



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ

ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου και της ποιότητας υδάτων στον
ποταμό Σοφαδίτη**

ΠΑΠΑΛΗΜΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΒΟΛΟΣ 2009

**Διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου και της ποιότητας υδάτων στον
ποταμό Σοφαδίτη**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) **Αρης Ψιλοβίκος**, Επίκουρος Καθηγητής Αειφορικής Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**
- 2) **Χρήστος Νεοφύτου**, Καθηγητής Ιχθυολογίας – Υδροβιολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**
- 3) **Στέργιος Βέργος**, Καθηγητής Δασοκομικής, Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, Παράρτημα Καρδίτσας, Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας, **Μέλος**

Ευχαριστίες

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία (Μ.Δ.Ε.) εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (Μ.Π.Σ.) με τίτλο «Αειφορική Διαχείριση Υδατικού Περιβάλλοντος» του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος (Τ.Γ.Ι.Υ.Π.), της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Το θέμα της Μ.Δ.Ε. είναι :

«Διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου και της ποιότητας υδάτων στον ποταμό Σοφαδίτη». Η εργασία αυτή αποτελεί καρπό μιας επίπονης ερευνητικής προσπάθειας, που είναι ενταγμένη στο πλαίσιο της ερευνητικής δραστηριότητας του Τ.Γ.Ι.Υ.Π. της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

- α) Τον επιβλέποντα της Μ.Δ.Ε., Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Άρη Ψιλοβίκο, για τις υποδείξεις, τις διορθώσεις και όλη την εποικοδομητική συνεργασία που είχαμε κατά το διάστημα εκπόνησης της εργασίας.
- β) Το μέλος της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής (Τ.Ε.Ε.) μου, Καθηγητή κ. Χρήστο Νεοφύτου, Κοσμήτορα της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Πρόεδρο του Τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος και Διευθυντή του Π.Μ.Σ. του Τμήματος, για την ευκαιρία που μου έδωσε να παρακολουθήσω το μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών και για την όλη καθοδήγηση και συμβουλές του στα διάφορα στάδια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας.
- γ) Το μέλος της Τ.Ε.Ε. μου, Καθηγητή κ. Στέργιο Βέργο, του Τμήματος Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος του Α.Τ.Ε.Ι. Λάρισας (Παράρτημα

Καρδίτσας) για τον χρόνο που διέθεσε και τις εποικοδομητικές κρίσεις του, συμβάλλοντας έτσι στην ορθή συγγραφή της συγκεκριμένης εργασίας.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω το Διευθυντή της Διεύθυνσης Υδάτων Περιφέρειας Θεσσαλίας, κ. Αθανάσιο Μπράχο, καθώς και την Προϊσταμένη της Ειδικής Υπηρεσίας Διαχείρισης Επιχειρησιακού Προγράμματος (Ε.Υ.Δ.Ε.Π.) Θεσσαλίας, κα Κωνσταντίνα Ζαμπούνη, οι οποίοι μου χορήγησαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τη φιλόλογο κα Παναγιώτα Σχοινά - Καραμαλίνγκα για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά της, όσον αφορά τη σύνταξη των κειμένων κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσης εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει σκοπό την ανάλυση του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής του ποταμού Σοφαδίτη (ή Ονόχωνου) που βρίσκεται δυτικά στον νομό Καρδίτσας. Με βάση την εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου έγινε προσπάθεια εκτίμησης των παραμέτρων του υδρολογικού κύκλου για την περιοχή του Σοφαδίτη ποταμού, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Στα πλαίσια της εργασίας συλλέχτηκαν και επεξεργάστηκαν κατάλληλα βροχομετρικά δεδομένα και θερμοκρασίες από τους μετεωρολογικούς σταθμούς στη λεκάνη απορροής.

Για την ανάλυση του υδατικού ισοζυγίου υπολογίστηκαν, χρησιμοποιώντας τις μεθοδολογίες που κρίθηκαν σε κάθε περίπτωση κατάλληλες, οι παράμετροι από τους οποίους εξαρτάται. Η πρώτη παράμετρος που παίζει σημαντικό ρόλο στον υδρολογικό κύκλο είναι ο όγκος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (P) που δέχεται η λεκάνη. Η δεύτερη παράμετρος του υδρολογικού ισοζυγίου που αναλύθηκε είναι η εξατμισοδιαπνοή (E). Για την παράμετρο της εξατμισοδιαπνοής αναλύθηκαν γνωστοί μέθοδοι υπολογισμού και τελικά έγινε εφαρμογή του τύπου του *Thornthwate* για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής στη λεκάνη απορροής που μελετήθηκε.

Η τελευταία παράμετρος του υδρολογικού ισοζυγίου που υπολογίστηκε είναι η κατείσδυση, δηλαδή η ποσότητα του νερού που χάνεται διαπερνώντας τους γεωλογικούς σχηματισμούς που καλύπτουν τη λεκάνη. Για την εκτίμηση του ποσοστού κατείσδυσης χρησιμοποιήθηκαν οι γεωλογικοί χάρτες της ευρείας περιοχής της λεκάνης απορροής. Με την χρήση του λογισμικού Arcmap δημιουργήθηκε μια πολυεπίπεδη βάση δεδομένων (ισοΰψεις καμπύλες, υδρογραφικό δίκτυο, υδροκρίτης, λιθολογικοί σχηματισμοί) ψηφιακών χαρτών από αντίστοιχους αναλογικούς χάρτες (τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 και γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000).

Η εκτίμηση των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου για τη λεκάνη απορροής του Σοφαδίτη ποταμού έδειξε ότι δέχεται ετησίως συνολικό όγκο νερού που ανέρχεται περίπου στα 388.977.600 m³. Η ποσότητα των 293.250.090 m³ του νερού αυτού χάνεται λόγω του φαινομένου της εξάτμισης και διαπνοής, ενώ ποσότητα 19.448.881,2 m³ κατεισδύει μέσω της διαπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών εμπλουτίζοντας τους υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής. Η τελική ποσότητα νερού που αποτελεί την επιφανειακή απορροή, εκτιμήθηκε στα 76.278.629,83 m³. Σημαντική επέμβαση στον υδρολογικό κύκλο της λεκάνης, αποτελεί η κατασκευή του φράγματος του Σμοκόβου το 2003, για την άρδευση και ύδρευση της ευρύτερης περιοχής των Σοφάδων αλλά και της λειτουργίας υδροηλεκτρικού σταθμού.

Λέξεις Κλειδιά: Σοφαδίτης ποταμός, Ταμιευτήρας Σμοκόβου, Υδατικό ισοζύγιο, Απορροή, Εξατμισοδιαπνοή, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1. Σημασία των έργων ταμείωσης επιφανειακών υδάτων	15
1.2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	18
1.3. Υδρολογία	21
1.3.1. Γενικά	21
1.3.2. Αντικείμενο της υδρολογίας	21
1.3.3. Υδρολογικός κύκλος	24
1.4. Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής	28
1.4.1. Σημασία του υδατικού ισοζυγίου	28
1.5. Εξατμισοδιαπνοή	31
1.5.1. Εξατμισοδιαπνοή και οι παράγοντες που την επηρεάζουν	31
1.5.2. Κατείδυση	34
1.5.2.1. Ορισμός της κατείδυσης	34
1.5.3. Επιφανειακή απορροή	36
1.5.3.1. Ορισμός της επιφανειακής απορροής	36
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	39
2.1. Μέθοδοι υπολογισμού των ατμοσφαιρικών Κατακρημνισμάτων	39
2.2. Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής	42
2.2.1. Εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής	42
2.2.2. Εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής	44
2.3. Μέθοδοι υπολογισμού της κατείδυσης	45
2.4. Μέθοδοι υπολογισμού της επιφανειακής απορροής	45
2.5. Μοντέλα υδατικού ισοζυγίου	46
2.5.1. Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου <i>Abulohom</i>	46

2.5.2. Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου <i>Loukas</i>	48
2.5.3. Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου <i>Giakoumakis</i>	50
2.5.4. Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου <i>L. Xiong – S. Guo</i>	52
2.6. Ποιότητα υδάτινων σωμάτων	54
2.7. Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου	56
2.7.1. Γεωγραφικές πληροφορίες	56
2.7.2. Μέρη - τμήματα ενός ΓΣΠ	57
2.7.3. Γ.Π.Σ. και διαχείριση υδάτινων πόρων	58
2.8. Περιοχή έρευνας	62
2.8.1. Περιοχή έρευνας και σχετικά έργα	62
2.8.2. Φράγμα Σμοκόβου	63
2.8.3. Προσδιορισμός λεκάνης απορροής Σοφαδίτη	66
2.8.4. Υδρολογικά δεδομένα	68
2.8.5. Γεωλογικά δεδομένα	69
2.8.5.1. Υποπελαγονική Ζώνη	71
2.8.5.2. Γεωλογία περιοχής μελέτης	73
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	74
3.1. Θεματικοί χάρτες Γεωγραφικών Πληροφοριών	74
3.1.1. Οπτική σάρωση και γεωαναφορά	74
3.1.2. Δημιουργία θεματικών επιπέδων	75
3.1.2.1. Όριο περιοχής	78
3.1.2.2. Όρια φύλλων χάρτη της Γ.Υ.Σ	79
3.1.2.3. Ισοϋψείς	80
3.1.2.4. Τρισδιάστατος χάρτης περιοχής μελέτης(DEM)	81

3.1.2.5.	Υδρογραφικό δίκτυο	82
3.1.2.6.	Χάρτης κλίσεων	83
3.1.2.7.	Σταθμοί μέτρησης	84
3.1.2.8.	Υπολεκάνες απορροής Σοφαδίτη	86
3.1.2.9.	Γεωλογικός χάρτης	87
3.2.	Αποτελέσματα υδατικού ισοζυγίου	88
3.2.1.	Η εφαρμογή των μοντέλων στον ποταμό Σοφαδίτη	88
3.2.1.1.	Βροχοβαθμίδα περιοχής μελέτης	88
3.2.1.2.	Εξατμισοδιαπνοή	92
3.2.1.3.	Κατείσδυση	100
3.2.1.4.	Επιφανειακή απορροή	103
3.3.	Αποτελέσματα της ποιότητας νερού	107
3.4.	Περιβαλλοντικοί όροι λειτουργίας ταμιευτήρα	111
4.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	113
	Βιβλιογραφία	120
	Abstract	126
	Παράρτημα	128

Κατάλογος Σχημάτων:

Σχήμα 2.1	Υδρολογικός κύκλος
Σχήμα 2.2	Οι κατηγορίες της εξατμισοδιαπνοής
Σχήμα 2.3	Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας
Σχήμα 2.4	Φράγμα Σμοκόβου
Σχήμα 2.5	Υδροκρίτης - κύριοι ποταμοί – θέση φράγματος
Σχήμα 2.6	Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων Ζωνών
Σχήμα 2.7	Γεωλογική τομή, (Φ.Χ. Φουρνά)
Σχήμα 2.8	Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη, αντιπροσωπευτική της ζώνης Ωλονού – Πίνδου
Σχήμα 3.1	Υδροκρίτης λεκάνης απορροής Σοφαδίτη
Σχήμα 3.2	Φύλλα χάρτη ΓΥΣ που περικλείουν την περιοχή μελέτης
Σχήμα 3.3	Ισοϋψείς καμπύλες – DEM περιοχής μελέτης
Σχήμα 3.4	Τρισδιάστατος χάρτης λεκάνης απορροής ποταμού Σοφαδίτη
Σχήμα 3.5	Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης
Σχήμα 3.6	Χάρτης κλίσεων περιοχής μελέτης
Σχήμα 3.7	Θέσεις των σταθμών μέτρησης υετόπτωσης και θερμοκρασίας.
Σχήμα 3.8	Υπολεκάνες ποταμού Σοφαδίτη
Σχήμα 3.9	Γεωλογικό υπόβαθρο λεκάνης απορροής
Σχήμα 3.10	Βροχοβαθμίδα περιοχής μελέτης
Σχήμα 3.11	Διακύμανση μέσου ύψους βροχής στην θέση Ανάβρα
Σχήμα 3.12	Διακύμανση μέσου ύψους βροχής στην θέση Λουτροπηγή
Σχήμα 3.13	Διακύμανση μέσου ύψους βροχής στην θέση Βαθύλακκος
Σχήμα 3.14	Διακύμανση μέσου ύψους βροχής στην θέση Ρεντίνα
Σχήμα 3.15	Μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων (P) σε mm στην λεκάνη απορροής Ρεντινιώτη
Σχήμα 3.16	Μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων (P) σε mm mm στην λεκάνης απορροής Σμοκοβίτη
Σχήμα 3.17	Μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων (P) σε mm mm στην λεκάνης απορροής Ονόχωνου
Σχήμα 3.18	Μέσες μηνιαίες τιμές P και Et στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Ρεντινιώτη
Σχήμα 3.19	Μέσες μηνιαίες τιμές P και Et στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του

	Ρεντινιώτη
Σχήμα 3.20	Μέσες μηνιαίες τιμές P και E_t στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Ονόχωνου
Σχήμα 3.21	Μέσες μηνιαίες τιμές P και E_t στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Ονόχωνου
Σχήμα 3.22	Μέσες μηνιαίες τιμές P και E_t στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Σμοκοβίτη
Σχήμα 3.23	Μέσες μηνιαίες τιμές P και E_t στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Σμοκοβίτη
Σχήμα 3.24	Μέσες μηνιαίες τιμές κατείσδυσης στην λεκάνη απορροής Σμοκοβίτη
Σχήμα 3.25	Μέσες μηνιαίες τιμές κατείσδυσης στην λεκάνη απορροής του Ρεντινιώτη
Σχήμα 3.26	Μέσες μηνιαίες τιμές κατείσδυσης στην λεκάνη απορροής του Ονόχωνου
Σχήμα 3.27	Απορροή και Κατακρημνίσματα στην λεκάνη του Ονόχωνου
Σχήμα 3.28	Απορροή και Κατακρημνίσματα στην λεκάνη του Ρεντινιώτη
Σχήμα 3.29	Απορροή και Κατακρημνίσματα στην λεκάνη του Σμοκοβίτη
Σχήμα 3.30	Συνολική απορροή στην λεκάνη απορροής του Σοφαδίτη

Κατάλογος Πινάκων:

Πίνακας 2.1	Μέσο ύψος βροχής ανά έτος
Πίνακας 3.1	Οι συντεταγμένες των τοπογραφικών χαρτών Λεονταρίου, Φουρνών, Καρδίτσας και Σοφάδων
Πίνακας 3.2	Θεματικά επίπεδα και τύπος δομικών στοιχείων
Πίνακας 3.3	Ονομασία σταθμών και υψόμετρα.
Πίνακας 3.4	Θερμοβαθμίδα περιοχής μελέτης ανά μήνα (°C)
Πίνακας 3.5	Η εξατμισοδιαπνοή στην λεκάνη απορροής Σμοκοβίτη
Πίνακας 3.6	Η εξατμισοδιαπνοή στην λεκάνη απορροής Ρεντινιώτη
Πίνακας 3.7	Η εξατμισοδιαπνοή στην λεκάνη απορροής Ονόχωνου
Πίνακας 3.8	Θεματικά επίπεδα γεωλογικών σχηματισμών
Πίνακας 3.9	Μέση μηνιαία κατείσδυση στις υπολεκάνες απορροής (mm)
Πίνακας 3.10	Παράγοντες για υπολογισμό συντελεστή C'
Πίνακας 3.11	Μέση μηνιαία απορροή στις υπολεκάνες (mm)
Πίνακας 3.12	Εκτιμήσεις ρυπαντικών φορτίων της λεκάνης απορροής (kg/έτος)
Πίνακας 3.13	Η κατανομή των εκτάσεων στην λεκάνη απορροής
Πίνακας 3.14	Ποιοτικός έλεγχος δειγμάτων νερού από τη λίμνη Σμοκόβου
Πίνακας 3.15	Προτεινόμενη μηνιαία κατανομή της περιβαλλοντικής εκροής κατάντη της τεχνητής λίμνης Σμοκόβου (Βαβίζος κ.α, 1995).
Πίνακας 4.1	Υδρομετρικά στοιχεία λεκανών απορροής Ευήνου - Σοφαδίτη
Πίνακας 4.2	Υδρομετρικά στοιχεία λεκανών απορροής Ανθεμούντα - Σοφαδίτη

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην αρχαιότητα η ανάπτυξη και ευημερία μεγάλων πολιτισμών, όπως για παράδειγμα η Αίγυπτος, η Μεσοποταμία και η Κίνα, βασίστηκε στην ύπαρξη του νερού. Οι πρώτες ανθρώπινες κοινωνίες, από την 4η χιλιετία, δημιούργησαν σημαντικά τεχνικά έργα για τη χρήση και την αξιοποίηση του νερού. Επίσης, έργα ύδρευσης αναφέρονται τη δεύτερη χιλιετία στην Αίγυπτο, στην Κίνα, στην Περσία, στην Κρήτη, κ.ά. Γνωστά από τη μυθολογία είναι τα αρδευτικά έργα στην περιοχή της Κωπαΐδας, στον Αχελώο και στον Αλφειό, κατά την προϊστορική περίοδο στην Ελλάδα. Από το 1250 μέχρι το 800 π.Χ., ακολούθησε μια περίοδος κατά την οποία εμφανίζονται τα πρώτα συστηματικά έργα αξιοποίησης των υδατικών πόρων στην Αθήνα την περίοδο του Πεισίστρατου. Από το Σόλωνα το νομοθέτη, συντάσσονται σχετικοί νόμοι για τη διαχείριση των νερών όπου απαγορευόταν η διάνοιξη πηγαδιού στην ίδια περιοχή όταν σε ορισμένη απόσταση προϋπήρχε άλλο πηγάδι. Οι Ρωμαίοι, ως άριστοι μηχανικοί κατασκεύασαν σε ολόκληρη την αυτοκρατορία τους έργα μεγάλης κλίμακας και έτσι εξασφάλισαν υποδειγματικές για την εποχή τους συνθήκες υγιεινής και καθαριότητας. Αργότερα, ο Μεσαίωνας χαρακτηρίζεται από μεγάλη οπισθοδρόμηση με συνέπεια τις μεγάλες επιδημίες και την κατάρρευση του αναπτυξιακού και πολιτιστικού επιπέδου της εποχής. Τότε, χρησιμοποιούνταν τα ρυάκια στις πόλεις, ως αγωγοί για τα λύματα. Συνήθιζαν να ρίχνουν στο δρόμο τα σκουπίδια και τα ακάθαρτα νερά και να περιμένουν τις βροχές για να τα παρασύρουν μακρύτερα. Χολέρα, δυσεντερία και τύφος υπήρξαν οι συνέπειες, ενώ μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα άρχισαν να κατασκευάζονται αποχετευτικοί αγωγοί.

Με το πέρασμα πολλών αιώνων και φτάνοντας στη βιομηχανική επανάσταση, διαφοροποιούνται οι χρήσεις των υδατικών πόρων, εντατικοποιούνται οι

ανθρωπογενείς δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτούς και αρχίζουν να εμφανίζονται κίνδυνοι που απειλούν και την ποιότητα και την επάρκειά του. Σ' αυτό συνέβαλε σημαντικά και η αυξημένη χρήση των επιφανειακών νερών, ιδιαίτερα των λιμνών και ποταμών, για ύδρευση, άρδευση, ενέργεια, υδατοκαλλιέργεια, αναψυχή, τουρισμό και για περιβαλλοντική χρήση.

Το νερό γενικά είναι βασικό στοιχείο όχι μόνο για τη διατήρηση και ανάπτυξη της ζωής στον πλανήτη μας, αλλά και πολιτικό όπλο. Δυστυχώς όμως, ενώ αυξάνονται σταθερά οι ανάγκες εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων, μειώνονται όλο και περισσότερο τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματά τους. Παράλληλα, απειλείται η ποιότητά τους και δημιουργούνται προβλήματα λόγω και της εντατικής εκμετάλλευσης του εδάφους με τις γεωργικές καλλιέργειες. Έτσι, τα υπόγεια νερά, αποτελούν αποθεματικό φυσικό πόρο στρατηγικής σημασίας που πολύ δύσκολα ανανεώνονται.

Στο παρελθόν, σε πολλές περιοχές στην Ελλάδα το υπόγειο νερό ήταν ιδιαίτερα κατάλληλο για πόση. Σήμερα, οι πιθανότητες ρύπανσης των υπόγειων νερών είναι πολλαπλές και συνδέονται με τις ανεξέλεγκτες απορρίψεις των απορριμμάτων, την υπερβολική χρήση των γεωργικών λιπασμάτων και φαρμάκων, τις απορρίψεις βιομηχανικών αποβλήτων, την απουσία αποχέτευσης, την αποθήκευση και μεταφορά επικίνδυνων χημικών ουσιών, τις εξορυκτικές δραστηριότητες, την υπεράντληση για αρδευτικούς κυρίως σκοπούς, την υπερβόσκηση, την ανεξέλεγκτη υλοτομία κ.α. Επίσης, για τη χώρα μας είναι αρκετά επίκαιρο τα τελευταία έτη, η επείγουσα λήψη πρακτικών μέτρων, για το πρόβλημα που έχει αρχίσει να εμφανίζεται από την εισχώρηση-εισβολή του θαλασσινού νερού (υφαλμύρυνση) προς τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, ιδιαίτερα στις παράκτιες πεδιάδες και στα νησιά. Εξάλλου, και οι εκτεταμένες πυρκαγιές διαφοροποιούν πλέον, περισσότερο ή λιγότερο το κλιματικό και υδατικό

καθεστώς των περιοχών με συνέπεια να αναμένεται η εμφάνιση ακραίων φαινομένων, όπως πλημμύρες, ξηρασία, ερημοποίηση κ.λ.π.

1.1 Σημασία των έργων ταμίευσης επιφανειακών υδάτων

Το νερό είναι ανανεώσιμος πόρος και αποτελεί ζωτικό στοιχείο για την επιβίωση του ανθρώπου, της πανίδας, της χλωρίδας και τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Η ύπαρξη και η επάρκειά του είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την πρόοδο της κοινωνίας.

Σήμερα σε μια εποχή μεγάλων οικολογικών προβλημάτων, το περιβάλλον και ειδικά το νερό, απασχολούν ολοένα και περισσότερο τη διεθνή κοινότητα ενώ παίζει και θα παίζει στο μέλλον πρωταρχικό ρόλο στις οικονομικές και πολιτικές αποφάσεις των κοινωνιών, καθώς επίσης και στις στρατηγικές ανάπτυξης των κρατών που μοιράζονται τον πόρο νερό.

Παρά το γεγονός ότι παρατηρείται αφθονία του νερού στη φύση, υπάρχουν πολλά προβλήματα σε σχέση με τη διαχείρισή του.

Ο άνθρωπος αναγνωρίζοντας το ζήτημα του νερού, όχι απλώς ως ένα τεχνικό θέμα αλλά σε συνδυασμό με άλλες ευρύτερες επιλογές, υλοποιεί μια σειρά μέτρων και δράσεων που χαρακτηρίζονται για τον προληπτικό τους χαρακτήρα ως προς την προστασία και ολοκληρωμένη διαχείριση των υδάτων, με υπευθυνότητα και με γνώμονα τη μεγιστοποίηση του συνολικού κοινωνικού, περιφερειακού, χωροταξικού και περιβαλλοντικού οφέλους από τις συνδυασμένες αυτές χρήσεις των έργων.

Στη χώρα μας το φυσικό ανάγλυφο είναι έντονο, οπότε προσφέρεται η κατασκευή φραγμάτων κατά τη ροή των ποταμών. Έτσι, δημιουργώντας τεχνητές λίμνες ή ταμιευτήρες, αξιοποιείται το υδατικό δυναμικό της χώρας, σύμφωνα πάντα με τις αρχές

της αιεφορίας, δηλαδή το σεβασμό στο ισοζύγιο προσφοράς και ζήτησης σε επίπεδο λεκάνης απορροής του κάθε υδατικού διαμερίσματος.

Στην Ελλάδα ένας κύριος λόγος κατασκευής τεχνητών λιμνών, είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, στην πραγματικότητα είναι παράλληλα και έργα πολλαπλής ωφέλειας και εξυπηρετούν ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, αντιπλημμυρική προστασία, εμπλουτισμός των υδροφορέων, αναψυχή. Στις περισσότερες περιοχές όπου δημιουργούνται οι ταμιευτήρες, η μορφή και το τοπίο του ευρύτερου χώρου αλλάζει, δημιουργώντας τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, προσφέροντας συγχρόνως στις τοπικές κοινωνίες και ευκαιρίες για τουριστική ανάπτυξη.

Οι φυσικές λίμνες στην Ελλάδα, που είναι 56, καταλαμβάνουν έκταση περίπου 29,5% (600 km^2) από το σύνολο των επιφανειακών εσωτερικών υδάτων της χώρας (2026 Km^2), ενώ οι τεχνητές λίμνες, που είναι 25, καλύπτουν το 17,7% (358 Km^2).

Οι κυριότερες φυσικές λίμνες είναι:

- 1) Η λίμνη Τριχωνίδα στην Αιτωλοακαρνανία είναι η μεγαλύτερη σε έκταση λίμνη (98.6 Km^2), με όγκο $2900 \times 10^3 \text{ m}^3$ και μέγιστο βάθος 58 m.
- 2) Η λίμνη Βόλβη στη Μακεδονία με έκταση 68 Km^2 , με όγκο $940 \times 10^3 \text{ m}^3$ και μέγιστο βάθος 23 m.
- 3) Η Βεγορίτιδα στη Μακεδονία, η οποία είναι η βαθύτερη ελληνική λίμνη με 70 m περίπου, τρίτη σε έκταση (53 Km^2) και δεύτερη σε όγκο ($1530 \times 10^3 \text{ m}^3$).
- 4) Η Μεγάλη Πρέσπα που είναι διασυνοριακή λίμνη (Ελλάδας, Αλβανίας, Σκοπίων), έχει έκταση 266 Km^2 και μέγιστο βάθος 55 m περίπου.

Οι τεχνητές λίμνες στην Ελλάδα μέχρι σήμερα έχουν δημιουργηθεί ως επί το πλείστον από την ΔΕΗ για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Κυριότερες λίμνες στον Ελλαδικό χώρο είναι:

- 1) Η τεχνητή λίμνη *Ταυρωπού* ή “Λίμνη Ν.Πλαστήρα”. Δημιουργήθηκε με την κατασκευή του φράγματος στον ποταμό Ταυρωπό. Ο ταμιευτήρας έχει ωφέλιμη χωρητικότητα $300 \times 10^6 \text{ m}^3$ και αποτελεί περιοχή μοναδικής φυσικής ομορφιάς. Το υδροηλεκτρικό έργο είναι ένα έργο πολλαπλής σκοπιμότητας, αφού παράγει υδροηλεκτρική ενέργεια και συγχρόνως αποθηκεύει νερό για τη ρύθμιση των αρδεύσεων σε ημερήσια βάση, ικανοποιώντας έτσι τις αρδευτικές ανάγκες της εύφορης πεδιάδας της Καρδίτσας ενώ παράλληλα συμβάλλει στην ύδρευση της Καρδίτσας και των γειτονικών δήμων.
- 2) Στον ποταμό *Αχελώο*, βρίσκονται σε σειρά τα φράγματα των Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου I και II. Ο ταμιευτήρας του έργου Κρεμαστών είναι ο μεγαλύτερος της χώρας και έχει συνολική ωφέλιμη χωρητικότητα $3,30 \times 10^9 \text{ m}^3$. Σκοπός του έργου είναι η υδροηλεκτρική παραγωγή και η αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής. Ο σταθμός του Καστρακίου, εκμεταλλεύεται τις εκροές του Υδροηλεκτρικού Σταθμού των Κρεμαστών καθώς επίσης και τα νερά του παραπόταμου Ίναχου, ο οποίος εκβάλλει μέσα στον ταμιευτήρα του έργου, ωφέλιμης χωρητικότητας $53 \times 10^6 \text{ m}^3$. Ο σκοπός του έργου, πέραν της υδροηλεκτρικής παραγωγής, είναι η άρδευση & ύδρευση του Δήμου Αγρινίου και των γειτονικών δήμων. Οι ΥΗΣ Στράτου I και II, με ταμιευτήρα ωφέλιμης χωρητικότητας $13 \times 10^6 \text{ m}^3$, είναι έργα διπλού σκοπού, που παράγουν ενέργεια και αποθηκεύουν νερό για ρύθμιση των αρδεύσεων σε ημερήσια βάση, ικανοποιώντας έτσι τις αρδευτικές ανάγκες της εύφορης πεδιάδας του Κάτω Αχελώου.
- 3) Στον ποταμό *Νέστο* έχουν κατασκευαστεί τα φράγματα Θησαυρού και Πλατανόβρυσης. Ο ταμιευτήρας του ΥΗΣ Θησαυρού είναι ωφέλιμης χωρητικότητας $565 \times 10^6 \text{ m}^3$. Είναι έργο άντλησης - ταμίευσης και πολλαπλού σκοπού που ικανοποιεί τις αρδευτικές ανάγκες των γειτονικών περιοχών

προσφέροντάς τους παράλληλα και αντιπλημμυρική προστασία. Ο ταμιευτήρας του ΥΗΣ Πλατανόβρυσης, με ωφέλιμο όγκο $12 \times 10^6 \text{ m}^3$, λειτουργεί τόσο για την παραγωγή ενέργειας όσο και ως κατάντη ταμιευτήρας για το αναστρέψιμο υδροηλεκτρικό έργο του Θησαυρού.

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι:

- Η διερεύνηση των μοντέλων υδατικού ισοζυγίου, και η επιλογή του καταλληλότερου ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα
- η εκτίμηση της λεκάνης απορροής από υδρομετεωρολογικά και γεωγραφικά δεδομένα καθώς και ο επιμερισμός της απορροής σε ανάντη υπολεκάνες
- η συλλογή και η επεξεργασία των κλιματικών στοιχείων της λεκάνης απορροής και η λεπτομερής εκτίμηση των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου ώστε να διαπιστωθεί η ελλειμματικότητα ή η πλεονασματικότητα του υδατικού ισοζυγίου της ευρύτερης περιοχής
- η διερεύνηση της ποιότητας των υδάτων του ποταμού.

1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη των υπολογιστών πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την εφαρμογή υδρολογικών μοντέλων σε διάφορες λεκάνες απορροής. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση έδειξε μια πολύ πλούσια ερευνητική παρουσία σε πολλά ποτάμια και λίμνες. Για παράδειγμα στο *Rhode Island (USA)* με τη βοήθεια του λογισμικού *ARC/INFO* και του μοντέλου *WHPA* δημιουργήθηκε μια περιβαλλοντική

βάση δεδομένων που παρείχε ικανοποιητικές πληροφορίες για την επιφανειακή υδρογραφία, τις τοποθεσίες πηγών, τις ισοϋψείς, τα υπόγεια ύδατα, και την πιεζομετρική επιφάνεια (Baker et al., 1993). Ένα ακόμα παράδειγμα αποτελεί η εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε στο δυτικό *Dade County* στη νότια *Florida* (Tsihrintzis et al. 1997). Χρησιμοποιήθηκαν ποικίλα δεδομένα, όπως χρήσεις γης, τοπογραφίας, υδατικών σχηματισμών (π.χ. λίμνες και κανάλια), εδαφικών τύπων και χάρτες ορίων. Μετεωρολογικά δεδομένα όπως βροχοπτώσεις, εξατμισοδιαπνοή, θερμοκρασία και κίνηση του αέρα. Επίσης πρόσθετα στοιχεία όπως ο ρυθμός χρήσης λιπασμάτων και χρήσης εντομοκτόνων. Ειδικές ρουτίνες επικοινωνίας βάσης δεδομένων ΓΣΠ και χρήστη επιτρέπουν τον καθορισμό των δεδομένων που απαιτεί το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε (*Hydrological Simulation Program-Fortran, HSPF*) για τον υπολογισμό ποσοτήτων των ρυπαντών που εισέρχονται στα επιφανειακά και υπόγεια νερά.

Επίσης οι Wanvick και Hanes (1994) ενσωμάτωσαν το HEC-1 (*Hydrological Engineering Center-1*) υδρολογικό μοντέλο σε ένα Γ.Σ.Π. που αναπτύχθηκε με χρήση του εμπορικού πακέτου *ARC/INFO*.

Παρόμοιες εργασίες έγιναν για τα μοντέλα HEC-2, *SWRRB (Simulation for Water Resources in Rural Basins)*, *EPIC (Environmental Policy Integrated Climate)*, *MODFLOW*, κ.ά.. Ο Μαρδίκας (2001) χρησιμοποίησε ΓΣΠ και χωρική στατιστική για να εκτιμήσει με διάφορες μεθόδους, από μετεωρολογικά δεδομένα την εξατμισοδιαπνοή για όλη την Ελλάδα και τελικά το έλλειμμα υγρασίας ανά διάφορες χρονικές περιόδους. Ο Luijten (2000) περιγράφει την ανάπτυξη του *Spatial Water Budget Model (SWBM)* με χρήση του ΓΣΠ *ArcView* και ειδικά του *module Spatial Analyst*.

Στην Ελλάδα και ειδικά στην λίμνη Καστοριάς αρκετές εργασίες δημοσιεύτηκαν από διάφορους ερευνητές. Οι Μαντζαφλήρη κ.α.(2009) δημοσίευσαν εργασία με αντικείμενο την **παρακολούθηση (monitoring)**, των ποιοτικών παραμέτρων της λίμνης της Καστοριάς, η **προσομοίωση** με τη χρήση αλγορίθμων χωρικής παρεμβολής και γεωγραφικής κατανομής των παραπάνω παραμέτρων με χρήση GIS και τέλος η **αποτίμηση** της ρύπανσης με τη διατύπωσης **προτάσεων – διαχειριστικών πρακτικών** για τη μείωσή των πηγών.

Επίσης, με τη Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών οι Ψιλοβίκος κ.α. (2006) δημοσίευσαν εργασία με θέμα τη σύγκριση δυο Αλγορίθμων Χωρικής Προσομοίωσης των Ποιοτικών Παραμέτρων των Υδάτων της Λίμνης Καστοριάς.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιούνται δύο προσδιοριστικοί – ντετερμινιστικοί αλγόριθμοι χωρικής προσομοίωσης των ποιοτικών παραμέτρων των υδάτων της λίμνης της Καστοριάς, με τη βοήθεια Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι η μέθοδος «*splines*» και «*IDW*». Παρουσιάζεται η χωρική κατανομή μόνο της παραμέτρου του διαλυμένου οξυγόνου, οπου προκύπτει ως καταλληλότερη μέθοδος η IDW.

Ακόμα οι Ψιλοβίκος και Ζαρκάδας (2006) παρουσίασαν εργασία σχετικά με τη διαχείριση των υδατικών πόρων της λίμνης Καστοριάς η οποία πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή ενός μοντέλου υδατικού ισοζυγίου μηνιαίας βάσης, για την εκτίμηση της μηνιαίας απορροής στη λεκάνη απορροής της λίμνης. Το μοντέλο χρειάζεται ως δεδομένα εισόδου τη μηνιαία βροχόπτωση και τη μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Η απορροή που προκύπτει με τη χρήση της μεθόδου του Thornthwaite, προσεγγίζει καλύτερα τα δεδομένα σε αντίθεση με τις μεθόδους των Turc και Blaney-Griddle, οι οποίες εισερχόμενες στο μοντέλο υποεκτιμούν τις τιμές της συνολικής απορροής.

Τέλος, στην υδρογεωλογική λεκάνη Ειδομένης – Ευζώνων εξετάζεται ο προσδιορισμός της πιεζομετρίας και η εύρεση του υδατικού ισοζυγίου (Ψιλοβίκος κ.α., 1996). Για το σκοπό αυτό εφαρμόζεται το μοντέλο των πεπερασμένων διαφορών *MODFLOW* και η όλη περιοχή υποδιαιρείται σε μικρές περιοχές με μήκη βρόχου $\Delta X = \Delta Y = 200$ m, ενώ το ΔZ είναι ίσο με το μέσο βάθος του υδροφορέα, δηλαδή 18 m. Ως χρονικό βήμα επιλέγεται $\Delta t = 1$ μήνας και το όλο φαινόμενο διερευνάται για το χρονικό διάστημα 3/1986 – 3/1988.

1.3. Υδρολογία

1.3.1. Γενικά

Υδρολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με την παρουσία, κυκλοφορία και διανομή των υδάτων στον πλανήτη μας, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες τους και τις αλληλεπιδράσεις τους με το φυσικό και βιολογικό περιβάλλον στο οποίο περιλαμβάνονται και οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Η υδρολογία καλύπτει εννοιολογικά ολόκληρη τη διαδικασία του υδρολογικού κύκλου (Τσακίρης, 1995).

Η Τεχνική Υδρολογία αποτελεί το εφαρμοσμένο τμήμα της Υδρολογίας που ασχολείται με την μελέτη των υδρολογικών φαινομένων που έχουν σχέση με τον προγραμματισμό, σχεδιασμό και την λειτουργία των υδραυλικών έργων, των τεχνικών έργων δηλαδή που κατασκευάζονται για τον έλεγχο, τη διατήρηση και την αξιοποίηση του νερού (Τσακίρης, 1995).

1.3.2. Αντικείμενο της υδρολογίας

Η τεχνική υδρολογία, ασχολείται τόσο με τις φυσικές διαδικασίες της απορροής χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικούς υπολογιστές για την επίλυση εξισώσεων, όσο και με την εφαρμογή νέων μεθόδων μετρήσεως και συλλογής υδρολογικών δεδομένων (Τσακίρης, 1995).

Οι πρόοδοι στη διάδοση της πληροφορίας βοήθησαν εξάλλου να γίνει ουσιαστική διεπιστημονική συνεργασία στα σύνθετα προβλήματα εκτιμήσεως, αξιοποιήσεως και διαχείρισεως των υδατικών πόρων. Μερικά μόνο από τα επιτεύγματα είναι:

- Επίλυση παλαιότερων μαθηματικών ομοιωμάτων, κατάστρωση και επίλυση νέων θεωρητικών προσεγγίσεων με προσδιοριστική και στατιστική, δηλαδή μικτή δομή για την περιγραφή των φαινομένων της απορροής.
- Τεχνικοοικονομική βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της λειτουργίας συνθέτων υδρολογικών συστημάτων με τη μεθοδολογία της επιχειρησιακής ερευνάς.
- Αυτόματη καταγραφή, μετάδοση και αποθήκευση υδρολογικών δεδομένων.
- Ποσοτική πρόγνωση κατακρημνίσεων και πλημμύρων με τη βοήθεια μετεωρολογικών δορυφόρων, ραντάρ, κλπ..
- Η ποσοτική εκτίμηση των αλληλεπιδράσεων περιβαλλοντικών έργων, φυσικού και κοινωνικοοικονομικού, δίνει μερικές πρώτες ενθαρρυντικές απαντήσεις που πράγματι, αποσκοπούν στη συστηματοποίηση και διάδοση προχωρημένων βασικών γνώσεων, τόσο στην οργάνωση και συλλογή των δεδομένων όσο και στη μεθοδολογία αξιοποιήσεως τους (Μιμίκου, 1994).

Οι σύγχρονες τεχνικές για την προσέγγιση των φαινομένων της τεχνικής υδρολογίας ακολουθούν δυο γενικές μεθόδους:

Η πρώτη προσδιοριστική μέθοδος (ντετερμινισμός), αναζητά την αιτιότητα, μιας αμφιμονοσήμαντης προσδιοριστικής σχέσης μεταξύ αιτίου-αποτελέσματος και καταστρώνεται ένα μαθηματικό ή φυσικό ομοίωμα μεταξύ των φυσικών μεταβλητών του φαινομένου, το ρυθμίζει υπολογίζοντας μονοσήμαντα τις παραμέτρους του από εμπειρικές διαδικασίες, δέχεται την πιθανολογική δομή των φαινομένων, θεωρεί ότι κάθε μία πραγματοποίηση ενός φαινομένου είναι ανεξάρτητη από κάθε άλλη πραγματοποίηση του ίδιου φαινομένου ή και άλλων φαινομένων, γεγονός που μπορεί να ισχύει απόλυτα ή μόνο κατά προσέγγιση.

Η δεύτερη, η οποία είναι πληρέστερη, δέχεται τη στοχαστική δομή των φαινομένων και προσεγγίζει τα μεγέθη προσθέτοντας ένα προσδιοριστικό και ένα στατιστικό τμήμα που ακολουθεί ορισμένους νόμους της "τύχης" και συνεπώς, πρέπει να ερευνηθεί με ανάλογες διαδικασίες (Τσακίρης, 1995).

Οι βροχοπτώσεις και γενικότερα οι πάσης φύσεως ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις που προκαλούν την απορροή, είναι φαινόμενα που κυριαρχούνται κατά μεγάλο ποσοστό από την τύχη. Αντίθετα, τόσο η επιφανειακή όσο και η υπόγεια απορροή υπακούουν κατά μεγάλο μέρος στη λογική της αιτιότητας, αφού για δεδομένες συνθήκες λεκάνης απορροής και δεδομένη βροχόπτωση, το αποτέλεσμα, δηλαδή η απορροή, συνδέεται ουσιαστικώς μονοσήμαντα με το αίτιο, δηλαδή την κατακρήμνιση.

Κατά συνέπεια, η δομή των φαινομένων της απορροής είναι μικτή, αφού το γενεσιουργό τους αίτιο, οι κατακρημνίσεις, κυριαρχούνται από την τύχη, ενώ η φυσική τους εξέλιξη, δηλαδή η κυρίως απορροή, κυριαρχείται από την αιτιότητα οπότε ένα ολοκληρωμένο ομοίωμα (μαθηματικό ή φυσικό) των βασικών φαινομένων της απορροής θα πρέπει να περιέχει όχι μόνο προσδιοριστικές αλλά και στοχαστικές συνιστώσες, ώστε να καλύπτει το δίπτυχο «αιτιότητα-τύχη» (Ξανθόπουλος, 1992).

1.3.3. Υδρολογικός κύκλος

Το δάσος και το νερό είναι δυο από τους πιο σημαντικούς φυσικούς πόρους του πλανήτη μας. Και οι δύο παρέχουν τροφή, ενέργεια, βιότοπους για την πανίδα και πολλές άλλες βιολογικές φυσικές, χημικές και κοινωνικοοικονομικές λειτουργίες και υπηρεσίες στον άνθρωπο και στα υπόλοιπα ζωϊκά είδη και γενικά συμβάλλουν στην διατήρηση της φυσικής ισορροπίας του περιβάλλοντος. Χωρίς νερό όμως δεν θα υπήρχαν δάση, ενώ τα ίδια επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα του νερού, την κατανομή του στον χρόνο, καθώς και όλα τα υπόλοιπα συστατικά του υδρολογικού ισοζυγίου μιας λεκάνης απορροής.

Κύριοι προμηθευτές του νερού στη γη είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και ειδικότερα η βροχή και το χιόνι.

Έτσι το νερό:

- εξατμίζεται από τη θάλασσα και την ξηρά, ανεβαίνοντας κατακόρυφα, υπό μορφή υδρατμών, στην ατμόσφαιρα, αλλά και κινούμενο οριζόντια υπό την επίδραση των ανέμων
- διαπνέεται από τα δέντρα και τη βλάστηση, οδηγούμενο και πάλι στην ατμόσφαιρα υπό μορφή υδρατμών
- συμπυκνώνεται στην ατμόσφαιρα, σχηματίζοντας σύννεφα
- κατακρημνίζεται από την ατμόσφαιρα στη θάλασσα και την ξηρά, σε διάφορες μορφές (βροχή, χιόνι, χαλάζι)
- κατακρατείται από τα δέντρα, τη βλάστηση και το έδαφος
- διηθείται στο έδαφος εμπλουτίζοντάς το με εδαφική υγρασία
- επαναφορτίζει τους ταμιευτήρες υπόγειου νερού

- απορρέει επιφανειακά, σχηματίζοντας ρέματα και ποτάμια και καταλήγοντας τελικά στη θάλασσα
- απορρέει υπόγεια, μέσω των πόρων και ρωγμών των γεωλογικών σχηματισμών και
- εκφορτίζεται επιφανειακά μέσω των πηγών

Αυτή η κυκλοφορική κίνηση του νερού (Σχ. 2.1) μεταξύ γήινης επιφάνειας και ατμόσφαιρας είναι γνωστή ως *υδρολογικός κύκλος* ή *υδρολογική ανακύκλωση* (USGS, 2003).

Ο υδρολογικός κύκλος, σε τοπική τουλάχιστον κλίμακα, επηρεάζεται άμεσα από το έδαφος και τη δασική βλάστηση. Το είδος του δασικού εδάφους επηρεάζει άμεσα τον υδρολογικό κύκλο, καθώς καθορίζει τη διείσδυση και τη διήθηση του νερού και επομένως την επιφανειακή απορροή έμμεσα δε και τη βλάστηση. Επομένως, ο άνθρωπος με τους διάφορους χειρισμούς και τη χρήση του εδάφους και της βλάστησης μπορεί να επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό της επιφανειακής απορροής και της διήθησης καθώς και την αποθήκευση του νερού στο έδαφος.



Σχήμα 2.1: Υδρολογικός κύκλος (USGS, 2003)

Όταν η ένταση της βροχής είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος, η απορροή που σχηματίζεται στην επιφάνεια της λεκάνης και ρέει προς τα κατάντη, μέχρι να συναντήσει την παροχή του ρεύματος και χωρίς να διηθηθεί σε κανένα σημείο της διαδρομής της αποτελεί την **επιφανειακή απορροή** (*Overland Flow Surface Runoff*) (Κουτσογιάννης κ.ά., 1999).

Κορεσμένη επιφανειακή απορροή (*Saturated Overland Flow*) είναι η απορροή που σχηματίζεται από υπόγεια νερά και γενικά από βροχή που διηθήθηκε, όταν η στάθμη τους, για διάφορους λόγους, φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους καθώς και από βροχή που πέφτει κατευθείαν σε αυτή την κορεσμένη επιφάνεια.

Η απορροή που σχηματίζεται από τη βροχή που διηθείται και στη συνέχεια ρέει μέσα στο έδαφος προς τα κατάντη μέχρι να συναντήσει την απορροή του ρεύματος, αλλά χωρίς να φτάσει σε βάθος μέχρι την στάθμη των υπόγειων νερών, καλείται

υποδερμική απορροή (*Through flow Interflow, Subsurface Flow*). Η απορροή αυτή μπορεί να είναι κορεσμένη ή ακόρεστη. **Η επιφανειακή και η υποδερμική καλείται άμεση απορροή** (Κουτσογιάννης κ.α., 1999).

Υπόγεια ή βασική απορροή (*Groundwater Flow, Base Flow*) είναι η κορεσμένη απορροή των υδροφορέων (κάτω από την υπόγεια στάθμη) που τροφοδοτούν την απευθείας παροχή του ρεύματος (Κουτσογιάννης κ.α., 1999).

Επιστρεφόμενη απορροή (*Return Flow*) είναι η απορροή που, ενώ διένυσε κάποια απόσταση σαν υποδερμική ή υπόγεια, εμφανίζεται, για διάφορους λόγους, στην επιφάνεια της λεκάνης και συνεχίζει να ρέει μέχρι να συναντήσει την κοίτη του ρεύματος (Κουτσογιάννης κ.α., 1999).

Απευθείας απορροή είναι το νερό των κατακρημνισμάτων που πέφτει μέσα στην κοίτη του ρεύματος (Κουτσογιάννης κ.α., 1999).

Η έκταση που τροφοδοτεί με νερό απορροής ένα ρεύμα αποτελεί τη **λεκάνη απορροής** του ρεύματος αυτού (Κουτσογιάννης κ.α., 1999). Στη φύση τα όρια της περιοχής που συνεισφέρει υπόγειο νερό σε ένα ρεύμα μπορεί να μη ταυτίζονται με αυτά της περιοχής που συνεισφέρει επιφανειακή απορροή. Γενικά, όταν η λεκάνη απορροής είναι μεγάλη, τα όρια των δυο αυτών περιοχών θεωρούνται ότι πρακτικά ταυτίζονται. Στην περίπτωση μικρών λεκανών είναι δυνατό υπόγειο νερό να μετακινηθεί από μια λεκάνη στη γειτονική της ή και πολύ μακρύτερα. Αυτό προκαλεί ορισμένες ασάφειες κατά τον καθορισμό των ορίων των λεκανών. Για να ξεπεραστούν οι ασάφειες αυτές έχει επικρατήσει να θεωρείται σαν **υδρολογική λεκάνη** η έκταση που συνεισφέρει νερό άμεσης απορροής σε ένα ρεύμα.

Το όριο που χωρίζει μια υδρολογική λεκάνη από τις γειτονικές της λέγεται **υδροκρίτης** (Κουτσογιάννης κ.α., 1999). Ο υδροκρίτης ακολουθεί την κορυφογραμμή γύρω από την λεκάνη και διασταυρώνει το ρεύμα μόνο στο σημείο εξόδου του.

1.4. Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής

1.4.1 Η σημασία του υδατικού ισοζυγίου

Ο όρος υδατικό ισοζύγιο αναφέρεται στη σταθερή και αδιάκοπη κίνηση του νερού στην ατμόσφαιρα, στην επιφάνεια της γης καθώς και στο υπέδαφος. Η γνώση του υδρολογικού κύκλου σε μια περιοχή σχετίζεται άμεσα με την κατανόηση της εμφάνισης και της κίνησης του νερού, όπως επίσης για την ανάπτυξη και την διαχείριση των υδάτινων πόρων. Για τον ποσοτικό υπολογισμό του υδρολογικού κύκλου μιας περιοχής χρησιμοποιείται η εξής μαθηματική εξίσωση:

$$P = E + R + I \quad (2.1)$$

Όπου:

P = ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

E = εξατμισοδιαπνοή

R = επιφανειακή απορροή

I = κατείσδυση

Παρακάτω θα προσδιοριστεί η σημασία της κάθε παραμέτρου της παραπάνω εξίσωσης καθώς και οι τρόποι υπολογισμού τους.

Ο υδρολογικός κύκλος, όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, είναι μια συνεχής διαδικασία που δεν παρουσιάζει αρχή και τέλος. Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι ωκεανοί καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της υδρογείου η περιγραφή του υδρολογικού κύκλου αρχίζει με την εξάτμιση των νερών τους. Το νερό που εξατμίζεται από τους ωκεανούς

σχηματίζει τα σύννεφα, τα οποία κάτω από κατάλληλες συνθήκες συμπυκνώνονται και σχηματίζουν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα όπως βροχή, χιόνι, χαλάζι, δροσιά κ.λ.π.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (P), πέφτοντας στην επιφάνεια της γης ακολουθούν κάποιες διαδρομές του υδατικού ισοζυγίου.

Μια από τις συχνότερες διαδρομές, αυτή που κατά κύριο λόγο συμβαίνει στο μεγαλύτερο μέρος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, είναι ότι πέφτουν στους ωκεανούς και αποδίδονται πάλι στην ατμόσφαιρα, με τη μορφή της **εξάτμισης**. Ένα μικρό ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων μπορεί να εξατμιστεί στην ατμόσφαιρα χωρίς να προλάβει να φτάσει στην επιφάνεια της γης.

Τελευταία διαδρομή τους είναι να πέσουν στην ξηρά, όπου οι καταστάσεις που μπορούν να συμβούν είναι οι παρακάτω: Είτε να εξατμιστούν αμέσως ερχόμενα σε επαφή με το έδαφος, την βλάστηση κ.α, είτε να ακολουθήσουν έναν από τους κάτωθι δρόμους : Ο πρώτος δρόμος σχετίζεται με το μέρος που απορρέει επιφανειακά, το οποίο τροφοδοτεί τα ρυάκια, τους ποταμούς, τους χείμαρρους, τους παραπόταμους και καταλήγει στις λίμνες και στη θάλασσα όπου από εκεί επιστρέφει στην ατμόσφαιρα με τη μορφή της εξάτμισης. Το νερό που ρέει μέσω του υδρογραφικού δικτύου αποτελεί την **επιφανειακή απορροή** και συμβολίζεται με το γράμμα (R) στον τύπο του υδρολογικού ισοζυγίου .

Ο δεύτερος δρόμος έχει σχέση με το μέρος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που κατεισδύει και διηθείται στο έδαφος και εισέρχεται στο υπέδαφος μέσω των ρωγμών ή των ρηγμάτων των διάφορων πετρωμάτων με αποτελέσματα να σχηματίζει το υπόγειο νερό ή να προστίθεται στο ήδη υπάρχον. Το νερό αυτό μετά από μια μικρή ή μεγάλη διαδρομή και μια αργή ή γρήγορη πορεία μέσα στο υπέδαφος, επανέρχεται στην επιφάνεια του εδάφους μέσα από τις πηγές. Με το

νερό αυτό τροφοδοτούνται οι ποταμοί ή οδηγείται στη θάλασσα και τέλος, επανέρχεται στην ατμόσφαιρα με τη βοήθεια του ριζικού συστήματος των φυτών μέσω του φαινομένου της διαπνοής. Το νερό που διαπερνά την επιφάνεια της γης και εισέρχεται σε αυτή, αποτελεί την **κατείσδυση** και συμβολίζεται με το γράμμα (I) στον τύπο του υδρολογικού ισοζυγίου.

Τελευταία, διαδρομή μιας σημαντικής ποσότητας των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε με την εξάτμιση του νερού των λιμνών, των ποταμών και των στρωμάτων που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της γης, είτε με το φαινόμενο της διαπνοής των φυτών. Το σύνολο των διεργασιών μέσω των οποίων το νερό επιστρέφει στην ατμόσφαιρα ονομάζεται **εξατμισοδιαπνοή** και συμβολίζεται με το γράμμα (E) στον τύπο του υδρολογικού ισοζυγίου.

Για τον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου, εκτός από την μεθοδολογία που θα εφαρμοστεί είναι απαραίτητη η εγκατάσταση κάποιων οργάνων χρήσιμων για την εκτέλεση των αντίστοιχων παρατηρήσεων και την εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων.

- Αρχικά θα πρέπει να γίνει χρήση μετεωρολογικών οργάνων όπως είναι τα βροχόμετρα, τα χιονόμετρα, τα εξατμισήμετρα και άλλα σχετικά όργανα.
- Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν όργανα που σχετίζονται με την υγρασία του εδάφους μέσω της δειγματοληψίας του.
- Επιπρόσθετα, για την σύνταξη του υδατικού ισοζυγίου χρησιμοποιούμε πιεζόμετρα τα οποία χρησιμοποιούμε για την εκτέλεση των πιεζομετρικών παρατηρήσεων.

- Τέλος, η μέτρηση της απορροής μπορεί να γίνει από σταθμημετρικούς σταθμούς, όπως είναι οι υπερχειλιστές και τα σταθμήμετρα.

Ο προσδιορισμός του υδατικού ισοζυγίου σε παγκόσμιο επίπεδο θα πρέπει να εξεταστεί σε δυο επίπεδα. Το ένα θα αφορά τις μετρήσεις στην ξηρά και το άλλο τις μετρήσεις στη θάλασσα. Θα πρέπει, επίσης, να γίνουν καταγραφές και μετρήσεις σε μακροχρόνια διαστήματα, με σκοπό να εξομαλυνθούν οι κλιματικές διακυμάνσεις. Ο όγκος του νερού που παίρνει μέρος στις διαδικασίες του υδατικού ισοζυγίου διαφέρει όχι μόνο στα διάφορα γεωγραφικά μήκη και πλάτη αλλά και από περιοχή σε περιοχή (Καρύμπαλης, 2004).

Είναι προφανές, ότι στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, δεν ήταν δυνατή η επιτόπια μέτρηση όλων των στοιχείων που θα οδηγούσαν στην αξιόπιστη εκτίμηση των παραμέτρων για τη λεκάνη του Σοφαδίτη ποταμού. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την υπάρχουσα βιβλιογραφία και από προηγούμενες μελέτες για την περιοχή και έγινε η επιλογή των μεθοδολογιών υπολογισμού που σε κάθε περίπτωση προσαρμόζεται στα διαθέσιμα δεδομένα.

1.5 Εξατμισοδιαπνοή

1.5.1 Εξατμισοδιαπνοή και οι παράγοντες που την επηρεάζουν.

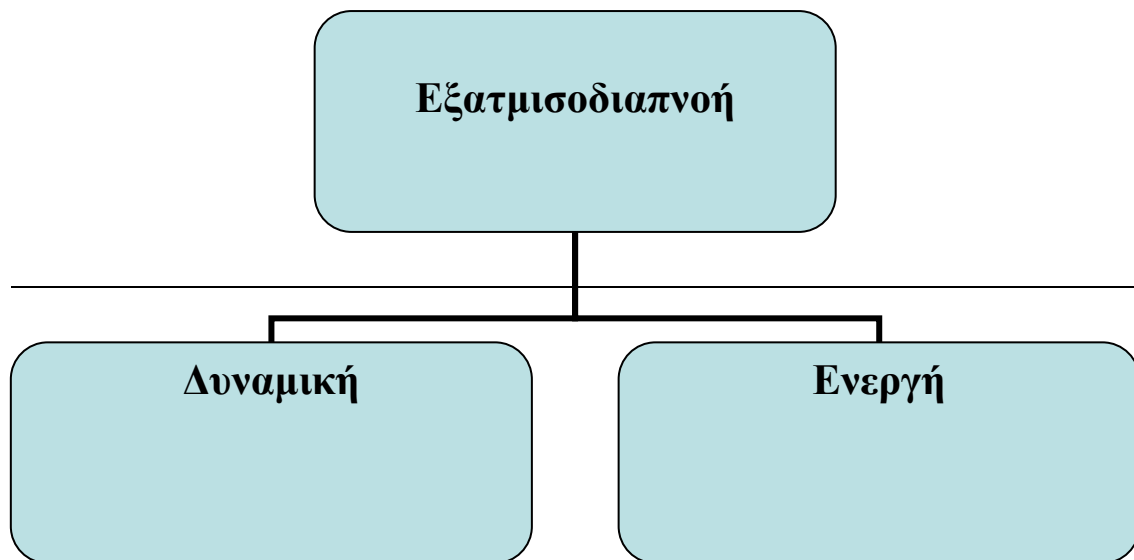
Η έννοια της εξατμισοδιαπνοής αφορά τη διαδικασία με την οποία το νερό μεταβαίνει από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Η μετατροπή αυτή συντελείται με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ετυμολογία της λέξης όπως είναι φανερό

προσδιορίζει δυο καταστάσεις. Αναφέρεται στη διαδικασία της εξάτμισης και στη διαδικασία της διαπνοής.

Η μεν εξάτμιση παρουσιάζεται όταν ο αριθμός των μορίων του νερού που βρίσκεται σε αέρια φάση είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των μορίων που βρίσκονται στην υγρή φάση. Στην πραγματικότητα αυτό που συμβαίνει είναι μεταφορά νερού στην ατμόσφαιρα από την ελεύθερη υδάτινη επιφάνεια. Η εξάτμιση πραγματοποιείται τόσο σε νερά που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της γης όσο και σε νερά που βρίσκονται πολύ κοντά στο έδαφος. Η άμεση μέτρηση της εξάτμισης γίνεται με ατμόμετρα, όπου μετρούν την εξάτμιση από μια σταθερή επιφάνεια, και επίσης από τα εξατμισίμετρα.

Από την άλλη πλευρά η διαπνοή αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία η υπάρχουσα βλάστηση και οι καλλιέργειες με τη βοήθεια του ριζικού τους συστήματος αντλούν νερό και στη συνέχεια με τη βοήθεια των στομάτων τους το αποδίδουν στην ατμόσφαιρα. Η μέτρηση της διαπνοής γίνεται είτε με φυτόμετρα, είτε με την σχέση διαπνοής, που αφορά τη σχέση ανάμεσα στην ποσότητα νερού που καταναλώνεται και το ξερό φυτικό προϊόν εκτός των ριζών.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, οι λειτουργίες της εξάτμισης και της διαπνοής συνυπολογίζονται σε πολλές περιπτώσεις και τότε μιλάμε για το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή διακρίνεται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι (Σχ. 2.2):



Σχήμα 2.2: Οι κατηγορίες της εξατμισοδιαπνοής

Η εξατμισοδιαπνοή που θεωρείται δυναμική είναι αυτή που πραγματοποιείται όταν υπάρχει επάρκεια προσφοράς νερού στην επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα να υπάρχει υπερκόλυση στις ανάγκες ανάπτυξης των φυτών.

Η ενεργή εξατμισοδιαπνοή είναι αυτή που πραγματοποιείται κάτω από φυσικές συνθήκες. Η διαφορά που υπάρχει μεταξύ τους είναι ότι για να μπορέσει να υπάρξει ενεργή εξατμισοδιαπνοή θα πρέπει να υπάρχει διαθέσιμη υγρασία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το παρακάτω: Σε μια περιοχή όπου υπάρχει ξερό και θερμό κλίμα η δυναμική εξατμισοδιαπνοή είναι υψηλή ενώ η ενεργή δεν υπάρχει καθόλου, είναι δηλαδή μηδενική (Τσόγκας, 1999).

Για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής θα πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τόσο την εξάτμιση όσο και τη διαπνοή. Μερικοί από αυτούς είναι κοινοί και στις δυο διαδικασίες και είναι οι ακόλουθοι:

- Η θερμοκρασία του νερού.
- Η θερμοκρασία και η απόλυτη υγρασία του στρώματος του αέρα που είναι πάνω από την εξατμιζόμενη επιφάνεια .

- Ο άνεμος που απομακρύνει τους υδρατμούς από την περιοχή της εξατμιζόμενης επιφάνειας και μπορεί να διατηρεί χαμηλή την απόλυτη υγρασία.
- Η πίεση των υδρατμών στην επιφάνεια του υπόγειου νερού.
- Το ποσοστό αλατότητας που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό.
- Το βάθος της επιφάνειας του υπόγειου νερού.
- Η δομή και η σύσταση του εδάφους.
- Οι βροχοπτώσεις που εξαρτώνται από την εποχή στην οποία συμβαίνουν και ο τρόπος που πραγματοποιούνται.

Υπάρχουν όμως και μερικοί άλλοι παράγοντες που δεν αναφέρθηκαν προηγουμένως και επηρεάζουν κατά κύριο λόγο τη διαδικασία της διαπνοής. Αυτοί είναι οι εξής :

- Το είδος, η πυκνότητα, το μέγεθος, και το στάδιο ανάπτυξης των καλλιεργειών και των φυτών.
- Οι καιρικές συνθήκες όπου συμβαίνει το φαινόμενο της διαπνοής
- Η εποχή του έτους επηρεάζει σημαντικά την διαδικασία της διαπνοής σε αντίθεση με την εξάτμιση που δεν επηρεάζεται καθόλου.
- Η υγρασία του εδάφους αποτελεί σημαντικό ρόλο στην διαπνοή (Καρύμπαλης, 2004).

1.5.2. Κατείσδυση

1.5.2.1. Ο ορισμός της κατείσδυσης

Με τον όρο κατείσδυση εννοούμε το σύνολο των διαδικασιών που συντελούνται με άμεσο αποτέλεσμα την εισχώρηση και διείσδυση των ατμοσφαιρικών

κατακρημνισμάτων στο έδαφος και συνεχίζοντας φτάνει σε βαθύτερα στρώματα του υπεδάφους. Στις κάτω από το έδαφος περιοχές, είτε συγκεντρώνεται σε ήδη υπάρχοντες υδροφόρους ορίζοντες (ενεργή κατείσδυση), είτε δημιουργεί καινούριους.

Οι παράγοντες που αφορούν την κατείσδυση χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Η μια αφορά τα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής και η άλλη κατηγορία σχετίζεται με τους κλιματικούς παράγοντες που επηρεάζουν την περιοχή, που όπως είναι γνωστό μεταβάλλονται, ανάλογα με την εποχή και το έτος που συμβαίνουν. Όπως επίσης θα παρατηρήσουμε παρακάτω, υπάρχουν μερικοί παράγοντες που είναι κοινοί με αυτούς της επιφανειακής απορροής, όπως η φυτοκάλυψη, η ένταση και η χρονική διάρκεια των βροχοπτώσεων, η λιθολογία και η μορφολογική κλίση της περιοχής.

Αναλυτικότερα ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την κατείσδυση είναι η μορφολογική κλίση που παρουσιάζει μια λεκάνη απορροής σε μια περιοχή. Όταν υπάρχει μεγάλη κλίση, είναι λογικό να παρουσιάζεται μικρή ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που κατεισδύουν στο έδαφος γιατί ο χρόνος που μένουν σε συγκεκριμένο σημείο είναι πολύ μικρός. Αντίθετα η επιφανειακή απορροή σε αυτές τις περιπτώσεις είναι αρκετά μεγάλη. Δε συμβαίνει το ίδιο σε περιοχές με μικρή μορφολογική κλίση, όπου τα ποσοστά κατείσδυσης που παρουσιάζονται είναι υψηλά.

Επίσης, σε σημαντικό βαθμό την κατείσδυση την επηρεάζει και η λιθολογική σύσταση της περιοχής.

Όπως η επιφανειακή απορροή, έτσι και η κατείσδυση εξαρτάται από το είδος των πετρωμάτων που αποτελείται η λεκάνη απορροής. Τα διαπερατά πετρώματα επιτρέπουν μεγάλα ποσοστά κατείσδυσης έναντι των αδιαπέρατων που επιτρέπουν πολύ μικρά ποσοστά.

Επιπλέον, η βλάστηση και η φυτοκάλυψη της περιοχής παίζει σημαντικό ρόλο στην ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που θα κατείδουσιν ή θα συγκρατηθούν στην επιφάνεια του εδάφους.

Επιπρόσθετος παράγοντας για την κατείδυση είναι η ένταση των βροχοπτώσεων και η χρονική διάρκεια που παρουσιάζουν. Η ύπαρξη μικρής εντάσεως βροχής και μεγάλης διάρκειας ευνοεί την κατείδυση, ενώ το αντίθετο ισχύει στην περίπτωση της επιφανειακής απορροής.

Η υγρασία του εδάφους αλλά και η παρουσία του πάγου και του χιονιού είναι δυο άλλες αιτίες που ευνοούν την κατείδυση. Όσο πιο πολύ υγρασία υπάρχει στο έδαφος, τόσο πιο μικρή ποσότητα νερού χρειάζεται η επιφάνεια του εδάφους.

Αποτέλεσμα είναι η κατείδυση μεγαλύτερης ποσότητας νερού στους υδροφόρους ορίζοντες. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση του χιονιού και της παγωνιάς, όπου τα ποσοστά κατείδυσης είναι μεγάλα όταν αρχίζουν σιγά-σιγά να λιώνουν οι πάγοι.

Τελειώνοντας, είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η εποχή του έτους, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την κατείδυση. Οι ιδανικές κλιματολογικές συνθήκες εμφάνισης μεγάλων ποσοστών κατείδυσης είναι η εποχή του φθινοπώρου, του χειμώνα και η αρχή της άνοιξης και αυτό λόγω του ότι παρουσιάζονται πολλές βροχοπτώσεις μεγάλης χρονικής διάρκειας (Καρύμπαλης, 2004).

1.5.3. Επιφανειακή Απορροή

1.5.3.1. Ο ορισμός της επιφανειακής απορροής

Η επιφανειακή απορροή παρουσιάζεται όταν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα πέφτουν στην επιφάνεια της γης και υπόκεινται στο νόμο της βαρύτητας. Η κατεύθυνση των νερών ακολουθεί την πορεία από τα υψηλότερα σημεία της περιοχής (π.χ. βουνά) προς τα χαμηλότερα (λίμνες, πεδιάδες κ.λπ.) (Τσόγκας, 1999).

Όταν στην περιοχή υπάρχει πλεόνασμα νερού και έχουν ικανοποιηθεί οι ανάγκες της εκάστοτε περιοχής για κατείδυση, κατακράτηση και συγκέντρωση, η ποσότητα των νερών ρέει επιφανειακά και καταλήγει σε χείμαρρους, ρυάκια και ποτάμια με άμεση κατάληξη στις λίμνες και στις θάλασσες. Η επιφανειακή απορροή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και θα γίνει αναφορά σε μερικούς από αυτούς.

Ο **πρώτος** και ο σπουδαιότερος έχει σχέση με τη μορφολογία και τη γεωλογική σύσταση της λεκάνης. Κύριο στοιχείο αυτού του παράγοντα είναι η διαπερατότητα των πετρωμάτων και των σχηματισμών που υπάρχουν στην περιοχή (Κουτσογιάννης κ.α., 1999).

Ο λόγος βάσει του οποίου γίνεται διάκριση σε διαπερατά, μεσοδιαπερατά και αδιαπέρατα είναι ο βαθμός κορεσμού που έχει επέλθει σε αυτά. Αν σε μια περιοχή υπάρχουν πετρώματα που είναι διαπερατά η ποσότητα νερού που θα συγκρατείται θα είναι πάρα πολύ μικρή. Αντίθετα, αν σε μια περιοχή υπάρχουν αδιαπέρατα πετρώματα θα παραμένει αρκετή ποσότητα νερού στην επιφάνεια.

Δεύτερος παράγοντας που επηρεάζει την επιφανειακή απορροή είναι η διάρκεια, η ένταση και η κατανομή των βροχοπτώσεων στη λεκάνη απορροής.

Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της βροχόπτωσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιφανειακή απορροή σε σχέση με την ποσότητα νερού που «χάνεται» στο έδαφος.

Τρίτος παράγοντας είναι η φυτοκάλυψη και η βλάστηση της περιοχής. Είναι λογικό σε περιοχές με πυκνή και πλούσια βλάστηση να υπάρχει μεγαλύτερη κατακράτηση νερών σε αντίθεση με περιοχές όπου η βλάστηση είναι φτωχή και αραιή.

Ο **τέταρτος** παράγοντας επισημαίνει τη σπουδαιότητα της τοπολογίας της λεκάνης και την κλίση της μορφολογία της. Όσο μεγαλύτερη και απότομη κλίση έχει μια λεκάνη απορροής, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιφανειακή απορροή γιατί το χρονικό διάστημα που παραμένει στην επιφάνεια του εδάφους είναι μικρό και δεν προλαβαίνει να έρθει σε επαφή με την επιφάνεια της λεκάνης.

Ο **πέμπτος** παράγοντας αφορά το βάθος που υπάρχει ελεύθερο της επιφάνειας του υπόγειου νερού για να δεχτεί μια νέα ποσότητα νερού (επιφανειακή απορροή). Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος σε μια λεκάνη απορροής, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του νερού που ρέει επιφανειακά .

Ο **έκτος** παράγοντας αναφέρεται στη γεωμετρία του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης.

Καταλήγοντας, ο **τελευταίος** παράγοντας που επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την επιφανειακή απορροή είναι οι χιλιάδες επεμβάσεις που κάνει ο άνθρωπος στη φύση. Μια από τις μόνιμες και συχνές ενέργειες του ανθρώπου είναι η χρησιμοποίηση του υπόγειου νερού για άρδευση και για ύδρευση.

Στη συνέχεια είναι ο βαθμός επίδρασης της αστικοποίησης που έχει επέλθει σε πάρα πολλές περιοχές του πλανήτη και επιδεινώνει την επιφανειακή απορροή. Η συνεχής τσιμεντοποίηση των αστικών περιοχών, δημιουργώντας δρόμους, σπίτια κ.λπ. καθώς επίσης εμποδίζοντας και κλείνοντας τις κοίτες των ποταμών δημιουργούν αύξηση της επιφανειακής απορροής με αποτέλεσμα τα φαινόμενα των πλημμύρων να είναι έντονα και συχνά σε παγκόσμιο επίπεδο.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Μέθοδοι υπολογισμού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

Η ποσότητα των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται μια περιοχή μετράται με το κατακόρυφο ύψος που θα έφτανε το νερό της βροχής στον τόπο αν δεν συνέβαιναν απώλειες λόγω απορροής, διήθησης, εξάτμισης και διαπνοής. Το ύψος αυτό λέγεται ύψος βροχής και μετριέται σε χιλιοστά του μέτρου, από ειδικά όργανα, τα βροχόμετρα. Τα βροχόμετρα είναι όργανα που μετρούν τη βροχή και γενικότερα τα υδάτινα κατακρημνίσματα (Τσόγκας, 1999)

Το ύψος βροχής που μετράται με το βροχόμετρο, θα πρέπει να υποτεθεί ότι αντιπροσωπεύει βροχόπτωση που έπεσε και στην περιοχή γύρω από αυτό. Ακόμα και μέσα από αυτήν την παραδοχή είναι γνωστό ότι θα προσδιοριστεί κατά προσέγγιση η πραγματικότητα. Αυτό συμβαίνει γιατί στην περιοχή του βροχόμετρου υπάρχει πιθανότητα να τύχει εντονότερη βροχόπτωση σε σχέση με τη γύρω περιοχή που μπορεί να έχει μικρότερη βροχόπτωση ή μπορεί να συμβεί και το αντίστροφο.

Επομένως, για να υπάρξουν αποτελέσματα που να πλησιάζουν και να προσεγγίζουν την πραγματικότητα, οι βροχομετρικοί σταθμοί στους οποίους θα πρέπει να καταγράφονται τα αποτελέσματα των βροχομετρικών παρατηρήσεων, θα πρέπει να είναι εγκατεστημένοι σε χαρακτηριστικά σημεία. Ο υπολογισμός των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τέσσερις μεθόδους. Θα πρέπει να υπάρχει σε μια περιοχή ένα σχετικό, πυκνό δίκτυο βροχομετρικών σταθμών που να καλύπτουν και υψομετρικά την περιοχή και να συλλέγουν μετρήσεις για μακρά χρονική περίοδο (Τσόγκας, 1999). Στην παρούσα μελέτη επειδή τα δεδομένα θεωρήθηκαν επαρκή ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου δεν χρειάστηκε περαιτέρω επεξεργασία.

Όμως καλό είναι στη συνέχεια να αναφερθούν οι μέθοδοι υπολογισμού των κατακρημνισμάτων.

- Πρώτη μέθοδος:

Υπολογισμός των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων με τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen.

Η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που σημειώνονται σε μια λεκάνη απορροής που έχει μικρό αριθμό βροχομετρικών σταθμών, η κατανομή τους είναι ανομοιόμορφη μέσα στην λεκάνη απορροής και τέλος περιβάλλεται από ένα ανάγλυφο, το οποίο δεν είναι έντονο. Βασικό μειονέκτημά της είναι ότι σε περιπτώσεις αφαίρεσης ή πρόσθεσης ενός σταθμού πρέπει να γίνει αλλαγή του συστήματος των πολυγώνων (Κουτσογιάννης κ.α., 1999).

Επιπλέον, σε αυτήν τη μέθοδο οι τοπογραφικές ανωμαλίες που παρουσιάζονται στο ανάγλυφο και που συχνά είναι αιτία διαφοροποίησης της βροχόπτωσης, δεν λαμβάνονται υπόψη (Καρύμπαλης, 2004).

- Δεύτερη μέθοδος:

Εκτίμηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων με τη μέθοδο του μέσου υψομέτρου της λεκάνης.

Η μέθοδος αυτή είναι πάρα πολύ απλή, γιατί αυτό που χρειάζεται για τον υπολογισμό του συνολικού όγκου του νερού είναι η εκτίμηση του μέσου υψομέτρου της λεκάνης \bar{H} και της βροχοβαθμίδας α . Με τον όρο βροχοβαθμίδα ονομάζεται η μεταβολή των βροχοπτώσεων σε σχέση με το υψόμετρο. Γνωρίζοντας το μέσο υψόμετρο \bar{H} , τοποθετώντας όπου $x = \bar{H}$ στην εξίσωση $\psi = \alpha \cdot x + \beta$ που συνδέει το

υψόμετρο μιας περιοχής με το ύψος βροχής που δέχεται, υπολογίζεται το ψ που αντιστοιχεί στο ύψος βροχής. Στην συνέχεια από τον τύπο:

$$P = E \cdot h \quad (2.2)$$

Όπου:

E = έκταση λεκάνης

$h = \psi$ = ύψος βροχής, βρίσκουμε το μέσο ύψος κατακρημνισμάτων στη λεκάνη απορροής.

- Τρίτη μέθοδος:

Χάραξη των ισοϋετιών καμπυλών.

Με τη μέθοδο αυτή αρχικά σχεδιάζονται οι ισοϋέτιες καμπύλες της περιοχής με στοιχεία που έχουν ληφθεί από διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς στην εκάστοτε περιοχή. Οι ισοϋέτιες καμπύλες σχεδιάζονται σε ισοϋετείς χάρτες, και είναι καμπύλες όπου σε κάθε σημείο της οποίας η βροχόπτωση έχει την ίδια τιμή (Τσόγκας, 1999).

Στη συνέχεια υπολογίζεται το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ δυο διαδοχικών ισοϋετιών καμπυλών και το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζεται με το ημιάθροισμα των τιμών των καμπυλών. Ο τύπος του μέσου ύψους βροχής είναι:

$$\bar{H} = \sum_{i=1}^n h * \frac{E_i}{E_{ολ}} \quad (2.3)$$

Όπου:

\bar{H} = το μέσο ύψος βροχής

h = ο αριθμητικός μέσος βροχής σε δυο διαδοχικές καμπύλες

E_i = το εμβαδόν της λεκάνης ανάμεσα σε δυο διαδοχικές καμπύλες

$E_{ολ}$ = το ολικό εμβαδόν της λεκάνης

2.2 Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής

2.2.1 Εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής έχει μεγάλη σημασία για την άρδευση και τις καλλιέργειες. Πολλοί ερευνητές έχουν αναπτύξει διάφορες εμπειρικές μεθόδους οι οποίες είναι αποτέλεσμα μετρήσεων και μακροχρόνιων παρατηρήσεων.

Έτσι οι κυριότεροι είναι οι έξης:

- Τύπος του *C. Thornthwaite* (1948)

$$E_{\Delta} = 16 \left(\frac{T}{I} \right)^a \quad (2.4)$$

Όπου:

E_{Δ} = η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (σε mm).

T = η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρος για τον υπόψη μήνα (σε $^{\circ}\text{C}$).

$$a = 0.49239 + 1792 \cdot 10^{-5} I - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 675 \cdot 10^{-9} I^3$$

και I ο ετήσιος θερμικός δείκτης που δίνεται από τον τύπο

$$I = \sum_{i=1}^n i$$

Όπου:

$$i = (T/5)^{1.514}$$

Οι υπολογιζόμενες τιμές E_{Δ} για κάθε μήνα διορθώνονται με ένα συντελεστή στον οποίο υπεισέρχονται τόσο ο αριθμός των ημερών κάθε μήνα όσο και των πραγματικών ωρών μεταξύ ανατολής και δύσης.

Ο τύπος αυτός εφαρμοζόμενος σε συνδυασμό με κάποιες παραδοχές δίνει έμμεσα την πραγματική εξατμισοδιαπνοή συνήθως ελαφρά υπερτιμημένη, αλλά πάντως μέσα σε παραδεκτά όρια όπως προκύπτει με τον τελικό έλεγχο.

Φυσικά από αυτή την άποψη και από το ότι στηρίζεται μόνο σε μετρήσεις της θερμοκρασίας, ο τύπος αυτός είναι ενδιαφέρων. Είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την κλιματολογία, με βάση μάλιστα το υδατικό ισοζύγιο που δίνει, γίνεται και κλιματική ταξινόμηση.

Ο τύπος του Thornthwaite, επιτρέπει με τον ετήσιο κλιματικό δείκτη I να εισέρχεται στον υπολογισμό του E_{Δ} ενός μήνα η επίδραση της θερμοκρασίας επόμενων μηνών, κάτι που φαίνεται εντελώς ανορθολογικό. Παρ' όλα αυτά όμως συμβαίνει να δίνει ετήσια αποτελέσματα που βρίσκονται μέσα στα όρια του αποδεκτού.

- *Τύπος του L. Sera (1954)*

$$E_{\Delta} = 270e^{0.0644T} \quad (2.5)$$

Όπου:

E_{Δ} = η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή (σε mm).

T = η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρος (σε C°).

Ο συντελεστής 270 προκύπτει από σταθερές για την υγρομετρική βαθμίδα $\varepsilon = F_a/F_k$ και έγινε δεκτή τιμή $\varepsilon = 0,75$, με F_a τάση υδρατμών αέρα και F_k τάση κορεσμένων υδρατμών

Για να καταλήξει ο Sera (1954) στην παραπάνω σχέση έκανε μια σειρά σκέψεων, παρατηρήσεων, χρησιμοποίησε μαθηματικούς τύπους και διαγράμματα και δέχθηκε ότι για ετήσιο βροχομετρικό ύψος 1400 mm και πάνω υφίστανται στην πράξη συνθήκες δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

2.2.2. Εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής

Για την **πραγματική εξατμισοδιαπνοή E** οι συνήθεις τύποι που προτάθηκαν εμπεριέχουν και τον παράγοντα των κατακρημνισμάτων P , τον κυριότερο παράγοντα που τις ρυθμίζει.

Αυτό είναι φυσικό γιατί στη μεν δυνητική εξατμισοδιαπνοή υποτίθεται ότι υπάρχουν τόσα κατακρημνίσματα που να καλύπτουν συνεχώς τις ανάγκες της εξατμισοδιαπνοής ενώ στην πραγματική την ρυθμίζουν κυρίως τα κατακρημνίσματα.

- *Τύπος του L. Turk(1951):*

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (2.6)$$

Όπου:

E =η πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή σε mm

P =το ύψος των ετήσιων κατακρημνισμάτων σε mm

$$L=300+25T+0.05T^3$$

T = η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Κελσίου, που εκφράζει την εξατμιστική δυνατότητα της ατμόσφαιρας.

Για την καλύτερη εφαρμογή της συγκεκριμένης σχέσης πρέπει το βροχομετρικό ύψος να είναι $P \geq 700\text{mm}$ ετησίως.

- *Τύπος του Coutagne (1954):*

$$E = P - \lambda P^2 \quad (2.7)$$

Όπου:

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

Ο τύπος αυτός είναι εφαρμόσιμος για $\frac{1}{8\lambda} \left\langle P \right\rangle \frac{1}{L}$ και το P εκφράζεται σε m.

2.3 Μέθοδοι υπολογισμού της κατείσδυσης

Ένας από τους τρόπους υπολογισμού της κατείσδυσης αποτελεί η παρακολούθηση της παροχής των πηγών μια λεκάνης απορροής κατά τη διάρκεια του έτους γνωρίζοντας τη συνολική επιφάνεια της λεκάνης και το συνολικό όγκο ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται σε όλη την χρονική περίοδο.

Επιπλέον, η μέτρηση της κατείσδυσης πραγματοποιείται με τη βοήθεια ειδικών συσκευών και εγκαταστάσεων που ονομάζονται λυσίμετρα και χρησιμοποιούνται κυρίως σε προσχωσιγενείς περιοχές.

2.4 Μέθοδοι υπολογισμού της επιφανειακής απορροής

Ο υπολογισμός της επιφανειακής απορροής σε ένα υδρογραφικό δίκτυο μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους και μετρήσεις. Μερικές από αυτές τις μεθόδους είναι οι ακόλουθες:

- Μέτρηση της στάθμης
- Μέτρηση της παροχής
- Μέτρηση της ταχύτητας-διατομής
- Μέθοδος μόνιμων κατασκευών
- Χρησιμοποίηση χημικών ουσιών
- Εναλλακτικές μέθοδοι στις οποίες χρησιμοποιούνται εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν την απορροή με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

2.5 Μοντέλα υδατικού ισοζυγίου

Το υδατικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής εξαρτάται από τα κατακρημνίσματα από τα οποία δημιουργείται η απορροή. Οι απώλειες στην απορροή εξαρτώνται από την διαπερατότητα του εδάφους, τη φυτοκάλυψη του εδάφους και τη θερμοκρασία της περιοχής η οποία επηρεάζει την εξατμισοδιαπνοή. Έτσι η υδρολογική συμπεριφορά μιας περιοχής εκφράζεται από το υδατικό ισοζύγιο της.

Με την πάροδο του χρόνου διάφορα μοντέλα αναπτύχθηκαν, ειδικά μετά την εμφάνιση των H/Y, για την ασφαλέστερο υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου. Μερικά από αυτά για την επιφανειακή υδρολογία είναι:

- Abulohom (Abulohom *et al*, 2001)
- Loukas (Χονδρονίκου, 2004)
- Giakoumakis (Giakoumakis *et al*, 1991)
- L. Xiong and S. Guo (Xiong and Guo, 1999)

2.5.1. Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου Abulohom

Το μοντέλο **Abulohom** έχει προταθεί πρόσφατα (Abulohom *et al*, 2001) και είναι ένα μοντέλο πέντε παραμέτρων. Στο μοντέλο οι τιμές τριών παραμέτρων, α_1 , α_2 , α_3 , προσδιορίζονται με βελτιστοποίηση. Οι τιμές των άλλων δύο παραμέτρων, b_1 , b_2 , παίρνουν διακριτές τιμές.

Το μοντέλο Abulohom διακρίνει τη συνολική απορροή σε δύο συνιστώσες: την άμεση απορροή και τη βασική απορροή.

Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται η άμεση απορροή είναι:

$$(R_d)_j = a_1 (m_{j-1})^{b_1} (P_a)_j \quad (2.8)$$

όπου, $(R_d)_j$ η άμεση απορροή του μήνα j , a_1 , και b_1 παράμετροι που βελτιστοποιούνται, m_{j-1} η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία στην αρχή του μήνα j και $(P_a)_j$ η ενεργός βροχόπτωση του μήνα j , η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$P_a = P_j - (E_a)_j \left\{ 1 - \exp \left[\frac{-P_j}{(E_a)_j} \right] \right\} \quad (2.9)$$

Στην παραπάνω εξίσωση P_j είναι η βροχόπτωση του μήνα j και $(E_a)_j$ η πραγματική εξατμισοδιαπνοή του μήνα j .

Η εξίσωση με την οποία υπολογίζεται η βασική απορροή είναι:

$$(R_g)_j = a_2 (m_{j-1})^{b_2} \quad (2.10)$$

όπου, $(R_g)_j$ η βασική απορροή του μήνα j και a_2, b_2 παράμετροι που εκτιμούνται με βελτιστοποίηση.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα ζεύγη των τιμών (a_1, b_1) και (a_2, b_2) είναι υψηλά συσχετισμένα μεταξύ τους. Τα b_1, b_2 παίρνουν συγκεκριμένες διακριτές τιμές: $b_1 = (0, 0,5, 1, 2)$ και $b_2 = (0,5, 1, 2)$. Φυσικά για κάθε λεκάνη απορροής χρησιμοποιείται μια μόνο τιμή για κάθε παράμετρο.

Η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία στο m_j , στο τέλος του μήνα j δίδεται από την εξίσωση

$$m_j = m_{(j-1)} + P_j - (E_a)_j - (R_c)_j \quad (2.11)$$

όπου, $(R_c)_j$ είναι η συνολική υπολογισμένη απορροή του μήνα j και είναι ίση με

$$(R_c)_j = (R_d)_j + (R_g)_j \quad (2.12)$$

Το αποτέλεσμα της m_j είναι η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία στο τέλος του τρέχοντα μήνα και ταυτόχρονα η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία στην αρχή του επόμενου μήνα.

Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή, $(E_a)_j$, βασίζεται σε δύο ποσότητες: στη διαθέσιμη αποθηκευμένη υγρασία για εξατμισοδιαπνοή κατά το μήνα j και στη δυνητική εξατμισοδιαπνοή $(E_p)_j$ του μήνα j . Δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$(E_a)_j = \min \left[(E_p)_j \left(1 - a_3^{\frac{W_j}{(E_p)_j}} \right) W_j \right] \quad (2.13)$$

όπου,

w_j = η διαθέσιμη αποθηκευμένη υγρασία για εξατμισοδιαπνοή κατά το μήνα j , η οποία υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$w_j = P_j + m_{j-1} \quad (2.14)$$

και το a_3 είναι μία άγνωστη παράμετρος που εκτιμάται μέσω της βελτιστοποίησης του μοντέλου.

2.5.2. Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου Loukas (2007)

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

$$E_a(j) = \min \left\{ E_p(j) \left(1 - a^{\frac{S_{moist}(j)}{E_p(j)}} \right) S_{moist}(j) \right\} \quad (2.15)$$

όπου $S_{\text{moist}}(j)$ η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα j για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, α ένας συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ($0 < \alpha < 1$), και $E_p(j)$ η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα.

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

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

ή

$$SR(j) = 0 \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(j) < S_{\text{max}}$$

όπου, $AS_{\text{moist}}(j) = S_{\text{moist}}(j) - E_a(j)$, η υπολειπόμενη εδαφική υγρασία του μήνα μετά την ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, $S_{\text{max}} = (25400/CN) - 254$ η μέγιστη εδαφική υγρασία, CN το *Curve Number* της *Soil Conservation Method* (SCS, 1972) ($0 < CN < 100$)

και K ο συντελεστής κατεΐσδυσης ($0 < K < 1$).

Η διήθηση προς τον υπόγειο υδροφόρο, D , του μήνα j υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$D(j) = K * (AS_{\text{moist}}(j) - S_{\text{max}}) \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(j) > S_{\text{max}} \quad (2.16)$$

ή

$$D(j) = 0 \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(j) < S_{\text{max}} \quad (2.17)$$

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

$$N_{\text{moist}}(j) = AS_{\text{moist}}(j) - SR(j) - D(j) \quad (2.18)$$

Η ενδιάμεση απορροή από την εδαφική υγρασία, MR , τον μήνα j υπολογίζεται ως:

$$MR(j) = \beta * [N_{\text{moist}}(j-1) + N_{\text{moist}}(j)] \quad (2.19)$$

Όπου:

β = ο συντελεστής ενδιάμεσης απορροής ($0 < \beta < 1$).

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

$$NS_{\text{moist}}(j) = N_{\text{moist}}(j) - MR(j) \quad (2.20)$$

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

$$S_{\text{moist}}(j+1) = P(j+1) + NS_{\text{moist}}(j) \quad (2.21)$$

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

$$Q_g(j) = \gamma^* D(j-1) \quad (2.22)$$

Όπου

$\gamma = 0$ συντελεστής βασικής απορροής ή συντελεστής εκροής του υδροφορέα ($0 < \gamma < 1$).

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

$$Q_c(j) = SR(j) + MR(j) + Q_g(j) \quad (2.23)$$

Το συγκεκριμένο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου, Loukas et al. (2007), είναι ένα μοντέλο πέντε παραμέτρων. Είναι όμως δυνατόν δύο από τις παραμέτρους του μοντέλου, το CN και ο συντελεστής κατείσδυσης, K , να εκτιμηθούν άμεσα από εδαφολογικούς και γεωλογικούς αναλογικούς ή ψηφιακούς χάρτες, και χάρτες χρήσεων γης, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τον αριθμό των παραμέτρων που πρέπει να προσδιορισθούν.

2.5.3. Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου Giakoumakis

Σύμφωνα με το μοντέλο Giakoumakis (Giakoumakis *et al*, 1991: Τσακίρης, 1995: Ψιλοβίκος και Ζαρκάδας, 2006) το υδατικό ισοζύγιο λειτουργεί στην ανώτερη επιφανειακή ζώνη του εδάφους. Η εδαφική αυτή ζώνη του ριζοστρώματος, θεωρείται ως δεξαμενή αποθήκευσης μέγιστης χωρητικότητας S_{max} , στην οποία η ποσότητα S_j παριστάνει τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία κατά το μήνα j . Επομένως η διάφορα ($S_{\text{max}} -$

S_j) είναι το μέσο μηνιαίο έλλειμμα υγρασίας στην επιφάνεια μιας μοναδιαίας λεκάνης. Είναι προφανές ότι το ύψος της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας αυξάνει από την βροχόπτωση P_j και μειώνεται τόσο από την δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_{pj} , όσο και από την βαθιά διήθηση D_j .

Η εξίσωση υδατικού ισοζυγίου είναι η εξής:

$$S'_j = S_{j-1} + P_j - E_{pj} \quad (2.24)$$

όπου, S_j η διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα j , $0 < S < S_{\max}$, P_j το ύψος της μηνιαίας βροχόπτωσης, και E_{pj} η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

Ανάλογα με την τιμή της μεταβλητής S_j , το αντίστοιχο ύψος επιφανειακής απορροής του μήνα j , h_{oj} , εκτιμάται ως ακολούθως :

$$\text{Εάν } S'_j < 0 \text{ τότε: } S_j = 0, h_{oj} = 0, D_j = 0 \quad (2.25)$$

όπου, D_j το ύψος βαθιάς διήθησης το μήνα j

$$\text{Εάν } 0 < S'_j < S_{\max} \text{ τότε: } S_j = S'_j, h_{oj} = 0, D_j = 0 \quad (2.26)$$

Εάν $S'_j > S_{\max}$ τότε:

$$S_j = S_{\max}, h_{oj} = K' (S'_j - S_{\max}), D_j = K (S'_j - S_{\max}) \quad (2.27)$$

Όπου:

$$K' = 1 - K.$$

Στο μοντέλο περιέχονται δύο παράμετροι που πρέπει να προσδιοριστούν: η μέγιστη διαθέσιμη εδαφική υγρασία, (S_{\max}), της επιφανειακής εδαφικής ζώνης και ο συντελεστής βαθιάς διήθησης, (K), που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (ανάγλυφο, διηθητικότητα του εδάφους, φυτοκάλυψη κ.λπ.), ή να γίνει βελτιστοποίηση αυτών (*calibration*).

Για τον περιορισμό του αριθμού των παραμέτρων βαθμονόμησης, ο συντελεστής βαθιάς διήθησης (K) και η μέγιστη διαθέσιμη εδαφική υγρασία, (S_{\max}), μπορούν να

εκτιμηθούν από την παρακάτω εξίσωση της *Soil Conservation Service* (Soil Conservation Service, 1972):

$$S_{\max} = 25,4 [(1000/CN) - 10] \quad (2.28)$$

Όπου

CN = ο αριθμός της καμπύλης, που προσδιορίζεται από πίνακες, με βάση τις συνθήκες εδάφους, γεωλογίας, φυτοκάλυψης και χρήσης γης της λεκάνης απορροής ($0 < CN < 100$) (Τσακίρης, 1995).

2.5.4. Μοντέλο υδατικού ισοζυγίου L. Xiong – S. Guo

Το τελευταίο από τα χρησιμοποιούμενα μοντέλα είναι των Lihua Xiong, Shenglian Guo (1998). Είναι ένα μοντέλο δύο παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της απορροής σε εβδομήντα λεκάνες απορροής στην Νότιο Κίνα. Το μοντέλο είναι σχετικά απλό σε σχέση με άλλα μοντέλα περισσότερων παραμέτρων. Σε σχέση με άλλα μοντέλα μια ακόμη διαφορά είναι ότι χρησιμοποιείται η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (*actual evapotranspiration*). Οι περιοχές που μπορεί αυτό το μοντέλο να δώσει καλά αποτελέσματα είναι σύμφωνα με τους Xiong- Guo υγρές και ημιυγρές λεκάνες απορροής.

$$E(t) = EP(t) * \tanh [P(t) / EP(t)] \quad (2.29)$$

Όπου:

$E(t)$ = η πραγματική ετήσια εξατμισοδιαπνοή, $EP(t)$ η πραγματική ετήσια εξάτμιση,

$P(t)$ = η πραγματική ετήσια βροχόπτωση

Από την προηγούμενη σχέση συνεπάγεται ότι :

$$E(t) / EP(t) = \tanh [P(t) / EP(t)] \quad (2.30)$$

Επειδή χρειάζεται η πραγματική μηνιαία εξατμισοδιαπνοή η εξίσωση μετά από πολλές δοκιμές γίνεται:

$$E(t) = c * EP(t) * \tanh [P(t) / EP(t)] \quad (2.31)$$

Όπου:

c = η πρώτη παράμετρος του μοντέλου.

Για τον υπολογισμό της μηνιαίας απορροής ο τύπος είναι ο παρακάτω:

$$Q(t) = S(t) * \tanh[S(t) / SC] \quad (2.32)$$

$$S(t) = S(t-1) + P(t) - E(t) - Q(t) \quad (2.33)$$

Όπου:

$Q(t)$ = η μηνιαία απορροή, $S(t)$ η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, SC είναι ο συμβολισμός της χωρητικότητά της περιοχής. Αυτή είναι η δεύτερη παράμετρος του μοντέλου και η μονάδα είναι σε χιλιοστά.

2.6 . Ποιότητα υδάτινων σωμάτων

Η φυσική ποιότητα των υδατικών πόρων μεταβλήθηκε σημαντικά εξ' αιτίας των διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων και χρήσεων του νερού. Οι περισσότερες περιπτώσεις ρύπανσης αναπτύχθηκαν βαθμιαία μέχρις ότου έγιναν φανερές και μετρήσιμες. Χρειάστηκε πολύς χρόνος μέχρι να φτάσει ο άνθρωπος στην αναγνώριση των προβλημάτων ρύπανσης και ακόμα περισσότερος για να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις και οι έλεγχοι (Ρόπης, 2005).

Τις τελευταίες δεκαετίες, εμφανίστηκε το πρόβλημα της σοβαρής εποχιακής μείωσης του οξυγόνου, το οποίο οφειλόταν στην υπερφόρτιση των ποταμών με αποικοδομούμενα οργανικά λύματα αστικής και βιομηχανικής προέλευσης. Το γεγονός αυτό προκάλεσε γενική υποβάθμιση της ποιότητας των νερών τους. Το πρόβλημα αυτό ακολούθησαν και άλλα διαφορετικής μορφής, έκτασης και έντασης ποιοτικά προβλήματα (ευτροφισμός, συσσώρευση βαρέων μετάλλων και οργανικών μικρορρύπων, οξίνιση και τέλος αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών). Η υπερφόρτιση των υδατορευμάτων με βιοαποικοδομήσιμα οργανικά απόβλητα από τους παρόχθιους οικισμούς και βιομηχανίες αντιμετωπίστηκε με την εγκατάσταση βιολογικών σταθμών επεξεργασίας και το αποτέλεσμα ήταν η βαθμιαία αποκατάσταση της ποιότητας του νερού των ποταμών. Παράλληλα, όμως, εμφανίστηκε το πρόβλημα του ευτροφισμού, που οφείλεται στις εισροές κυρίως φωσφόρου και αζώτου. Ο έλεγχος του ευτροφισμού επιτεύχθηκε με τη μείωση του φωσφορου, ενός από τα βασικά θρεπτικά συστατικά, αν και η αποκατάσταση των λιμνών και ταμιευτήρων γίνεται βραδέως και για την πλήρη αποκατάσταση τους απαιτείται αρκετός χρόνος (Αντωνόπουλος, 2003).

Επίσης από τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1980 παρατηρήθηκε ότι τα νιτρικά στα υπόγεια και επιφανειακά νερά σε πολλές περιπτώσεις υπερβαίνουν τα συνιστώμενα όρια. Η αιτία είναι η εκτεταμένη χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων και των στερεών αποβλήτων (ζώων και λάσπης βιολογικών σταθμών).

Τα τελευταία χρόνια τα περιβαλλοντικά προβλήματα επεκτείνονται σε παγκόσμια κλίμακα. Στα προβλήματα αυτά περιλαμβάνονται η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου από την αύξηση των εκπομπών κυρίως του CO₂, η αύξηση του επιπέδου της θάλασσας από το λιώσιμο των πάγων των πόλων, οι μεγάλες και καταστροφικές πλημμύρες λόγω της αύξησης της ραγδαιότητας των βροχών και η ερημοποίηση νέων εκτάσεων λόγω των κλιματικών αλλαγών.

Παλαιότερα, η φυσική-δυναμική λειτουργία του βιογεωφυσικού χώρου κατόρθωνε να αντισταθμίζει (αυτοκαθαρισμός) και να εξισορροπεί τις ανθρώπινες επεμβάσεις και συμπεριφορές πάνω στο νερό και τους πόρους του. Η οργάνωση, όμως, του σύγχρονου παραγωγικού συστήματος, σε συνδυασμό με τις αυξημένες απαιτήσεις για καταναλωτικά αγαθά και νέες ανάγκες, οδήγησαν στην εντατικοποίηση των διαφόρων δραστηριοτήτων οι οποίες διατάραξαν την ισορροπία της φυσικής λειτουργίας των υδάτινων πόρων. Κάπως έτσι δημιουργήθηκαν τα προβλήματα της ρύπανσης των νερών. Σήμερα, στις σοβαρότερες μορφές ρύπανσης των νερών συγκαταλέγονται η χημική ρύπανση, η ρύπανση από βιομηχανικά απόβλητα, αστικά λύματα και γεωργοκτηνοτροφικές απορροές, η ραδιενεργός ρύπανση, η ρύπανση από πετρελαιοειδή, καθώς και η θερμική ρύπανση.

Πριν από λίγες δεκαετίες, οι απαιτήσεις ενός περισσότερο ευαισθητοποιημένου κοινού για καλύτερες συνθήκες ζωής και για αναβαθμισμένη ποιότητα νερού, καθώς και η ανάγκη κάλυψης πολλαπλών χρήσεων που προσφέρουν οι υδατικοί πόροι, ιδίως σε περιοχές με ανεπάρκεια νερού, δημιούργησαν την ανάγκη προστασίας του. Στις

μέρες μας, προβάλλει επιτακτική η ανάγκη για συνετή διαχείριση των υδατικών πόρων, ώστε να εξασφαλίζεται η μόνιμη και καλή ποιότητα τους. Σημασία, όμως, έχει και η επαρκής ποσότητα σε επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους, γιατί είναι πλέον γνωστό ότι το νερό είναι πολύτιμος φυσικός πόρος σε ανεπάρκεια.

2.7 Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στον προσδιορισμό του υδατικού ισοζυγίου

Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π) (*Geographic Information system, GIS*) είναι ένα οργανωμένο σύστημα μηχανικών μερών και λογισμικού κατάλληλο για τη συλλογή, αποθήκευση, ενημέρωση, επεξεργασία, ανάλυση και παρουσίαση όλων των τύπων των γεωγραφικών πληροφοριών (Burrough, 1986: Maguire, 1991).

2.7.1. Γεωγραφικές πληροφορίες.

Διακρίνονται σε χαρτογραφικές και σε περιγραφικές.

Οι *χαρτογραφικές πληροφορίες* αναφέρονται:

- σε πληροφορίες που αφορούν τη θέση και το σχήμα ενός φαινομένου στη γη (γεωμετρία του χώρου), κάνοντας δηλαδή δυνατό τον εντοπισμό ενός φαινομένου στο έδαφος, αποδίδοντας ταυτοχρόνως και το σχήμα του ή την έκτασή του π.χ. υδρογραφικό δίκτυο μιας περιοχής (σχήμα, μήκος), λεκάνη απορροής ενός ποταμού (σχήμα, έκταση)

- σε πληροφορίες που περιγράφουν την τοπολογία του χώρου δηλαδή τις σχέσεις (σύνδεση, συνέχεια, γειτνίαση) που αναπτύσσονται μεταξύ των δομικών στοιχείων του χώρου, π.χ. παραπόταμοι ενός ποταμού.

Οι χαρτογραφικές πληροφορίες αποθηκεύονται σε γεωγραφική βάση δεδομένων. Το κυριότερο χαρακτηριστικό που καταγράφεται είναι οι συντεταγμένες.

- Οι περιγραφικές πληροφορίες αφορούν χαρακτηριστικά, ποιοτικά ή ποσοτικά, των φαινομένων που συμβαίνουν στο χώρο. Π.χ. ο χαρακτηρισμός ενός ρέματος συνεχούς ή παροδικής ροής είναι μια ποιοτική περιγραφική πληροφορία, ενώ η παροχή ενός ποταμού είναι μια ποσοτική περιγραφική πληροφορία. Οι περιγραφικές πληροφορίες αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων οι οποίες συνδέονται με τις προηγούμενες βάσεις των χαρτογραφικών δεδομένων.

2.7.2 Μέρη - τμήματα ενός ΓΣΠ

Ένα ΓΣΠ μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

- **Συλλογή και κωδικοποίηση των δεδομένων.** Τα δεδομένα που αποθηκεύονται σ' ένα ΓΣΠ προέρχονται από διάφορες πηγές (π.χ. χάρτες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, πίνακες, κ.λπ.), αναφέρονται σε διαφορετικές θέσεις και χρονικές στιγμές και μπορεί να βρίσκονται σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή.
- **Αποθήκευση και ανάκτηση των δεδομένων.** Η διοίκηση γενικά των χωροχρονικών δεδομένων ενός Γ.Σ.Π γίνεται με τη χρήση ενός Συστήματος Διοίκησης Βάσεων Δεδομένων (*Data Base Management System, DBMS*), που επιτρέπει γρήγορο εντοπισμό τους από το χρήστη για ανάλυση, ακριβή αναβάθμιση και διόρθωση.

- **Χειρισμός και επεξεργασία των δεδομένων.** Μερικές από τις επεξεργασίες είναι: μετατροπές στις δομές των δεδομένων, γεωμετρικές πράξεις στα χωρικά δεδομένα (στροφή υπό κάποια γωνία, αλλαγή της κλίμακας, αλλαγή του συστήματος συντεταγμένων, κ.λπ.), τοπογραφική ανάλυση των δεδομένων (γειτονικά χαρακτηριστικά, σύνδεσμοι, λανθασμένα χαρακτηριστικά, κ.λπ.), στατιστική ανάλυση και γεωστατιστική ανάλυση, μετρήσεις γραμμών και τόξων, ανάκτηση χωρικών και μη δεδομένων, κ.λπ.
- **Παρουσίαση των δεδομένων.** Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των επεξεργασιών σε χάρτες ή και πίνακες σε μια ποικιλία από μέσα, όπως χαρτί, διαφάνειες, οθόνες, μαγνητικά μέσα, με χρήση συσκευών όπως εκτυπωτές ακίδων, *laser, inkjet, plotters*.

2.7.3 Γ.Σ.Π. και Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Λόγω της χωρικής και χρονικής φύσης των απαιτούμενων πληροφοριών αλλά και λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, τα Γ.Σ.Π. έχουν συμβάλει αποφασιστικά στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Πλήθος εφαρμογών έχουν μέχρι σήμερα αναφερθεί σε τομείς, όπως η ανάπτυξη υδρολογικών μοντέλων, η πρόβλεψη και ο έλεγχος της ρύπανσης, τα δίκτυα ύδρευσης, άρδευσης και τα αποχετευτικά. Συγκεκριμένα:

- **Υδρολογικά μοντέλα επιφανειακών υδάτων:** Η δημιουργία υδρολογικών μοντέλων επιφανειακών υδάτων περιλαμβάνει προσομοιώσεις που αναπαριστούν τις επιδράσεις των βροχοπτώσεων και της απορροής στη συγκέντρωση επιφανειακών υδάτων, όπως λίμνες, κανάλια και ποτάμια.
- **Εφαρμοσμένα μοντέλα βροχοπτώσεων – απορροής:** Απαιτούν ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων για την περιγραφή της μορφολογίας - γεωμορφολογίας, των

κατηγοριών των εδαφών και της χρήσης γης. Βασικό στοιχείο στα υδρολογικά μοντέλα είναι η σωστή κατανόηση των πληροφοριών που περιγράφουν το σύστημα. Ως εκ τούτου η ακρίβεια εξαρτάται από τα δεδομένα εισαγωγής. Χάρη στις ικανότητές τους σε θέματα χειρισμού και επεξεργασίας των δεδομένων τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται με αυξανόμενους ρυθμούς στη διαχείριση δεδομένων για υδρολογικά μοντέλα. Τα Γ.Σ.Π. μέσω σωστών διαστρωματώσεων και των δυνατοτήτων χωροχρονικών αναλύσεων παρέχουν τους συνδετικούς μηχανισμούς μεταξύ δεδομένων και υδρολογικών μοντέλων.

Ένα παράδειγμα αποτελεί το πρόγραμμα SWBM, το οποίο υπολογίζει τον όγκο του νερού λεκάνης απορροής και τα υδρολογικά ισοζύγια ανά τμήμα γης. Επίσης, μπορεί να προσομοιώσει ακόμη και σε ημερήσια βάση διαδικασίες, όπως κίνηση νερού προς υδατορέματα, όγκος νερού που εισρέει σε φράγματα και ποσότητες χρήσης νερού για συγκεκριμένα είδη κατανάλωσης. Αυτές οι ημερήσιες εκτιμήσεις για κάθε επιφάνεια περιλαμβάνουν σχέσεις (που εκφράζονται μαθηματικά) μεταξύ φυτοκάλυψης, εξατμισοδιαπνοής, επιφανειακής απορροής, διήθησης και στράγγισης εκτός στρώσης ριζικού συστήματος. Αυτοί είναι παράγοντες που εισάγονται σε όλα σχεδόν τα υδρολογικά μοντέλα. Στο SWBM βασικά δεδομένα που απαιτούνται (και χρησιμοποιούνται σε πλεγματική μορφή) είναι τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (*digital elevation model, DEM*), η κλίση, οι χρήσεις γης, η υδραυλική αγωγιμότητα, και η υγρασία στο σημεία μάρανσης.

- **Παροχή ύδατος και σχεδιασμός αποχετευτικών δικτύων:** Ο σχεδιασμός, η ανάλυση, η λειτουργία και η συντήρηση δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης σε αστικές περιοχές μπορεί να ωφεληθεί πολλαπλώς από την τεχνολογία των Γ.Σ.Π. Ένα μέρος της λήψης αποφάσεων μπορεί επίσης να αυτοματοποιηθεί με τη χρήση εμπείρων συστημάτων και συστημάτων λήψης απόφασης. Ένα τέτοιο σύστημα

αυτοματοποιεί τη διαδικασία της επίλυσης συγγενικών προβλημάτων και στοχεύει στην επιλογή των λύσεων με το μικρότερο κόστος. Με τη χρήση Γ.Σ.Π ξεπερνιούνται οι περιορισμοί της γραφικής απεικόνισης πληροφοριών στα υδροδοτικά δίκτυα. Η ικανότητα της ακριβούς πρόβλεψης των υδρολογικών αναγκών και του συνδυασμού των σημερινών και μελλοντικών παροχών με τις αντίστοιχες απαιτήσεις παίζει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση παροχής ύδατος. Παραδοσιακές μέθοδοι για την παρουσίαση των τοπικών υδρολογικών αναγκών αγνοούν απαιτήσεις που σχετίζονται με τους καταναλωτές όπως το μέγεθος της οικογένειας, το μέγεθος της ιδιοκτησίας, η πυκνότητα πληθυσμού ανά οικοδομικό τετράγωνο, δεδομένα που διαφέρουν από μια γεωγραφική περιοχή σε μία άλλη. Ακόμη έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι που χρησιμοποιώντας γραφικές τεχνικές των Γ.Σ.Π. αντιμετωπίζουν την έλλειψη συγκεκριμένων δεδομένων στην απογραφή των υπόγειων δικτύων ύδρευσης.

- **Ρύπανση υδάτων από μη σημειακές πηγές.** Η μελέτη επιπτώσεων μόλυνσης μη σημειακών πηγών απαιτεί τη συνδυασμένη χρήση διαφορετικών χωροχρονικών πληροφοριών, ένα αντικείμενο για το οποίο τα Γ.Σ.Π. είναι μια κατάλληλη επιλογή. Πρώτα, πρέπει να αναγνωρισθούν οι κρίσιμες περιοχές που έχουν έντονο πρόβλημα ρύπανσης, μετά να ιεραρχηθούν και στη συνέχεια να καταστρωθούν προγράμματα προστασίας και βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης (Tim et al., 1992). Οι περιγραφικές και οι χαρτογραφικές ιδιότητες που εισάγονται σε ΓΣΠ επιτρέπουν στο χρήστη να πραγματοποιήσει επικαλύψεις διαφορετικών στρωμάτων πληροφοριών, να αναλύσει και να καθορίσει ρυθμούς ρύπανσης, να προσδιορίσει κρίσιμες και επικίνδυνες περιοχές με ένα πολύ αποτελεσματικό και οικονομικό τρόπο (Robinson και Ragan, 1993).

Η ρύπανση από γεωργικές πηγές είναι δύσκολο να ελεγχθεί επειδή οι περισσότερες πηγές στη φύση είναι μη σημειακές. Ο έλεγχος μπορεί να επιτευχθεί σε μεγάλο βαθμό με το σχεδιασμό σε υπολογιστές της πρόβλεψης της διακύμανσης της ποιότητας του νερού με σχετική ακρίβεια. Η χρήση Γ.Σ.Π. απλοποιεί σημαντικά το σχεδιασμό.

- **Μελέτη υπόγειων υδάτων.** Η τεχνολογία των Γ.Σ.Π. παρέχει ένα μηχανισμό για τη συλλογή, αποθήκευση, διαχείριση και παρουσίαση πληροφοριών που είναι απαραίτητα για τη μελέτη των υπόγειων υδάτων, όπως δεδομένα από ρέματα, πηγάδια - γεωτρήσεις, μετεωρολογικούς σταθμούς, πηγές και θέσεις απόθεσης απορριμμάτων. Συγκεκριμένα αναφέρονται ιδιότητες όπως χημικά χαρακτηριστικά επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, βροχοπτώσεις, υδραυλικές ιδιότητες, γεωφυσικά δεδομένα, υπόγεια στάθμη υδάτων, κ.ά.. Η χρήση των Γ.Σ.Π. στην προστασία των πηγών από τις οποίες προέρχεται το νερό ύδρευσης και των περιοχών γύρω από αυτές είναι πολύ σημαντική και έχει ως στόχο να προστατεύσει το δημόσιο νερό από μολυντές που προέρχονται από ανθρώπινες ενέργειες. Ο καθορισμός των ορίων των περιοχών που πρέπει να προστατευθούν (*Wellhead Protection Areas, WHPAs*) είναι το πρώτο βήμα ώστε να ακολουθήσει ένα αποτελεσματικό πρόγραμμα διαχείρισης. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών έχουν χρησιμοποιηθεί, με επιτυχία, μόνα τους στην επίλυση προβλημάτων υπόγειου ύδατος, αλλά και σε συνδυασμό με μοντέλα μελέτης υπόγειου ύδατος. Συγκεκριμένα έχουν χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό περιοχών όπου το επίπεδο του υπόγειου ύδατος ήταν αρκετά υψηλό ώστε να επηρεάζεται από δραστηριότητες που σχετίζονται με χρήσεις γης.

Μια άλλη εφαρμογή Γ.Σ.Π. στον τομέα αυτό έδωσε τη δυνατότητα συσχέτισης μεταξύ της ευαισθησίας των υπόγειων υδάτων στη ρύπανση και στη χρήση

νιτρικών λιπασμάτων. Τα συστήματα αυτά διευκόλυναν τη διαδικασία λόγω της ικανότητάς τους να αποθηκεύουν και να επεξεργάζονται τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά των δεδομένων στη βάση. Τα δεδομένα εισόδου για το μοντέλο περιείχαν ένα χάρτη στον οποίο παρουσιαζόταν ο βαθμός ευαισθησίας στη γεωργική ρύπανση, χάρτες ορίων των Πολιτειών, χάρτες απεικόνισης των καλλιεργειών και τις συνιστώμενες ποσότητες αζωτούχων λιπασμάτων για εννέα καλλιέργειες. Τα διοικητικά όρια χρησιμοποιήθηκαν ως το βασικό στρώμα των δεδομένων για τη γραφική αναπαράσταση των δεδομένων της σοδειάς και των λιπασμάτων.

2.8. Περιοχή έρευνας

2.8.1. Περιοχή έρευνας και σχετικά έργα

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο Νοτιοδυτικό τμήμα του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (Σχ. 2.3). Ο ποταμός Σοφαδίτης περιλαμβάνει τη λεκάνη απορροής του έκτασης 420 km², τον ταμιευτήρα Σμοκόβου, τη σήραγγα εκτροπής (σήραγγα Λεονταρίου), τον υδροηλεκτρικό σταθμό, την περιοχή ανάπτυξης των αρδευτικών δικτύων και την παραποτάμια ζώνη κατά μήκος του Σοφαδίτη.

Για την διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις εισροές (κατακρημνίσματα).

Η ποσότητα υδάτων προέρχεται από τη λεκάνη απορροής των υπολεκανών Σμοκοβίτη, Ρεντινιώτη, Ονόχωνου αλλά και του οροπεδίου της Ξυνιάδας. Το τελευταίο τροφοδοτεί με τις εκροές του την κοίτη του ποταμού Ονόχωνου αλλά μόνο κατά την μη αρδευτική περίοδο γιατί ο αποστραγγιστικός αγωγός φράσσεται για να ικανοποιήσει τις ανάγκες της πεδιάδας. Επίσης αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η τάφρος Ξυνιάδας

είναι επιβαρυνμένη από την έντονη καλλιέργεια της περιοχής με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού του Ονόχωνου (Σχ. 3.2).



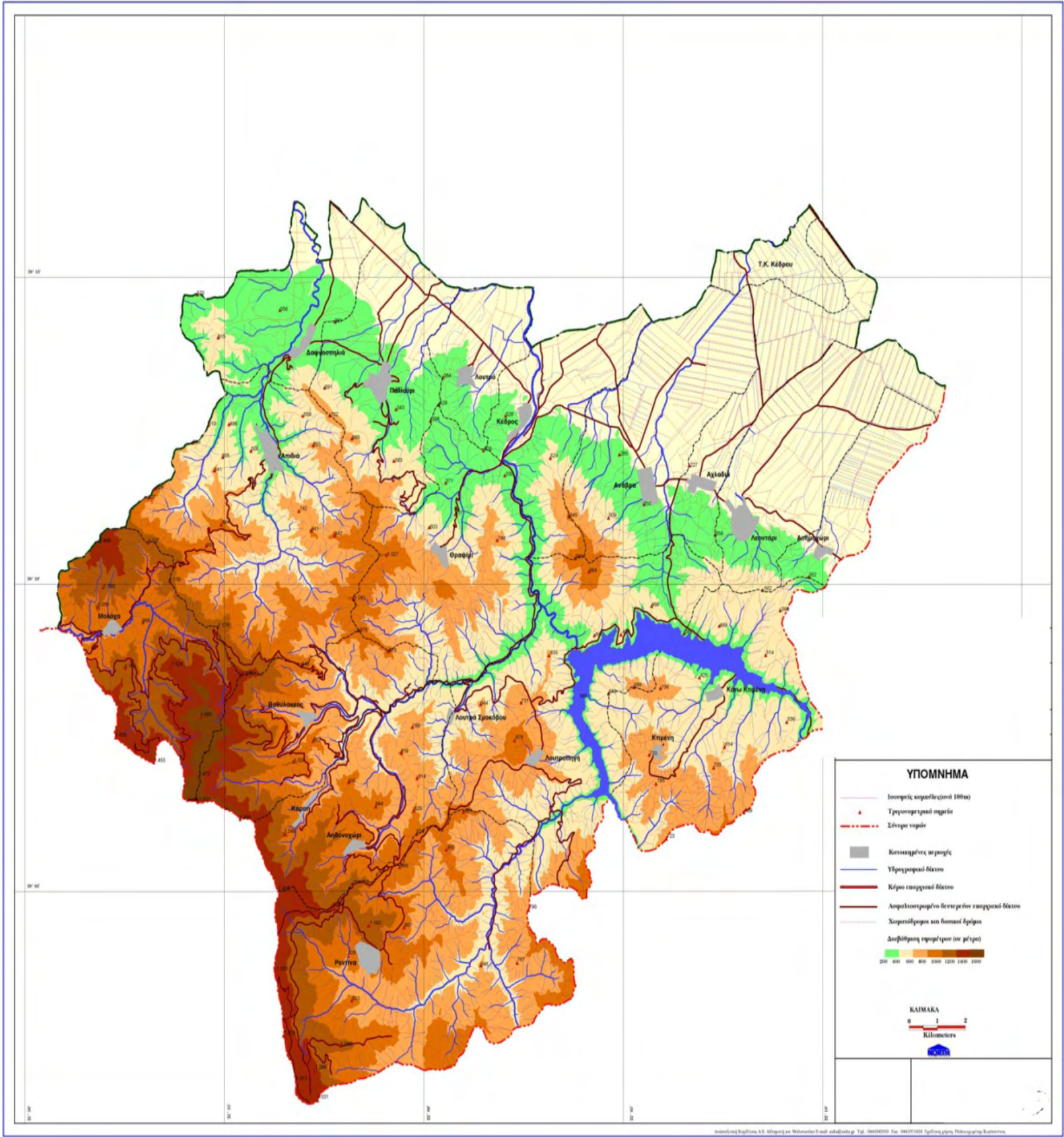
Σχήμα 2.3: Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας

2.8.2. Φράγμα Σμοκόβου

Άξιο αναφοράς είναι ότι στην κοίτη του Ονόχωνου υπάρχει το φράγμα Σμοκόβου (Σχ. 2.4) στη θέση Παλιοσταλός, στην κοινότητα Λουτροπηγής και σε απόσταση 25 Km νότια των Σοφάδων. Το έργο ολοκληρώθηκε το 1996 και η πλήρωση του με νερό έγινε το 2003. Βρίσκεται λίγο μετά τη συμβολή των Ονόχωνου και του Ρεντινιώτη και είναι λιθόρριπτο με ύψος 104 m, ολική χωρητικότητα $237,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ και ωφέλιμο όγκο $209,2 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η ανώτατη στάθμη του είναι +375m και η κατώτατη είναι +331 m και η έκταση της λίμνης ακολουθεί την κοίτη του ποταμού και φτάνει σε μήκος τα 8,4 km².

Το αρχικό σκεπτικό για την δημιουργία του ήταν η εξασφάλιση νερού για την άρδευση 250.000 στρεμμάτων στους Νομούς Καρδίτσας, Λάρισας και Φθιώτιδας, όπως επίσης την ύδρευση διαφόρων οικισμών της περιοχής και παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Η τροφοδοσία των γεωργικών εκτάσεων με νερό γίνεται μέσω της σήραγγας Λεονταρίου η οποία έχει μήκος 4.120 m. Η εισροή του νερού γίνεται στον πύργο υδροληψίας που βρίσκεται 3 km νοτιοανατολικά του φράγματος. Το κατώφλι υδροληψίας είναι στα +330.0 m. Η κυρίως σήραγγα περιλαμβάνει δύο τμήματα, ανάντη και κατάντη του φρέατος ανάπλασης, το οποίο βρίσκεται σε απόσταση 207 m ανάντη του μετώπου εξόδου της σήραγγας. Από την έξοδο της σήραγγας ξεκινά μεταλλικός αγωγός υπό πίεση, εγκιβωτισμένος σε σκυρόδεμα, μήκους 54 m, ο οποίος καταλήγει στον υδροηλεκτρικό σταθμό και το έργο καταστροφής ενέργειας (ΕΚΕ). Στη συνέχεια, ο αγωγός εκβάλλει στη λεκάνη ηρεμίας, η οποία είναι εφοδιασμένη με υπερχειλιστή ασφαλείας και στη συνέχεια η παροχή διοχετεύεται στο σωληνωτό αρδευτικό δίκτυο. Η μέγιστη παροχή λειτουργίας της σήραγγας και των συναφών έργων φτάνει στα 25 m³/s. Ο υδροηλεκτρικός σταθμός βρίσκεται στην έξοδο της σήραγγας και σε απόσταση 1,5 km από τον οικισμό Λεονταρίου.



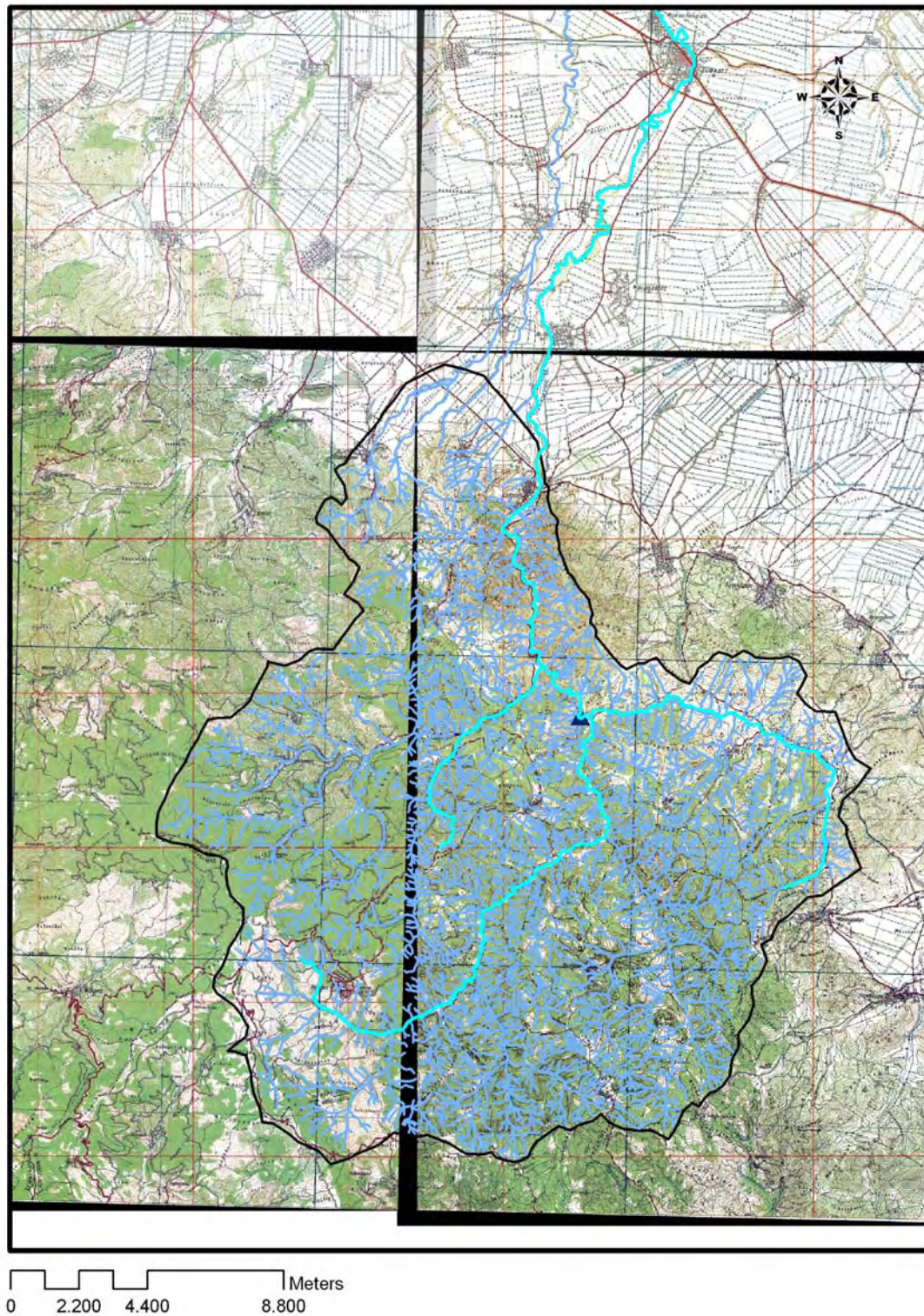
Σχήμα 2.4: Φράγμα Σμοκόβου

2.8.3. Προσδιορισμός λεκάνης απορροής Σοφαδίτη

Ο Σοφαδίτης είναι ένας από τους πολλούς παραπόταμους του Πηνειού ο οποίος με την σειρά του αποστραγγίζει σχεδόν το σύνολο της Θεσσαλίας. Στο Σοφαδίτη συγκλίνουν ο Ρεντινιώτης και ο Σμοκοβίτης (Σχ. 2.5).

Η λεκάνη έχει εμβαδό 420 Km^2 με μέσο υψόμετρο 675 m και σχήμα περίπου κυκλικό. Η κατεύθυνσή της είναι νοτιοανατολικά προς βόρεια όπου και εκβάλλει.

Μετά τη συμβολή του Ονόχωνου με το Ρεντινιώτη κατασκευάστηκε το φράγμα Σμοκόβου κατά μήκος της κύριας κοίτης και με έκταση περίπου $8,4 \text{ Km}^2$ στην ανώτερη στάθμη του. Κατάντη του φράγματος και σε απόσταση περίπου 2,5 km συμβάλει με το Σμοκοβίτη όπου και με κατεύθυνση προς βόρεια καταλήγει στο Φαρσαλίτη ο οποίος με τη σειρά του εκβάλλει στον Εννιπέα και στη συνέχεια στον Πηνειό.



Σχήμα 2.5: Υδροκρίτης - κύριοι ποταμοί – θέση φράγματος

2.8.4. Υδρολογικά δεδομένα

Έγινε συλλογή χρονοσειρών σημειακών βροχοπτώσεων από 4 σταθμούς. Επιλέχθηκαν μόνο εκείνα τα έτη τα οποία είχαν πλήρη δεδομένα για τα ίδια έτη. Έτσι, η επιλογή έγινε για τους σταθμούς Ανάβρα, Λουτροπηγή, Βαθύλακκο, και Ρεντίνα, για τα έτη από το 1972 έως και το 1984 από ΥΠΔΕ / ΥΠΕΧΩΔΕ (βλέπε παράρτημα) και στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι μέσες ετήσιες τιμές (Πίν. 2.1).

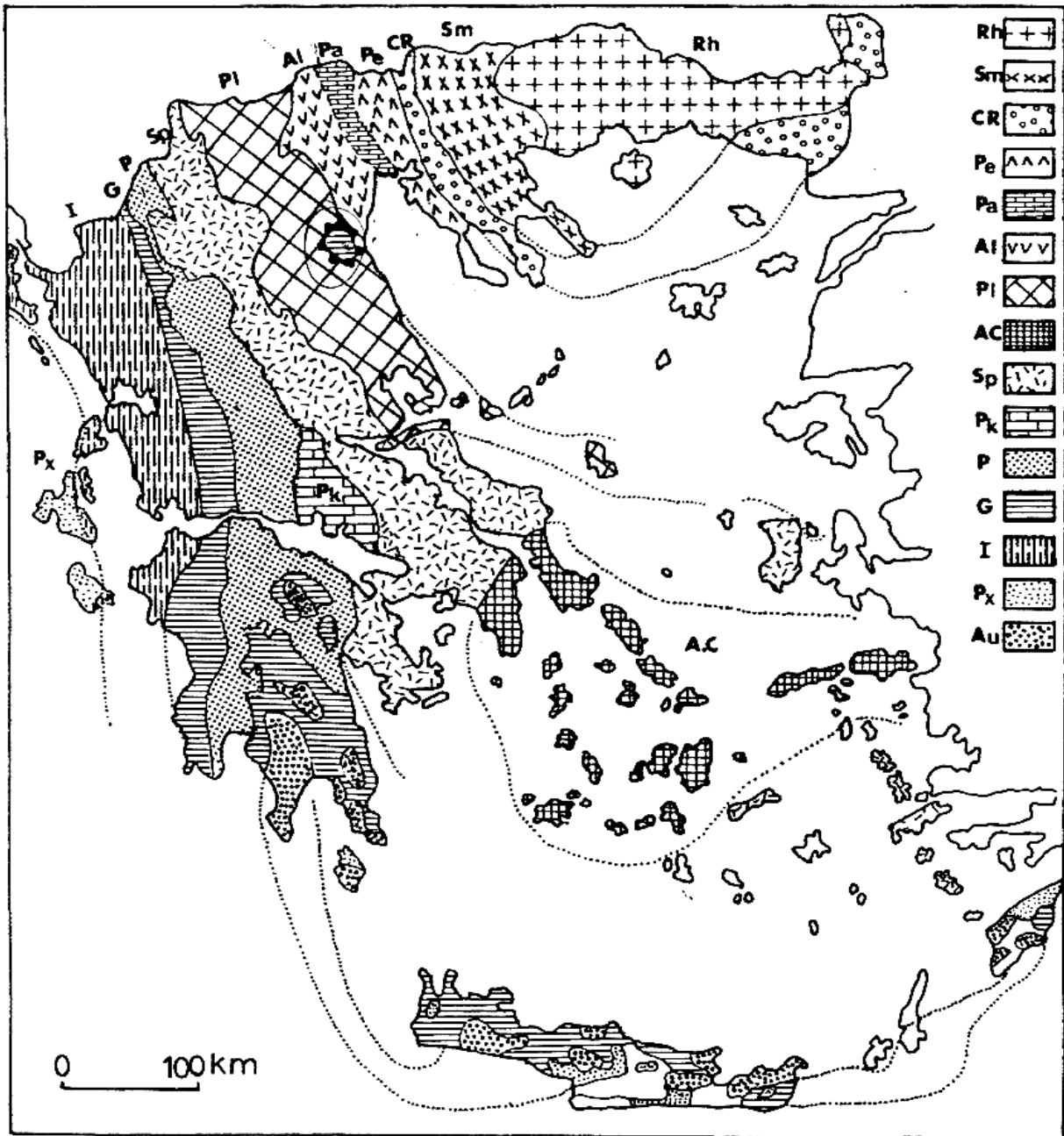
Πίνακας 2.1: Μέσο ύψος βροχής ανά έτος

	Ανάβρα	Λουτροπηγή	Βαθύλακος	Ρεντίνα
1972	593,7	820,9	1056,6	1827,4
1973	778,5	1000	1217,3	1826
1974	588,9	830,2	878,7	1208,8
1975	815,6	956,8	855,8	1046,8
1976	372,7	579,6	769,3	781,6
1977	860,8	1106,3	1143,4	1274,4
1978	687,1	760	927,5	1879,6
1979	1155,7	1237	1160,8	2214,2
1980	990,7	1072	1165,2	1422,4
1981	1123,3	1229,4	1418,6	1270,4
1982	564,6	799,3	941,9	1028
1983	953,5	923,2	1422,9	1424,1
1984	445,8	815,7	959,6	1246
M.O	763,91	933,11	1070,58	1419,21

2.8.5. Γεωλογικά δεδομένα

Η ευρεία περιοχή ενδιαφέροντος, από γεωτεκτονική άποψη, ανήκει στον χώρο της Υποπελαγονικής Γεωτεκτονικής Ζώνης προς την πλευρά της Ζώνης Πίνδου (Σχ. 2.6). Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης ανήκει στη «Μεσοελληνική Αύλακα», η οποία αναπτύχθηκε στη διάρκεια της τελικής ορογενετικής δράσης του Άνω Ηώκαινου, σαν μια μεγάλη αύλακα.

Η αύλακα αυτή λειτούργησε κυρίως το Ολιγόκαινο – Μέσο Μειόκαινο σαν χώρος απόθεσης μολασσικών ιζημάτων πολύ μεγάλου πάχους. Έχει μήκος περίπου 130 km και πλάτος που ξεπερνά τα 40 km. Εκτείνεται με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ παράλληλα στο Ελληνικό ορογενετικό τόξο, στον κορμό του Ελληνικού ηπειρωτικού χώρου. Από τα Ελληνοαλβανικά σύνορα συνεχίζει νότια προς τις περιοχές Καστοριάς, Γρεβενών, Καλαμπάκας και βυθίζεται κάτω από τις προσχώσεις της πεδιάδας της Θεσσαλίας, ενώ ορισμένες εμφανίσεις της επισημάνθηκαν και πιο νότια.



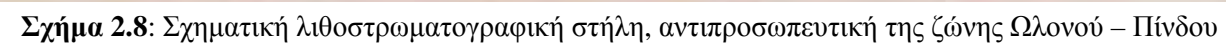
Σχήμα 2.6: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων Ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική Ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική Ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική Ζώνη, Sp: Υποπελαγονική Ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαββρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος Ζώνη, Px: Ζώνη Παζών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Ταλέα Όροι – Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου Ζώνης (Μουντράκης, 1983)

2.8.5.1 Υποπελαγονική Ζώνη

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική θέση της, η Υποπελαγονική ζώνη παρουσιάζει τρεις διαφορετικές στρωματογραφικές - τεκτονικές διαδοχές των πετρωμάτων της, τις ακόλουθες:

- 1) Αυτή η οποία περιλαμβάνει μόνο την οφειολιθική ακολουθία και τα συνοδά ιζήματα βαθειάς θάλασσας χωρίς να παρατηρείται κανένα τεκτονικό υπόβαθρο αυτών.
- 2) Αυτή στην οποία οι οφειόλιθοι με τα συνοδά ιζήματα βρίσκονται τοποθετημένοι πάνω σε πελαγικά ανθρακικά πετρώματα.
- 3) Εκείνη στην οποία οι οφειόλιθοι με τα συνοδά ιζήματα βρίσκονται επωθημένοι πάνω σε νηριτικά ανθρακικά πετρώματα τυπικά ηπειρωτικού περιθωρίου, που βέβαια δεν διαφέρει σε τίποτα από την τεκτονική εικόνα του δυτικού Πελαγονικού περιθωρίου.

Οι τρεις παραπάνω διαδοχές πετρωμάτων δεν έχουν την έννοια τριών διαφορετικών ενοτήτων οι οποίες αναπτύσσονται σε ξεχωριστούς χώρους αλλά ουσιαστικά αντιπροσωπεύουν την εξέλιξη από τα δυτικά προς τα ανατολικά των βαθιών ωκεάνιων συνθηκών ιζηματογένεσης προς τις νηριτικές του ηπειρωτικού περιθωρίου. Η χάραξη ορίων ανάμεσά τους δεν είναι όμως δυνατή, διότι η εξέλιξη ήταν σταδιακή αλλά και διότι οι μετέπειτα τεκτονισμοί και κυρίως οι Τριτογενείς λεπιώσεις έχουν τελείως μεταβάλλει κάθε γεωγραφική συνέχειά τους.



2.8.5.2 Γεωλογία περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης γεωλογικά χωρίζεται σε δύο μέρη: Στον κλάδο του Ονόχωνου, με διεύθυνση από τα ανατολικά προς τα δυτικά και στον κλάδο του Ρεντινιώτη με κύρια διεύθυνση από Νότο προς Βορρά.

Γεωλογικά, ο κλάδος του Ονόχωνου αποτελείται κυρίως από περιδοτίτη, ηφαιστειακά πετρώματα και μεσοζωϊκά ιζήματα. Ο κλάδος του Ρεντινιώτη εκτείνεται σε τριαδικό φλύσχη και στα ανάντη του παρουσιάζονται μερικές εμφανίσεις κρητιδικού ασβεστόλιθου (Σχ. 2.7, 2.8).

Αναλυτικά τα πετρώματα που απαντώνται στην περιοχή είναι:

Φλύσχης(fo): αποτελείται από ασβεστιτικούς ψαμμίτες, ψαμμίτες(fo-st) και αργιλικούς σχιστόλιθους. Τοπικά μέσα σ' αυτόν απαντούν και κροκαλοπαγή. Στα ανώτερα μέρη του σχηματισμού παρεμβάλλονται πλακώσεις φακοειδής αβεστόλιθοι (fo.k) με απολιθώματα.

Περιδοτίτης(π): αποτελείται από πυροξενικούς περιδοτίτες, ολινίτες, γαββροι.

Ανωκρητιδικός φλύσχης(krop-f): αποτελείται από αργιλικούς ψαμμίτες και σχιστόλιθους – κροκαλοπαγή.

Ανωκρητιδικός ασβεστόλιθος(krop-k): απαντάται εντός του συστήματος του φλύσχη, ενίοτε πλακώδης.

Σχιστοκερατολιθική διάπλασης με οφειόλιθους και σερπεντίνες (Rj-sh): είναι ένα σύστημα αργιλικών σχιστόλιθων, κερατόλιθων, μαργαϊκών ασβεστόλιθων σε λεπτά εναλλασσόμενα στρώματα.

Κροκαλοπαγή (Mo): ολιγοκαινικά κροκαλοπαγή με ανεπτυγμένη διάπλαση.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Παράγωγοι θεματικοί χάρτες Γεωγραφικών Πληροφοριών

3.1.1. Οπτική σάρωση και γεωαναφορά

Πραγματοποιήθηκε η σάρωση των τοπογραφικών χαρτών, (παράμετροι σάρωσης: 300dpi ανάλυση χρώματος και βάθος χρώματος 24 bit), και ακολούθησε η γεωαναφορά των χαρτών. Με την εφαρμογή του λογισμικού *Arcmap*, το οποίο είναι υποπρόγραμμα του *ArcGIS 9.3*, έγινε η οπτικοποίηση των θεματικών επιπέδων που αντιστοιχούν στους χάρτες σάρωσης και πραγματοποιήθηκε η γεωαναφορά ύστερα από την κατάδειξη των σημείων ελέγχου, για τα οποία είναι γνωστές οι συντεταγμένες τους.

Για τη γεωαναφορά των εικόνων και των τεσσάρων χαρτών χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα σημεία ελέγχου (control points) για το κάθε φύλλο χάρτη, οι συντεταγμένες των οποίων δίνονται από τους παρακάτω πίνακες:

Συντεταγμένες Χάρτη Λεονταρίου		Συντεταγμένες Χάρτη Φουρνών	
X: 3,30.000	X: 3,45.000	X: 310.000	X: 325.000
Y: 43,45.000	Y: 43,40.000	Y: 4,350.000	Y:4,350.000
X: 3.30.000	X: 3.45.000	X:310.000	X: 325.000
Y: 43,20.000	Y:43,20.000	Y: 4,320.000	Y: 4,320.000
Συντεταγμένες Χάρτη Καρδίτσας		Συντεταγμένες Χάρτη Σοφάδων	
X: 310.000	X: 325.000	X: 330.000	X: 345.000
Y: 4,370.000	Y: 4,370.000	Y: 4,370.000	Y: 4,370.000
X: 310.000	X:325.000	X: 330.000	X: 345.000
Y: 4,350.000	Y: 4,350.000	Y: 4,350.000	Y: 4,350.000

Πίνακας 3.1: Οι συντεταγμένες των τοπογραφικών χαρτών Λεονταρίου, Φουρνών, Καρδίτσας και Σοφάδων (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού).

3.1.2. Δημιουργία Θεματικών επιπέδων

Στην συνέχεια έγινε οργάνωση των οντοτήτων που πρόκειται να ψηφιοποιηθούν σε θεματικά επίπεδα. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω του υποπρογράμματος *ArcCatalog* και τη δημιουργία δύο υποφακέλων *Map*, *SHP*. Ο πρώτος περιέχει τα αρχεία των χαρτών και ο δεύτερος όλα τα θεματικά επίπεδα με το όνομα *Shapefile*. Ο *SHP* φάκελος περιέχει *shapefiles* (*points, polylines, polygon*) μέσα στα οποία περιέχονται τα δομικά στοιχεία. (Πίνακας 3.2)

Στη συγκεκριμένη μελέτη τα θεματικά επίπεδα που δημιουργήθηκαν είναι τα εξής:

Πίνακας 3.2: Θεματικά επίπεδα και τύπος δομικών στοιχείων

Θεματικά Επίπεδα	Μορφή
Υδρογραφικό δίκτυο	Γραμμή
Υδροκρίτης	Γραμμή
Ισοϋψείς	Γραμμή
Βροχομετρικοί - Μετεωρολογικοί Σταθμοί	Σημεία
Λίμνη Σμοκόβου	Σημεία
Corine(Φυτοκάλυψη)	Layer
Όρια υπολεκανών	Γραμμή

Το επόμενο στάδιο αφορά την ψηφιοποίηση των γεωγραφικών οντοτήτων και συγκεκριμένα του υδρογραφικού δικτύου, του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής, των ισοϋψών (ανά 20m) που περιλαμβάνονται μέσα στην λεκάνη.

Η διαχείριση των παραπάνω θεματικών επιπέδων που δημιουργήθηκαν και η προσθήκη σε αυτά των γεωγραφικών οντοτήτων υλοποιείται με τη χρήση του υποπρογράμματος *ArcMap*. Στην συνέχεια προστέθηκαν τα θεματικά επίπεδα καθώς και ο σαρωμένος χάρτης (αρχείο εικόνας), ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο για την ψηφιοποίηση της περιοχής. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του '*snapping tolerate*' και όπου κρίθηκε αναγκαίο πραγματοποιήθηκαν περαιτέρω ρυθμίσεις. Από το παράθυρο *snapping environment* έγινε καθορισμός των τμημάτων από τις υπάρχουσες οντότητες. Για όλα τα γραμμικά στοιχεία (υδρογραφικό δίκτυο) έχει γίνει επιλογή των τμημάτων που θα ψηφιοποιηθούν έτσι ώστε να συνενώνονται τόσο με την κορυφή, όσο με την πλευρά και με τον κόμβο λήξης όταν βρίσκεται σε απόσταση 20 m, ανάλογα βέβαια με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για τη διαδικασία της ψηφιοποίησης χρησιμοποιήθηκε η σημειακή μέθοδος (*point mode*) γιατί δίνει έμφαση στην λεπτομέρεια σε αντίθεση με την αλυσιδωτή μέθοδο (Χαλκιάς, 2003)

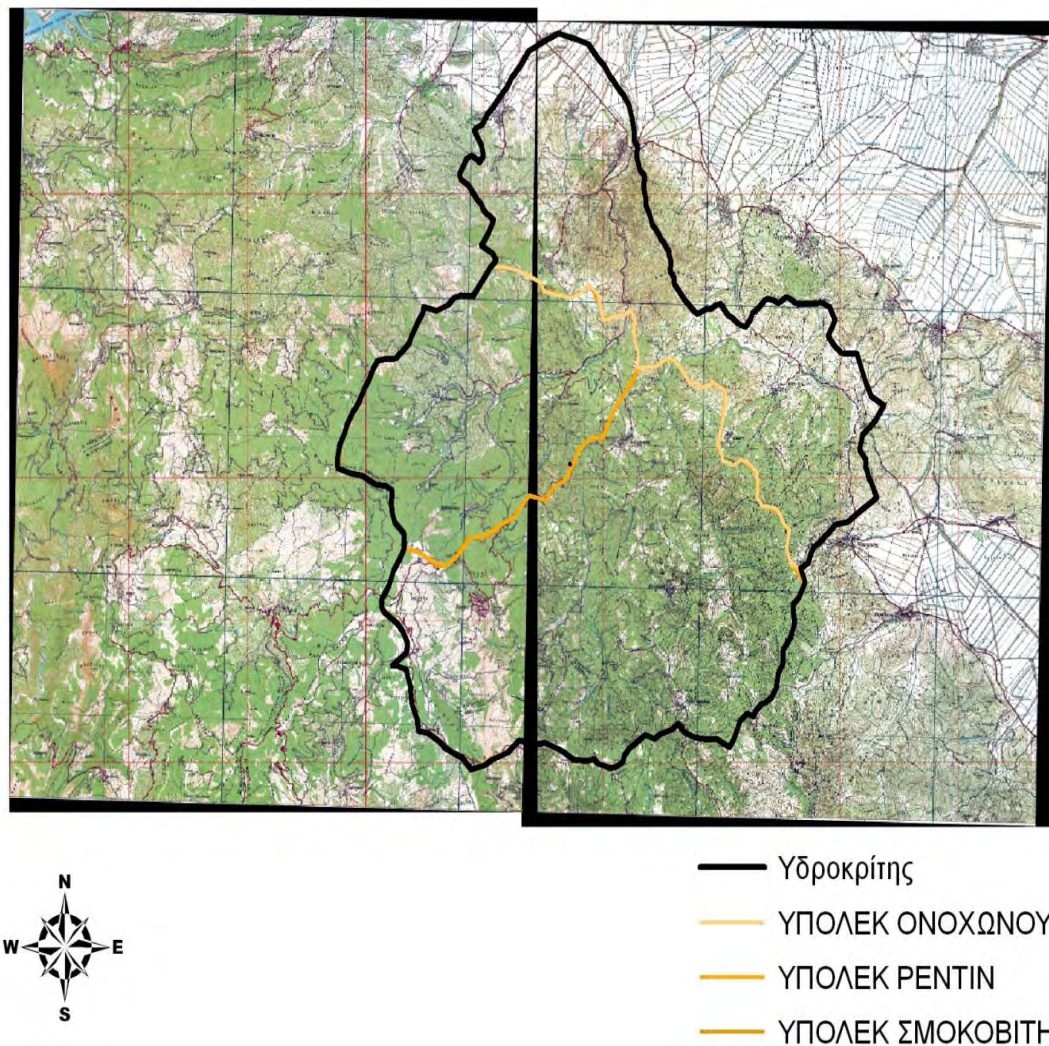
Εφόσον προσδιορίστηκαν οι ανοχές ψηφιοποίησης, έγινε η ψηφιοποίηση των γεωγραφικών οντοτήτων, δηλαδή των ισοϋψών, του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού και υδροκρίτη. Το αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης είναι η δημιουργία εννιά χαρτών που αφορούν:

- Τις ισοϋψείς καμπύλες (ανά 20 m).
- Το υδρογραφικό δίκτυο του Σοφαδίτη ποταμού.
- Το όριο της περιοχής.
- Τα όρια φύλλων χάρτη Γ.Υ.Σ.
- Τις υπολεκάνες απορροής του Σοφαδίτη.

- Το χάρτη κλίσεων της περιοχής.
- Τους σταθμούς μέτρησης κατακρημνισμάτων και θερμοκρασίας.
- Το γεωλογικό υπόβαθρο.
- Και τον τρισδιάστατο χάρτη της λεκάνης απορροής.

3.1.2.1. Όριο περιοχής

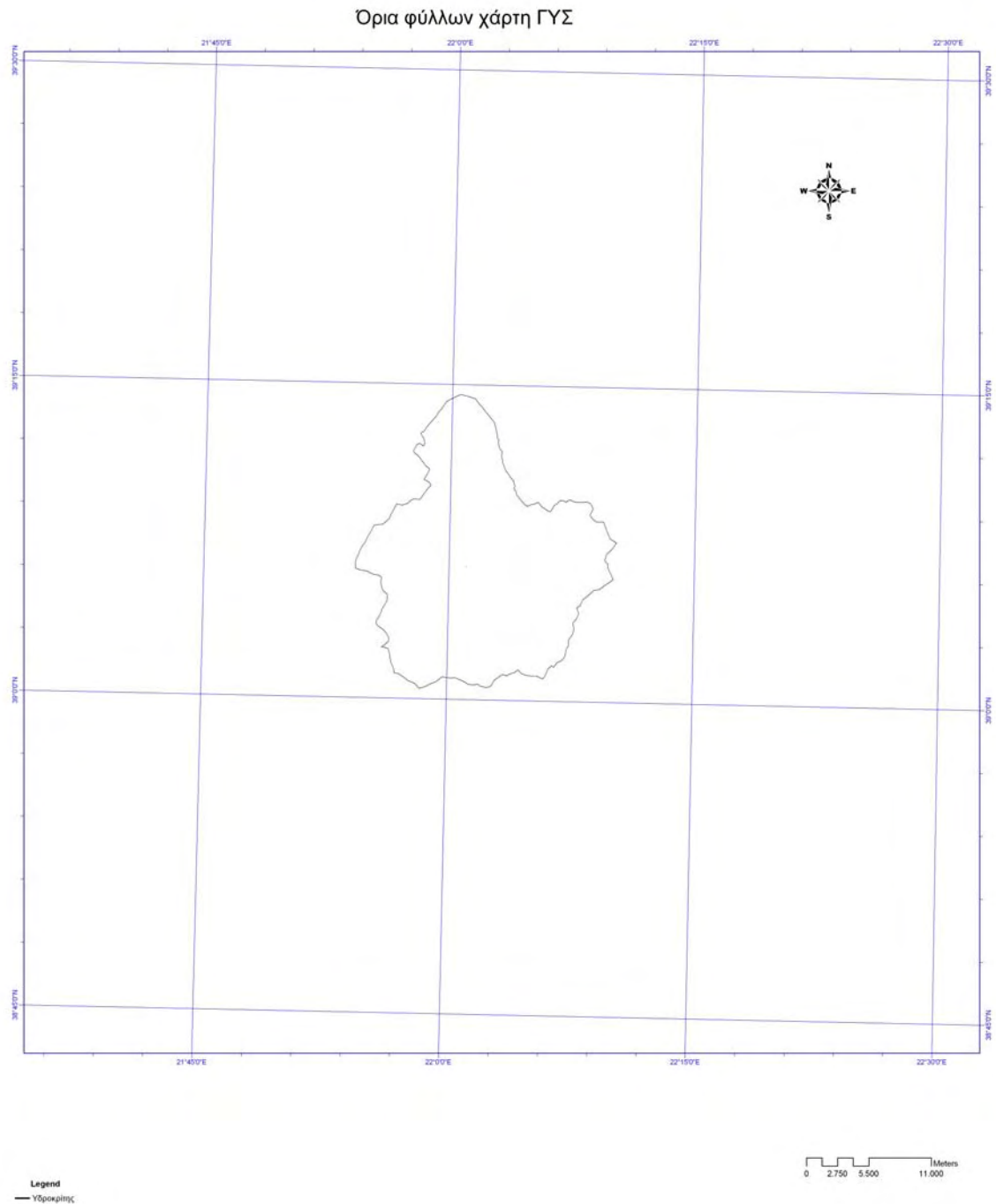
Για την μελέτη του υδατικού ισοζυγίου έγινε συλλογή διαφόρων κατηγοριών πρωτογενών γεωγραφικών δεδομένων για την περιοχή μελέτης όπως περιγράφηκε προηγούμενα. Η κλίμακα προσέγγισης είναι 1:50 000 και το σύστημα αναφοράς, το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ'87) (Σχ. 3.1).



Σχήμα 3.1: Υδροκρίτης λεκάνης απορροής Σοφαδίτη

3.1.2.2 Όρια φύλλων χάρτη της ΓΥΣ

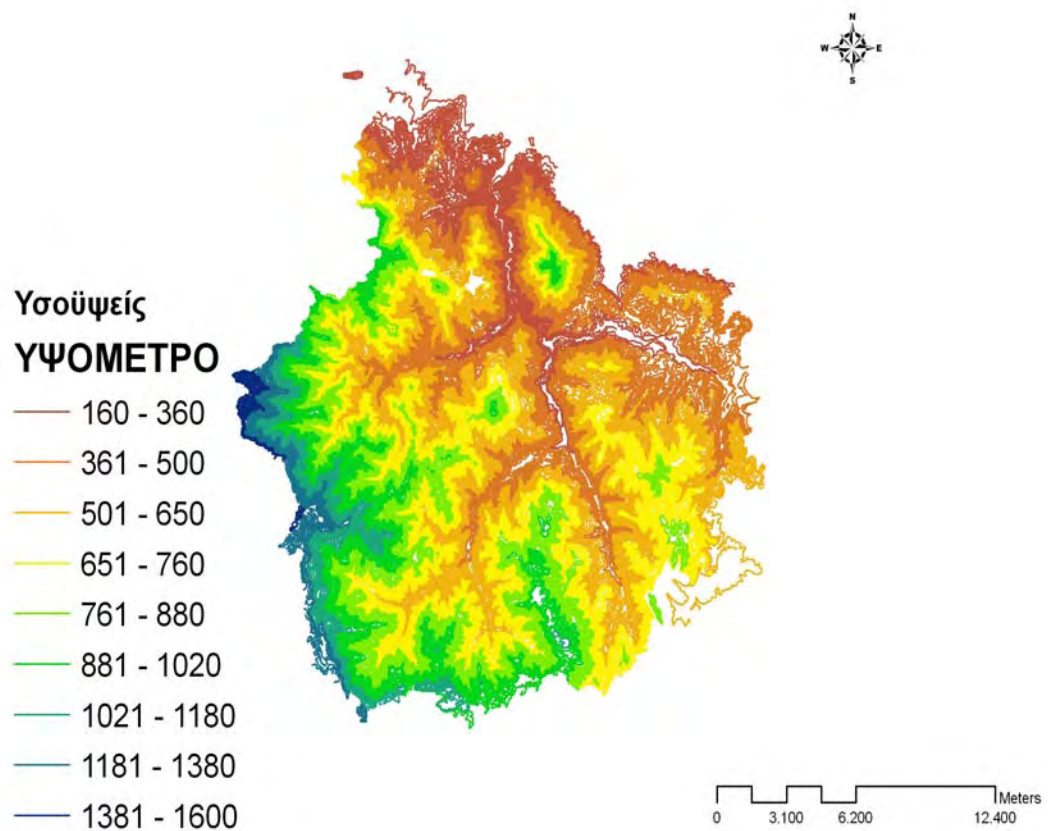
Την περιοχή καλύπτουν δύο φύλλα χάρτη (κλίμακας 1:50 000) της ΓΥΣ: Φουρνά, Λεοντάριον (Σχ. 3.2).



Σχήμα 3.2. Φύλλα χάρτη ΓΥΣ που περικλείουν την περιοχή μελέτης.

3.1.2.3 Ισοϋψείς

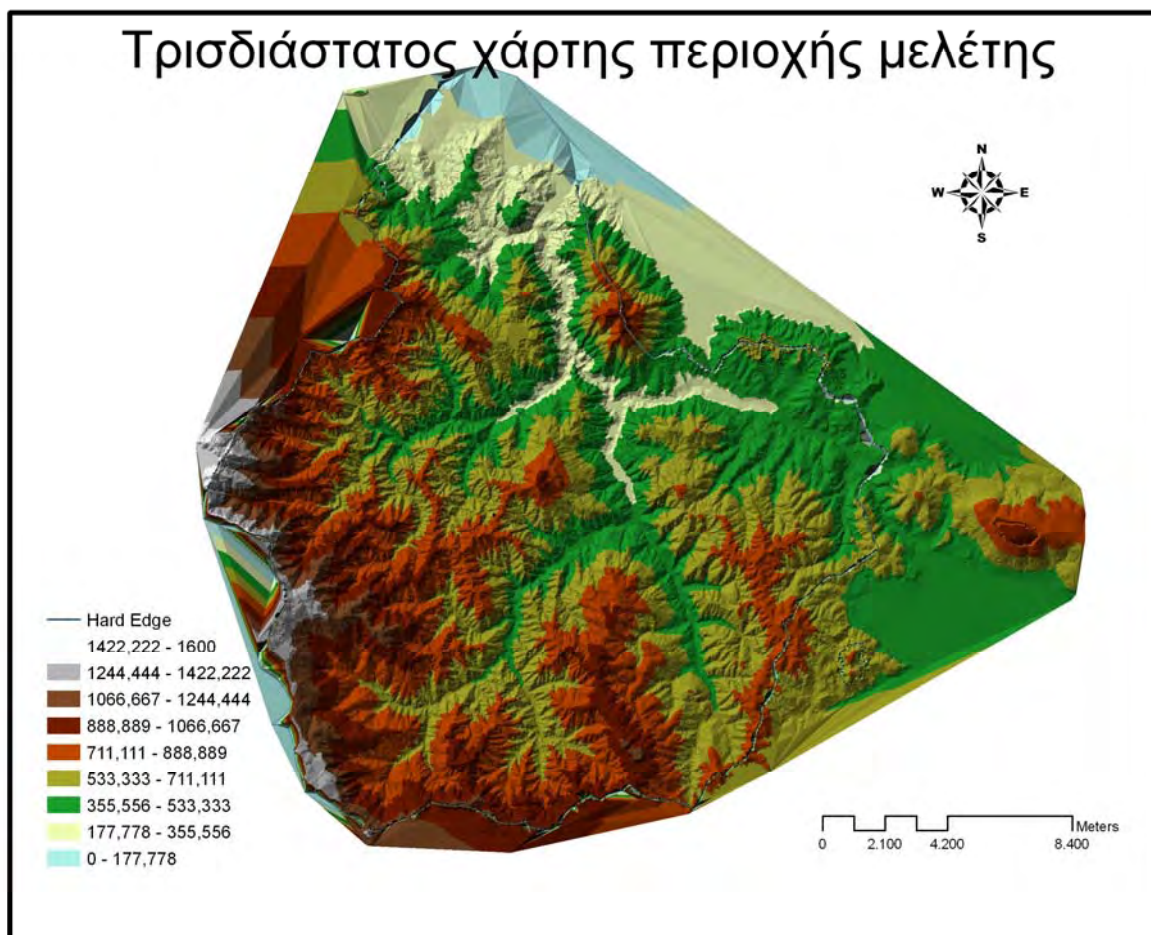
Έγινε συλλογή και καταχώρηση ισοϋψών καμπυλών (υψόμετρα από 90 m έως 1400 m) (Σχ. 3.3).



Σχήμα 3.3 : Ισοϋψείς καμπύλες περιοχής μελέτης

3.1.2.4. Τρισδιάστατος χάρτης περιοχής μελέτης (Digital Elevation Model - DEM)

Εν συνεχεία από τις ισοϋψείς παράχθηκε το τρισδιάστατο μοντέλο της περιοχής μελέτης (Σχ. 3.4).



Σχήμα 3.4: Τρισδιάστατος χάρτης λεκάνης απορροής ποταμού Σοφαδίτη

3.1.2.5 Υδρογραφικό δίκτυο

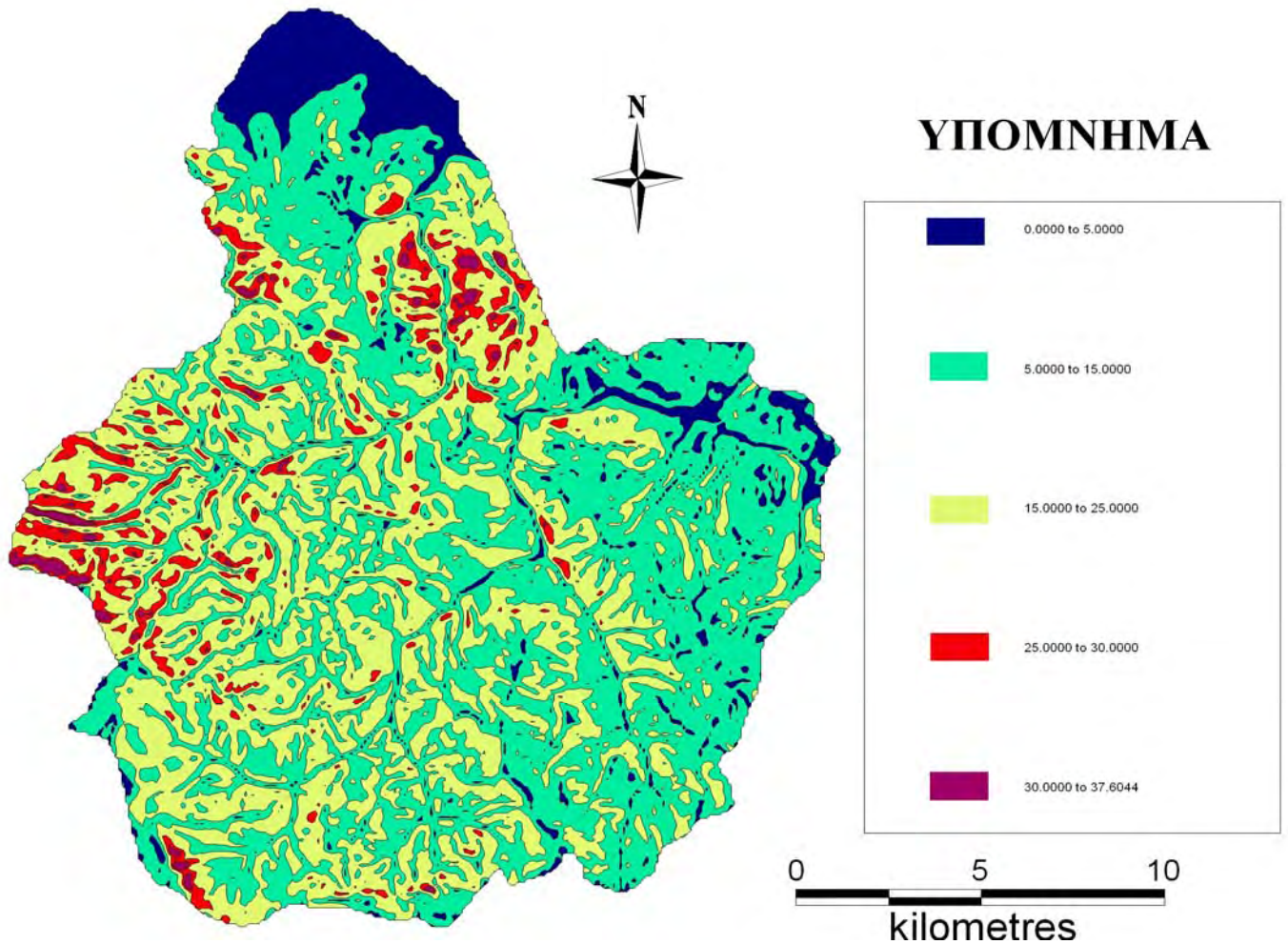
Έγινε καταχώρηση του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής (Σχ. 3.5).



Σχήμα 3.5: Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης

3.1.2.6 Χάρτης κλίσεων λεκάνης απορροής Σοφαδίτη

Από το DEM προέκυψε ο χάρτης κλίσεων της περιοχής μελέτης χωρισμένες σε ποσοστά επί τις εκατό (Σχ. 3.6).



Σχήμα 3.6: Χάρτης κλίσεων περιοχής μελέτης

3.1.2.7. Σταθμοί μέτρησης

Στο παρακάτω σχήμα, δίνονται οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν τόσο για τη βροχόπτωση, όσο και για τη θερμοκρασία (Σχ. 3.7).



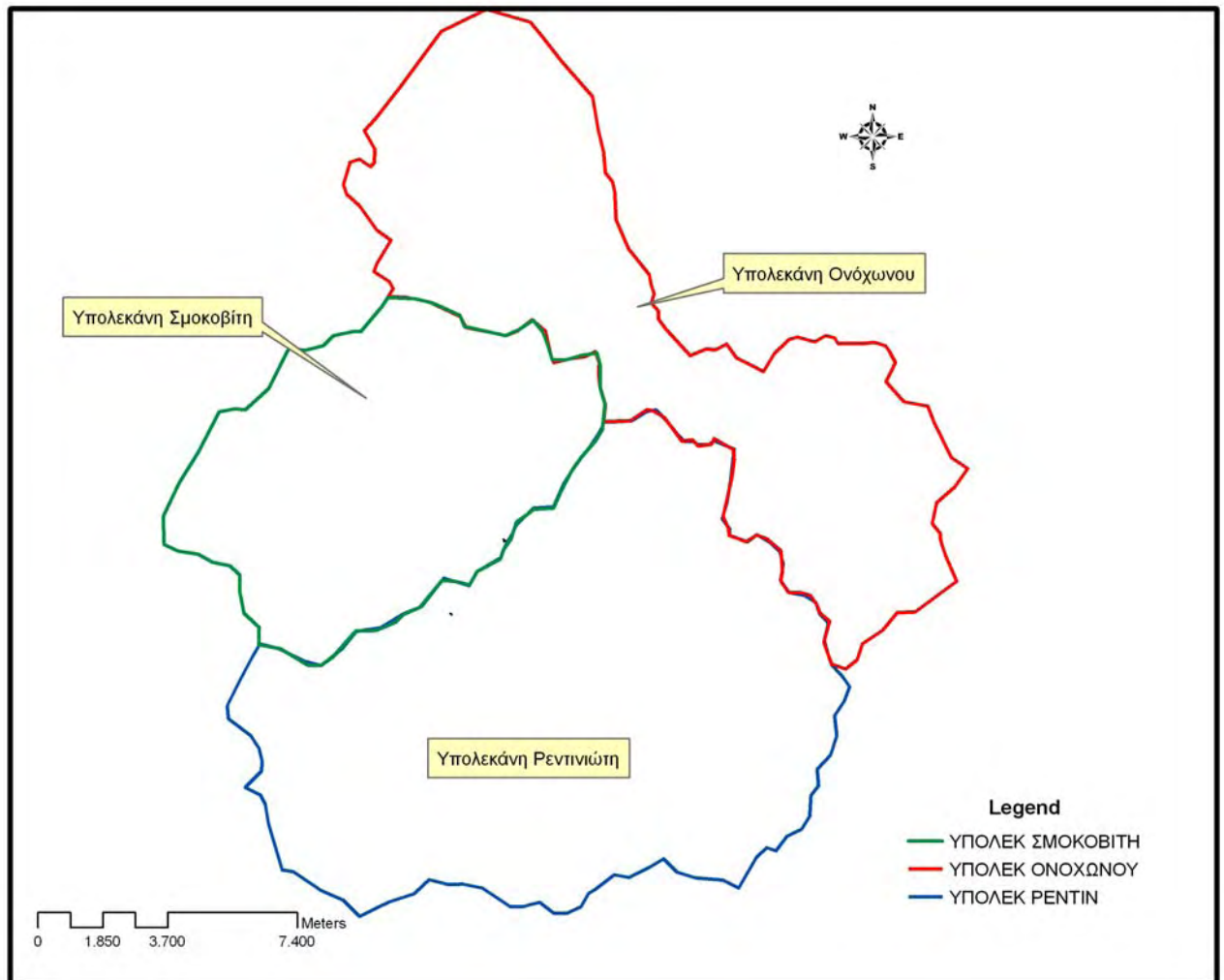
Σχήμα 3.7: Θέσεις των σταθμών μέτρησης νετόπτωσης και θερμοκρασίας.

Πίνακας 3.3: Ονομασία σταθμών και υψόμετρα.

A/A	Σταθμός	Υψόμετρο	Φορέας	Τύπος
1	Αμάραντος	800	ΥΠΓΕ	Βροχομετρικός
2	Βαθύλακκος	800	ΔΕΗ	Βροχομετρικός
3	Λουτροπηγή	730	ΥΠΕΧΩΔΕ	Βροχομετρικός
4	Γιαννιτσού	960	ΥΠΓΕ	Βροχομετρικός
5	Δομοκός	615	ΕΜΥ	Μετεωρολογικός
6	Φουρνά	1100	ΕΘΙΑΓΕ	Μετεωρολογικός

3.1.2.8. Υπολεκάνες απορροής Σοφαδίτη

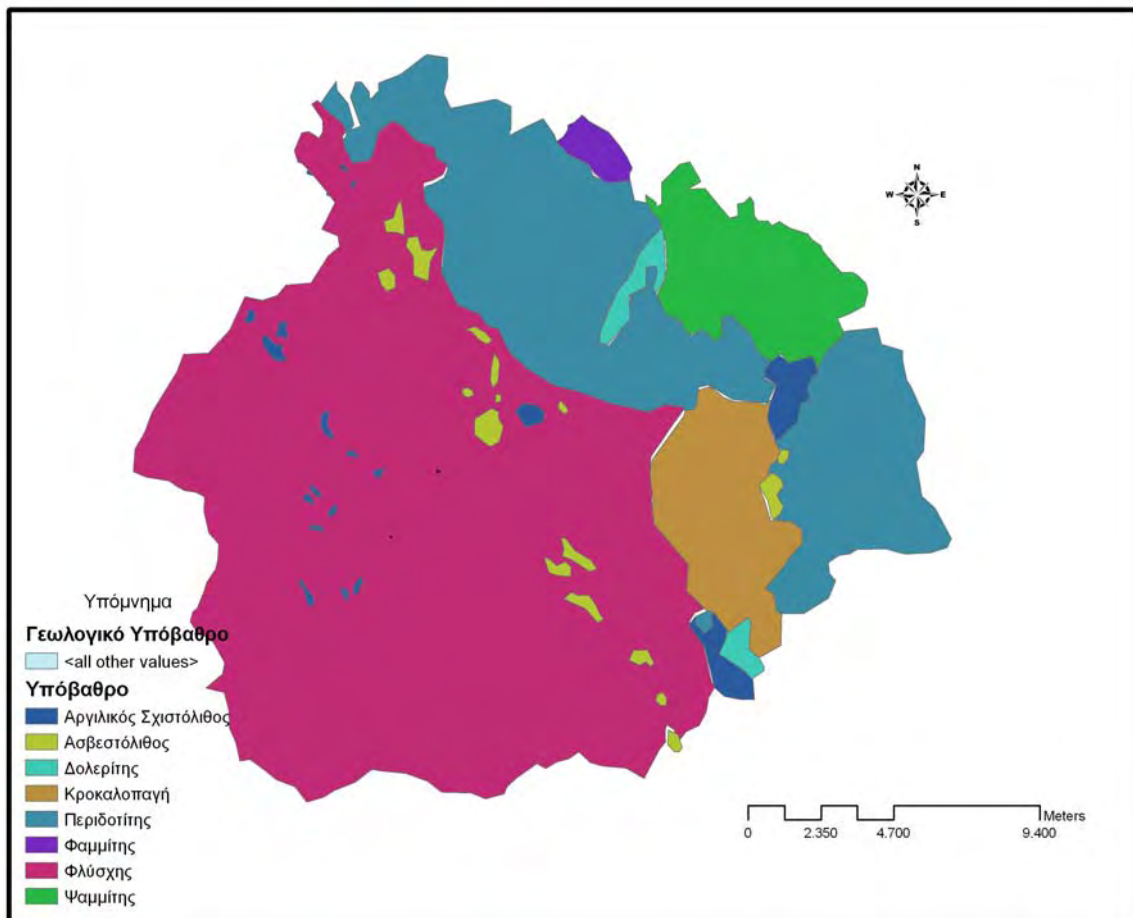
Στο σχήμα 3.8, δίνονται το υδρογραφικό δίκτυο και οι υπολεκάνες των Ρεντινιώτη, Σμοκόβου, Ονόχωνου και η συμβολή του τελευταίου με τον Σοφαδίτη.



Σχήμα 3.8: Υπολεκάνες ποταμού Σοφαδίτη

3.1.2.9. Γεωλογικός χάρτης

Από την ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών των φύλλων χάρτη 1:50.000 του ΙΓΜΕ, δημιουργήθηκε η ομαδοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών, όπως φαίνεται στον Σχήμα 3.9. Από την ομαδοποίηση αυτή προέκυψαν οι συντελεστές κατείσδυσης Κ.



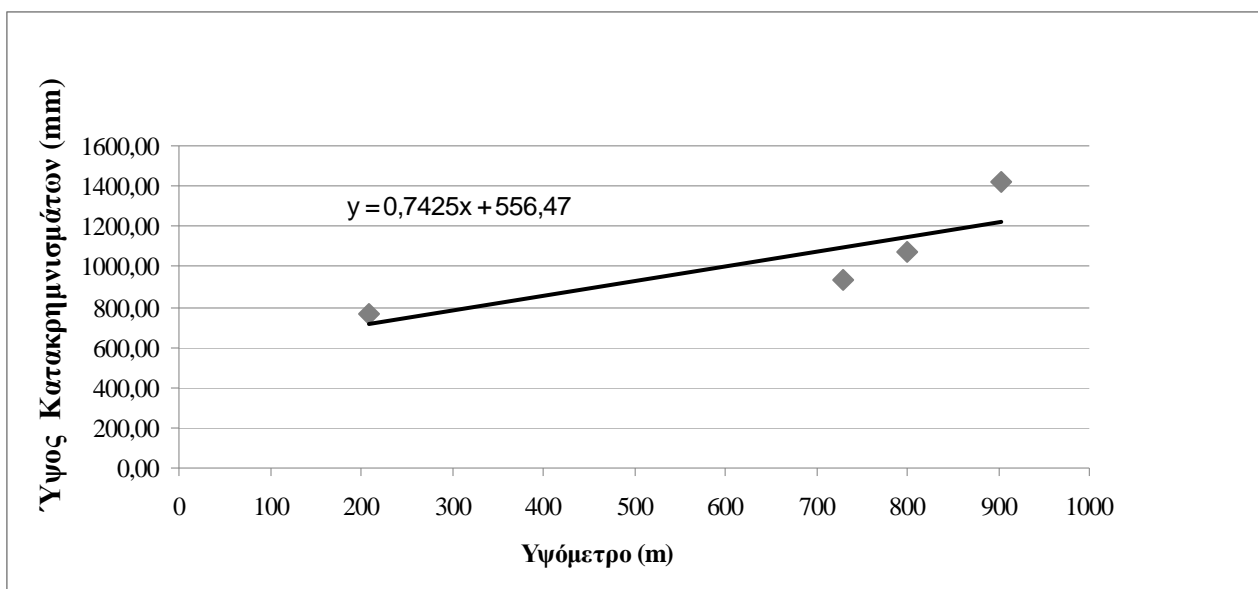
Σχήμα 3.9: Γεωλογικό υπόβαθρο λεκάνης απορροής

3.2 Αποτελέσματα υδατικού ισοζυγίου

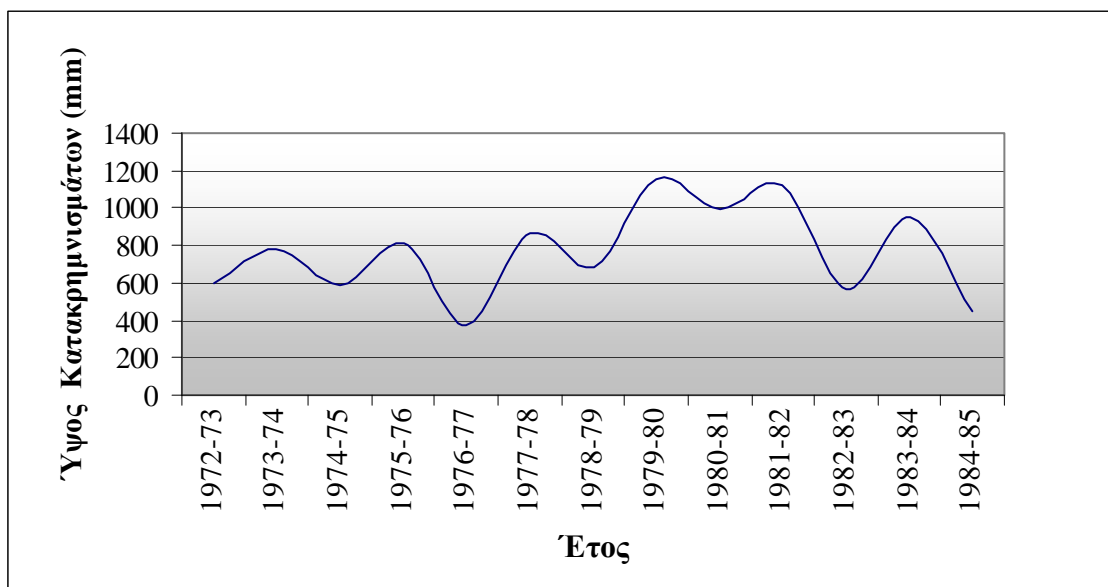
3.2.1. Η εφαρμογή των μοντέλων στο Σοφαδίτη ποταμό

3.2.3.1. Βροχοβαθμίδα περιοχής μελέτης

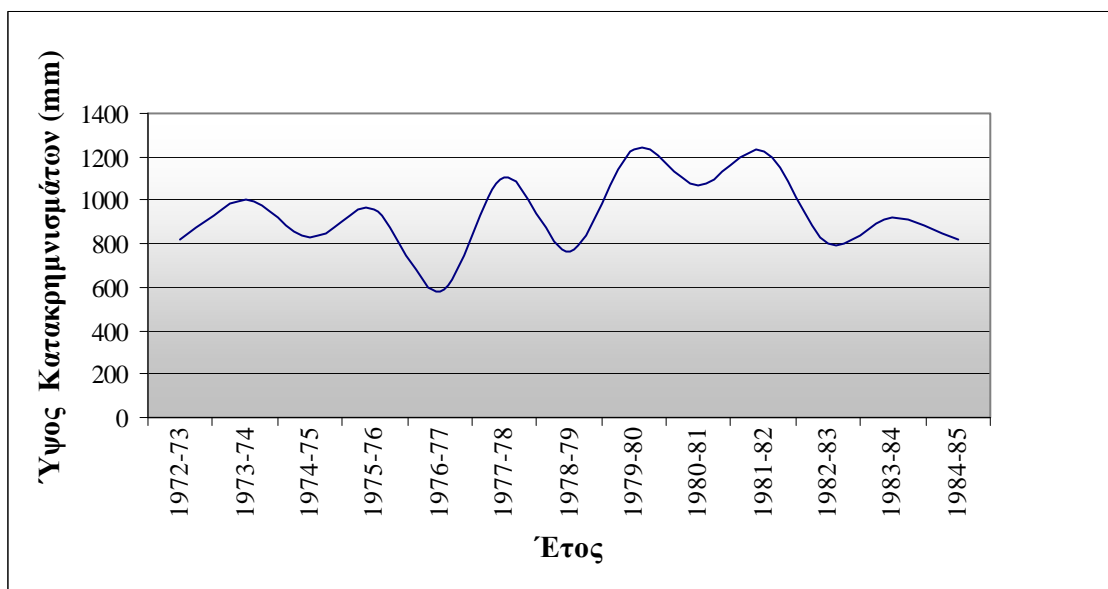
Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της βροχοβαθμίδας (Σχ.3.10) αναφέρονται σε μετρήσεις ετών, από το 1972 μέχρι και το 1984, και ελήφθησαν από 4 βροχομετρικούς σταθμούς (Σχ. 3.11, 3.12, 3.13, 3.14), που ήταν εγκατεστημένοι στην ευρύτερη περιοχή και παρακολουθούνταν μέχρι εκείνες τις χρονολογίες από την Υ.Π.Γ.Ε την ΔΕΗ και το ΥΠΕΧΩΔΕ (4 βροχομετρικοί σταθμοί) και από την Ε.Μ.Υ. και Ε.Θ.Ι.Α.Γ.Ε. (2 Μετεωρολογικοί σταθμοί).



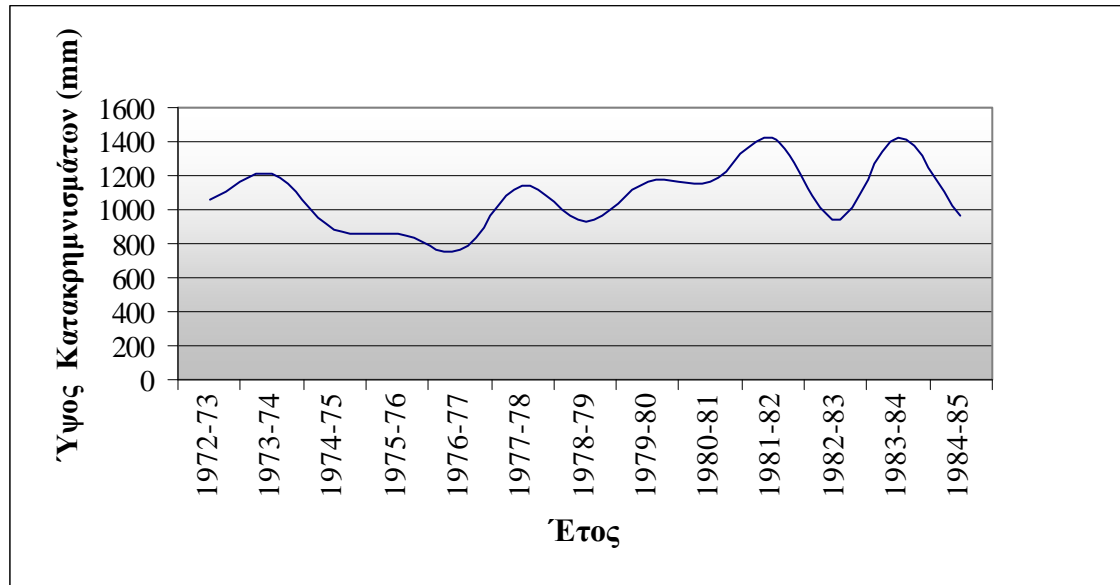
Σχήμα 3.10: Βροχοβαθμίδα περιοχής μελέτης



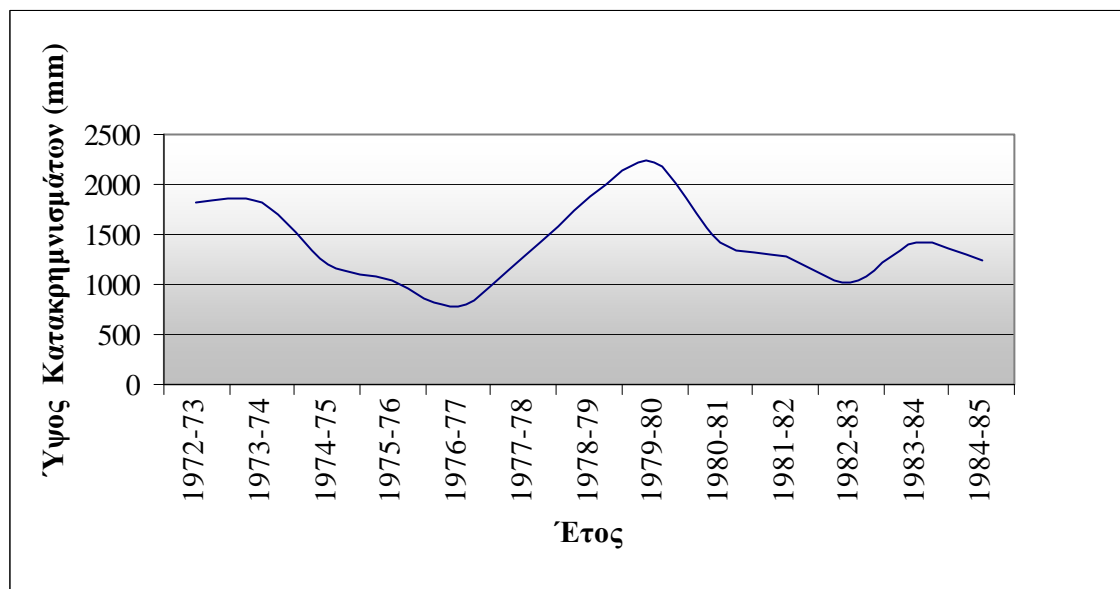
Σχήμα 3.11: Διακύμανση μέσου ύψους βροχής στη θέση Ανάβρα



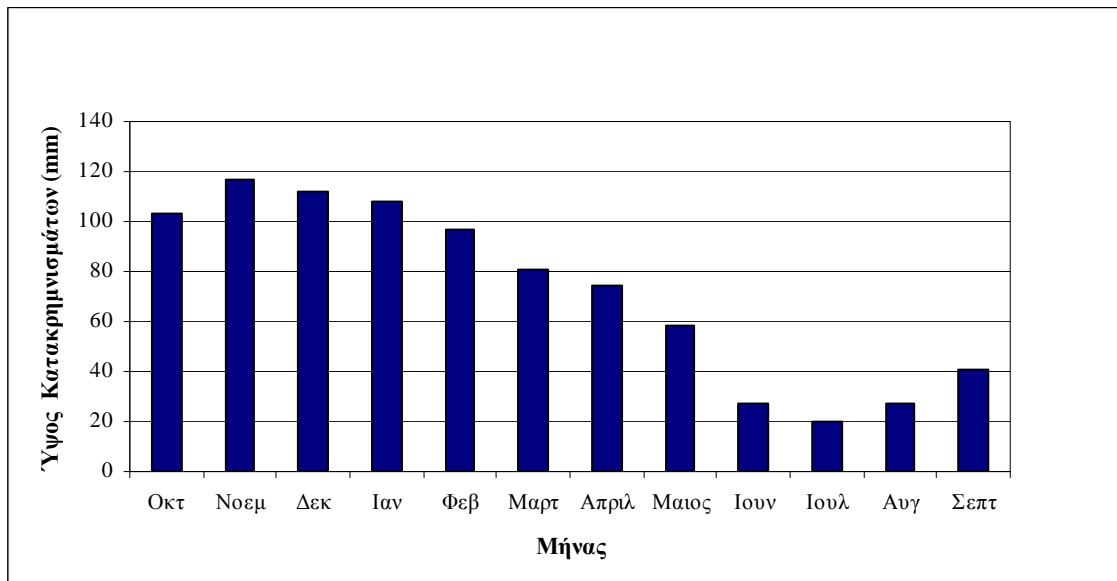
Σχήμα 3.12: Διακύμανση μέσου ύψους βροχής στη θέση Λουτροπηγή



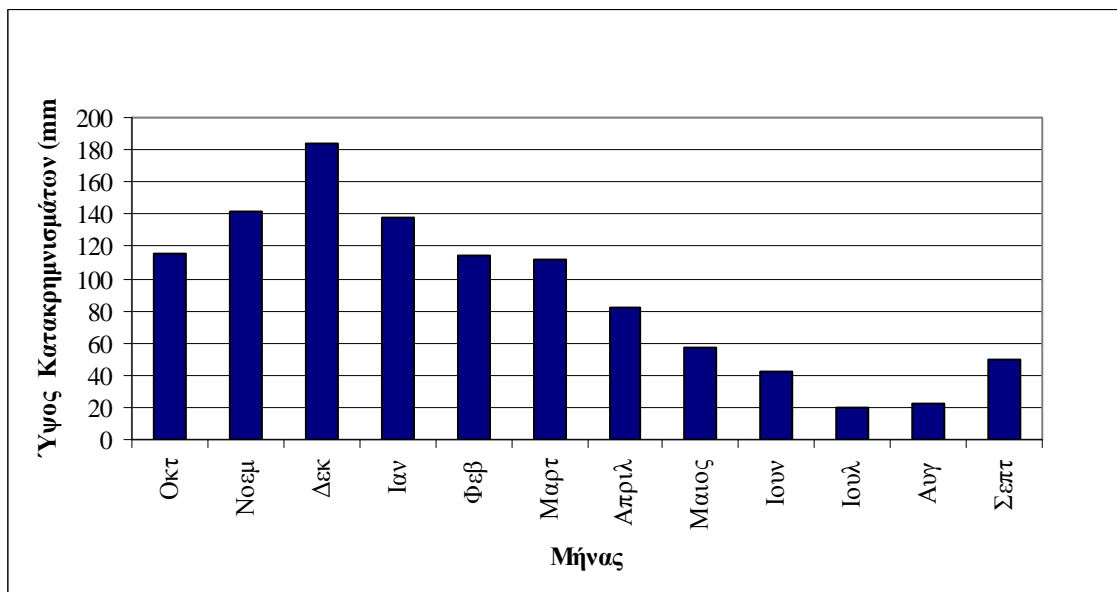
Σχήμα 3.13: Διακύμανση μέσου ύψους βροχής στη θέση Βαθύλακκος



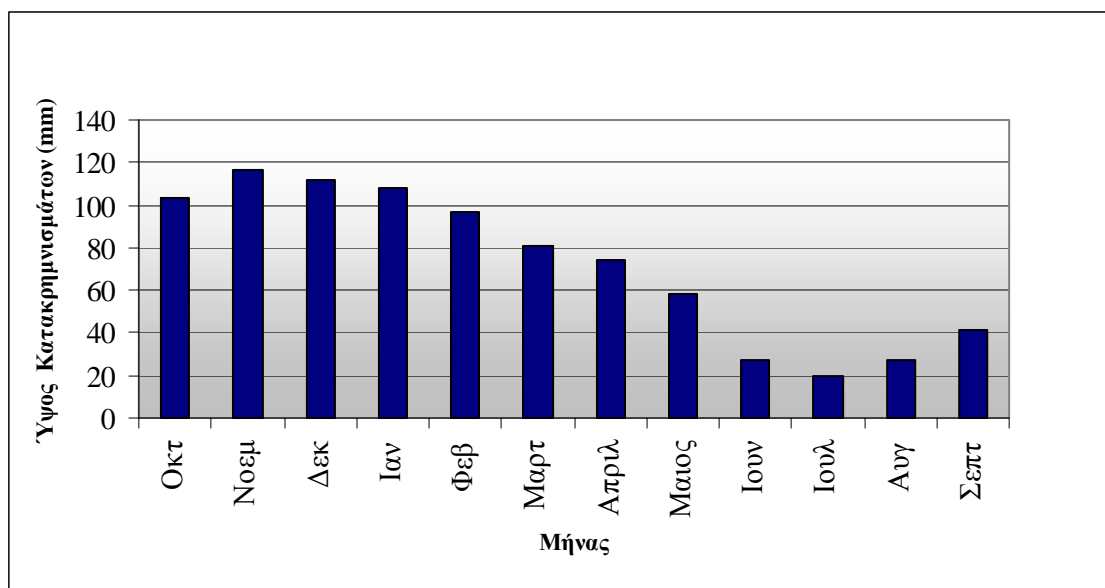
Σχήμα 3.14 : Διακύμανση μέσου ύψους βροχής στη θέση Πεντίνα



Σχήμα 3.15: Μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων (P) σε mm στη λεκάνη απορροής Ρεντινιώτη (Σταθμός Λουτροπηγής).



Σχήμα 3.16: Μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων (P) σε mm στη λεκάνη απορροής Συμοκοβίτη (Σταθμός Βαθύλακκος)



Σχήμα 3.17: Μέσες μηνιαίες τιμές κατακρημνισμάτων (P) σε mm mm στη λεκάνης απορροής Ονόχωνου (Σταθμός Λουτροπηγής)

3.2.1.2. Εξατμισοδιαπνοή

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την τον υπολογισμό του όγκου νερού της εξατμισοδιαπνοής είναι η μέθοδος Thornthwaite.

Οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται για να βρεθεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή για την λεκάνη απορροής του Σμοκοβίτικη, λαμβάνονται από τον μετεωρολογικό σταθμό των Φουρνών, υψομέτρου 1100 m. Για την δεύτερη λεκάνη απορροής, δηλαδή αυτή του Ονόχωνου χρησιμοποιούνται οι μηνιαίες τιμές οι οποίες υπολογίζονται με την μέθοδο της θερμοβαθμίδας από τις μέσες τιμές στον μετεωρολογικό σταθμό του Δομοκού, υψομέτρου 615 m (βλέπε σχετικούς πίνακες παραρτήματος). Ομοίως ισχύει και για τον Ρεντινιώτη.

Η θερμοβαθμίδα σύμφωνα με την οποία η τιμή της θερμοκρασίας πέφτει ανά 100 m, αλλάζει ανάλογα με το μήνα του έτους (Κουτσογιάννης κ.α. ,1988) (Πίν. 3.4).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές ανά μήνα:

Πίνακας 3.4 : Θερμοβαθμίδα περιοχής μελέτης ανά μήνα (°C)

Οκτ	0,41	Απριλ	0,6
Νοε	0,24	Μαιος	0,54
Δεκ	0,13	Ιουν	0,77
Ιαν	0,25	Ιουλ	0,78
Φεβ	0,37	Αυγ	0,71
Μαρ	0,54	Σεπτ	0,62

Αφού υπολογιστεί η δυνητική εξατμισοδιαπνοή πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή ανά μήνα ο οποίος βγαίνει από πίνακα και έχει σχέση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που μελετήθηκε (Στάθης Δ. και Σαπουντζής Μ., 2002). Τα αποτελέσματα υπολογίζονται στους παρακάτω πίνακες 3.5, 3.6 και 3.7 και στη συνέχεια απεικονίζονται στα σχήματα 3.18 έως 3.23:

Α) Υπολεκάνη Σμοκοβίτη

Πίνακας 3.5. Η εξατμισοδιαπνοή στη λεκάνη απορροής Σμοκοβίτη (Σχ. 3.22, 3.23)

	Θερμοκρασία (Ta)	$i=(Ta/5)1,5$	a	Εξατμισο- διαπνοή (Et) cm	Συντελεστής	Et συντελεστή	Et (mm)
Οκτ	11,83	3,64	1,21	5,05	0,93	4,70	46,99
Νοε	6,72	1,56	1,21	2,54	0,83	2,11	21,10
Δεκ	2,99	0,46	1,21	0,95	0,78	0,74	7,41
Ιαν	2,05	0,26	1,21	0,60	0,8	0,48	4,81
Φεβρ	2,91	0,44	1,21	0,92	0,89	0,82	8,18
Μαρ	5,52	1,16	1,21	2,00	0,99	1,98	19,81
Απριλ	9,40	2,58	1,21	3,82	1,1	4,20	42,03
Μαιος	14,32	4,85	1,21	6,37	1,2	7,65	76,46
Ιουν	19,21	7,53	1,21	9,10	1,25	11,38	113,81
Ιουλ	21,34	8,82	1,21	10,35	1,23	12,72	127,25
Αυγ	20,33	8,20	1,21	9,75	1,15	11,22	112,17
Σεπτ	17,26	6,41	1,21	7,99	1,04	8,31	83,14
Σύνολο		45,91					663,16

B) Υπολεκάνη Ρεντινιώτη

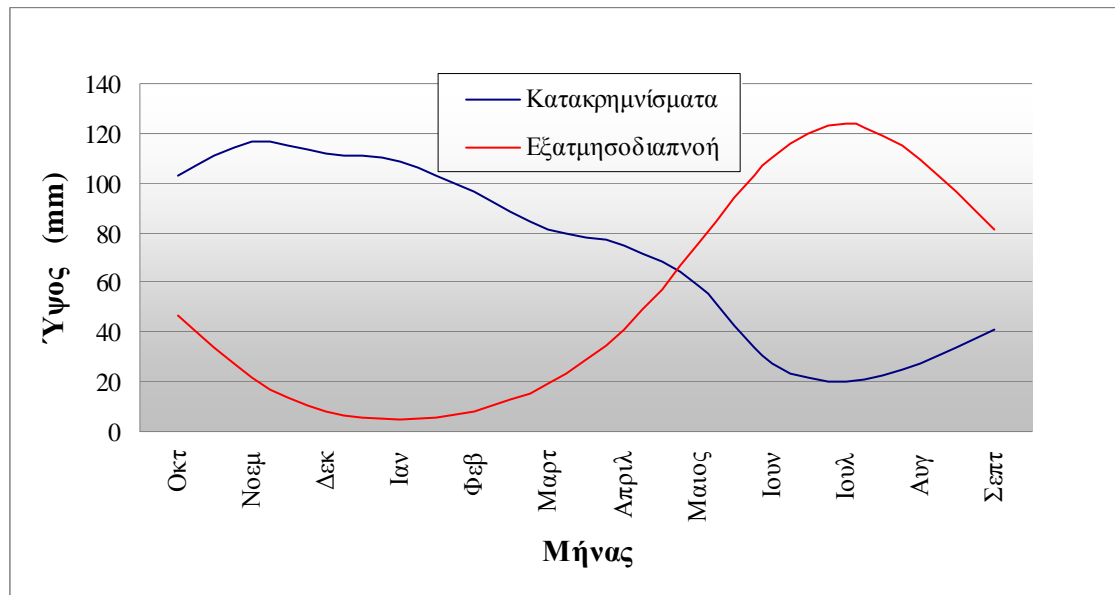
Πίνακας 3.6. Η εξατμισοδιαπνοή στη λεκάνη απορροής Ρεντινιώτη (Σχ. 3.18, 3.19)

	Θερμοκρασία (Ta)	$i=(Ta/5)1,5$	a	Εξατμισο- διαπνοή (Et) cm	Συντελεστής	Et συντελεστή	Et (mm)
Οκτ	11,49	3,48	1,18	5,02	0,93	4,67	46,69
Νοε	6,52	1,49	1,18	2,57	0,83	2,14	21,37
Δεκ	2,88	0,44	1,18	0,98	0,78	0,77	7,66
Ιαν	1,84	0,22	1,18	0,58	0,8	0,46	4,63
Φεβρ	2,60	0,37	1,18	0,87	0,89	0,77	7,75
Μαρ	5,07	1,02	1,18	1,91	0,99	1,89	18,93
Απριλ	8,90	2,37	1,18	3,71	1,1	4,09	40,86
Μαιος	13,87	4,62	1,18	6,27	1,2	7,52	75,24
Ιουν	18,56	7,15	1,18	8,84	1,25	11,06	110,6
Ιουλ	20,68	8,41	1,18	10,05	1,23	12,36	123,6
Αυγ	19,73	7,84	1,18	9,51	1,15	10,93	109,3
Σεπτ	16,74	6,13	1,18	7,83	1,04	8,14	81,42
Σύνολο		43,55					648,01

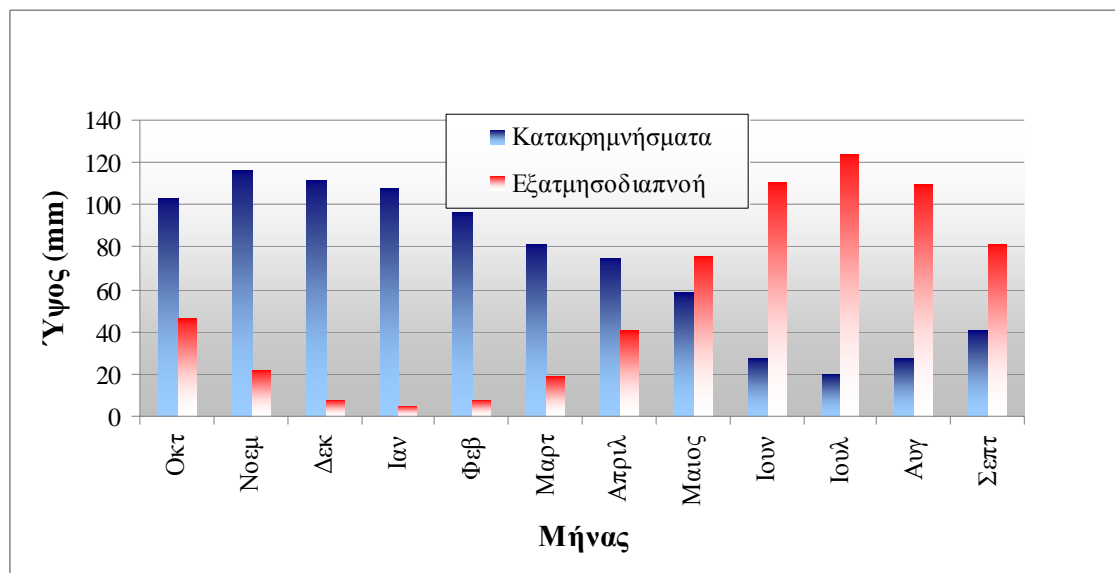
Γ) Υπολεκάνη Ονόχωνου

Πίνακας 3.7. Η εξατμισοδιαπνοή στη λεκάνη απορροής Ονόχωνου (Σχ. 3.20, 3.21)

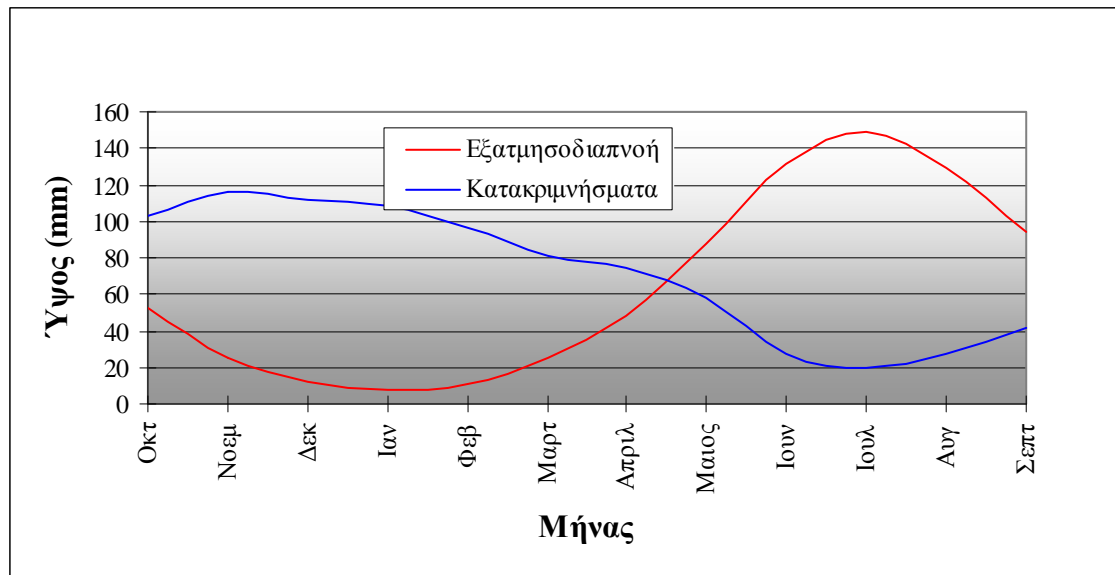
	Θερμοκρασία (T_a)	$i=(T_a/5)1,5$	a	Εξατμισοδια πνοή (Et) cm	Συντελεστής	Et συντελεστή	Et (mm)
Οκτ	14,73	5,04	1,21	5,62	0,93	5,22	52,23
Νοε	9,71	2,71	1,21	3,04	0,83	2,53	25,26
Δεκ	6,23	1,39	1,21	1,58	0,78	1,23	12,32
Ιαν	4,42	0,83	1,21	0,95	0,8	0,76	7,62
Φεβρ	5,34	1,10	1,21	1,26	0,89	1,12	11,20
Μαρ	8,73	2,31	1,21	2,60	0,99	2,57	25,74
Απριλ	12,34	3,88	1,21	4,34	1,1	4,77	47,74
Μαιος	17,65	6,62	1,21	7,35	1,2	8,82	88,17
Ιουν	22,52	9,56	1,21	10,55	1,25	13,19	131,87
Ιουλ	24,71	10,98	1,21	12,10	1,23	14,88	148,85
Αυγ	23,49	10,18	1,21	11,23	1,15	12,92	129,18
Σεπτ	20,40	8,24	1,21	9,11	1,04	9,48	94,79
Σύνολο		62,84					774,97



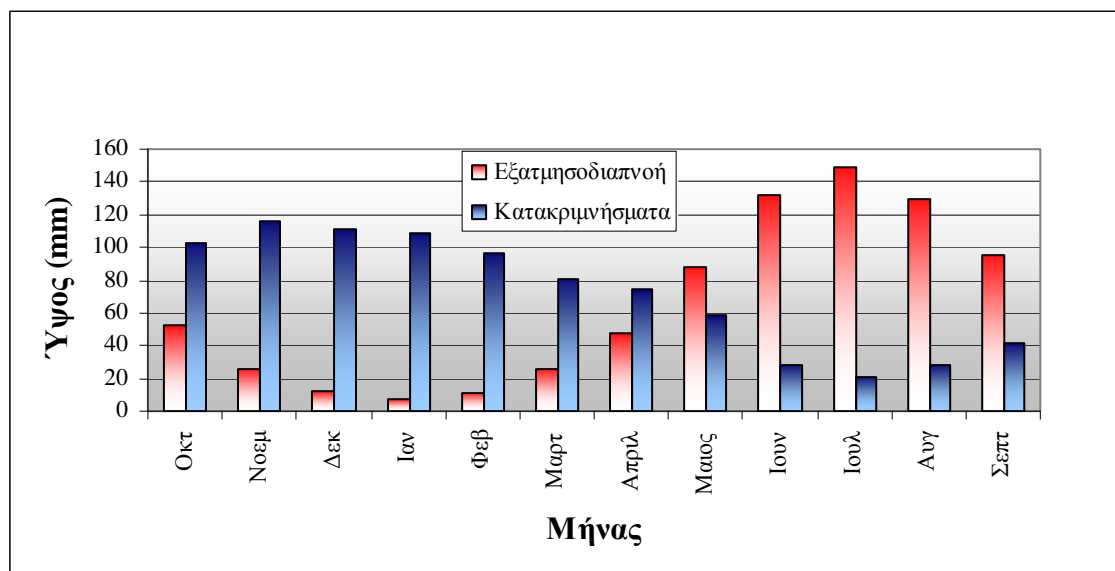
Σχήμα 3.18. Μέσες μηνιαίες τιμές P και Ετ στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Ρεντινιώτη



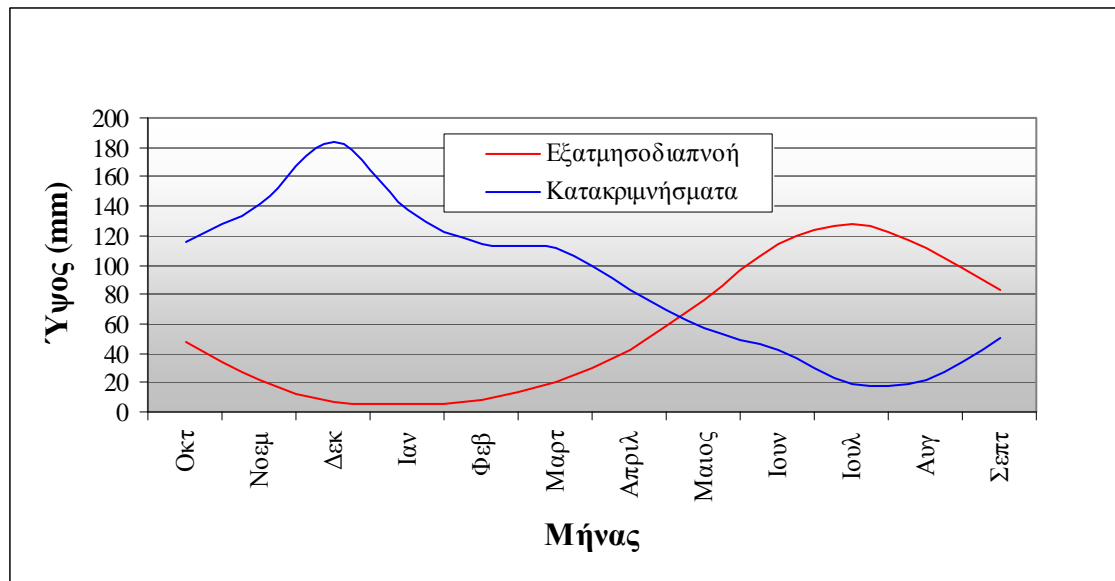
Σχήμα 3.19: Μέσες μηνιαίες τιμές P και Ετ στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Ρεντινιώτη



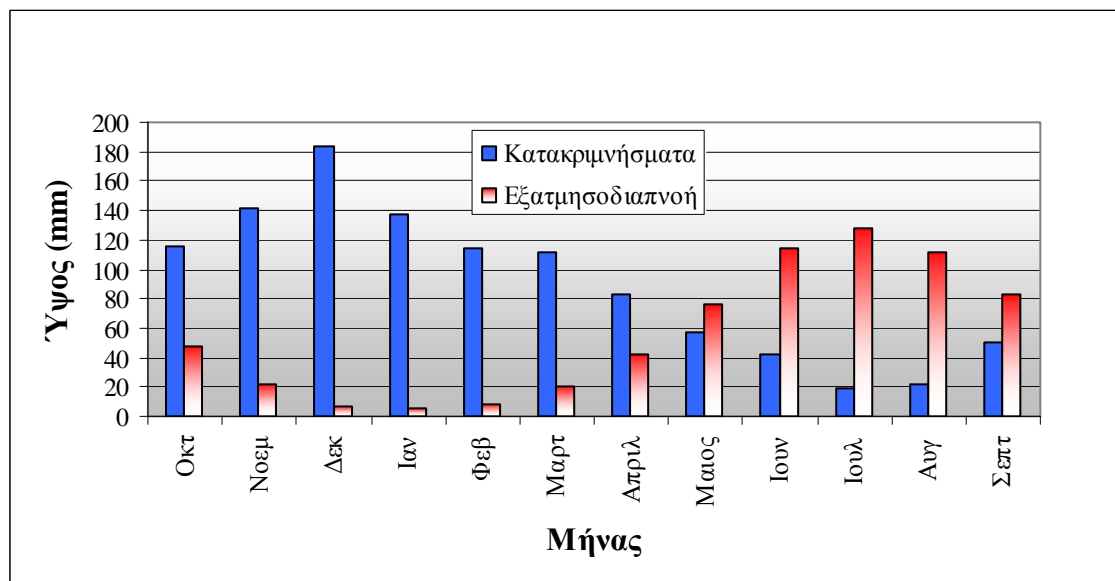
Σχήμα 3.20: Μέσες μηνιαίες τιμές P και Et στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Ονόχωνου



Σχήμα 3.21: Μέσες μηνιαίες τιμές P και Et στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Ονόχωνου



Σχήμα 3.22: Μέσες μηνιαίες τιμές P και Et στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Σμοκοβίτη



Σχήμα 3.23: Μέσες μηνιαίες τιμές P και Et στην περιοχή στην Λεκάνη απορροής του Σμοκοβίτη

3.2.1.3. Κατείσδυση

Ο τρόπος που εφαρμόστηκε για την εκτίμηση της κατείσδυσης στην παρούσα εργασία έγινε με την ομαδοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών που έχουν δημιουργηθεί στην λεκάνη απορροής του ποταμού Σοφαδίτη.

Ακολουθήθηκε οργάνωση των γεωλογικών οντοτήτων σε θεματικά επίπεδα και στην προκειμένη περίπτωση το δομικό στοιχείο που χρησιμοποιείται είναι το *polygon*. Στο φάκελο *SHP* περιέχονται το αρχείο στο οποίο έχει οριστεί ο τύπος και το όνομα που αφορά το *Shapefile* των γεωλογικών σχηματισμών και εκφράζει στον χάρτη τα πολυγωνικά φαινόμενα.

Τα θεματικά επίπεδα που δημιουργήθηκαν είναι τα εξής:

Πίνακας 3.8: Θεματικά επίπεδα γεωλογικών σχηματισμών

Θεματικά επίπεδα	Μορφή
Αργιλοκοί σχιστόλιθοι	Πολύγωνο
Φλύσχης	Πολύγωνο
Ολιβινίτης	Πολύγωνο

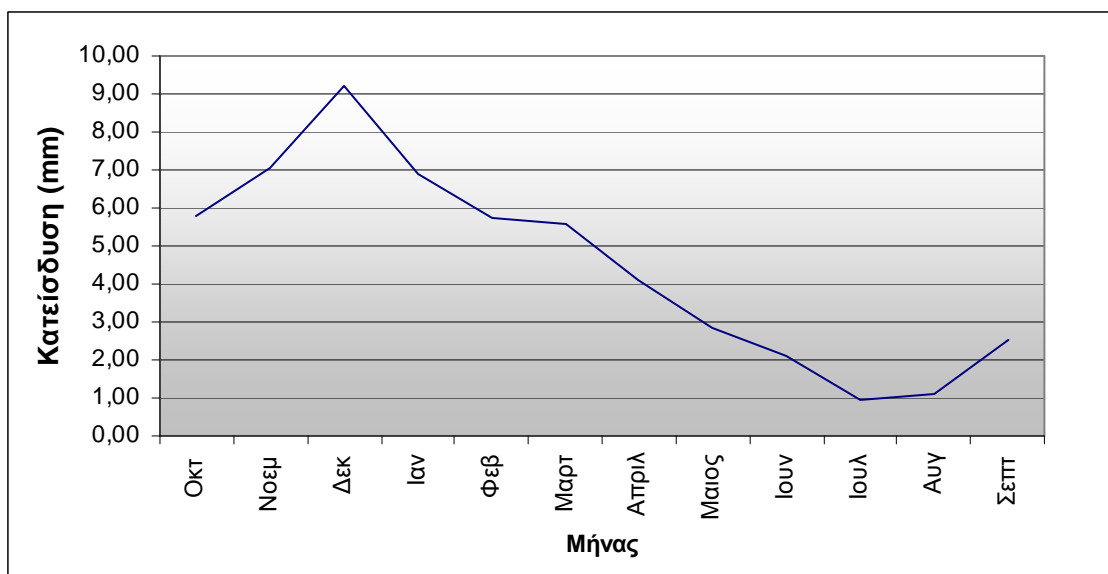
Χρησιμοποιήθηκε του πρόγραμμα *ArcMap* και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε η προσθήκη των θεματικών επιπέδων στο *ArcCatalog* (Πιν. 3.8), η προσθήκη του σαρωμένου χάρτη που χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο για την ψηφιοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής καθώς και ο προσδιορισμός των ανοχών ψηφιοποίησης.

Μετά το τέλος της ψηφιοποίησης των γεωλογικών σχηματισμών που καταλαμβάνουν τη λεκάνη απορροής και που ορίζονται από τη γραμμή του υδροκρίτη, δημιουργήθηκε ο υδρολιθολογικός χάρτης. Στην συνέχεια η ομαδοποίηση των σχηματισμών που

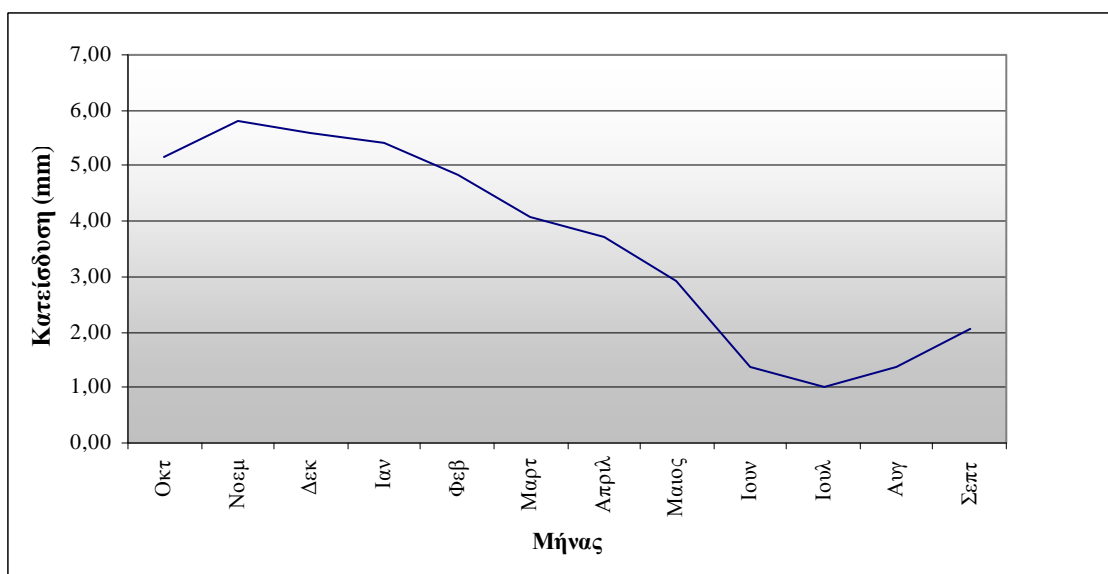
καταλαμβάνουν την περιοχή πραγματοποιήθηκε μέσω βιβλιογραφικών δεδομένων σε διαπερατούς σχηματισμούς, ημιπερατούς-υδατοστεγανούς και αδιαπέρατους ανάλογα με την συμπεριφορά τους στην επιφανειακή απορροή. Ο συντελεστής κατεισδύσης που χρησιμοποιήθηκε είναι 5 % γιατί όλη περιοχή αποτελείται κυρίως από σχιστόλιθο, φλύσχη και σε μικρό ποσοστό από ολιβινίτη. Οι παραπάνω κατηγορίες έχουν το ίδιο ποσοστό κατείσδυσης. Έτσι πολλαπλασιάζοντας τον όγκο νερού με τον συντελεστή κατείσδυσης του εκάστοτε σχηματισμού, υπολογίστηκε ο όγκος νερού που κατεισδύει για τη συγκεκριμένη επιφάνεια (Πίν. 3.9) και απεικονίζεται ανά υπολεκάνη στα σχήματα 3.24, 3.25, 3.26.

Πίνακας 3.9 : Μέση μηνιαία κατείσδυση στις υπολεκάνες απορροής (mm)

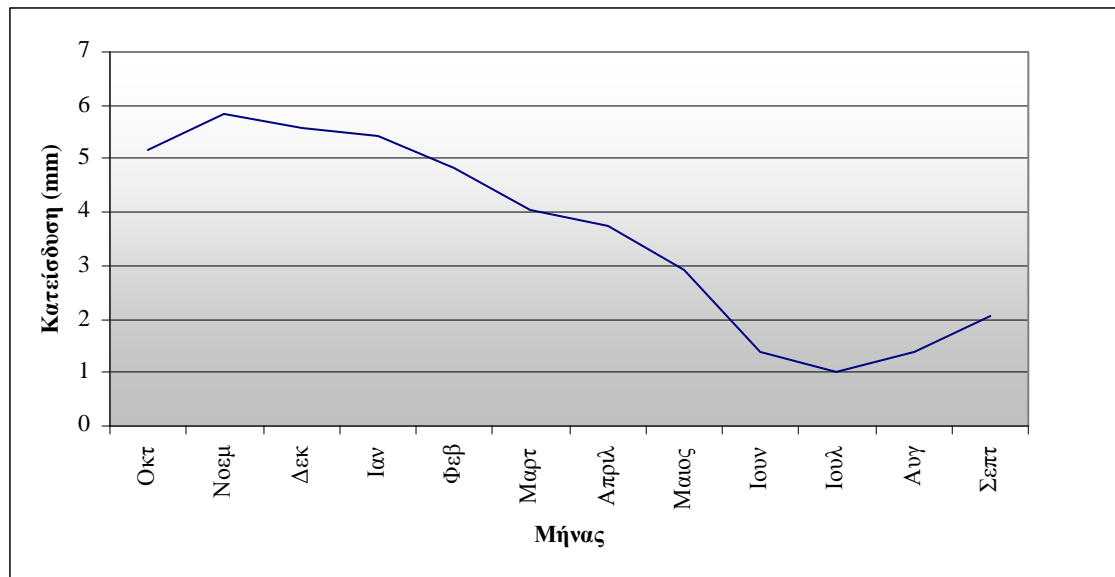
	Σμοκοβίτικος	Ονόχωνος	Ρεντινιωτής	Σύνολο
Οκτ	5,77	5,16	5,16	5,33
Νοεμ	7,06	5,83	5,83	6,17
Δεκ	9,21	5,59	5,59	6,60
Ιαν	6,90	5,42	5,42	5,83
Φεβ	5,73	4,83	4,83	5,08
Μαρτ	5,57	4,06	4,06	4,48
Απριλ	4,13	3,73	3,73	3,84
Μαιος	2,87	2,92	2,92	2,90
Ιουν	2,11	1,38	1,38	1,59
Ιουλ	0,97	1,01	1,01	1,00
Αυγ	1,11	1,38	1,38	1,30
Σεπτ	2,51	2,06	2,06	2,18
Σύνολο	53,90	43,34	43,34	46,31



Σχήμα 3.24: Μέσες μηνιαίες τιμές κατείδυσης στην λεκάνη απορροής Σμοκοβίτη.



Σχήμα 3.25: Μέσες μηνιαίες τιμές κατείδυσης στην λεκάνη απορροής του Ρεντινιώτη.



Σχήμα 3.26: Μέσες μηνιαίες τιμές κατείδουσης στην λεκάνη απορροής του Ονόχωνου

3.2.1.4. Επιφανειακή Απορροή

Για την περιοχή μελέτης η επιφανειακή απορροή υπολογίστηκε με τον βασικό τύπο του υδατικού ισοζυγίου $P=E+R+I$ και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 3.11 και απεικονίζεται ανά υπολεκάνη στα σχήματα 3.27 έως 3.30 :

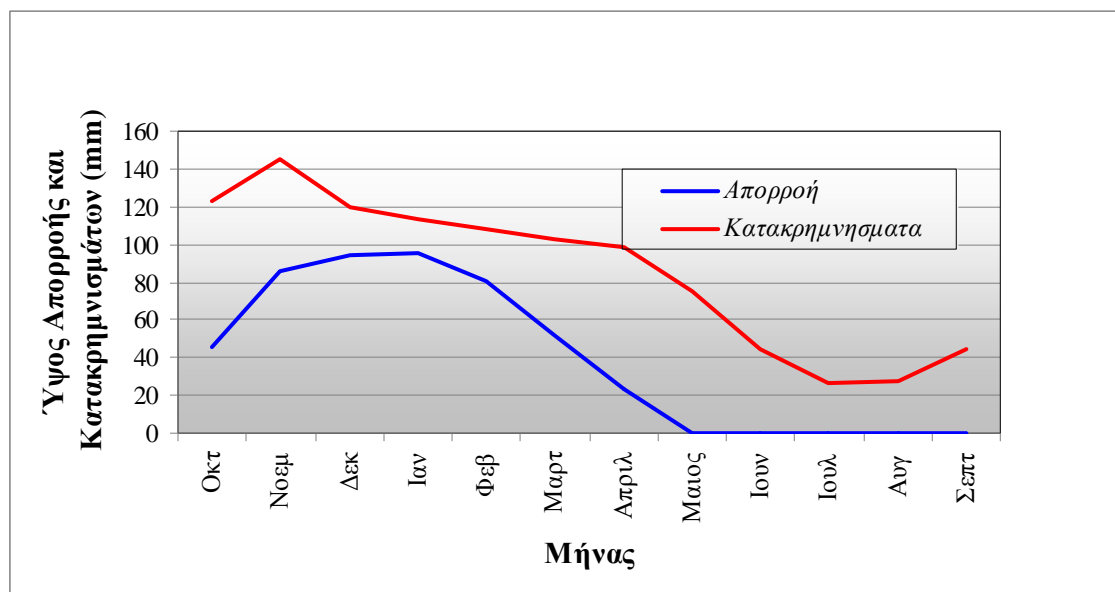
Πίνακας 3.11 : Μέση μηνιαία απορροή στις υπολεκάνες (mm)

	Ονοχώνος	Ρεντινιώτης	Σμοκοβίτης	Μέση μηνιαία απορροή
Οκτ	45,71	51,25	62,55	52,42
Νοεμ	85,41	89,31	113,04	94,57
Δεκ	93,79	98,45	167,58	116,19
Ιαν	95,27	98,25	126,20	105,02
Φεβ	80,48	83,93	100,59	87,36
Μαρτ	51,40	58,21	86,02	63,56
Απριλ	23,13	30,01	36,34	29,30
Μαιος	0,00	0,00	0,00	0,00
Ιουν	0,00	0,00	0,00	0,00
Ιουλ	0,00	0,00	0,00	0,00
Αυγ	0,00	0,00	0,00	0,00
Σεπτ	0,00	0,00	0,00	0,00
	475,20	509,40	692,32	548,41

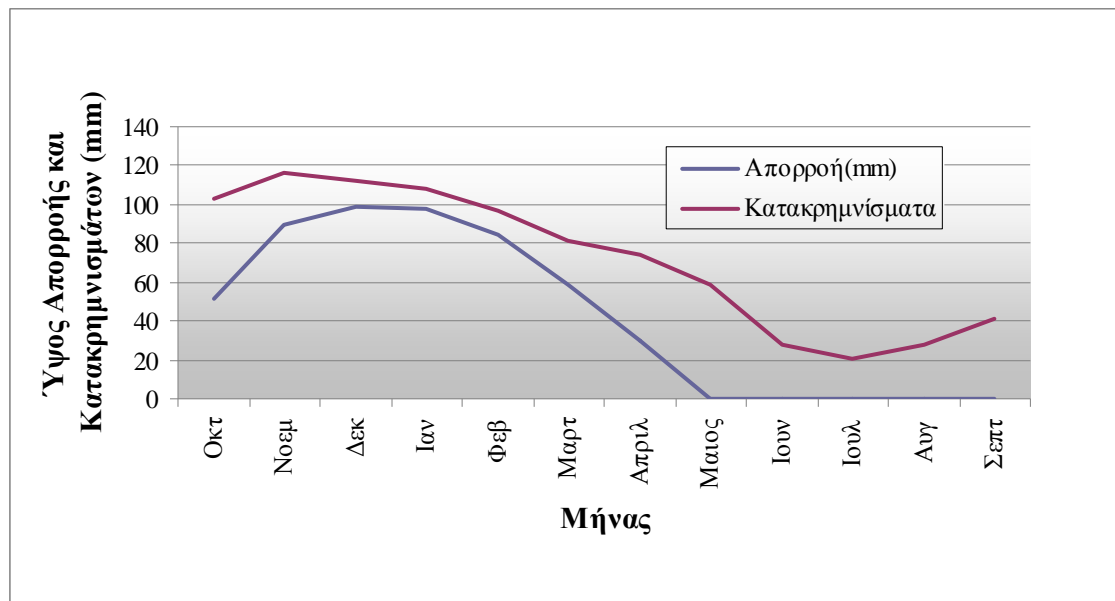
Οπότε, μετατρέποντας τα mm σε m και εν συνεχεία ανάγοντας επί του συνολικού εμβαδού της λεκάνης απορροής, υπολογίζεται ότι η μέση ετήσια απορροή είναι 548.410 m^3 .

Στην εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου $P=E+Q$ συμπεριλαμβάνεται και ο παράγοντας της περιεχόμενης υγρασίας (S), στην παροχή (Q). Αυτή, δεν μπορεί να υπολογιστεί άμεσα, γιατί ήταν αδύνατο να προσδιοριστούν οι τιμές CN (Giakoumakis et al, 1991).

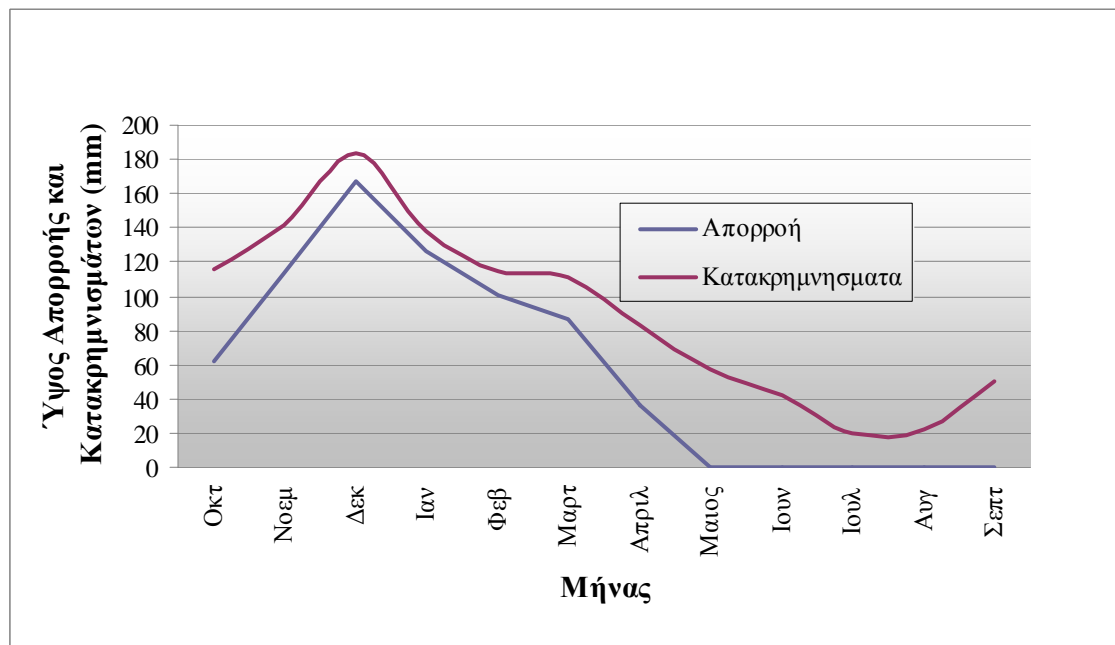
Για τον λόγο αυτό οι αρνητικές τιμές της παροχής που προκύπτουν, επειδή δεν έχουν φυσική σημασία, τίθενται ίσες με το 0 και το άθροισμα τους (των αρνητικών τιμών) αντιστοιχεί τελικά στο έλλειμμα υγρασίας (που δικαιολογεί το αρνητικό πρόσημο). Άρα λοιπόν η τιμή της απορροής 548,41 mm, συμπεριλαμβάνει τελικά και τα 366,97 mm του ελλείμματος της υγρασίας, δίνοντας πραγματική απορροή ίση με 181,44 mm. Οπότε η εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου, γίνεται τελικά : $P = E + Q \Rightarrow P = E + Q_{\text{επιφ}} - S \Rightarrow P = 698,21 + (548,41 - 366,97) + 46,31 = 925,96 \text{ mm}$.



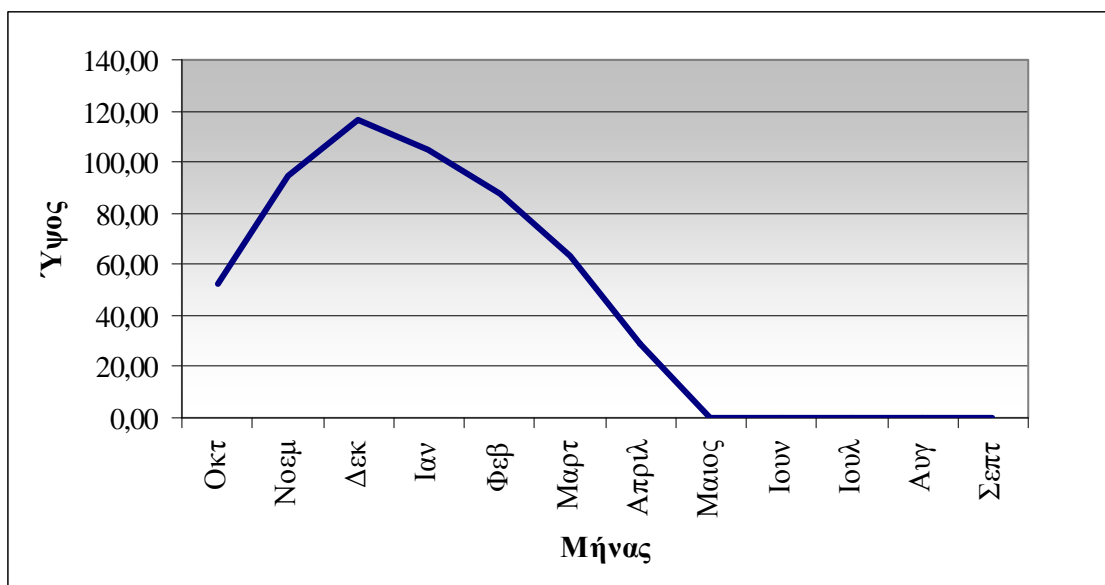
Σχήμα 3.27: Απορροή και Κατακρημνίσματα στη λεκάνη του Ονόχωνου



Σχήμα 3.28: Απορροή και Κατακρημνίσματα στη λεκάνη του Ρεντινιώτη



Σχήμα 3.29: Απορροή και Κατακρημνίσματα στη λεκάνη του Σμοκοβίτη



Σχήμα 3.30: Συνολική απορροή στη λεκάνη απορροής του Σοφαδίτη

3.3. Αποτελέσματα ποιότητας νερού

Στη λεκάνη απορροής του ποταμού Σοφαδίτη, οι βασικότερες πηγές ρύπων είναι από μη σημειακές πηγές γι αυτό και τα φορτία παράγονται από τους μόνιμους κατοίκους και τις ασχολίες τους, που είναι κυρίως γεωργικές και κτηνοτροφικές. Τα απόβλητα της περιοχής περιέχουν σημαντικά φορτία αζώτου (είτε στην αμμωνιακή, είτε στην οξειδωμένη του μορφή) και φωσφόρου (Πιν. 3.12) (Ρόπης 2005).

Πίνακας 3.12: Εκτιμήσεις ρυπαντικών φορτίων της λεκάνης απορροής (kg/έτος)

	Αζωτο (N)	Φώσφορος (P)
Αστικές περιοχές	6.100	2.400
Καλλιέργειες	112.065	8.765
Βοσκότοποι	11.750	1.175
Δάση	73.460	2.448
Νερά	640	32
Σύνολο	354.906	14.860

Η προσέγγιση των ποσοτήτων των θρεπτικών που εισέρχονται στον Σοφαδίτη πραγματοποιήθηκε με βάση, κυρίως, τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας από την απογραφή του 2001. Με βάση τα στοιχεία αυτά, εκτιμήθηκαν οι χρήσεις γης καθώς και ο πληθυσμός των μόνιμων κατοίκων στη λεκάνη απορροής (Πιν. 3.13). Στην συνέχεια, υπολογίστηκαν οι ποσότητες αζώτου και φωσφόρου που εισέρχονται σε ετήσια βάση στην λίμνη. Στις εκτιμήσεις ελήφθη υπόψη η εφαρμογή πρότυπων μεθόδων για τον περιορισμό της νιτρορύπανσης από τις καλλιέργειες, με βάση την αντίστοιχη Κοινοτική Οδηγία (98/93/EK).

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.13: Η κατανομή των εκτάσεων στην λεκάνη απορροής

Χρήση γης	Εκτάσεις (στρέμματα)
Αστικές περιοχές	24.400
Καλλιέργειες	87.652
Βοσκότοποι	23.500
Δάση	244.868
Νερά	1.600

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 3.14) παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές κάθε παραμέτρου και οι παραμετρικές τιμές, όπως αυτές καθορίζονται από την ΚΥΑ Υ2/2600/2001 περί «Ποιότητας του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης» και της οδηγίας 98/93/EK του Συμβουλίου της Ε.Ε.

Πίνακας 3.14: Ποιοτικός έλεγχος δειγμάτων νερού από τη λίμνη Σμοκόβου

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΤΙΜΗ
Θολότητα (NTU)	5,6	Οργανοληπτικώς αποδεκτές και άνευ ασυνήθους μεταβολής
Χρώμα	ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΑ	
Οσμή	ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΑ	
Γεύση	ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΑ	
Συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (pH)	8,65	6,5-9,5
Αγωγιμότητα (μS/cm)	618	2500
Διαλυμένα στερεά (mg/l)	309	500
Αμμώνιο (mg/l)	0,09	0,5
Σίδηρος (μg/l)	92	200
Μαγγάνιο (μg/l)	84	50
Χλωριούχα (mg/l)	4,4	250
Θειικά (mg/l)	58,3	250
Σκληρότητα CaCO ₃ (mg/l)	325	
Ασβέστιο (mg/l)	76,1	
Μαγνήσιο (mg/l)	43,15	50
Διαλυμένο Οξυγόνο (mg/l)	11,8	
Δοκιμή ‘παρουσίας-απουσίας’		

για κολοβακτηριοειδή, 37°C/100ml	ΘΕΤΙΚΗ	ΑΡΝΗΤΙΚΗ
ΧΗΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		
Νιτρώδη (mg/l)	0,5	0,5
Νιτρικά (mg/l)	4,75	50
Φωσφορικά σαν P ₂ O ₅ (mg/l)	0,6	5
Χαλκός (mg/l)	0	2
Κυανιούχα (μg/l)	0	10
Χρώμιο (μg/l)	11	50
Νικέλιο (μg/l)	-	20
ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ		
Δοκιμή 'παρουσίας – απουσίας' για E.coli, 37°C/100ml	ΘΕΤΙΚΗ	ΑΡΝΗΤΙΚΗ
Δοκιμή 'παρουσίας – απουσίας' για Εντερόκοκκο, 37°C/100ml	ΘΕΤΙΚΗ	ΑΡΝΗΤΙΚΗ

Γίνεται φανερό ότι η ποιότητα των υδάτων του ποταμού Σοφαδίτη είναι πολύ καλή. Οι χαμηλές ποσότητες θρεπτικών και χλωροφύλλης αλλά και η γενικότερη εικόνα του ποταμού αποδεικνύουν τα παραπάνω.

Ακόμη και τους θερινούς μήνες όπου εμφανίζονται και οι μέγιστες τιμές, αυτές δεν είναι ανησυχητικές.

Παρόλα αυτά, θα πρέπει να καταρτιστεί από τους αρμόδιους φορείς ένα πλαίσιο διαχείρισης των υδάτων έτσι ώστε να διατηρηθεί η τροφική της κατάσταση στα σημερινά επίπεδα και να μη δημιουργηθούν επιπλέον πηγές ρύπανσης.

3.4. Περιβαλλοντικοί όροι λειτουργίας ταμιευτήρα

Στα πλαίσια της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.) της Τεχνητής Λίμνης Σμοκόβου και των συναφών έργων (Βαβίζος κ.α, 1995), προτείνεται μια δέσμη διατάξεων και μέτρων που αφορούν στο καθεστώς λειτουργίας των έργων και το πλαίσιο διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Πίνακας 3.15: Προτεινόμενη μηνιαία κατανομή της περιβαλλοντικής εκροής κατάντη της τεχνητής λίμνης Σμοκόβου (Βαβίζος κ.α, 1995).

Μήνας	Όγκος εκροής (10^6 m^3)
Απρίλιος	0,26
Μάιος	1,76
Ιούνιος	2,43
Ιούλιος	2,93
Αύγουστος	1,84
Σεπτέμβριος	0,71
Σύνολο	10,00

Για τη λειτουργία του ταμιευτήρα, το σημαντικότερο μέτρο αναφέρεται στην διατήρηση μιας ελάχιστης ροής κατάντη του φράγματος, η οποία θα διοχετεύεται μέσω

της σήραγγας του εκκενωτή κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (Απρίλιος - Σεπτέμβριος).

Η ρυθμιζόμενη αυτή εκροή, που σε ετήσια κλίμακα φτάνει τα $10 \times 10^6 \text{ m}^3$, προβλέπεται να ακολουθεί την κατανομή ανά μήνα που παραθέτεται στον πίνακα 3.15.

Έτσι με τον τρόπο αυτό θα διασφαλίζεται μόνιμη οικολογική παροχή προς τα κατάντη του Φράγματος Σμοκόβου που θα κυμαίνεται από 0,7 έως $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Η παροχή αυτή, που είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την υφιστάμενη θερινή παροχή του ποταμού, θα εξυπηρετεί τόσο την προστασία των παρόχθιων οικοσυστημάτων, όσο και την εξασφάλιση φερτών υλών στην κοίτη του ποταμού κατάντη του φράγματος. Επιπλέον, η Μ.Π.Ε. προτείνει κατά τα υγρά έτη να γίνεται περιοδική (ανά 5ετία ή 10ετία) πρόκληση πλημμυρικών συνθηκών στην κοίτη, μέσω του εκκενωτή πυθμένα.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, έγινε μια συστηματική προσπάθεια, ώστε να αναζητηθούν, επεξεργασθούν και παρουσιασθούν, όσο γίνεται πιο αναλυτικά, με τρόπο απλό και συνάμα επιστημονικό, τα πλείστα εκείνα στοιχεία που αφορούν την ολοκληρωμένη διαχείριση του υδάτινου δυναμικού του ποταμού Σοφαδίτη. Η ανάλυση ολοκληρώθηκε με αποτελέσματα τα οποία βοηθούν να αναπτύξουμε μια συνολική εικόνα για τα χαρακτηριστικά που διέπουν το συγκεκριμένο ποταμό.

Η επεξεργασία των πρωτογενών κλιματολογικών δεδομένων που αφορούν τη θερμοκρασία του αέρα και τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα για τους μετεωρολογικούς σταθμούς περιμετρικά και μέσα στην περιοχή μελέτης έδειξαν ότι η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται στους 12 °C. Διακρίνεται μια θερμή και ξηρή περίοδος του έτους που διαρκεί από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο και μια ψυχρή και υγρή που διαρκεί από τον Οκτώβριο έως τον Απρίλιο. Τη δεύτερη αυτή περίοδο του έτους, η λεκάνη απορροής του Σοφαδίτη ποταμού δέχεται τη μεγαλύτερη ποσότητα νερού με τη μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Από δεδομένα ίδιων χρονολογιών και διάφορων μετεωρολογικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής η βροχοβαθμίδα υπολογίστηκε σε 0,74 και η μέση ετήσια βροχόπτωση για τη λεκάνη απορροής ανέρχεται στα 926,14 mm.

Συνεπώς, οι αρχικοί στόχοι που τέθηκαν επιτεύχθηκαν δίνοντας την δυνατότητα για παραπέρα μελέτη και ανάλυση. Τα κύρια στοιχεία που βρέθηκαν έδωσαν συνοπτικά τα εξής αποτελέσματα:

- Ετησίως όγκο νερού με τη μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που ανέρχεται στα 388.977.600 m³.

- Με την εφαρμογή του τύπου του Thorthwate βρέθηκε ότι ένα υψηλό ποσοστό, που ανέρχεται στο 70 %, χάνεται με τα φαινόμενα της εξάτμισης και της διαπνοής των φυτών. Ο όγκος αυτός που εκτιμήθηκε στα $293.250.090 \text{ m}^3$ θεωρείται σχετικά μεγάλος δεδομένου ότι στη λεκάνη απορροής επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες και σχετικά υψηλές βροχοπτώσεις.
- Η κατείδυση η οποία ανέρχεται στα $19.448.880 \text{ m}^3$ και υπολογίστηκε λαμβάνοντας κυρίως υπόψη την υδατοπερατότητα του γεωλογικού υπόβαθρου. Το ποσοστό υδατοπερατότητας είναι αρκετά χαμηλό, σε ποσοστό με μέσο όρο σε όλη την λεκάνη απορροής περίπου 5% .
- Τελική απορροή στην έξοδο της λεκάνης απορροής η οποία ανέρχεται σε όγκο στα $76.278.629,83 \text{ m}^3$.

Στη συνέχεια επιχειρείται μια συγκριτική μελέτη του ποταμού Σοφαδίτη με άλλες λεκάνες απορροής διαφόρων λιμνών ή ποταμιών της χώρας. Βέβαια για να προκύψουν χρήσιμα συγκριτικά αποτελέσματα θα χρειαζόταν πιο αναλογικά συγκρίσιμα μεγέθη κάτι που στα πλαίσια του παρόντος αντικειμένου καθίσταται σχετικά δύσκολο λόγω της πολυμορφίας των διαφόρων περιοχών της Ελλάδας και δεν αποτελεί στόχο της παρούσας εργασίας.

Η επιλογή των προς σύγκριση μεγεθών δεν έγινε τυχαία, σκοπός ήταν η εύρεση όσο το δυνατόν παρόμοιων μελετών κατά τις οποίες ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία έρευνας. Αυτό βοηθάει ώστε τα αποτελέσματα να πηγάζουν από παρόμοιο ερευνητικό πλαίσιο ώστε να δώσει τα συγκρίσιμα μεγέθη που αναζητούνται.

Ως προς το υδατικό ισοζύγιο των ελληνικών λιμνών υπάρχει μια μεγάλη ποικιλομορφία. Έτσι σε μια παρόμοια λεκάνη απορροής όπως αυτή του Εύηνου, της οποίας το υδατικό δυναμικό της αποτελεί και το κύριο υδατικό πόρο της Αθήνας, η λεκάνη απορροής του Σοφαδίτη παρουσιάζει μικρότερη επιφανειακή υδροφορία. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι η λεκάνη του Εύηνου έχει μέση απορροή $361,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ με ετήσια βροχόπτωση 1463 mm και εξατμισοδιαπνοή 1285,7 mm. Συνεπώς η απορροή του Σοφαδίτη είναι υποτετραπλάσια αφού απορρέει μόλις $76.278.629,83 \text{ m}^3$. Αυτό θα πρέπει να αποδοθεί κυρίως στους αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς που επικρατούν στην λεκάνη του Εύηνου.

Πίνακας 4.1: Υδρομετρικά στοιχεία λεκανών απορροής Ευήνου - Σοφαδίτη

Λεκάνη απορροής	Ευήνου	Σοφαδίτη
Έκταση (Km)	393	420
Μέσο Υψόμετρο (m)	1175	650
Κατακρινήσματα (m^3)	575×10^6	389×10^6
Εξατμισοδιαπνοή (m^3)	505×10^6	293×10^6
Κατείσυση (m^3)	-	19×10^6
Απορροή (m^3)	$361,9 \times 10^6$	76×10^6

Στη λεκάνη απορροής της Ανθεμούντα, στο νομό Χαλκιδικής, η Αναπτυξιακή εταιρία της Ανατολικής Θεσσαλονίκης (Ανατολική Α.Ε.), ύστερα από την προβλεπόμενη από τις συμβατικές υποχρεώσεις του έργου LIFE04/ENV/GR/000099 της Ευρωπαϊκής Ένωσης, πραγματοποίησε την ετήσια έκθεση υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου στη λεκάνη της Ανθεμούντα.. Το ισοζύγιο αναφέρεται στο έτος 2005 για το οποίο συγκεντρώθηκαν δεδομένα που αφορούν την προσφερόμενη ποσότητα με τη μορφή

κατακρημνισμάτων αλλά και τις υδρευτικές καταναλώσεις. Οι υπολογισμοί των αρδευτικών καταναλώσεων στηρίχτηκαν στα πλέον πρόσφατα στοιχεία τα οποία ήταν διαθέσιμα και τα οποία αναφέρονται στο έτος 2003.

Ο υπολογισμός έγινε με την βασική σχέση του υδατικού ισοζυγίου, η εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με την μέθοδο του Thothnwate, η οποία έχει τιμή $116 \times 10^6 \text{ m}^3$, ενώ η κατείσδυση ανάλογα με το γεωλογικό σχηματισμό και βρέθηκε ότι ανέρχεται στα $5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Τα αποτελέσματα έδειξαν τελική απορροή που φτάνει τα $41 \times 10^6 \text{ m}^3$ και βρέθηκε ότι υπάρχει ισχυρό ελλειμματικό ισοζύγιο (μείωση των υπόγειων αποθεμάτων νερού κατά περίπου $17,5 \times 10^6 \text{ m}^3$) με κύριο καταναλωτή την άρδευση.

Το έλλειμμα αυτό «καλύπτεται», για να αντιμετωπισθεί η ζήτηση σε νερό, με υπεραντλήσεις υπόγειων νερών, οι οποίες αφαιρούνται από τα μόνιμα (μη ανανεώσιμα) υδατικά αποθέματα. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε συνεχή πτώση της στάθμης των υπόγειων υδάτων σε βαθύτερα επίπεδα καθώς και σε βαθμιαία εξάντληση των μόνιμων αποθεμάτων. Η συνέχιση του υφιστάμενου μοντέλου διαχείρισης των υπόγειων υδάτων σε συνδυασμό με την διαρκή αύξηση του πληθυσμού στη λεκάνη σε περιοχές που αποτελούν πόλο έλξης για μόνιμη κατοικία μακροπρόθεσμα θα οδηγήσει σε εξάντληση των μόνιμων αποθεμάτων. Αν λάβει χώρα το σενάριο αυτό, οι υπόγειοι υδροφόροι θα διαθέτουν μόνο τις ετήσια ανανεώσιμες από τις κατεισδύσεις ποσότητες νερού. Από αυτές δε, ένα μόνο τμήμα θα είναι εκμεταλλεύσιμο και μάλιστα σε σημαντικό βάθος.

Πίνακας 4.2: Υδρομετρικά στοιχεία λεκανών απορροής Ανθεμούντα - Σοφαδίτη

Λεκάνη απορροής	Ανθεμούντα	Σοφαδίτη
Εμβαδό (Km^2)	320	420
Κατακρημνήσματα (m^3)	213×10^6	389×10^6
Εξατμισοδιαπνοή (m^3)	116×10^6	293×10^6
Κατείσυση (m^3)	5×10^6	19×10^6

Απορροή (m ³)	41 x10 ⁶	76 .x 10 ⁶
---------------------------	---------------------	-----------------------

Οι συγκριτικές μελέτες έδωσαν συνοπτικά τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Ο όγκος νερού στην έξοδο της λεκάνης απορροής του Σοφαδίτη (76x10⁶ m³) είναι υποτετραπλάσια από αυτή που απορρέει από τον Εύηνο (361x10⁶ m³) ενώ είναι κατά λίγο μεγαλύτερη από την λεκάνη της Ανθεμούντα (41x10⁶ m³).
- Ο όγκος νερού από εξατμισοδιαπνοή παρουσιάζεται συγκριτικά μεγαλύτερος στην περίπτωση του Σοφαδίτη (293x10⁶ m³) από ότι στον Εύηνο () και στην Ανθεμούντα (116 x10⁶ m³).
- Στην περίπτωση του Ευήνου παρατηρείται ότι το ποσοστό που απορρέει είναι περίπου πάνω από το μισό της ποσότητας των κατακρημνισμάτων που δέχεται στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής του ενώ αντίθετα στον ποταμό Σοφαδίτη απορρέει μόλις το ένα πέμπτο των κατακρημνισμάτων.
- Το μεγάλο δυναμικό του ποταμού Ευήνου θα πρέπει να αποδοθεί κυρίως στους αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς που επικρατούν στην λεκάνη του Ευήνου. Δεν φαίνεται η μεγάλη τιμή του δυναμικού να οφείλεται σε λάθη μετρήσεων δεδομένου ότι η τιμή προέκυψε από δεδομένα τριών υδρομετρικών σταθμών οι οποίοι βρίσκονταν σε σχετική συμφωνία.

Στη λεκάνη απορροής του Σοφαδίτη το σημαντικότερο έργο, είναι η κατασκευή του ταμιευτήρα Σμοκόβου, το οποίο ξεκίνησε να κατασκευάζεται το 1983 με

ημερομηνία παράδοσης το 1988, αλλά με δεύτερη απόφαση μετατέθηκε για το 1997. Τελικώς το φράγμα λειτούργησε για πρώτη φορά το 2003. Η αρχική ελεγχόμενη πλήρωση του Ταμιευτήρα πραγματοποιήθηκε τον Μάιο του 2003. Από το σημείο αυτό και μετά ξεκίνησε μια ελεγχόμενη περίοδος λειτουργίας της σήραγγας και των συναφών έργων με σκοπό τον έλεγχο της καλής λειτουργίας τους. Στις αρχές Ιουνίου 2005 ολοκληρώθηκε η κατασκευή μέρους του αρδευτικού δικτύου, οπότε ξεκίνησε δοκιμαστικά η υδροδότησή του, μέσω της σήραγγας Λεονταρίου. Σήμερα το έργο εξυπηρετεί αρδευόμενες εκτάσεις 46.000 περίπου στρεμμάτων, εκ των οποίων μόνο τα 6.000 στρέμματα, περίπου, αρδεύονται από μόνιμους σωληνωτούς αγωγούς.

Το έργο προβλέπεται να αποτελέσει σημείο αναφοράς και πόλο ανάπτυξης της περιοχής. Ως κύριες ευεργετικές επιπτώσεις από τη λειτουργία του μπορούν να αναφερθούν, η αντιπλημμυρική προστασία, ο εμπλουτισμός του υδροφόρου ορίζοντα, η εξυπηρέτηση των υδρευτικών αναγκών των πεδινών οικισμών, η λειτουργία μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η γενικότερη οικονομική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής. Ανάπτυξη που προβλέπεται ραγδαία και λόγω του φυσικού κάλλους, αλλά και λόγω των πολλών ιαματικών πηγών. Τα παραπάνω αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που δικαιολογούν τις αισιόδοξες προβλέψεις για την τουριστική ανάπτυξη της ορεινού κυρίως όγκου της περιοχής. Αναμένεται ακόμη η δημιουργία ιχθυοκαλλιεργειών και αθλητικών εγκαταστάσεων.

Όσον αφορά στη γεωργία θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη διάθεση των υδάτων της λίμνης Σμοκόβου, αν και ακόμα δεν υπάρχει πρόβλημα γιατί τα τελευταία χρόνια είναι ιδιαίτερα αυξημένες οι απορροές και έτσι η στάθμη της λίμνης διατηρείται σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Παρόλα αυτά επιβάλλεται η ιεράρχηση των αναγκών σε αρδευτικό νερό και να επιταχυνθούν τα προγράμματα για τον εκσυγχρονισμό της γεωργίας που θα

περιορίσουν σημαντικά τις σημερινές απαιτήσεις. Με τον τρόπο αυτό θα καταστεί δυνατό να οριστεί ένα μέγιστο ετήσιο όριο απολήψεων νερού που ταυτόχρονα θα εξυπηρετεί τους ενδιαφερόμενους καλλιεργητές και δε θα μεταβάλλει τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά της λίμνης.

Είναι, επίσης, απολύτως απαραίτητο να συστηματοποιηθεί η παρακολούθηση των ποιοτικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα, ώστε να υπάρχουν σε κάθε περίπτωση αξιόπιστα δεδομένα που θα διευκολύνουν τη διαχείρισή των υδάτων του ποταμού Σοφαδίτη.

Τέλος, ολοκληρώνοντας, η χρησιμότητα της ανάλυσης του υδατικού δυναμικού μπορεί να εντοπιστεί στην αξιοποίηση για την σωστή διαχείριση των υδάτων της ευρύτερης περιοχής, τόσο ως προς τη γεωργία και ιχθυοκαλλιέργεια όσο και στη γενικότερη εκμετάλλευση προς όφελος για τουρισμό και αγροτουρισμό. Επειδή η τάση των ανθρώπων προς τον αγροτουρισμό τα τελευταία χρόνια θα αυξηθεί και σύντομα θα απασχολήσει και την περιοχή της λίμνης Σμοκόβου, είναι σημαντικό να τηρηθεί το “τοπικό σύμφωνο ποιότητας” που έχει ήδη καταρτιστεί από τους τοπικούς φορείς, ώστε να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν οι κατάλληλες υποδομές που θα είναι σε θέση να αντεπεξέλθουν στην αύξηση του πληθυσμού στην ευρύτερη περιοχή γύρω από τη λίμνη και τις δραστηριότητες των επισκεπτών.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Abulohom, M.S., S.M.S. Shah and A.R. Ghumman, (2001).** «*Development of a Rainfall- Runoff Model, its Calibration and Validation*». *Water Resources Management*, Vol. 15: 149-163.
- **Baker, C.P., M.D. Bradley and M.K. Bobiak, (1993).** «*Wellhead protection area delineation: linking flow models with GIS*», *J. Water Resources Management*. ASCE 119 (2). 275-287.
- **Burrough, P.A., (1986).** «*Principles of geographical information systems for land resources assesment. Clarendon*», Oxford Press.
- **Coutagne, A., (1954).** «*Quelques consid' erations sur le pouvoir ' evaporant de l'atmosph` ere, le d' eficit 25 d' e' coulement effectif et le de' ficit d' e' coulement maximum*», *La Houille Blanche*, 360–369.
- **Giakoumakis, S., G. Tsakiris and D. Efremides, (1991).** «*On the rainfall- runoff modeling in Mediterranean islands environment*». In: Tsakiris (ed.) “*Advances in water recourses techmology*”, Balkema, Rotterdam: 137-148.
- **Lihua Xiong Shenglian Guo, (1998).** «*A two-parameter monthly water balance model and its application*, Department of Hydrology and Water Environment», Wuhan University of Hydraulic and Electrical Engineering, Wuhan, Republic of China.
- **Thorntwaite, C.W., (1948).** «*An approach towards a rational classification of climate*». *Geogr. Rev.* No. 38:55-94.

- **Kaden, S., (1993).** «*GIS in water-related environmental planning and management problems and solutions*». Proc. Vienna Conf., HydroGIS 93: Application of GIS in Hydrology and Water Resour., IAHS Publ. No 211, pp. 385-397.
- **Luijten, J.C., (2000).** «*Dynamic Hydrological Modeling Using ArcView GIS*» ArcUser vol. 3, no 3, July-September 2000, pp. 21-23.
- **Loukas et al, (2007).** «A modeling system for the evaluation of water resources management strategies in Thessaly, Greece», Water Resources Management, 21(10), 1673-1702,.
- **Mantzafleri N., Psilovikos Ar. & Mplanta A.** «*Water Quality Monitoring and Modeling in Lake Kastoria, using GIS. Assessment and Management of Pollution Sources*». Υπό δημοσίευση στο Περιοδικό *Water Resources Management*.
- **Maguire, D.J., (1991).** «*An overview and definition of GIS. p. 9-20. In D.J. Maguire et al.(ed.) Geographical information systems: Principles and applications*». Longman Scientific & Technical, London.
- **Robinson, K.J. and R.M. Ragan, (1993).** «*Geographic information system based nonpoint pollution modelling*». Water Resources. Bull. AWRA 29 (6), pp. 1003-1008.
- **Stuart, N. and C. Stocks, (1993).** «*Hydrological modeling within GIS: an integrated approach*». Proc. Vienna Conf., HydroGIS 93: Application of GIS in Hydrology and Water Resour., IAHS Publ. No 211, pp. 319-329.
- **Tim, U.S., S. Mostaghim and V.O. Stanholtz, (1992).** «*Identification of critical nonpoint pollution source areas using geographic information systems and water quality modelling*». Water Resources. Bull. AWRA 28 (5), pp. 877-887.
- **Tsihrintzis, V.A., R. Hamid and H.R. Fuentes, (1996).** «*Use of Geographical Information Systems (GIS) in Water Resources*»: A Review. Water Resources Management 10: 251-277.

- **Tsihrintzis, V.A., H.R. Fuentes and R.K. Gadipudi, (1997).** «*GIS-Aided modelling of non point source pollution impacts on surface and ground waters*». Water Resources Management 11: 207-218.
- **Vandewiele G.L., Win N.L., (1998).** «*Monthly water balance for 55 basins in 10 Countries*», Hydrological Sciences Journal , 43(5), 687- 699.
- **Warwick, J.J. and S.J. Haness, (1994).** «*Efficacy of ARC/INFO GIS application to hydrological modelling*», J. Water Resour. Plan. Manage., ASCE 120 (3), 366-381.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Αντωνόπουλος Β, (2003).** «*Υδραυλική Περιβάλλοντος και ποιότητα επιφανειακών υδάτων*», Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- **Βαβίζος, Γ., Κ. Ζαννάκη, Δ. Ζαφειρόπουλος & ΣΙΑ Α.Ε., και Ιωάννης Ζαχάρωφ ΣΥΝΘΕΣΗ & ΕΡΕΥΝΑ Ε.Π.Ε., (1995).** «*Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επανορθωτικών μέτρων από την κατασκευή και λειτουργία του φράγματος Σμοκόβου και συναφών έργων*», Ανάδοχος: ΥΠΕΧΩΔΕ, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων (Δ7), Αθήνα.
- **Καρύμπαλης, Ε., (2004).** Σημειώσεις και εργαστηριακές ασκήσεις Κλιματολογίας-Υδρολογίας, Αθήνα.
- **Κουτσογιάννης, Δ. και Θ. Ξανθόπουλος, (1999).** «*Τεχνική Υδρολογία*». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Γ' Έκδοση, Αθήνα.

- **Μαρδίκας Μ. , (2001).** «Σύγκριση μεθόδων χωρικής παρεμβολής στον υπολογισμό και τη χαρτογράφηση του υδατικού ελλείμματος στον Ελληνικό χώρο», MSc Thesis, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- **Μιμίκου, Μ., (1994).** «Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», εκδόσεις Παπασωτηρίου, β' έκδοση, Αθήνα.
- **Μουτράκης Δ., (1985).** «Γενική Γεωλογία Ελλάδας», University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- **Ξανθοπούλου, Ε., Μαμάσης Ν., Αναστασοπούλου, και Αλεξοπούλου, (1997).** «Επικαιροποίηση υδρομετεωρολογικών δεδομένων, Αναβάθμιση και επικαιροποίηση της υδρολογικής πληροφορίας της Θεσσαλίας», Τεύχος 1, 240 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος.
- **Ρόπης, Κ., (2005).** «Διερεύνηση της ποιότητας των υδάτων της λίμνης Σμοκόβου,» Μεταπτυχιακή εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- **Στάθης Δ., Σαπουντζής Μ., (2002).** «Εκτίμηση του στερεοφορτίου λεκάνης απορροής στη θέση κατασκευής του φράγματος ταμίευσης νερού». Η ενέργεια αυτή παρουσιάστηκε μετά από κρίση, στο 10ο Πανελλήνιο Δασολογικό συνέδριο, τον Μάιο του 2002.
- **Τσακίρης, Γ., (1995).** «Υδατικοί Πόροι. Ι. Τεχνική Υδρολογία». Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- **Τσόγκας, Χ.Ε., (1999).** Υδρολογία, Εκδόσεις 'ΙΩΝ', Αθήνα.
- **Χονδρονίκου, Ε., (2007).** «Μοντέλα υδατικού ισοζυγίου σε μικρές λεκάνες απορροής με χρήση Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων

Πληροφοριών». Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος: 133.

- **Ψιλοβίκος, Αρ. και Ζαρκάδας Π., (2006).** *«Διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς»*. Πρακτικά 10ου Πανελλήνιου Συνεδρίου ΕΥΕ, Ξάνθη.
- **Ψιλοβίκος Αρ., Μουτσόπουλος Κ., Τζιμόπουλος Χ., Γιαννόπουλος Σ., (1996).** *«Προσδιορισμός του υδατικού ισοζυγίου του υδροφορέα Ειδομένης–Ευζώνων με τη χρήση του μοντέλου MODFLOW»*, Πρακτικά του 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου : *«Εγγειοβελτιωτικά Έργα – Διαχείριση Υδατικών Πόρων – Εκμηχάνιση Γεωργίας»*, σελ. 210–222, Λάρισα.
- **Ψιλοβίκος Αρ., Φιλίππου Χρ., Μαργώνη Σ., Μαντζαφλήρη Ν., Κούγκολος Αθ., (2006).** *«Σύγκριση δυο Αλγορίθμων Χωρικής Προσομοίωσης των Ποιοτικών Παραμέτρων των Υδάτων της Λίμνης της Καστοριάς με τη Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών»*. Πρακτικά του 1^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου με τίτλο : *«Μονάδες Επεξεργασίας υγρών αποβλήτων μικρής κλίμακας»*, σελ. 25 – 32, Πορταριά Πηλίου.
- **Ψιλοβίκος Αρ., Ζαρκάδας Π., (2006).** *«Διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής της λίμνης της Καστοριάς»*, Πρακτικά του 10^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου της ΕΥΕ με τίτλο *«Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Προστασία Περιβάλλοντος – Σύγχρονες Θεωρήσεις, Προβλήματα και Προοπτικές»*, Τόμος 1, σελ. 63 – 70, Ξάνθη.
- **Οδηγία 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 3ης Νοεμβρίου 1998.** “ σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης”.

- **Κοινή Υπουργική Απόφαση Υ2/2600/2001 - ΦΕΚ-892 Β'/11-7-01** *“Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης”*.
- **ΓΥΣ, (1988).** Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Λεονταρίου Καρδίτσα.
- **ΓΥΣ, (1992).** Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Φουρνών Καρδίτσα.
- **ΓΥΣ, (1988).** Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Καρδίτσα.
- **ΓΥΣ, (1992).** Τοπογραφικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Σοφάδων Καρδίτσα.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>, εικόνα του υδρολογικού κύκλου.

ABSTRACT

The aim of this study is to estimate the hydrological cycle analysis for the Sofaditi (Onoxonos) river drainage basin which is located on the south part of Karditsa. Based on the equation of the hydrological cycle an attempt was made to calculate the hydrological parameters for Sofaditi river using GIS techniques. The climate of the study area was investigated using precipitation and air temperature data collected from a few meteorological stations around the basin. Additionally, the geomorphological characteristics of the area are mentioned based on the results of previous studies.

For the water cycle analysis, all hydrological parameters were calculated using methodologies, which were considered to be the most reliable. The first parameter that plays important role for the water regime of the area is precipitation (P). For the calculation of this parameter contour lines were transformed to precipitation iso-lines. The second parameter was Evapotranspiration (E). The selected methodology, which is suitable for the study drainage basin characteristics, was the methodology proposed by Thornthwaite.

The last estimated parameter was infiltration which corresponds to the amount of precipitation that penetrates through geological formations of the basin. In order to calculate Infiltration the hydrogeological map for the broader area of Fourná – Leontarion – Sofades - Karditsa was used. A spatial database for the drainage basin was constructed (including contour lines, watershed, drainage network and lithological formations) derived from analogue maps (topographical sheets at scale 1:50000, hydrogeological map of the same scale).

The hydrological cycle analysis of the drainage basin of Sofaditi river showed that the area receives annually 388.977.600. m³ of precipitated water. A part of that, which reaches 293.250.090 m³ is lost due to evaporation and transpiration processes while an

amount of 19.448.880 m³ penetrates through geological formations, increasing the amounts of underground water. Finally the runoff is reaches 76.278.629,83 m³.

An important manmade interference for the water cycle of the area is the construction of a dam Smokovou in 2003, near the town of Sofades, in order to supply Sofades – Palama and other villages with potable water. The most important consequence from this dam was the slacken of sediment accumulation at the coastal plain shoreline causing significant retreat due to marine processes. In addition, the urbanization of the drainage basin, which was increased dramatically during the last decades, has influenced the infiltration/runoff processes.

Keywords: River Sofaditis, Smokovo Reservoir, Surface Runoff, Watery balance, Evapotranspiration, GIS.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΣΤΑΘΜΟΣ: ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ

ΥΠΗΡΕΣΙΑ: ΔΕΗ

ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 800 m

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ: ΣΜΟΚΟΒΙΤΙΚΟΥ

ΝΟΜΟΣ: ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αυγ.	Σεπ.	Έτος
1959-60					59.6	92.5	103.0	139.5	64.0	0.0	6.4	153.3	
1960-61	50.9	46.4	225.3	119.6	79.3	164.0	62.6	34.8	94.6	25.3	1.2	1.6	905.6
1961-62	83.3	124.0	148.2	41.1	165.2	188.7	74.0	39.4	40.5	8.3	0.0	179.0	1091.7
1962-63	182.7	292.1	386.3	207.5		141.8	80.9	88.8	49.6	10.5	61.5	21.0	
1963-64	287.3	66.9	202.5	119.6	43.5	58.0	22.6			11.3	16.5	28.0	
1964-65	71.0	121.1	193.1	150.2	187.7	103.2	74.2	91.5	59.5	44.0	2.0	0.2	1097.7
1965-66	46.7	217.0	179.1	313.3	53.2	52.0	74.6	52.5	69.2	3.0	25.0	54.5	1140.1
1966-67	68.2		144.1		50.8	68.1	92.6	66.5	13.4	90.8	23.0	59.5	
1967-68	54.2	72.6	231.9		65.8	104.3	15.6	47.8	47.2	0.0	20.0	39.4	
1968-69	184.4	108.0	224.9	148.9	148.8	143.4	21.8	12.8	24.8	11.8	10.6	83.8	1124.0
1969-70	9.2	154.4	368.1	111.4	95.6	169.6	30.0	91.0	20.8	37.8	8.4	29.8	1126.1
1970-71	145.2	76.8	178.8	143.2	172.4	178.8	66.8	16.8	5.0	23.8	37.0	54.4	1099.0
1971-72	88.0	138.4	64.9	156.0	107.4	56.9	159.8	70.4	7.8				
1972- 73	230.8	107.4	41.9	149.9	164.9	143.1	68.4	29.4	27.0	11.4	44.6	37.8	1056.6
1973-74	144.6	111.8	188.9	74.4	225.6	108.2	179.8	79.2	53.0	0.0	4.2	47.6	1217.3
1974-75	154.2	144.4	77.8	29.7	123.5	78.4	65.4	31.0	137.4	7.0	25.2	4.7	878.7
1975-76	57.0	137.5	154.7	117.2	105.3	80.9	90.0	55.2	24.7	14.6	12.3	6.4	855.8
1976-77	95.9	141.8	151.0	52.3	63.7	26.1	88.3	27.7	33.9	8.2	8.7	71.7	769.3
1977-78	31.3	142.6	190.2	196.2	104.5	111.3	114.0	43.5	15.4	16.2	8.8	169.4	1143.4
1978-79	77.0	116.7	154.3	164.5	120.4	39.9	96.6	63.7	19.2	29.3	29.9	16.0	927.5
1979-80	175.9	223.7	165.0	129.8	100.3	148.6	50.4	54.3	65.7	7.8	14.9	24.4	1160.8
1980-81	326.2	207.8	144.7	227.1	79.5	20.8	38.5	39.1	13.8	7.6	15.3	44.8	1165.2
1981-82	116.9	101.7	272.2	72.6	194.1	267.1	145.6	137.6	11.8	7.5	39.4	52.1	1418.6
1982-83	91.4	184.5	150.3	27.3	128.1	85.1	25.9	14.8	122.4	75.4	6.0	30.7	941.9
1983-84	106.8	190.3	226.0	117.3	154.2	132.2	210.4	76.3	28.1	12.7	130.6	38.0	1422.9
1984-85	3.7	160.7	140.9	301.9	69.7	133.8	92.4	28.5	5.3	18.4	0.0	4.3	959.6
Μέση τιμή	115.3	141.2	184.2	137.9	114.5	111.4	82.5	57.3	42.2	19.3	22.1	50.1	1075.1
Τυπ. απόκ.	81.4	56.7	78.2	75.8	50.7	57.0	48.9	34.0	35.2	22.3	27.4	49.4	170.4

Το δείγμα προέρχεται από τους Κουτσογιάννη κ.α. (1988).

ΣΤΑΘΜΟΣ: PENTINA
 ΥΠΗΡΕΣΙΑ: ΥΠΔΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ
 ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 903

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ: PENTINIΩΤΙΚΟΥ
 ΝΟΜΟΣ: ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αυγ.	Σεπ.	Έτος
1949-50											13.0	30.0	
1950-51	41.0	201	221.0	243.0	43.0	97.0	38.0	64.0	75.0	62.0	34.0	119.0	1238.0
1951-52	592	169	96.0	205.0	280.0	102.0	24.0	59.0	18.0	54.0	41.0	34.0	1674.0
1952-53	8.0	278	167.0	93.0	46.0	53.0	62.0	129.0	18.0	34.0	8.0	10.0	886.0
1953-54	95.0	409	79.0	184.0	322.0	318.0	125.0	131.0	37.0	0.0	1.0	0.0	1701.0
1954-55	56.0	213	336.0	236.0	206.0	196.0	245.0	14.0	21.0	25.0	122.0	121.0	1791.0
1955-56	244	212	35.0									21.0	
1956-57	91.0	119.4	78.0	192.0	44.3	147.0	8.6	90.5	159.0	0.0	10.7	81.4	1021.9
1957-58	446.3	302.0	150.0	40.0	63.5	166.0	155.0	32.2	24.2	40.7	0.0	232.0	1651.9
1958-59	50.4	271.8	107.0	198.0	83.0	197.1	233.0	125.2	62.4	102.4	83.1	112.0	1625.4
1959-60	151.5	287.0	149.4	316.0	186.0	150.0	183.0	212.0	43.2	0.0	0.0	288.8	1966.9
1960-61	110.0	161.8	205.8	157.0	79.0	87.0	138.0	128.7	71.6	18.7	15.8	1 8	1175.2
1961-62	216.8	143.0	250.0	118.0	223.0	191.0	71.0	62.7	58.7	18.5	0.0	185.5	1538.2
1962-63	380.3	611.2	372.0	252.0	402.0	440.0	282.0	172.4	68.9	12.0	32.3	44.9	3070.0
1963-64	401.6	168.3	186.0	165.0	197.0	252.0	57.9	141.2	99.0	54.2	38.8	69.5	1830.5
1964-65	149.2	155.2	253.8	143.0	178.0	123.0	143.7	92.7	97.0	18.3	15.3	8.2	1377.4
1965-66	152.2	321.7	184.9	325.0	95.5	214.0	73.9	129.0	123.6	12.5	62.0	61.2	1755.0
1966-67	106.5	459.1	167.1	139.4	100.4	83.3	192.3	189.4	75.9	185.5	55.2	95.4	1849.5
1967-68	216.2	244.1	193.1	100.4	108.9	116.3	143.7	142.6	132.3	0.0	75.0	67.3	1539.9
1968-69	261.5	169.7	377.0	258.5	228.9	384.5	251.3	12.2	137.2	35.0	25.3	195.2	2336.3
1969-70	132.2	180.4	398.9	254.1	197.7	199.1	33.8	153.4	96.7	132.6	40.6	44.8	1864.3
1970-71	160.8	77.2	205.0	147.8	132.2	163.1	253.3	21.5	23.3	42.7	63.2	149.7	1439.!
1971-72	146.8	145.9	85.8	144.8	343.1	147.3	345.7	91.7	123.5	88.2	139.7	104.5	1907.0
1972-73	299.3	119.5	177.7	181.8	144.6	340.1	286.2	44.4	30.6	62.9	58.1	82.2	1827.4
1973-74	229.1	274.8	226.7	160.9	275.6		316.5	133.8	71.5	0.0	22.4	114.8	
1974-75	72.6	156.4	111.9	44.5	87.2	88.1	162.0	192.7	181.4	30.5	81.5	0.0	1208.8
1975-76	147.1	147.0	88.1	52.5	6.5	224.9	108.7	89.2	88.3	66.0	28.5	0.0	1046.8
1976-77	114.9	133.7	169.7	81.0	17.0	35.2	62.7	47.7	40.4	0.0	18.0	61.3	781.6
1977-78	25.5	147.0	168.3	99.7	208.2	165.3	191.4	85.5	12.2	0.0	30.5	140.8	1274.4
1978-79	200.1	124.5	139.0	332.6	248.3	111.2	329.9	207.5	76.1	72.0	0.0	38.4	1879.6
1979-80	261.0	278.7	274.9	305.3	304.5	217.5	120.9	231.4	116.0	0.0	40.5	63.5	2214.2
1980-81	254.7	177.7	165.8	307.1	235.2	33.4	65.9	76.0	28.4	0.0	66.0	12.2	1422.4
1981-82	108.2	132.4	100.4	138.9	266.2	2.0	150.4	127.5	159.4	0.0	26.6	58.4	1270.4
1982-83	276.3	220.7	160.0			17.4	39.3	36.6	146.6	92.1	17.7	21.1	
1983-84	154.3	194.4	118.9	112.7	167.5	137.1	297.9	52.2	31.8	24.3	95.2	37.8	1424.1

1984-85	17.2	172.2	162.8	358.5	94.8	215.5	109.8	87.5	15.5	12.2	0.0	0.0	1246.0
Μέση τιμή	182.0	216.5	181.8	184.5	170.2	163.5	155.9	106.1	75.4	38.1	38.9	75.2	1588.0
Τυπ. απόκ.	129.2	107.5	88.0	88.7	101.9	102.5	98.3	59.8	48.7	43.3	35.2	69.8	456.8

Το δείγμα προέρχεται από τους *Κουτσογιάννη κ.α* (1988).

ΣΤΑΘΜΟΣ: ΑΝΑΒΡΑ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ: ΥΠΔΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ
ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 208

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ: ΣΟΦΑΔΙΤΗ
ΝΟΜΟΣ: ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αυγ.	Σεπ.	Έκκ
1949-50										60.5	0.0	28.0	
1950-51	55.3	107.9	99.0	97.9	70.1	115.1	15.3	39.0	50.0	81.3	10.4	31.4	772.7
1951-52	264.1	118.6	75.8	138.5	70.1	48.8	26.2	43.1	61.3	5.9	0.9	25.6	878.9
1952-53	31.5	89.6	260.8	82.6	41.6	41.9	61.7	85.9	61.6	36.2	0.0	0.0	793.4
1953-54	178.8	453.3	23.5	201.7	139.4	68.9	28.1	41.7	39.4	0.0	20.1	0.0	1194.9
1954-55	34.3	66.4	43.3	50.3	51.3	213.0	82.8	0.0	66.4	20.6	53.5	159.0	840.9
1955-56	81.7	170.4	27.2	154.4	322.4	78.9	23.9	26.4	0.0	0.0	0.0	12.0	897.3
1956-57	21.4	71.0	30.1	153.4	6.5	105.6	17.4	72.0	75.9	29.3	31.9	60.2	674.7
1957-58	243.9	140.4	81.3	34.7	23.4	116.9	113.2	72.1	31.9	29.4	2.9	189.0	1079.1
1958-59	49.1	170.9	35.5	91.6	33.1	105.7	97.1	102.9	45.0	23.3	42.6	120.3	917.1
1959-60	91.6	126.0	75.5	147.8	34.2	102.0	32.5	126.8	30.0	0.0	3.7	118.0	888.1
1960-61	22.1	22.6	181.7	95.0	20.3	112.2	60.3	31.3	41.2	20.6	5.5	13.1	625.9
1961-62	146.5	37.6	115.7	12.8	74.0	61.5	7.5	24.4	30.8	8.7	4.9	152.7	677.1
1962-63	117.7	160.1	144.0	62.1	110.6	57.0	61.3	59.9	13.5	38.9	17.4	15.1	857.6
1963-64	216.9	42.9	62.3	47.9	22.2	112.7	16.8	81.9	24.5	16.6	1.5	0.0	646.2
1964-65	50.4	85.1	75.6	59.2	83.2	89.1	36.8	56.0	10.7	43.8	3.3	0.0	593.2
1965-66	29.0	101.0	46.6	188.8	27.2	85.8	29.4	41.4	54.1	0.9	26.6	22.8	653.6
1966-67	18.7	216.3	36.5	71.6	37.5	38.1	27.2	83.4	2.0	31.2	5.9	45.1	613.5
1967-68	18.2	38.4	127.7	132.4	76.0	69.7	10.2	70.7	15.7	0.0	23.7	13.7	596.4
1968-69	141.0	86.6	242.2	86.7	106.9	138.1	6.1	6.4	1.3	0.0	0.0	47.1	862.4
1969-70	6.2	39.8	170.3	51.1	49.4	85.1	2.6	31.4	13.6	38.3	34.3	20.4	542.5
1970-71	45.4	47.7	59.7	80.7	102.8	161.5	38.0	0.4	15.9	14.6	7.3	29.9	603.9
1971-72	69.3	54.0	47.0	126.0	113.7	49.2	106.0	17.5	44.4	35.1	41.8	43.5	747.5
1972-73	108.9	19.9	0.0	113.9	73.3	150.2	39.8	0.0	2.2	13.5	46.0	26.0	593.7
1973-74	123.8	40.3	110.7	105.5	135.6	86.1	91.7	42.4	37.8	0.0	4.6	0.0	778.5
1974-75	44.4	56.1	14.9	24.2	120.4	44.4	30.4	66.9	133.3	0.0	41.2	12.7	588.9
1975-76	25.8	102.7	139.9	56.4	212.1	76.1	91.7	19.9	1.2	31.5	58.3	0.0	815.6
1976-77	54.5	68.4	31.0	21.4	46.6	12.8	58.3	12.9	17.0	0.0	0.0	49.8	372.7
1977-78	21.0	78.1	191.4	189.3	55.3	94.4	79.2	55.9	11.7	1.2	8.7	74.6	860.8
1978-79	125.1	25.7	77.3	55.1	105.0	29.5	68.0	118.0	1.4	56.2	14.0	11.8	687.1
1979-80	188.5	161.4	153.2	131.4	164.1	170.4	85.0	49.3	36.3	0.0	4.4	11.7	1155.7
1980-81	228.1	101.8	104.6	227.0	84.1	12.1	85.1	35.8	13.4	1.9	35.2	61.6	990.7
1981-82	38.8	124.8	151.0	31.8	174.1	278.8	144.9	123.9	15.1	10.0	8.2	21.9	1123.3
1982-83	132.3	116.1	0.0	11.0	75.6	84.9	2.3	5.7	77.1	28.4	4.2	27.0	564.6
1983-84	90.8	73.4	181.2	52.8	100.8	65.9	179.5	33.4	12.0	12.0	135.6	16.1	953.5
1984-85	9.7	49.3	84.6	103.5	42.0	80.9	39.1	31.1	0.0	5.1	0.0	0.5	445.8
1985-86	108.5	174.9	27.9	48.7	141.1	43.2	13.0	116.9	96.2	34.5	14.2	23.1	842.2
1986-87	248.2	105.4	48.4	131.1	49.0	259.0	86.0	46.1	17.0	0.0	12.0	39.0	1041.2
1987-88	84.0	109.0	60.8	25.7	46.6	49.2	59.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	441.3
1988-89	49.1	197.4	92.5	0.0	13.1	123.5	26.7	54.0	36.3	43.0	0.0	22.0	657.6
1989-90	58.0	49.0	53.8	0.0	77.8	20.0	3.2	86.0	27.0	0.0	62.0	23.2	460.0
1990-91	42.0	199.0	192.0	165.0	90.0	94.0	163.3	82.0	3.0	78.0	4.0	8.3	1120.6
1991-92	63.4	28.0	44.0	36.0	45.5	41.0	114.0	54.0	33.5	21.0	0.0	8.5	488.9
1992-93	46.5	49.5	52.0	44.0	128.0	64.5	35.5	83.2	90.0	9.0	0.0	4.0	606.2
1993-94	8.0	310.2	41.6	104.5	176.0	48.5	97.5	74.0	24.0	9.0	12.0	1.0	906.3
1994-95	331.1	81.6	96.7	92.4	24.0	112.6	40.1	38.5	0.0	37.0	2.0	78.7	934.7
1995-96	29.0	34.0	131.7	107.1	87.5	55.9	29.5	43.0	0.0	19.0	30.0	30.0	596.7
1996-97	139.9	35.5	73.5	98.5	50.0	40.9	105.0	32.0	9.0	7.0	22.0	11.5	624.8
1997-98	88.0	180.8	100.0	12.0	83.5	29.5	11.0	106.0	45.0	0.0	1.0	66.5	723.3
1998-99	8.5	226.5	64.5	34.0	44.0	40.0	35.0	12.0	8.0	10.0	20.0	63.0	565.5

1999-00	27.5	101.5	15.0	25.0	58.0	32.5	31.5	9.0	13.0	22.0	0.0	57.0	392.0
2000-01	73.0	24.0	42.3	113.0	44.0	51.5	32.0	59.0	76.0	51.0	10.0	0.0	575.8
2001-02	11.1	49.8	106.0	12.0	13.0	174.0	95.0	33.5	0.0	105.0	13.0	74.0	686.4
2002-03	38.0	101.0	Π 8.0	257.0	45.0	42.0	68.0	38.0	50.5	11.0	10.0	25.0	863.5
2003-04	126.0	46.5	127.0	148.0	55.0	85.5	35.5	109.5	0.0	0.0	0.0	10.5	743.5
2004-05	65.0	2.0	58.0	39.0	66.0	69.0							

Με πλάγια γράμματα αναγράφονται οι τιμές που συμπληρώθηκαν στα πλαίσια του έργου, και ελήφθησαν από το δελτίο παρατηρήσεων του ΥΠΕΧΩΔΕ. Το υπόλοιπο δείγμα προέρχεται από τους Ξανθοπούλου κ.α (1997), και έχει κατασκευαστεί με συνάθροιση των ημερήσιων υψών βροχής.

ΣΤΑΘΜΟΣ: ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ: ΥΠΔΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ
ΝΟΜΟΣ: ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

ΥΨΟΜΕΤΡΟ: 730
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ: ΡΕΝΤΙΝΙΩΤΙΚΟΥ

Υδρ.έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αυγ.	Σεπ.	Έτος
1970-71	224.3	135.5	224.0	68.6	25.8	12.1	22.8	21.0	40.4				
1971-72	74.6	77.3	49.3	111.1	118.3	71.4	139.0	64.7	8.3	26.5	75.6	34.2	850.3
1972-73	200.0	85.4	35.5	133.0	100.3	110.5	47.0	5.2	15.5	11.2	47.5	29.8	820.9
1973-74	128.5	65.5	192.5	87.5	174.3	67.5	123.5	55.5	67.2	0.0	8.5	29.5	1000.0
1974-75	68.5	120.0	90.1	27.9	170.0	38.0	60.5	42.0	150.5	4.0	44.7	14.0	830.2
1975-76	45.9	112.0	135.0	135.0	191.5	90.3	104.7	58.3	17.9	35.0	28.7	2.5	956.8
1976-77	92.2	106.5	95.5	38.0	36.0	26.7	85.0	14.1	26.7	8.1	2.3	48.5	579.6
1977-78	17.0	96.1	238.2	328.5	94.7	65.1	62.8	20.3	2.4	2.5	15.2	163.5	1106.3
1978-79	90.5	33.1	139.5	130.0	94.7	22.7	74.1	99.7	13.2	21.5	17.8	23.2	760.0
1979-80	216.1	186.2	122.2	146.0	116.8	254.3	75.7	54.2	30.0	7.5	15.7	12.3	1237.0
1980-81	171.0	97.2	129.5	317.5	51.8	56.0	92.1	20.7	21.1	13.5	27.0	74.6	1072.0
1981-82	112.2	156.0	123.0	73.7	182.0	187.3	160.6	162.5	2.4	10.0	26.7	33.0	1229.4
1982-83	100.6	173.0	109.2	65.0	111.0	9.8	30.8	3.3	106.7	41.5	10.6	37.8	799.3
1983-84	79.5	131.0	220.1	76.2	100.2	77.2	59.7	20.2	17.0	122.1	20.0		
1984-85	11.4	117.2	91.1	203.8	101.8	141.3	73.5	60.0	0.0	15.6	0.0	0.0	815.7
1985-86	117.1	218.8	44.8	59.6	127.7	105.1	27.7	108.0	72.4	29.7	25.6		
1986-87	214.6	85.4	72.8	43.0	0.0								
1987-88	91.9	99.7	59.9	71.5	96.9	66.4	47.7	36.8	7.5	0.0	3.6	12.1	594.0
1988-89	42.0	158.8	95.8	12.0	75.0	132.4	27.8	46.3	14.1	54.4	25.0	25.1	708.7
1989-90	92.2	63.7	71.9	14.5	30.3	30.8	50.1	106.4	9.7	8.8	64.3	10.3	553.0
1990-91	44.1	127.0	236.2										
1991-92													
1992-93	82.2	58.9	14.3	1.0	90.0								
1993-94	72.0	202.9	149.5	166.2	184.5	47.0	125.9	100.0	46.8	37.1	15.2	0.5	1147.6
1994-95	403.0	106.3	113.1	71.6	23.3	114.3	53.7	42.2	0.0	74.3	22.2	161.0	1185.0
1995-96	15.9	46.4	158.6	107.1	114.3	79.1	52.1	45.2	2.8	19.5	58.6	21.2	720.8
1996-97	150.9	60.7	53.1	171.3	26.3	68.5	59.1	103.2	15.5	5.6	49.0	36.4	799.6
1997-98	91.5	155.4	117.4	17.2	77.4	5.2	16.2	126.2	43.9	0.0	9.1	68.6	728.1
1998-99	29.2	300.0	129.5	39.5	60.3	47.6	50.4	70.1	8.5	44.5	24.5	68.5	872.6
1999-00	58.5	174.0	80.6	40.5	137.0	36.9	35.6	13.6	10.3	10.7	3.5	25.2	626.4
2000-01	132.2	61.4	35.0	91.5	73.5	38.2	110.5	39.0	9.1	17.0	58.6	4.9	670.9
2001-02	17.0	56.8	39.2	29.0	22.4	112.2	177.3	35.3	1.0	72.9	17.2	152.7	733.0
2002-03	75.3	105.0	220.5	219.5	46.1	46.1	80.7	33.9	42.3	15.5	9.5	23.4	917.8
2003-04	155.3	92.8	64.2	88.8	11.3	96.7	93.2	86.5	23.7	7.3	6.5	27.5	753.8
2004-05	88.2	55.6	61.0	61.3	104.8	47.7	31.7	46.5	22.3	6.5	7.4		
Μέση τιμή	103.1	116.5	111.7	108.3	96.5	81.2	74.6	58.4	27.6	20.2	27.6	41.1	854.4
Τυπ. απόκ.	78.3	58.0	59.4	82.4	51.5	58.7	40.4	37.7	33.2	19.7	26.3	44.3	200.7

Με πλάγια γράμματα αναγράφονται οι τιμές που συμπληρώθηκαν στα πλαίσια του έργου, και ελήφθησαν από το δελτίο παρατηρήσεων του ΥΠΕΧΩΔΕ. Το υπόλοιπο δείγμα προέρχεται από τους Ξανθοπούλου κ.α (1997), και έχει κατασκευαστεί με συνάθροιση των ημερήσιων υψών βροχής.

ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε.
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ
ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ & Τ.Δ.Π.
ΤΟΜΕΑΣ: ΔΑΣΙΚΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ
ΦΟΥΡΝΩΝ

Γεωγραφικό μήκος 21° 53' 18''
Γεωγραφικό πλάτος 39° 03' 22''
Υψόμετρο 1100 μέτρα

Μήνας	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ °C					ΜΕΣΗ ΣΧΕΤΙΚ Η ΥΓΡΑΣΙΑ Α %	Εξάτμισ η mm	ΑΝΕΜΟΣ			Ηλιακή ακτινοβολία w/m ²	ΥΕΤΟΣ		ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ °C			
	Μέσ η	Μέση Ελάχιστ η	Μέση Μέγιστ η	Μέση Απολύτω ν Ελαχίστ ων	Μέση Απολύτων Μεγίστων			Επικρατούσα Δ/νση	Μέση Ταχύτητ α km/h	Μέση Μέγιστη Ταχύτητα km/h		Διάρκεια min	Μέσο Ύψος mm	2 cm	20 cm	50 cm	100. cm
Ιαν	1,3	-1,9	5,2	-8,1	11,5	89,3	17,9		4,7	18,8	27.216	1.975,0	127,1	4,0	3,1	3,6	4,8
Φεβ	1,8	-1,7	6,1	-9,3	13,9	87,6	20,4		4,0	17,0	69.761	1.853,0	143,2	4,0	3,2	3,6	4,5
Μαρ	3,9	0,1	8,3	-7,1	16,6	84,7	34,5		4,2	16,4	91.888	2.236,2	149,6	3,8	4,6	4,8	5,2
Απρ	7,6	3,3	12,2	-1,6	20,3	78,3	51,2		5,2	18,2	127.892	1.529,5	119,0	7,9	7,9	7,8	7,2
Μαϊ	12,7	7,6	17,9	2,7	24,9	73,1	70,5		4,4	16,4	133.777	1.667,3	82,7	14,0	12,3	11,6	10,0
Ιουν	16,9	10,9	22,9	4,8	28,6	69,3	92,3		4,1	11,9	78.577	264,4	32,7	18,8	16,1	15,4	13,1
Ιουλ	19,0	12,4	25,3	7,2	31,7	66,1	100,3		3,7	11,4	142.940	277,2	26,0	22,4	19,0	17,6	15,6
Αυγ	18,2	12,0	25,1	7,3	30,5	69,1	95,0		3,4	11,6	95.101	360,7	18,8	20,0	18,3	17,9	16,1
Σεπ	15,4	8,2	21,5	3,1	27,6	72,3	68,5		4,0	12,9	60.774	1.025,8	58,1	16,6	15,7	15,8	15,1
Οκτ	10,6	6,8	15,7	0,4	24,0	80,7	48,7		3,6	11,4	53.113	1.612,2	123,1	10,2	11,3	11,9	12,4
Νοε	6,0	2,8	10,3	-4,1	17,6	85,5	35,8		4,3	17,2	40.922	3.102,8	157,9	7,3	7,3	8,1	9,3
Δεκ	2,6	-0,4	6,3	-7,7	13,9	88,9	25,9		4,2	19,5	29.229	3.642,7	183,9	3,9	4,2	4,9	6,3
Μ.Ο.	9,7	5,0	14,7	-1,0	21,8	78,7	55,1		4,1	15,2	79.265,6	1.629	101,9	11,1	10,3	10,3	10,0
Αθρ.												19.547	1.222				
Μέγ.			25,3		31,7	89				19,5		3.643	183,9	22,4	19,0	17,9	16,1
Ελάχ.		-1,9		-9,3		66						264	18,8	3,8	3,1	3,6	4,5

Μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα.

Μέση μηνιαία θερμοκρασία στον σταθμό Δομοκού (C°)													
Υδρ. έτος	Οκτ.	Νοέ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μάρ.	Απρ.	Μάι.	Ιούν.	Ιούλ.	Αυγ.	Σεπ.	Έτος
1969-70						9.1	14.8		22.0	23.9	24.7	20.3	
1970-71	14.5	11.6	6.4	6.1	4.3	6.6	11.8	19.1	23.2	22.6		18.3	
1971-72		10.5	6.8	4.0	4.4	8.9	13.5			23.5	23.0	18.8	
1972-73	11.3	11.1	3.6	2.9	5.9	4.8	11.7	19.7	21.8	25.1	22.2	20.5	13.4
1973-74	14.8	9.0	6.3	3.6	6.3	7.6	10.0	16.4	21.8	24.5	23.7	20.3	13.7
1974-75	16.1	9.5	5.9	4.8	3.3	10.3	13.6	18.2	21.1	23.8	22.3	21.7	14.2
1975-76	14.7	8.4	4.9	6.2	3.7	6.7	12.8	15.8	20.4	23.1	20.9	19.4	13.1
1976-77	15.2	9.7	5.8	5.4	11.0	10.3	12.9	19.4	23.1	26.2	24.8	18.3	15.2
1977-78	14.0	12.4	4.0	2.7	7.2	9.2	11.6	17.0	23.0	24.9	24.0	18.1	14.0
1978-79	12.6	7.4	8.1	4.8	6.4	10.8	10.8	17.4	23.3	23.6	23.3	20.6	14.1
1979-80	13.5	10.1	7.6	2.7	4.1	7.9	10.7	15.2	21.9	25.4	23.9	20.1	13.6
1980-81	16.0	12.5	6.5	1.9	4.7	11.3	13.1	16.1	24.3	23.6	23.3	20.7	14.5
1981-82	17.7	7.9	8.3	5.4	2.5	6.9	10.8.	16.2	23.5	23.9	24.3	21.3	14.1
1982-83	14.8	8.3	7.0	5.2	2.9	8.2	14.8	18.7	19.2	23.5	22.2	19.2	13.7
1983-84	12.9	7.4	5.1	5.8	3.9	6.0	9.1	17.5	20.8	23.5	21.5	20.9	12.9
1984-85	17.9	9.6	4.2	4.5	3.0	6.3	14.0	18.9	22.5	24.2	24.5	20.1	14.1
1985-86	12.6	11.2	7.9	5.9	5.4	6.9	14.4	16.7	21.5	23.6	24.7	20.6	14.3
1986-87	14.4	7.5	4.0	5.7	5.7	3.8	11.2	15.2	21.9	25.7	23.5	23.2	13.5
1987-88	12.7	9.6	6.2	6.4	5.3	7.7	11.3	17.8	23.2	26.3	25.3	20.8	14.4
1988-89	13.9	5.5	4.2	3.6	6.4	10.1	15.3	16.0	20.7	21.5	23.9	20.4	13.5
1989-90	13.6	9.3	6.1	3.8	7.3	11.5	13.7	17.0	22.5	25.2	23.1	20.0	14.4
1990-91	15.7	11.3	5.0	7.3	8.5	11.3	13.5	17.4	24.8	26.6	26.1	22.0	15.8
1991-92	18.3	13.0	6.1	4.6	4.5	7.4	13.1	15	21.3	22.4	25.0	19.5	14.2
1992-93	18.6	11.1	3.9	4.7	2.1	7.7	12.9	16.9	22.9	24.9	25.1	20.9	14.3
1993-94	17.8	6.4	8.3	6.9	4.8	10.8	13.6	18.8	22.9	24.7	26.2	24.4	15.5
1994-95	15.8	8.5	5.8		8.9	8.2	12.2	17.9	24.6	24.4	23.0	20.5	
1995-96	13.3	6.9	7.4	3.3		3.7	11.1	20.4	24.3	25.4	24.7	19.3	
1996-97	12.7	11.5	8.0										
Μέση τιμή	14.8	9.5	6.1	4.7	5.3	8.1	12.5	17.4	22.4	24.3	23.8	20.4	14.1
Τυπ. απόκ.	2.0	2.0	1.5	1.4	2.1	2.2	1.6	1.5	1.4	1.2	1.3	1.4	0.7

Στοιχεία .Ε.Μ.Υ., Ξανθοπούλου κ.α.(1997).