηγορίες εδάφους Β και Γ και θα μπορούσε να προκύψει ως γραμμικός συνδυασμός αυτών. Αυτό ήταν εν πολλοίς αναμενόμενο, εξ αιτίας του αναλυτικού χαρακτηρισμού των εδαφών που είχε προηγηθεί. Ούτως εχόντων των πραγμάτων, η εύλογη επιδείνωση της φυτοκάλυψης θα μπορούσε να αναπαραχθεί με τη μετάπτωση από τη μέτρια ποιότητα βλάστησης στην κακή, των υπολοίπων συντελεστών τηρουμένων σταθερών. Η προκύπτουσα τροποποιημένη τιμή του CN είναι **73,1**.

3.2.3 Εφαρμογή υδρολογικού μοντέλου για τον υπολογισμό του υδατικού δυναμικού της λεκάνης

Για την εκτίμηση του υδατικού δυναμικού χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο απλού υδατικού ισοζυγίου μηνιαίας βάσης. Πρόκειται για το μοντέλο του Γιακουμάκη που χρησιμοποιεί ως δεδομένα εισόδου μηνιαία ύψη βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, καθώς και τις τιμές του συντελεστή βαθιάς διήθησης K και του δείκτη CN. Ο τελευταίος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μέγιστης διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας S_{max} της επιφανειακής εδαφικής ζώνης.

Συγκεκριμένα η ζώνη ριζοστρώματος του εδάφους θεωρείται ως δεξαμενή αποθήκευσης μέγιστης χωρητικότητας S_{max} , στην οποία η ποσότητα

S_n ($S_n < S_{max}$) παριστάνει τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία κατά το μήνα n . Είναι προφανές ότι το ύψος της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας αυξάνει από την βροχόπτωση P_n και μειώνεται από την δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_{pn} , αλλά και από τη βαθιά διήθηση D_n .

$$S_{max} = 25,4 * \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Όπου:

S_{max} : η μέγιστη εδαφική υγρασία,

CN: είναι ο κεντροβαρικός συντελεστής απορροής (curve number) που παίρνει τιμές από 0 έως 100, ο οποίος έχει υπολογιστεί με τη βοήθεια της βάσης Corine και των Γ.Σ.Π., και είναι ίσος με 73,1. Συνεπώς η μέση κεντροβαρική τιμή της S_{max} για όλη την έκταση της λεκάνης απορροής είναι ίση με 93,469 mm. Η υγρασία προστίθεται ή αφαιρείται από το έδαφος ανάλογα με το αν η τιμή της βροχόπτωσης P_n κάθε μήνα είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την αντίστοιχη δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_{pn} . Ισχύουν οι εξής περιπτώσεις για κάθε εξεταζόμενη χρονική περίοδο-μήνα n :

- $P_n > E_{pn}$
 - $S_n = \min \{ (P_n - E_{pn}) + S_{n-1}, S_{max} \}$
 - $S_n = S_{max}$ $\Delta Q = P_n - E_{pn}$
 - $S_n < S_{max}$ $\Delta Q = P_n - E_{pn} + (S_n - S_{max})$
- $P_n < E_{pn}$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-(E_{pn} - P_n)}{S_{max}} \cdot S \Rightarrow S_n = S_{n-1} * e^{\frac{E_{pn} - P_n}{S_{max}}}$$

Στην περίπτωση αυτή η υγρασία του εδάφους μειώνεται στο τέλος του μήνα n , κατά $D_n = S_{max} - S_n$.

Για την περίπτωση της λεκάνης απορροής του φράγματος Νεστορίου, επειδή το υψόμετρο του κέντρου βάρους της είναι 1398 m, θεωρούμε με βάση τις τιμές των θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, ότι η μέγιστη εδαφική υγρασία είναι πάντα σταθερή σε όλους τους μήνες και ίση με 93, 469 mm. Άρα η εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου γίνεται ως εξής: **Q = P-E**.

Πίνακας 3.1: επιφανειακή απορροή

Υδρο. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1982-83	23,46014	67,62579	91,84828	22,73845	58,752	55,27567	80,43332	44,4096	28,50184	21,35606	6,840847	8,731482	42,32584
1983- 84	7,308424	41,80744	67,67661	79,78278	76,07266	130,3115	157,9087	177,9027	56,6784	12,33996	7,155963	13,69186	69,02852
1984-85	24,74089	37,44678	60,16489	62,54344	45,81233	43,99286	157,6136	133,3101	34,96666	8,2944	5,671906	10,95756	52,09412
1985-86	30,36198	54,40151	36,59294	68,37798	130,647	126,4489	110,3989	146,26	62,35031	16,36518	6,912	11,25233	66,24339
1986-87	23,12471	44,02334	88,15949	100,4273	78,624	102,6127	138,0164	90,50664	57,10532	18,62174	7,155963	5,641412	62,7264
1987-88	13,44791	40,20141	48,2112	15,74513	27,56668	57,04433	78,89945	65,66384	16,22287	3,689788	3,090071	2,734306	31,02268
1988-89	4,279341	18,90636	55,71275	11,51661	28,20706	60,71379	52,33807	43,46428	27,60734	16,13139	6,820518	12,87868	28,21722
1989-90	30,70758	40,31322	40,66882	10,1962	14,95228	14,95228	43,15934	49,05487	22,99256	8,497694	5,366966	3,242541	23,69393
1990-91	6,271624	37,60941	62,56376	37,97534	62,95002	127,6382	193,9426	143,7188	90,16094	19,01816	7,410071	3,313694	65,90795
1991-92	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	0
1992-93	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	0
1993-94	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	0
1994-95	7,023812	15,85694	10,80608	24,40546	55,44847	68,55078	76,2048	113,2145	44,99915	14,00696	11,69968	16,09073	36,04649
1995-96	6,2208	32,77101	68,57111	40,14042	59,99209	63,61073	63,87501	57,60339	15,96875	8,711153	5,580424	12,25864	36,19652
1996-97	29,24386	47,21506	61,344	61,75059	21,04094	31,60207	71,41722	103,6393	20,80715	5,244988	3,669459	2,531012	36,46325
1997-98	12,54325	36,49129	43,39313	23,88706	62,99062	44,18598	64,82033	34,7328	42,63078	8,019963	6,454588	27,67849	33,64518
1998-99	48,93289	67,47332	86,18664	32,46607	44,50108	91,17741	178,8887	129,4069	33,57402	14,72866	6,007341	20,89864	62,86871
1999-00	24,89336	109,8806	126,3168	64,79984	85,12941	79,70146	108,0712	61,66927	18,57092	10,79492	7,176282	13,41741	59,02645
2000-01	19,01816	32,30344	12,14682	21,68132	20,42089	43,48461	50,87436	40,23191	12,11633	5,153506	7,501563	6,596894	22,61647
2001-02	4,045553	8,060612	16,18221	13,66136	22,69779	64,34259	94,54193	36,61327	11,20151	8,274071	10,368	61,6896	29,2032
2002-03	62,81788	30,86006	136,2884	155,9571	76,896	60,66296	101,5962	88,92086	38,97148	18,89619	16,13139	7,064471	66,40602
Μέση τιμή	21,02456	42,40264	61,82344	47,11341	54,0384	70,35048	101,2777	66,68406	35,30146	12,11915	7,278494	13,37054	45,98513

Πίνακας 3.2: υπόγεια απορροή

Υδρο Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1982-83	4,14025	11,93396	16,20852	4,012667	10,368	9,75453	14,19411	7,836988	5,029736	3,768714	1,207208	1,54086	7,469265
1983-84	1,289722	7,377783	11,94293	14,07931	13,42459	22,99615	27,86624	31,39459	10,00207	2,177639	1,262815	2,41621	12,1815
1984-85	4,36604	6,608255	10,61733	11,03708	8,084529	7,763444	27,81422	23,52531	6,170574	1,463718	1,000925	1,933686	9,19308
1985-86	5,357996	9,600266	6,457578	12,0667	23,05635	22,31452	19,48215	25,81058	11,003	2,887972	1,219765	1,985705	11,69001
1986-87	4,09083	7,768825	15,55738	17,72246	13,87482	18,10812	24,35583	15,97174	10,07741	3,28619	1,262815	0,995543	11,06936
1987-88	2,37316	7,094367	8,507856	2,778552	4,864709	10,06665	13,92326	11,58597	2,86286	0,651139	0,545307	0,482525	5,474591
1988-89	0,755178	3,336415	9,831662	2,032343	4,977716	10,7142	9,23613	7,670167	4,871884	2,846716	1,203621	2,272709	4,97951
1989-90	5,418984	7,114098	7,175087	1,799153	2,638638	2,638638	7,616354	8,656742	4,057511	1,499593	0,947111	0,572213	4,181282
1990-91	1,105757	6,636955	11,04066	6,701531	11,10883	22,52436	34,22516	25,36214	15,91075	3,356147	1,30766	0,58477	11,63082
1991-92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992-93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993-94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994-95	1,239496	2,798284	1,906779	4,306846	9,785024	12,0972	13,44791	19,97903	7,941027	2,471817	2,064631	2,83954	6,714087
1995-96	1,097788	5,78312	12,10078	7,083604	10,58684	11,22542	11,27206	10,1653	2,818015	1,537262	0,984781	2,163288	6,387621
1996-97	5,160681	8,332069	10,82541	10,89716	3,713107	5,576836	12,60304	18,2893	3,671851	0,925586	0,647552	0,446649	6,787632
1997-98	2,213514	6,43964	7,657611	4,215363	11,11421	7,797525	11,43888	6,129318	7,523078	1,415286	1,139045	4,88444	5,937384
1998-99	8,635217	11,90706	15,20998	5,729307	7,853132	16,09013	31,56859	22,83651	5,924828	2,599175	1,060119	3,687994	11,09448
1999-00	4,392947	19,39067	22,2912	11,4335	15,02284	14,06496	19,07138	10,88281	3,277221	1,904985	1,266403	2,357779	10,41643
2000-01	3,356147	5,700606	2,143557	3,826115	3,603687	7,673756	8,977827	7,099748	2,138176	0,909442	1,323803	1,164158	3,991142
2001-02	0,713921	1,422461	2,855684	2,410829	4,005492	11,35457	16,63387	6,461165	1,976736	1,46013	1,829647	10,8864	5,153506
2002-03	11,08551	5,445891	24,05089	27,52184	13,56988	10,70523	17,92875	15,69191	6,87732	3,334621	2,846716	1,246671	11,71871
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	3,180186	6,413844	9,351444	7,126398	8,173876	10,64125	15,31932	13,11187	5,339716	1,833149	1,100949	2,022435	6,955734

Πίνακας 3.3: συνολική απορροή (επιφ + υπογ)

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1982-83	27,60017	79,55975	108,0568	26,75111	69,12	65,0302	94,62743	52,24659	33,53157	25,12476	8,048055	10,27233	49,7551
1983- 84	8,598145	49,18522	79,61954	93,86209	89,49725	153,3077	185,7749	209,2973	66,68047	14,51759	8,418768	16,10807	81,21002
1984-85	29,10693	44,05503	70,78223	73,58051	53,89686	51,75629	185,4282	156,8354	41,13716	9,758118	6,67283	12,89124	61,2872
1985-86	35,71997	64,00177	43,05052	80,44468	153,7023	148,7635	129,881	172,0705	73,3533	19,25315	8,131765	13,23803	77,9334
1986-87	27,20554	51,79217	103,7159	118,1498	92,49882	120,7208	162,3722	106,4783	67,18273	21,90793	8,418768	6,636955	73,79576
1987-88	15,82107	47,29578	56,71906	18,52368	32,43139	67,11098	92,8217	77,23981	19,08573	4,340927	3,635377	3,21683	36,49727
1988-89	5,034519	22,24277	65,54442	13,54896	33,18478	71,42799	61,5742	51,13445	32,47922	18,9781	8,024138	15,15139	33,19673
1989-90	36,12656	47,42732	47,83391	11,99435	17,59092	17,59092	50,7757	57,71161	27,05008	9,997287	6,314076	3,814754	27,87521
1990-91	7,378381	44,24637	73,60443	44,67687	74,05885	150,1626	228,1678	169,0809	106,0717	22,37431	8,71773	3,898464	77,53877
1991-92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992-93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993-94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994-95	8,263308	18,65522	12,71186	28,7123	65,23349	80,64797	89,65271	133,1935	52,94018	16,47878	13,76421	18,93027	44,76058
1995-96	7,318588	38,55413	80,67189	47,22403	70,57893	74,83615	75,14707	67,76869	18,78677	10,24842	6,565204	14,42192	42,58414
1996-97	34,40454	55,54713	72,16941	72,64775	24,75405	37,17891	84,02026	121,9286	24,479	6,170574	4,31701	2,977661	45,25088
1997-98	14,75676	42,93093	51,05074	28,10242	74,09473	51,9835	76,25921	40,86212	50,15385	9,435239	7,593633	32,56293	39,58256
1998-99	57,56811	79,38037	101,3959	38,19538	52,35421	107,2675	210,4572	152,2434	39,49885	17,32783	7,06746	24,58663	73,96318
1999-00	29,28631	129,2711	148,608	76,22334	100,1522	93,76642	127,1425	72,55208	21,84814	12,6999	8,442685	15,78519	69,44288
2000-01	22,37431	38,00404	14,29038	25,50743	24,02458	51,15837	59,85218	47,33165	14,25451	6,062948	8,825356	7,761052	26,60761
2001-02	4,759474	9,483073	19,0379	16,07219	26,70328	75,69716	111,2258	43,07444	13,17824	9,734201	12,19765	72,576	34,35671
2002-03	73,90339	36,30594	160,3393	183,4789	90,46588	71,36819	119,525	104,6128	45,8488	22,23081	18,9781	8,311142	78,12473
μέση τιμή	21,20124	42,75896	62,34296	47,50932	54,4925	70,94167	102,1288	87,41248	35,59811	12,22099	7,339658	13,4829	46,37156

3.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.

Για να εκτιμηθεί το ιδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής, θα πρέπει να γνωρίζουμε τα διάφορα στοιχεία της επιφανειακής απορροής. Θα πρέπει δηλαδή να υπάρχουν μετρήσεις παροχών, βροχόπτωσης αλλά και εξατμισοδιαπνοής. Κάτι τέτοιο πολλές φορές είναι δύσκολο να συμβεί, δηλαδή να έχουμε όλα αυτά τα στοιχεία γνωστά. Συνήθως αυτά που γνωρίζουμε είναι η τιμές της βροχόπτωσης, και με τη σειρά μας εμείς ερχόμαστε και υπολογίζουμε την εξατμισοδιαπνοή βάση κάποιου μοντέλου και έπειτα μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική απορροή η οποία είναι το άθροισμα της επιφανειακής και της υπόγειας απορροής. Εμείς όλα αυτά τα έχουμε υπολογίσει παραπάνω και παρουσιάζονται όλα αναλυτικά με το καλύτερο δυνατό τρόπο. Έτσι μπορούμε να περάσουμε στη εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου, όπου δίνεται με την παρακάτω σχέση (Τσακίρης, 1995):

$$P + \Delta SW - RO - ET = 0$$

Όπου:

P Οι βροχές και άλλες ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις για μια ορισμένη χρονική περίοδο, καθώς επίσης και τυχόν ποσότητες νερού άρδευσης

Q Η συνολική απορροή η οποία είναι το άθροισμα της **επιφανειακής (RO)** και της **υπόγειας – βαθιάς διήθησης (D)**. Είναι γνωστό ότι το νερό φθάνοντας στην επιφάνεια του εδάφους ως κατακρημνίσματα, έχει τρεις δυνατότητες:

1. Να κατεισδήσει στο έδαφος φθάνοντας στην επιφάνεια του εδάφους, εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς. Η ποσότητα αυτή αποτελεί τη βαθιά διήθηση (**D**).

2. Να ρεύσει επιφανειακά και μέσω του υδρογραφικού δικτύου να καταλήξει στη θάλασσα ή σε κάποιο άλλο επιφανειακό αποδέκτη, αυτή η ποσότητα είναι η επιφανειακή απορροή **RO**.

3. Να εξατμιστεί από την επιφάνεια του εδάφους, αυτή η ποσότητα είναι η εξατμισοδιαπνοή **ET**.

ΔSW Η αλλαγή του περιεχόμενου νερού της εδαφικής κατανομής. Συνήθως λαμβάνεται ίσο με μηδέν υπό προϋποθέσεις.

Για τη μελέτη του ισοζυγίου με χρονικό βήμα ενός μήνα, καταρτίζουμε τον πίνακα του ισοζυγίου μήνα – μήνα. Στην περίπτωση όπου τους καλοκαιρινούς μήνες, η εξατμισοδιαπνοή είναι μεγαλύτερη από τη βροχόπτωση και η απορροή θα έπαιρνε θεωρητικά αρνητικές τιμές, θεωρούμε ότι οι τιμές της απορροής είναι μηδέν και ότι εξατμίζεται ένα ποσοστό της αρχικής εδαφικής υγρασίας.

Παρακάτω δίνεται ο πίνακας που μας δίνει τη διαφορά των τιμών της βροχόπτωσης μείον την εξατμισοδιαπνοή (χρήση ET σύμφωνα με τους BLANEY – CRIDDLE, διότι έχουμε τις ιδανικότερες τιμές της εξατμισοδιαπνοής).

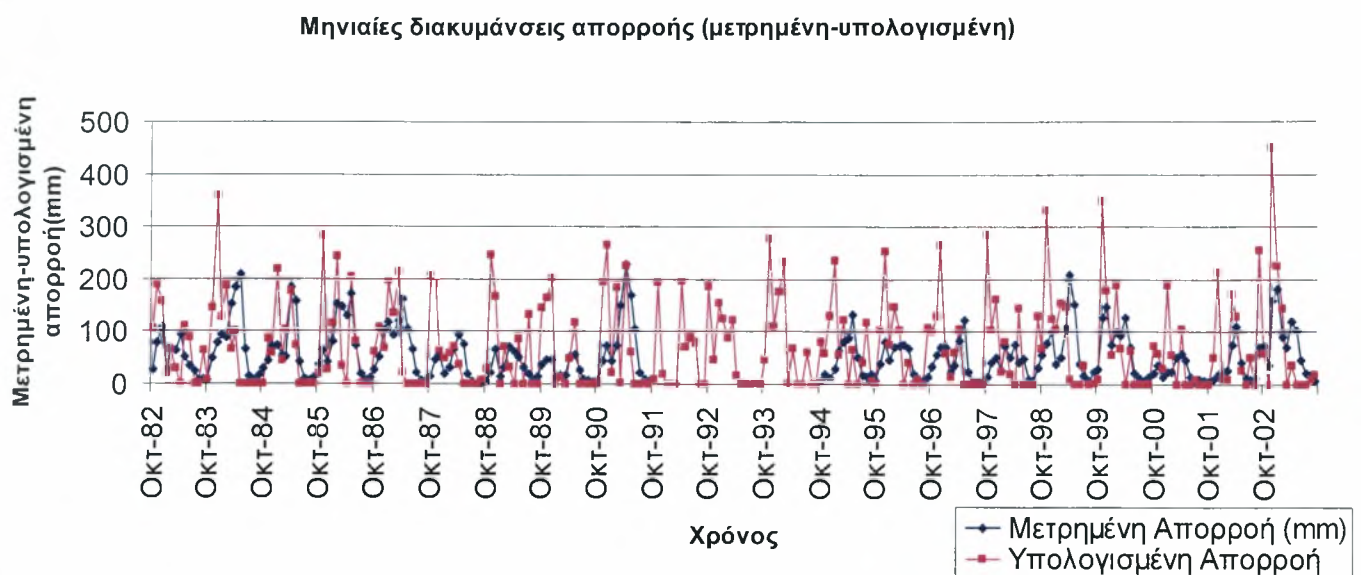
Έπειτα σε σύγκριση με τον παραπάνω πίνακα 3.3 της συνολικής απορροής (επιφανειακή και υπόγεια), μπορούμε να έχουμε την επαλήθευση της σχέσης του υδρολογικού ισοζυγίου, πιο συγκεκριμένα ότι:

Βροχόπτωση – εξατμισοδιαπνοή = απορροή (επιφανειακή + υπόγεια)

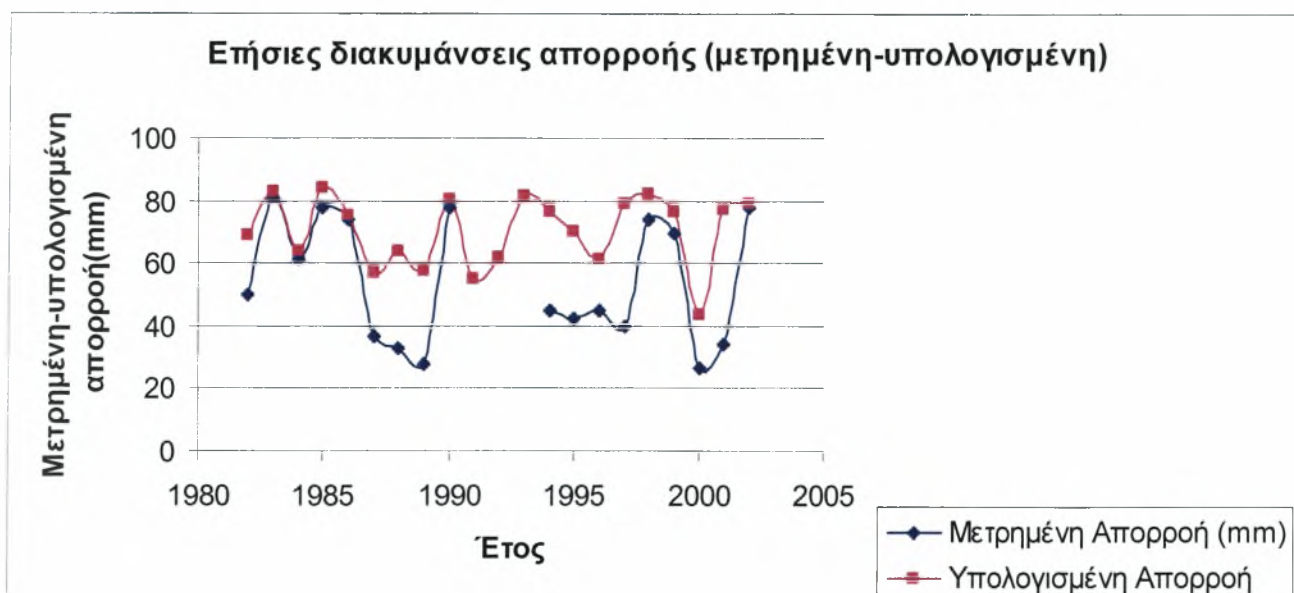
Πίνακας 3.4: Διαφορά μεταξύ βροχόπτωσης και εξατμισοδιαπνοής

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1982-83	104,894	189,02	158,297	19,536	65,607	30,428	0	110,241	89,059	0	0	63,991
1983-84	6,192	144,166	360,624	128,638	187,76	66,586	100,636	0	0	0	0	0
1984-85	0	85,24	58,63	219,6	43,824	103,28	178,45	74,66	0	0	0	0
1985-86	19,684	283,756	26,384	115,38	242,647	35,292	0	204,231	80,425	0	0	0
1986-87	61,395	107,495	70,1	196,994	134,781	215,11	21,17	0,226	0	0	0	0
1987-88	207,043	191,006	63,192	48,876	59,921	71,201	36,1	0	0	0	0	6,755
1988-89	29,887	246,606	167,1	0	71,97	33,047	0	87,248	0	132,534	0	0
1989-90	144,278	165,037	202,282	0	12,09	0	49,88	118,838	0	0	0	0
1990-91	2,306	194,326	266,472	22,49	185,572	1,314	227,36	61,608	0	0	3,38	0
1991-92	10,73	194,78	20,925	0	0	0	195,996	70,709	89,49	77,76	0	0
1992-93	186,691	47,706	156,381	125,829	89,754	122,519	17,303	0	0	0	1,377	0
1993-94	46,908	279,448	111,805	176,734	233,125	1,765	67,843	0	0	61,705	0	0
1994-95	80,667	59,368	130,424	235,697	55,627	122,713	0	67,678	0	42,19	117,21	5,381
1995-96	0	102,912	253,78	75,807	146,924	104,268	0	42,226	0	10,277	0	109,23
1996-97	100,294	130,569	265,946	58,479	15,464	62,62	105,73	0	0	0	0	0
1997-98	284,902	103,491	161,862	24,663	82,411	19,19	0	145,356	0	0	0	129,911
1998-99	68,954	332,253	125,44	105,814	155,884	146,935	10,501	0	0	37,297	0	2,897
1999-00	9,216	349,237	179,047	55,568	189,017	70,061	0	63,71	0	0	0	0
2000-01	73,022	59,707	30,39	190,35	56,664	0	105,939	0	0	10,053	0	0
2001-02	0	52,846	213,54	11,365	10,826	172,305	130,288	28,04	0	52,112	0	255,616
2002-03	59,795	0,114	450,674	225,771	144,182	0	36,783	0	0	0	9,197	20,411

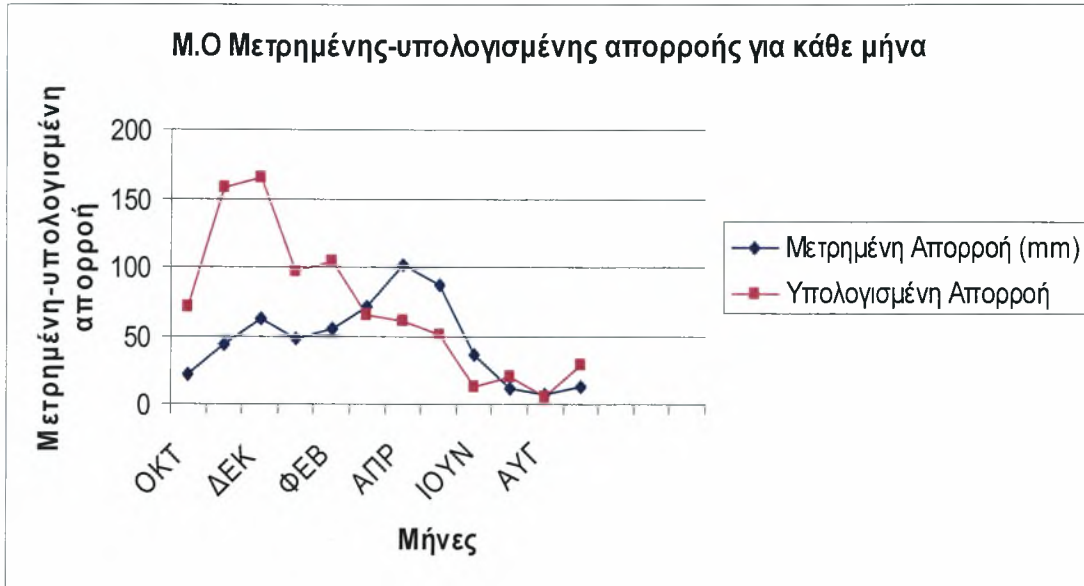
Παρακάτω δίνονται τα διαγράμματα της μετρημένης και της υπολογισμένης απορροής όπου σύμφωνα με αυτά θα μπορεί να γίνει σύγκριση τους και βγουν τα συμπεράσματα.



Σχ.3.1 Μηνιαίες διακυμάνσεις απορροής (μετρημένη-υπολογισμένη)



Σχ.3.2 Ετήσιες διακυμάνσεις απορροής (μετρημένη-υπολογισμένη)



Σχ.3.3 Μέσος όρος Μετρημένης-υπολογισμένης απορροής για κάθε μήνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

Συζήτηση - συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη διατριβή ως θέμα της έχει την υδρολογική διερεύνηση της λεκάνης απορροής του φράγματος Νεστορίου. Επομένως εμείς ως σκοπό είχαμε να μελετήσουμε το υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής.

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Αλιάκμονα στη θέση Νεστόριο που εντάσσεται στο νομό της Καστοριάς, είναι υπολεκάνη του δυτικού κλάδου του ποταμού και βρίσκεται στο δυτικότερο άκρο της Μακεδονίας. Συγκεκριμένα, στην ανατολική ομβροπλευρά του όρους Γράμου και σε γεωγραφική θέση του κέντρου βάρους της $20^{\circ} 53' \text{A.M}$ και $40^{\circ} 25' \text{B.Π}$. Το στόμιο της λεκάνης έχει υψόμετρο 780 m, ενώ το μεγαλύτερο υψόμετρο του υδροκρίτη είναι στο +2520. Η λεκάνη η οποία καλύπτει την έκταση των 255,3 Km² και έχει ένα μέσο υψόμετρο γύρω στα 1398 m. Αυτή διαθέτει ένα αρκετά αναπτυγμένο αλλά και ταυτόχρονα πυκνό υδρογραφικό δίκτυο. Εδώ σ' αυτό το σημείο είναι απαραίτητο να αναφέρουμε να ότι το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης καλύπτεται από προϊόντα αποσάθρωσης τριτογενών αποθέσεων (72,2%) αλλά και από αποσάθρωση μικτού φλύσχη (22,3%). Τα περισσότερα από αυτά, τα εδάφη, είναι βαθιά. Στη συνέχεια κατατάσσονται τα εδάφη με μικρότερο ποσοστό συνολικής κάλυψης (3,5%), αυτά είναι εδάφη από αποσάθρωση σκληρών ασβεστολίθων, και κατά το μεγαλύτερο μέρος τους είναι αβαθή έως και γυμνοί βράχοι. Η λεκάνη παρουσιάζει στο μεγαλύτερο μέρος της πλούσια δασική βλάστηση, με εξαίρεση κυρίως τον ορεινό όγκο του Γράμμου στα δυτικά, όπου η βλάστηση είναι πολύ αραιή και το ανατολικότερο άκρο της λεκάνης, εκατέρωθεν της κύριας κοίτης, όπου παρατηρείται και μια έντονη ανθρωπογενής επίδραση αλλά έχουμε και ανάπτυξη των καλλιεργειών. Ακόμα οι ζώνες βλάστησης που εμφανίζονται στη περιοχή μελέτης μας είναι της φυλλοβόλου δρυός, της ελάτης (διαπλάσεις ελάτης, οξιάς και μαύρης πεύκης). Στα μεγαλύτερα υψόμετρα συναντάμε την ψευδαλπική ζώνη, η οποία αποτελείται από λιβάδια.

Όσον αφορά τώρα την ευρύτερη περιοχή μελέτης, αυτή καλύπτεται από ένα επαρκές βροχομετρικό δίκτυο το οποίο μας βοήθησε και στον σωστό υπολογισμό της μηνιαίας χρονοσειράς της επιφανειακής βροχόπτωσης που

εισέρχεται στη λεκάνη. Για τη συλλογή αυτών των βροχομετρικών δεδομένων βασικό ρόλο έπαιξαν και οι σταθμοί του:

- Πεύκου (ΔΕΗ) στο κέντρο της λεκάνης,
- του Νεστορίου (ΙΔΕ και στη συνέχεια ΔΕΗ) ακριβώς στην έξοδο της λεκάνης,
- του Πληκατίου (ΔΕΗ) σε πολύ μικρή απόσταση (περίπου 5 km προς τα ΝΔ) από τον υδροκρίτη της υπό μελέτη περιοχής (λεκάνης),
- έπειτα ο σταθμός στη θέση της Δαμασκηινιάς (ΔΕΗ) περίπου 11 km ΝΑ των ορίων του υδροκρίτη αλλά και των σταθμών του,
- άλλος σταθμός είναι του Άργους Ορεστικού και
- του Πενταλόφου, οι οποίοι βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του Νεστορίου. Μετά από την επεξεργασία των δεδομένων των χρονοσειρών μας για όλους τους σταθμούς της λεκάνης απορροής μας καταφέραμε να βρούμε πως μεταβάλλεται ο υετός με το υψόμετρο (για τους σταθμούς που έχουμε χρησιμοποιήσει), έτσι προκύπτει η εξίσωση της βροχόπτωσης η οποία είναι η εξής: $P = 1,1618H - 171$ με συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0,9582$.

Στη συνέχεια βρήκαμε την εξαμυσοδιαπνοή με τον τύπο του Blaney – Criddle. Από τις τιμές της συνολικής απορροής Q , προκύπτει η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου $P = Q + E$ και ικανοποιείται όταν η ET υπολογίζεται με τον τύπο των Blaney – Criddle.

Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων της μετρημένης απορροής Q και της υπολογισμένης απορροής Q στη θέση του φράγματος Νεστορίου, από τα διάγραμμα που δίνει όλους τους μήνες για όλα τα έτη, προκύπτει ότι η υπολογισμένη απορροή μηδενίζεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Επιπλέον έχουμε μια υστέρηση των μέγιστων τιμών της μετρημένης απορροής από την υπολογισμένη και αυτό διότι βρισκόμαστε σε μεγάλο υψόμετρο, επομένως το νερό προέρχεται στη λεκάνη από τήξη του χιονιού όπου αυτόν τον παράγοντα δεν τον έχουμε συμπεριλάβει στο μοντέλο μας. Το κέντρο βάρους της λεκάνης με υψόμετρο 1398 m, βρίσκεται έξω από το εύρος των υψομέτρων των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της ευθείας βροχόπτωσης-υψομέτρου. Ο αμέσως προηγούμενος σταθμός, έχει

υψόμετρο 1250 m. Το γεγονός αυτό αποτελεί άλλον ένα παράγοντα αβεβαιότητας στην εύρεση του υδατικού ισοζυγίου.

Σε ετήσιο επίπεδο σύμφωνα με το διάγραμμά μας παρατηρούμε μια πιο ομοιόμορφη σύμπτωση των τιμών αθροίζοντας όλα τα μηνιαία υδατικά ισοζύγια.

Αυτό το μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε λειτουργεί καλύτερα σε πεδινές και ημιορεινές περιοχές (Λουκάς, Α., Βασιλειάδης, Λ. και Μπαστρογιάννης, Ν., 2003), καθώς και (Ψιλοβίκος Αρ., Ζαρκάδας Π., 2006).

Τέλος η λεκάνη απορροής του φράγματος Νεστορίου Καστοριάς χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση με διάφορες άλλες μεθόδους που μπορεί να μας δώσει πιο ακριβή αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

Βιβλιογραφία

1. Adams, F.D., 1954. The birth and development of geological sciences. Dover Publ., New York, 426-460.
2. Alley, W.M.. 1984. "On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting and aquifer recharge in monthly water balance models", *Water Resources Research*. 20(8). pp. 1137-1149.
3. Alley, W.M.. 1985. "Water balance models in one-month-ahead stream flow forecasting. *Water Resources Research*, 21(4), pp. 597-606.
4. Amell, N.W.. 1992. "Factors controlling the effects of climate change on river flow regimes in a humid temperate environment". *Journal of Hydrology*, 132, pp. 321-342
5. Biswas, A.K., 1969. A short history of hydrology. In: Progress of hydrology, Proc.of the First International Seminar for Hydrology Professors, Univ. of Illinois, Urbana, 111., 914-936.
6. Chow, V.T., 1964. Hydrology and its development. In: Handbook of applied hydrology (Chow V.T., ed.). McGraw-Hill Book Co., New York, Chapter 1, 1-10.
7. Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays, 1988. Applied hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York, Chapter 1, 1-49.
8. Creutin, J., G. Delrieu and T. Lebel, 1988. Rain measurement by raingage -combination : A geostatistical approach . *Journal of Atmosp. Ocean Vol.5*, 102-115.
9. Gabos, A. and Gaspairi, L., 1983. "Monthly runoff model for regional planning", *Water International*, 8, pp. 42-45.

10. Gleick, P. H., 1996: Water resources. In *Encyclopedia of Climate and Weather*, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.
11. Gumbel, E.J., 1941. The return period of flood flows. *Ann. Math. Stat.*, Vol. 12, no 2, 163-190.
12. Guo, S., Wang, J., Xiong, L., Ying, A. and Li, D., 2002. "A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts in China", *Journal of Hydrology*, 268, pp. 1-15.
13. Knight, C.G., Chang, R, Staneva, P.M. and Kostov, D., 2001. "A implified basin model for simulating runoff: The Struma River GIS", *Professional Geographer*, 53(4), pp. 533-545.
14. Krajewski, W.F., 1987. CoKriging of radar and rain gage data. *J. of Geoph. Res.*, Vol. 92(08), 9571-9580.
15. Legates, D.R., 1988. "A climatology of global precipitation". *Publications in Climatology 40. no. 1*, Newark, DE: Center for Climatic Research, University of Delaware.
16. Linsley, R.K., M.A. Kohier and J.L.H. Paulhus, 1949. *Applied hydrology*. McGraw-Hill Book Co., New York, 1-4.
17. Meinzer, O.E., 1942. Definition of hydrology. In: *Hydrology* (Meinzer, O.E., ed.). Dover Publ. Inc., New York, 1-31.
18. Mimikou, Mand Rao, A.R., 176. Estimation of Lateral Inflow Hydrographs. *Proc. Of the Inland Waterways for Navigation, Flood Control and Water Diversions Symposium " Rivers", ASCE*, Vol 1, 399 – 421, Colorado State Univ., Colo, USA.
19. Overton, D.E. and Meadows, ME., 1976. *Stormwater Modelling* Academic Press Ltd., London, U.K.
20. Panagoulia, D. and Dimou, G., 1997. "Linking space-time scale in hydrological modeling with respect to global climate change:

model properties and experimental, design", *Journal of Hydrology*, 194, pp. 15-37.

21. Papamichail, D.M. and I. Alexiou, 1998. Application of the theory of regionalized variables for estimating reference evapotranspiration in Greece. Proc. of an Int. Conference Protection and Restoration of the Environment IV, Halkidiki, Greece, Volume I, 222-229.
22. Papamichail, D.M. and E. Metaxa, 1996. Geostatistical analysis of spatial variability of rainfall and optimal design of a rain gauge network. *Water Resources Management*, Vol. 10, 107-127.
23. Perrin, C, Michel, C. and Andreassian, V.. 2001. "Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments", *Journal of Hydrology*, 242, pp. 275-301.
24. Pitman, W.V., 1973. "A mathematical model for generating monthly river flows from meteorological data in South Africa", *Report 2.-~3, Hydrological Research Unit, University of the Witwatersrand, Johannesburg*.
25. Psilovikos Ar., Vavliakis El., Margoni S., and Kontalou V., 2003: Determination of the runoff coefficient in the hydrological basins of the main torrents in Samos island after the fire of 2000 using orthophotomaps and GIS. International symposium: GIS and Remote Sensing: Environmental Applications, 7-9 November, Volos
26. Thomthwaite, CW. and Mather, J.R., 1955. "The water balance", *Publication in Climatology. Lab. Climatol Dresellnst. Technoi*, 8(8), pp. 1-104.
27. Thomthwaite, CW. and Mather, J.R., 1957. "Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water

- balance", *Publication in Climatology. Lab. Climatol. Dresellnst. Technoi*, 10(3), pp. 185-311.
28. Thomthwaite, C.W., 1948. "An approach toward a radiation classification of climate", *Geographical Reviews*, 38(1), pp. 55-94.
29. Vandewiele. G.L., Xu, C.-Y. and Win. N-L.. 1992. "Methodology and comparative study of monthly water balance models in Belgium. China and Burma", *Journal of Hydrology*, 134, pp. 315-347.
30. Wilson, E.M., 1990. *Engineering hydrology*. Fourth edition, 348 p.
31. World Meteorological Organization (WMO), 1986. "Intercomparison of models of snowmelt runoff". *Operational Hydrology No. 23 (WMO No. 646)*, Geneva.
32. Xu, C.-Y. and Singh, V.P., 1998. "A Review on Monthly Water Balance Models for Water Resources Investigations", *Water Resources Management*, 12(1), pp. 20-50.
33. Xu, C.-Y. and Vandewiele. G.L., 1995. "Parsimonious monthly rainfall-runoff models for humid basins with different input requirements", *Advances in Water Resources*, 18, pp. 39-48.
34. Yates, D.N. and Strzepek, K.M., 1998. "Modeling the Nile Basin under climatic change", *Journal of Hydrologic Engineering*, 3(2), pp.98-108.
35. Βαβλιάκης Ελ., 1989, « Τα συστήματα Qanat (Κανάτ) στην Ελλάδα. Μελέτη των συστημάτων Qanat στην Επαρχία Φυλλίδας Σερρών από μορφολογική, υδρογραφική και κοινωνικοοικονομική άποψη», Μονογραφία, Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεολογίας του Α.Π.Θ., Παράρτημα Αρ. 9, σελ. 93.
36. Δ. Κουτσογιάννης και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

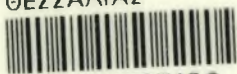
37. Λουκάς, Α., Βασιλειάδης, Λ. και Μπαστρογιάννης, Ν., 2003. "Υδρολογική Προσομοίωση Υδατικού Ισοζυγίου Λεκάνης Απορροής Γερμασόγειας, Κύπρος" *δίκτυο Μελέτης και Έρευνας Υδατικών Πόρων με Εφαρμογές στον Κυπριακό και Ελλαδικό Χώρο*, Ε. Σιδηρόπουλος (ed.). Τελική Έκθεση. Υποβλήθηκε στη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας, σελ. 32
38. Λουκάς Α., Βασιλειάδης Λ. και Μπαστρογιάννης Ν. (2003). Υδρολογική Προσομοίωση Υδατικού Ισοζυγίου Λεκάνης Απορροής Γερμασόγειας Κύπρος, πρακτικά Ημερίδας << Μελέτες και έρευνες Υδατικών Πόρων στον Κυπριακό Χώρο>>, σελ. 83-114, Λευκωσία, Κύπρος.
39. Ν. Μαυρονικολάου-Δ. Κάρκας & συνεργάτες Ε.Ε. «ΥΔΡΕΤΜΕ», Ν. Σούλης, Κ. Ζαϊμης, Γ. Καφετζής, Γ. Τυπάδης, Σ. Διακοσταυριανός, Π. Θεοδωρόπουλος, « Μελέτη Κατασκευής Φράγματος Νεστορίου Ν. Καστοριάς», Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Καστοριάς, Υδρολογική Μελέτη. Δεκέμβριος 2004.
40. Μιμίκου Μαρία. Α., «Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», β' έκδοση, Παπασωτηρίου, Αθήνα 1994. σελ. 50-52
41. Ξανθοπούλου Θεμ. Σ., «Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1990.
42. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1980. Υδρολογία επιφανειακών υδάτων. Έκδοση Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ.
43. Παπαμιχαήλ Δημ. Μ., «Τεχνική υδρολογία επιφανειακών υδάτων». Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη 2004.
44. Παπαμιχαήλ, Δ.Μ. και Ε. Μεταξά, 1993. Εκτίμηση της μέσης βροχόπτωσης και βέλτιστη επιλογή των θέσεων των βροχομετρικών σταθμών. Υδροτεχνικά, Τόμος 3(1), 75-91.



45. Σίνης Απ. Ι., «Λιμνολογία». Θεσσαλονίκη 1999, σελ. 105.
46. Τσακίρης, Γ., 1995. "Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υόρολη'ια". Εκδόσεις Συμμετρία, σελ. 675.
47. Ψιλοβίκος Αρης, 1999. Βέλτιστη Διαχείριση Υπόγειων Υδροφορέων. Συγκριτική Αξιολόγηση με τις μεθόδους Γραμμικού Προγραμματισμού. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αγρονόμων – Τοπογράφων Μηχανικών ΑΠΘ. Σελ 253.
48. Ψιλοβίκος Αρης, 2005. «Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων». Πανεπιστημιακές Σημειώσεις για το ομώνυμο μάθημα του Τμήματος Γεωπονίας Ζωικής Παραγωγής & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 210, Βόλος.
49. Ψιλοβίκος Αρ., Ζαρκάδας Π., 2006. «Διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς». Πρακτικά 10^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ, Ξάνθη, τόμος 1 σελ 63-70.
50. The URL for this page is:
<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html> Last Modified: Jul 02, 2007
51. <http://el.wikipedia.org/>



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000097456