



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Επίδραση του χιονιού στο υδατικό ισοζύγιο λεκανών απορροής
ποταμού – Η περίπτωση της λεκάνης του Καλαρρύτικου**



Τσούνη Γεωργία

Επιβλέπων: Ναλμπάντης Ι., Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2017

Αφιερωμένη στους γονείς μου.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Ευχαριστίες	viii
Περίληψη	x
Abstract	xii
Κατάλογος συμβόλων	xiv
1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος	1
1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας	1
2 Υδατικό ισοζύγιο	3
2.1 Ο υδρολογικός κύκλος	3
2.2 Μέρη του υδρολογικού κύκλου	4
2.2.1 Αποθήκευση νερού στη θάλασσα	5
2.2.2 Εξάτμιση	5
2.2.3 Εξατμισοδιαπνοή	6
2.2.4 Εξάχνωση	6
2.2.5 Αποθήκευση νερού στην ατμόσφαιρα	7
2.2.6 Συμπύκνωση	7
2.2.7 Κατακρημνίσματα	7
2.2.8 Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνια	8
2.2.9 Απορροή από λιώσιμο του χιονιού	9
2.2.10 Επιφανειακή απορροή	9
2.2.11 Ροή σε υδατορεύματα	10
2.2.12 Αποθήκευση γλυκού νερού	11
2.2.13 Διήθηση	11
2.2.14 Αποθήκευση υπόγειου νερού	12
2.2.15 Εκφόρτιση υπόγειου νερού	12
2.2.16 Πηγές	13
3 Μοντέλα βροχόπτωσης - απορροής	15
3.1 Ορισμός	15
3.2 Ταξινόμηση	15
3.3 Βαθμονόμηση	16
4 Το μοντέλο BILAN	19
4.1 Βασικές πληροφορίες	19
4.1.1 Γενικά	19
4.1.2 Δεδομένα εισόδου	19

4.1.3	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή	19
4.1.4	Προσομοιωμένες χρονοσειρές	19
4.1.5	Παράμετροι του μοντέλου	20
4.2	Περιγραφή του μοντέλου.....	20
4.2.1	Εσωτερική δομή.....	20
4.2.2	Διάκριση μεταξύ θερινών και χειμερινών συνθηκών	22
4.2.3	Συνιστώσες της συνολικής απορροής	22
4.2.4	Σχηματισμός της άμεσης απορροής σε θερινές συνθήκες	22
4.2.5	Εξάτμιση και ισοζύγιο εδαφικού νερού σε θερινές συνθήκες	23
4.2.6	Εξάτμιση και υδατικό ισοζύγιο στην επιφάνεια του εδάφους σε χειμερινές συνθήκες και κατά την περίοδο τήξης του χιονιού.....	23
4.2.7	Ισοζύγιο του εδαφικού νερού σε συνθήκες χειμερινές και τήξης χιονιού	24
4.2.8	Κατανομή της διήθησης σε υπεδάφια απορροή και επαναφόρτιση των υπόγειων νερών.....	25
4.2.9	Ισοζύγιο υπογείων υδάτων και βασική απορροή	25
4.3	Βελτιστοποίηση των παραμέτρων.....	25
5	Εφαρμογή του μοντέλου BILAN στη λεκάνη απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού στη θέση Μονή Κηπίνας	27
5.1	Λεκάνη απορροής.....	27
5.1.1	Επιλογή	27
5.1.2	Περιγραφή.....	28
5.2	Διαθέσιμα δεδομένα	31
5.2.1	Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση Α.Ε.....	31
5.2.2	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε.....	31
5.2.3	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών	44
5.3	Επεξεργασία δεδομένων	50
5.3.1	Υδρολογική ανάλυση με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.....	50
5.3.2	Επεξεργασία χρονοσειράς κατακρημνισμάτων (βροχή & χιόνι)	60
5.3.3	Επεξεργασία χρονοσειράς θερμοκρασιών	77
5.3.4	Επεξεργασία χρονοσειράς απορροών	86
5.3.5	Υπολογισμός χρονοσειράς εξατμισοδιαπνοής.....	88
5.4	Εκτέλεση του μοντέλου BILAN.....	92
5.5	Αποτελέσματα του μοντέλου BILAN	102
6	Συμπεράσματα	109
	Αναφορές	111
	Στην ελληνική γλώσσα	111
	Ξενόγλωσσες	111
	Διαδικτυακές.....	112
	Παράρτημα Α: Πίνακες	113

Ευχαριστίες

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. Δρ. Ιωάννη Ναλμπάντη, για την ανάθεση και επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας αυτής, για τη διαρκή και πολύτιμη καθοδήγησή του σε κάθε φάση της εκπόνησής της, και για την εξαιρετικά εποικοδομητική για μένα συνεργασία μας. Ευχαριστώ πολύ επίσης τα μέλη του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων & Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Σ.Α.Τ.Μ. του Ε.Μ.Π., Δρ. Χάρη Βαγγέλη, μέλος Ε.Δ.Ι.Π., για την καίρια και άμεση ανταπόκρισή του στην επίλυση αποριών, καθώς και την υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π. κα. Ινώ Παπαγεωργάκη για τη σημαντική βοήθειά της σχετικά με το λογισμικό ArcGIS και τη συνεισφορά της στη συλλογή δεδομένων. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Κουβόπουλο, Τομεάρχη Υδρολογίας στη Διεύθυνση Υδροηλεκτρικής Παραγωγής της Δ.Ε.Η. Α.Ε., και τον Δρ. Χάρη Κοντοέ, Διευθυντή Ερευνών στο ΙΑΑΔΕΤ του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, για τη διάθεση των δεδομένων, καθώς και την Δρ. Εμμανουέλα Ιερωνυμίδα, Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια στο ΙΑΑΔΕΤ του Ε.Α.Α., για τη βοήθειά της στην επεξεργασία των χαρτών. Κλείνοντας, ευχαριστώ ιδιαίτερα την αδερφή μου Αλεξία για τις τεχνικές γνώσεις, την αμέριστη συμπαράσταση και τον χρόνο που μου αφιέρωσε από την αρχή των σπουδών και κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, τους φίλους, τον αδερφό μου, και τους γονείς μου για τη διαρκή στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την επίδραση του χιονιού στο υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του ποταμού Καλαρρύτεκου στη θέση του υδρομετρικού σταθμού Μονής Κηπίνας. Το μοντέλο βροχόπτωσης – απορροής που χρησιμοποιείται για την υδρολογική προσομοίωση είναι το BILAN, το οποίο είναι ένα αιτιοκρατικό, αδρομερές μοντέλο φυσικής βάσης και συνεχούς χρόνου. Για την κατάρτιση του μοντέλου για την υπό μελέτη λεκάνη, γίνεται συλλογή γεω-χωρικών και υδρολογικών δεδομένων τα οποία συμπληρώθηκαν ως προς τις ελλείψεις τους. Η επεξεργασία των γεω-χωρικών δεδομένων για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το μοντέλο έγινε σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Την κατάρτιση του μοντέλου ακολουθεί η βαθμονόμησή του για να εκτιμηθούν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων του και για να εξαχθεί με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, μεταξύ άλλων, η προσομοιωμένη χρονοσειρά της μηνιαίας απορροής του ποταμού και η εκτίμηση του ισοδύναμου ύψους χιονιού που μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα στην παρούσα εργασία. Προκύπτει ικανοποιητική ανταπόκριση ως προς τις εποχικές διακυμάνσεις αλλά και σημαντική υποεκτίμηση των κατακρημνισμάτων εισόδου στο μοντέλο. Όσον αφορά την επίδραση του χιονιού στο υδατικό ισοζύγιο, αυτή ήταν μεγάλη, πρωτίστως τους μήνες Απρίλιο και Μάιο που λιώνουν τα χιόνια, και δευτερευόντως τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο. Συνολικά, επετεύχθη ικανοποιητική βαθμονόμηση του μοντέλου με $NSE=0.872$ στην περίοδο βαθμονόμησης και $NSE=0.814$ στην περίοδο επαλήθευσης, και καλή ανταπόκριση του μοντέλου τόσο στην βροχόπτωση όσο και στη χιονόπτωση. Η προσομοίωση μπορεί, προφανώς, να βελτιωθεί περαιτέρω αν εισαχθούν δεδομένα από περισσότερους κατάλληλους σταθμούς, με πυκνωση του δικτύου, τόσο οριζοντιογραφικά, όσο και υψομετρικά.

Abstract

The current thesis studies the effect of snow on the water balance of Kalarrytikos river basin at the location of the hydrometric station Kipina Monastery. The rainfall - runoff model used for the hydrological simulation is BILAN, which is a deterministic, lumped, physics-based model operating in continuous time. In order to set up the model for the specific basin, geo-spatial and hydrological data is collected and their gaps are filled. The processing of the geo-spatial data so that it can be used by the model was made in a GIS environment. The set up of the model was followed by its calibration in order to assess the optimal values of its parameters and derive, with the greatest possible accuracy, among others, the simulated time-series of the river's monthly discharge and the estimate of the equivalent snow depth, in which we are particularly interested in this work. The results show a satisfactory response regarding the seasonal fluctuations, but also significant underestimation of the precipitation input to the model. With regard to the effect of snow on the water balance, this was significant, primarily during the months of April and May when the snow melts, and secondarily during the months of January, February and March. Overall, a satisfactory calibration of the model was achieved with $NSE = 0.872$ in the calibration period and $NSE = 0.814$ in the verification period, and good response of the model in both rainfall and snowfall. The simulation can obviously be further improved if data is imported from more appropriate stations, with the network being densified in terms of both horizontal and vertical coverage.

Κατάλογος συμβόλων

i	Δείκτης του μήνα
Q_i	Μετρημένη απορροή
\bar{Q}	Μέση τιμή της μετρημένης απορροής
QS_i	Εκτιμημένη απορροή
N	Πλήθος των παρατηρήσεων
P_N	Υδρολογικό μέγεθος εισόδου στο μοντέλο βροχόπτωσης - απορροής
K	Πλήθος των παραμέτρων του μοντέλου βροχόπτωσης - απορροής
a_K	Παράμετρος του μοντέλου βροχόπτωσης - απορροής
\hat{a}_K	Βέλτιστη τιμή παραμέτρου του μοντέλου βροχόπτωσης - απορροής
NSE	Συντελεστής προσδιορισμού του μοντέλου βροχόπτωσης - απορροής
p	Κατακρήμνιση της λεκάνης απορροής
t	Θερμοκρασία αέρα
h	Σχετική υγρασία
r	Παρατηρημένη απορροή
pe	Δυνητική εξατμισοδιαπνοή
e	Εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής
inf	Διήθηση προς το έδαφος
perc	Διήθηση από το έδαφος
rc	Επαναφόρτιση της αποθήκευσης υπογείων υδάτων
I	Υπεδάφια απορροή
dr	Άμεση απορροή από βροχόπτωση
bf	Βασική απορροή
rm	Συνολική απορροή (προσομοιωμένη)
sw	Αποθήκευση νερού στη χιονοκάλυψη
ss	Αποθήκευση εδαφικής υγρασίας (αποθήκευση νερού στη ζώνη αερισμού)
gs	Αποθήκευση υπογείων νερών
pot	Νερό από βροχόπτωση ή τήξη χιονιού (ποσότητα περιορισμένη από τη θερμοκρασία αέρα)
akt	Νερό στη μορφή χιονιού διαθέσιμο για τήξη και επακόλουθη διήθηση

Spa	Χωρητικότητα της αποθήκευσης εδαφικής υγρασίας
Alf	Παράμετρος της εξίσωσης βροχής - απορροής (άμεση απορροή)
Dgm	Συντελεστής τήξης χιονιού
Dgw	Συντελεστής για τον υπολογισμό της ποσότητας του υγρού νερού διαθέσιμου στην επιφάνεια του εδάφους σε χειμερινές συνθήκες
Mec	Παράμετρος που ελέγχει την κατανομή της διήθησης σε υπεδάφια απορροή και επαναφόρτιση των υπογείων νερών σε συνθήκες τήξης χιονιού
Wic	Παράμετρος που ελέγχει την κατανομή της διήθησης σε υπεδάφια απορροή και επαναφόρτιση των υπογείων νερών σε χειμερινές συνθήκες
Soc	Παράμετρος που ελέγχει την κατανομή της διήθησης σε υπεδάφια απορροή και επαναφόρτιση των υπογείων νερών σε καλοκαιρινές συνθήκες
Grd	Παράμετρος που ελέγχει την εκροή από την αποθήκευση των υπόγειων νερών (βασική απορροή)
P_1, P_2, P_3	Τιμές βροχόπτωσης στους σταθμούς 1, 2, 3
N_1, N_2, N_3	Κανονική μέση βροχόπτωση στους σταθμούς 1, 2, 3
N_X	Κανονική βροχόπτωση του υπό συμπλήρωση σταθμού
b_0, b_1	Παράμετροι παλινδρόμησης
$r_{(X,Y)}$	Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των X και Y
r_C	Κρίσιμη τιμή συντελεστής γραμμικής συσχέτισης
A_i	Εμβαδά πολυγώνων επηρεασμού στη μέθοδο Thiessen
A	Εμβαδόν λεκάνης απορροής στη μέθοδο Thiessen
α	Συντελεστής αναγωγής στον έλεγχο ομογένειας
λ_1, λ_2	Κλίσεις των δύο ευθύγραμμων τμημάτων της διπλής αθροιστικής καμπύλης
P_i	Βροχομετρικό ύψος σταθμών
P_0	Μέσο βροχομετρικό ύψος λεκάνης στο ιδεατό μέσο υψόμετρο της λεκάνης
P	Μέσο βροχομετρικό ύψος λεκάνης στο πραγματικό υψόμετρο της λεκάνης
T_0	Θερμοκρασία στο υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού
T	Θερμοκρασία λεκάνης στο πραγματικό υψόμετρο της λεκάνης
β	Βροχοβαθμίδα
θ	Θερμοβαθμίδα
Z	Πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης
Z_0	Ιδεατό μέσο υψόμετρο της λεκάνης
ΔZ	Διαφορά υψομέτρων $Z-Z_0$
E_{rc}	Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς
S_0	Εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία
φ	Γεωγραφικό πλάτος

λ	Λανθάνουσα ακτινοβολία εξάτμισης
T_a	Μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα
T_{\max}	Μέγιστη θερμοκρασία
T_{\min}	Ελάχιστη θερμοκρασία

1 Εισαγωγή

1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος

Η μελέτη του υδατικού ισοζυγίου μιας λεκάνης απορροής και η βέλτιστη δυνατή εκτίμηση των συνιστωσών του είναι κρίσιμη για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων και την λήψη σημαντικών αποφάσεων για την διαχείριση των υδατικών πόρων της λεκάνης αυτής. Ειδικά στις λεκάνες απορροής όπου γίνεται εκμετάλλευση / αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού για πολλαπλές χρήσεις (π.χ. παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, άρδευση, ύδρευση, αντιπλημμυρική προστασία) είναι ακόμα πιο επιτακτική η ανάγκη όσο το δυνατόν ακριβέστερης μελέτης όλων των παραμέτρων και εξαγωγής ασφαλών συμπερασμάτων. Η επίδραση του χιονιού στο υδατικό ισοζύγιο υπεισέρχεται σε διάφορες μορφές και στάδια, ξεκινώντας από την χιονόπτωση ως κατακρήμνισμα, περνώντας στην αποθήκευση του νερού σε πάγους και χιόνια, και καταλήγοντας στην απορροή από το λιώσιμο του χιονιού.

Για τους λόγους αυτούς η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην επίδραση του χιονιού στο υδατικό ισοζύγιο και εφαρμόζει το μοντέλο BILAN μηνιαίου βήματος στη λεκάνη απορροής του ποταμού Καλαρρύτεκου, ο οποίος είναι παραπόταμος του Αράχθου στην ευρύτερη περιοχή του νομού Ιωαννίνων, στη δυτική Ελλάδα.

1.2 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία παρουσιάζεται σε 6 κεφάλαια κατά την σειρά με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι διεργασίες και επεξεργασίες που ήταν απαραίτητες για την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων για το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του ποταμού Καλαρρύτεκου και την μελέτη της επίδρασης του χιονιού σε αυτό.

Πιο συγκεκριμένα, η εργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα κεφάλαια:

(1) Κεφάλαιο 1:

Δίνεται η γενική τοποθέτηση του προβλήματος για το οποίο γίνεται η μελέτη και συνοψίζεται η διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.

(2) Κεφάλαιο 2:

Παρουσιάζεται ο υδρολογικός κύκλος και αναλύονται τα μέρη του μέσα από βιβλιογραφικές πηγές.

(3) Κεφάλαιο 3:

Δίνεται ο ορισμός και η γενική λειτουργία των μοντέλων βροχόπτωσης – απορροής, παρουσιάζεται η ταξινόμησή τους σύμφωνα με διάφορα κριτήρια, και αναλύεται η βαθμονόμησή τους.

(4) Κεφάλαιο 4:

Περιγράφεται το μοντέλο BILAN το οποίο εφαρμόστηκε στη λεκάνη απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού.

(5) Κεφάλαιο 5:

Παρουσιάζεται η εφαρμογή του μοντέλου στη λεκάνη απορροής του Καλαρρύτικου ποταμού στη θέση Μονή Κηπίνας. Εξηγούνται οι λόγοι επιλογής της συγκεκριμένης λεκάνης απορροής και περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά της. Παρουσιάζονται στη συνέχεια τα διαθέσιμα δεδομένα από τους σχετικούς φορείς, και, κατόπιν, γίνεται η επεξεργασία των απαιτούμενων δεδομένων εισόδου. Τέλος, εκτελείται το μοντέλο BILAN και δίνονται τα αποτελέσματα.

(6) Κεφάλαιο 6:

Εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα από τα αποτελέσματα του μοντέλου.

2 Υδατικό ισοζύγιο

2.1 Ο υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος, ή αλλιώς ο κύκλος του νερού, περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της Γης, καθώς και κάτω και πάνω απ' αυτή. Το νερό της Γης είναι πάντα σε κίνηση και πάντα σε αλλαγή, από την υγρή μορφή στην αέρια ή σε πάγο ξανά και αντίστροφα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1. Ο κύκλος του νερού λειτουργεί εδώ και δεσεκατομμύρια χρόνια. Η ζωή στη Γη εξαρτάται απ' αυτόν.



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα υδρολογικού κύκλου (Πηγή: Evans *et al.*, 2005)

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

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

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

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

2.2 Μέρη του υδρολογικού κύκλου

Η Γεωλογική Υπηρεσία των ΗΠΑ (USGS) έχει διακρίνει 16 μέρη του υδρολογικού κύκλου (Perlman *et al.*, 2005):

- (1) Αποθήκευση νερού στη θάλασσα
- (2) Εξάτμιση
- (3) Εξατμισοδιαπνοή
- (4) Εξάχνωση
- (5) Αποθήκευση νερού στην ατμόσφαιρα
- (6) Συμπύκνωση
- (7) Κατακρημνίσματα
- (8) Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνια
- (9) Απορροή από λιώσιμο του χιονιού
- (10) Επιφανειακή απορροή
- (11) Ροή σε υδατορεύματα
- (12) Αποθήκευση γλυκού νερού

- (13) Διήθηση
- (14) Αποθήκευση υπόγειου νερού
- (15) Εκφόρτιση υπόγειου νερού
- (16) Πηγές

2.2.1 Αποθήκευση νερού στη θάλασσα

Πολύ περισσότερο νερό από αυτό που βρίσκεται σε κίνηση στον υδρολογικό κύκλο είναι αποθηκευμένο στη θάλασσα, κυρίως στους ωκεανούς. Από τα 1,386,000,000 km³ του νερού στη Γη, περίπου 1,338,000,000 km³ (το 96.5%) είναι αποθηκευμένα στους ωκεανούς. Οι ωκεανοί παρέχουν περίπου το 88% του εξατμιζόμενου νερού που μπαίνει στον υδρολογικό κύκλο.

Η ποσότητα του νερού στους ωκεανούς αλλάζει κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων. Κατά τη διάρκεια πιο ψυχρών κλιματικών περιόδων, σχηματίζονται περισσότερα παγόβουνα και παγετώνες με αποτέλεσμα να υπάρχει λιγότερο νερό στους ωκεανούς. Το αντίθετο συμβαίνει στις θερμές κλιματικές περιόδους. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων, η στάθμη των ωκεανών ήταν περίπου 122 m χαμηλότερη της σημερινής. Πριν από περίπου τρία εκατομμύρια χρόνια, όταν η Γη ήταν πιο θερμή, η στάθμη των ωκεανών μπορεί να ήταν μέχρι και 50 m πιο ψηλά από ό,τι σήμερα.

Στους ωκεανούς υπάρχουν ρεύματα που μετακινούν τεράστιες ποσότητες νερού από το ένα μέρος της Γης στο άλλο. Αυτές οι μετακινήσεις επηρεάζουν σημαντικά τον κύκλο του νερού και τον καιρό. Το Ρεύμα του Κόλπου είναι ένα γνωστό ρεύμα ζεστού νερού που διασχίζει τον Ατλαντικό μετακινώντας νερό από τον κόλπο του Μεξικού προς τη Μεγάλη Βρετανία. Με μια ταχύτητα 100 km/day, το Ρεύμα του Κόλπου μετακινεί 100 φορές περισσότερο νερό από όλα τα ποτάμια της Γης. Χάρη στο Ρεύμα του Κόλπου που μεταφέρει νερό από θερμότερα κλίματα, ο καιρός της Μεγάλης Βρετανίας είναι πιο ήπιος από τον καιρό άλλων χωρών του ίδιου γεωγραφικού πλάτους.

2.2.2 Εξάτμιση

Εξάτμιση είναι η διεργασία μέσω της οποίας το νερό γίνεται από υγρό αέριο, ή αλλιώς υδρατμός, και αποτελεί το βασικό τρόπο με τον οποίο το νερό από υγρό ξαναμπαίνει στην ατμόσφαιρα και μαζί στον υδρολογικό κύκλο. Οι ωκεανοί, οι θάλασσες, οι λίμνες και τα ποτάμια παρέχουν περίπου το 90% της υγρασίας της ατμόσφαιρας, ενώ τα φυτά, μέσω της διαπνοής παρέχουν το υπόλοιπο 10%.

Η θερμότητα (ενέργεια), που παρέχει ο ήλιος είναι απαραίτητη για την εξάτμιση. Η ενέργεια χρησιμοποιείται για να σπάσουν οι δεσμοί που κρατούν ενωμένα τα μόρια του νερού και γι' αυτό το νερό εξατμίζεται εύκολα στο σημείο βρασμού του (100°C), και εξατμίζεται πιο δύσκολα κοντά στο σημείο πήξης. Όταν η σχετική υγρασία του αέρα είναι 100% (σε κατάσταση κορεσμού) δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί εξάτμιση. Η εξάτμιση αφαιρεί θερμότητα από το περιβάλλον, γεγονός που εξηγεί γιατί όταν εξατμίζεται νερό υπάρχει η αίσθηση της δροσιάς (π.χ. στην επιδερμίδα από τον ιδρώτα).

Η εξάτμιση από τη θάλασσα είναι ο κύριος τρόπος με τον οποίο το νερό περνά στην ατμόσφαιρα. Η μεγάλη επιφάνεια των ωκεανών (πάνω από το 70% της επιφάνειας της Γης καλύπτεται από ωκεανούς) επιτρέπει μεγάλης κλίμακας εξάτμιση. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ποσότητα νερού που εξατμίζεται είναι ίση με τη ποσότητα του νερού που επιστρέφει στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή κατακρημνισμάτων. Βέβαια, η κατανομή των ποσοτήτων που

εξατμίζονται και ξαναπέφτουν μεταβάλλεται γεωγραφικά. Έτσι, στη θάλασσα η εξατμίσση υπερτερεί της βροχής, ενώ στη στεριά συμβαίνει το αντίθετο. Το περισσότερο νερό που εξατμίζεται από τη θάλασσα, ξαναπέφτει σε αυτή και μόνο περίπου το 10% του νερού αυτού μεταφέρεται πάνω από τη στεριά και πέφτει με τη μορφή κατακρημνισμάτων. Από τη στιγμή που εξατμίζεται, ένα μόριο νερού μένει στην ατμόσφαιρα για 10 περίπου ημέρες κατά μέσο όρο.

2.2.3 Εξατμισοδιαπνοή

Εξατμισοδιαπνοή είναι η μεταφορά νερού στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα της εξατμίσσης από την επιφάνεια του εδάφους και της διαπνοής από τα φύλλα των φυτών. Το νερό αυτό μπορεί να είναι υπόγειο που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους μέσω τριχοειδών εδαφικών σωληνίσκων και στα φύλλα των φυτών μέσω του τριχοειδούς αγγειακού συστήματος των φυτών.

Διαπνοή είναι η διεργασία μέσω της οποίας η υγρασία μεταφέρεται από τις ρίζες των φυτών μέχρι τους μικρούς πόρους που βρίσκονται στο κάτω μέρος των φύλλων όπου και μετατρέπεται σε υδρατμό και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Η διαπνοή είναι ουσιαστικά η εξατμίσση του νερού από τα φύλλα των φυτών. Εκτιμάται ότι περίπου 10% της υγρασίας στην ατμόσφαιρα προέρχεται από τη διαπνοή των φυτών.

Η διαπνοή είναι συνήθως μια αθέατη διαδικασία – δεν είναι εύκολη η παρατήρηση των φύλλων να "ιδρώνουν" καθώς το νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια τους. Κατά τη διάρκεια μιας εποχής ανάπτυξης ένα φύλλο μπορεί να διακινήσει μέσω διαπνοής νερό πολλαπλάσιο του βάρους του, ενώ μια μεγάλη βελανιδιά μπορεί να διαπνεύσει νερό 150,000 lt/year.

Η ποσότητα νερού που τα φυτά διαπνέουν μεταβάλλεται γεωγραφικά και χρονικά. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που καθορίζουν τους ρυθμούς διαπνοής:

- (1) Θερμοκρασία: Οι ρυθμοί διαπνοής ανεβαίνουν όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία ειδικά στις εποχές ανάπτυξης των φυτών, όταν ο αέρας είναι ζεστός.
- (2) Σχετική υγρασία: Όσο αυξάνει η σχετική υγρασία του αέρα που περιβάλλει το φυτό ο ρυθμός διαπνοής πέφτει. Είναι πιο εύκολο να εξατμιστεί νερό σε ξηρό παρά σε υγρό αέρα.
- (3) Άνεμος: Αύξηση της ταχύτητας του ανέμου κοντά στο φυτό αυξάνει τη διαπνοή.
- (4) Τύπος φυτού: Διαφορετικά φυτά έχουν διαφορετικούς ρυθμούς διαπνοής. Φυτά που μεγαλώνουν σε ξηρά κλίματα, όπως οι κάκτοι, διαπνέουν λιγότερο από τα άλλα φυτά.

2.2.4 Εξάχνωση

Η εξάχνωση είναι η μετατροπή του νερού από τη στερεά μορφή του χιονιού ή του πάγου σε υδρατμό χωρίς να μεσολαβήσει η υγρή μορφή, χωρίς δηλαδή να λιώσει προηγουμένως.

Η παρατήρηση της εξάχνωσης είναι δύσκολη. Ένα εύκολο πείραμα για να δούμε τα αποτελέσματά της είναι να κρατήσουμε ένα βρεγμένο ύφασμα στο ύπαιθρο σε μια μέρα που η θερμοκρασία είναι κάτω από 0°C. Ο πάγος που θα σχηματιστεί στο ύφασμα τελικώς θα εξαφανιστεί. Πιο εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί το φαινόμενο της εξάχνωσης με παγωμένο διοξείδιο του άνθρακα, ή αλλιώς ξηρό πάγο, αντί νερού.

Η εξάχνωση πραγματοποιείται πιο εύκολα όταν υπάρχουν συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες, όπως ξηρή ατμόσφαιρα και άνεμος. Περισσότερο συμβαίνει σε μεγάλα υψόμετρα, όπου η

ατμοσφαιρική πίεση είναι σχετικά μικρή. Για να συμβεί εξάχνωση χρειάζεται να απορροφηθεί ενέργεια, όπως συμβαίνει και με την εξάτμιση, και έτσι το φαινόμενο ευνοείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι, θεωρείται ότι η νότια πλευρά του Έβερεστ, στην οποία κυριαρχούν η χαμηλή θερμοκρασία, οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή πίεση είναι ιδανικό μέρος για την εκδήλωση του φαινομένου σε μια ηλιόλουστη μέρα.

2.2.5 Αποθήκευση νερού στην ατμόσφαιρα

Η ατμόσφαιρα έχει πάντα νερό. Μπορεί να μην είναι η μεγαλύτερη αποθήκη για το νερό, αλλά είναι η "υπερταχεία λεωφόρος" μέσω της οποίας το νερό μετακινείται σε παγκόσμια κλίμακα. Υπάρχει πάντα νερό στην ατμόσφαιρα: ατμοί, σύννεφα και υγρασία. Τα σύννεφα είναι η πιο ορατή μορφή ατμοσφαιρικού νερού αλλά ακόμα και ο καθαρός αέρας περιέχει νερό – με τη μορφή υδρατμών που δεν είναι ορατοί. Αν όλο το νερό της ατμόσφαιρας ήταν σε υγρή μορφή, τότε ο όγκος του στο σύνολο της ατμόσφαιρας, ανά πάσα στιγμή, θα ήταν περίπου 12,900 km³. Αν όλο το νερό της ατμόσφαιρας έπεφτε την ίδια στιγμή, θα κάλυπτε το έδαφος με νερό σε ύψος 2.5 cm.

2.2.6 Συμπύκνωση

Η συμπύκνωση είναι η διεργασία της μετατροπής του νερού από την αέρια στην υγρή μορφή. Η συμπύκνωση είναι σημαντική για τον κύκλο του νερού, διότι επιτρέπει τον σχηματισμό των σύννεφων. Τα σύννεφα παράγουν κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι) τα οποία είναι και ο βασικός τρόπος με τον οποίο το νερό ξαναγυρίζει στην επιφάνεια της Γης. Η συμπύκνωση είναι το αντίθετο της εξάτμισης.

Η συμπύκνωση, είναι επίσης υπεύθυνη για την ομίχλη, για το θάμπωμα των τζαμιών κατά τη διάρκεια μιας κρύας μέρας, για το νερό που στάζει από το εξωτερικό ενός ποτηριού με κρύο νερό κ.ά.

Ακόμα και στον πιο καθαρό γαλανό ουρανό, το νερό είναι πάντα εκεί με τη μορφή υδρατμών. Η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε νερό σε αέρια μορφή έχει ένα ανώτατο όριο, το όριο κορεσμού, το οποίο αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Έτσι, αν προστεθούν υδρατμοί πάνω από το όριο κορεσμού, αλλά κυρίως αν ψυχθεί μια αέρια μάζα και μειωθεί το όριο κορεσμού (αυτό γίνεται συνήθως με την ανύψωση και εκτόνωση της μάζας σε μεγαλύτερα υψόμετρα όπου επικρατούν μικρότερες πιέσεις), τότε οι πλεονάζοντες υδρατμοί υδροποιούνται σχηματίζοντας σε μικροσκοπικό επίπεδο σταγονίδια ή παγοκρυστάλλους και σε μακροσκοπικό επίπεδο, σύννεφα. Το σχηματισμό των σταγονιδίων ευνοεί η παρουσία στην ατμόσφαιρα στερεών μικροσκοπικών σωματιδίων σκόνης, αλάτων και καπνού, με τα οποία συνδέονται τα μόρια του νερού. Καθώς τα σταγονίδια ενώνονται μεταξύ τους και μεγαλώνουν σε μάζα, μπορεί να βαρύνουν τόσο που τελικά να πέσουν.

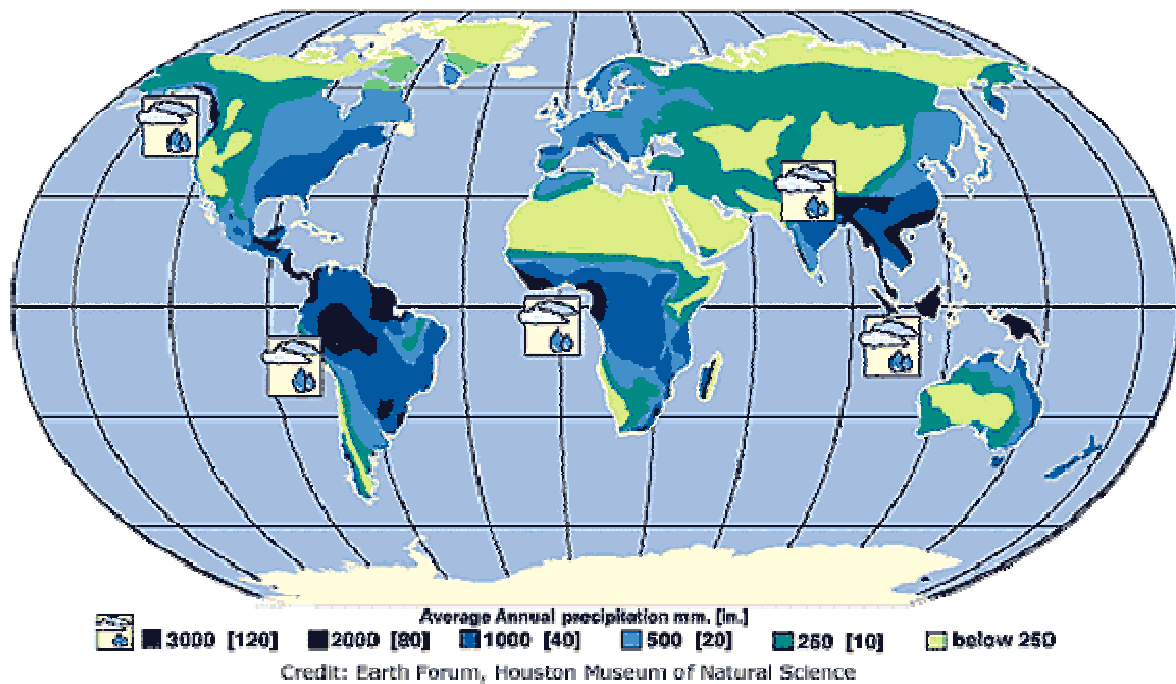
2.2.7 Κατακρημνίσματα

Τα κατακρημνίσματα είναι η πτώση του νερού από τα σύννεφα, με τη μορφή βροχής, χιονόνερου, χιονιού ή χαλαζιού. Αποτελεί τον κύριο τρόπο με τον οποίο το νερό της ατμόσφαιρας επιστρέφει στην επιφάνεια της Γης. Η συχνότερη μορφή κατακρημνισμάτων είναι η βροχή.

Τα σύννεφα περιέχουν υδρατμούς και σταγονίδια τα οποία είναι πολύ μικρά για να πέσουν ως κατακρημνίσματα αλλά ταυτόχρονα είναι αρκετά μεγάλα ώστε να σχηματίζουν ορατά σύννεφα. Το νερό συνεχώς εξατμίζεται και συμπυκνώνεται στον αέρα. Το περισσότερο νερό που συμπυκνώνεται στα σύννεφα δεν πέφτει διότι υποστηρίζεται από ανοδικά ρεύματα αέρα. Για να προκληθούν κατακρημνίσματα, τα μικροσκοπικά σταγονίδια πρέπει να συνενωθούν

για να σχηματίσουν σταγόνες αρκετά μεγάλες και βαριές ώστε να πέσουν υπό την επίδραση βαρύτητας. Για να σχηματιστεί μια σταγόνα βροχής πρέπει να συνενωθούν εκατομμύρια σταγονίδια ενός σύννεφου.

Η κατανομή των κατακρημνισμάτων μεταβάλλεται γεωγραφικά και χρονικά. Στην Αθήνα, για παράδειγμα, οι καλοκαιρινές καταιγίδες μπορεί να προκαλέσουν περισσότερο από 50 mm βροχής σε κάποιες περιοχές και να αφήσουν τελείως ξηρές κάποιες άλλες, μερικά χιλιόμετρα πιο πέρα. Μερικές περιοχές στην Ήπειρο (Βορειοδυτική Ελλάδα) δέχονται περισσότερη βροχή κατά τη διάρκεια ενός μήνα από ότι η Αθήνα σε έναν ολόκληρο χρόνο. Ο παρακάτω χάρτης (Σχήμα 2.2) δείχνει το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων παγκοσμίως.

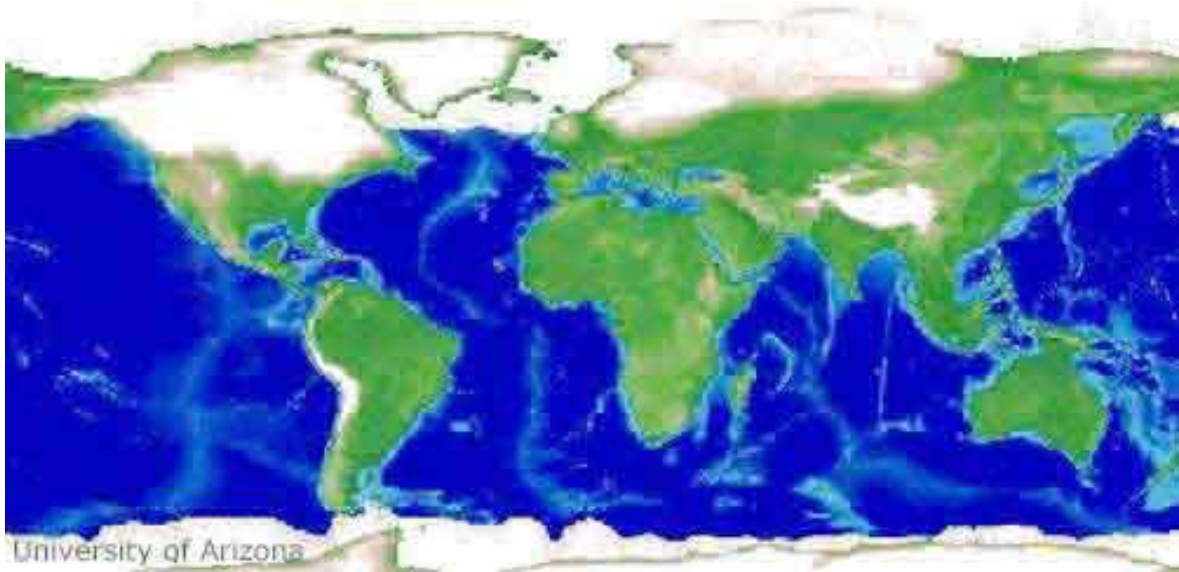


Σχήμα 2.2: Παγκόσμιος χάρτης της κατανομής των μέσων ετήσιων κατακρημνισμάτων (Πηγή: Earth Forum, 2005)

2.2.8 Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνια

Το νερό που βρίσκεται αποθηκευμένο για μεγάλες χρονικές περιόδους στον πάγο, το χιόνι και τους παγετώνες, αποτελεί και αυτό μέρος του υδρολογικού κύκλου. Το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του πάγου στη Γη, περίπου το 90%, βρίσκεται στην Ανταρκτική, ενώ οι πάγοι της Γροιλανδίας περιέχουν το υπόλοιπο 10% της παγκόσμιας μάζας πάγου. Στη Γροιλανδία το μέσο πάχος πάγου είναι 1,500 m, αλλά μπορεί να φτάσει και τα 4,300 m.

Ο πάγος και παγετώνες έρχονται και παρέρχονται. Το κλίμα της Γης μεταβάλλεται συνέχεια αν και συνήθως η μεταβολή δεν είναι αρκετά γρήγορη ώστε να γίνεται αντιληπτή. Κατά τη διάρκεια της ιστορίας της Γης έχουν περάσει πολλές θερμές περιόδους, όπως η περίοδος των δεινοσαύρων πριν από 100 εκατομμύρια χρόνια, αλλά και πολλές ψυχρές περιόδους, όπως η τελευταία εποχή των παγετώνων πριν από περίπου 20,000 χρόνια. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων, μεγάλο τμήμα του βόρειου ημισφαιρίου, ήταν σκεπασμένο με παγετώνες, όπως απεικονίζεται στον ακόλουθο χάρτη (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Παγκόσμιος χάρτης των παγετώνων που υπήρχαν πριν 20.000 χρόνια (Πηγή: University of Arizona, 2005)

Μερικά στοιχεία για τους παγετώνες και τα παγόβουνα:

- (1) Οι παγετώνες καλύπτουν σήμερα το 10-11% της στεριάς της Γης.
- (2) Αν όλοι οι παγετώνες έλιωναν σήμερα, η στάθμη της θάλασσας θα ανέβαινε κατά 70 m.
- (3) Κατά τη διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων η στάθμη της θάλασσας ήταν κατά 122 m χαμηλότερη της σημερινής και οι παγετώνες κάλυπταν το ένα τρίτο περίπου της στεριάς.
- (4) Κατά τη διάρκεια της τελευταίας θερμής εποχής, 125,000 χρόνια πριν, οι θάλασσες ήταν 5.5 m ψηλότερες από σήμερα. Πριν από τρία εκατομμύρια χρόνια, οι θάλασσες μπορεί να ήταν και μέχρι 50 m ψηλότερες από σήμερα.

2.2.9 Απορροή από λιώσιμο του χιονιού

Παγκοσμίως, η απορροή από το λιώσιμο του χιονιού προς τα υδατορεύματα αποτελεί σημαντική συνιστώσα της κίνησης του νερού. Σε κρύα κλίματα μεγάλο μέρος της ανοιξιάτικης απορροής και της παροχής των ποταμών προέρχεται από το λιώσιμο χιονιού και πάγου. Το γρήγορο λιώσιμο του χιονιού προκαλεί πολλές φορές, εκτός από πλημμύρες, κατολισθήσεις και πτώσεις κατακεραματισμένων βράχων.

Η απορροή από το λιώσιμο του χιονιού μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή αλλά και από χρόνο σε χρόνο. Η έλλειψη νερού αποθηκευμένου με τη μορφή χιονιού το χειμώνα μπορεί να λιγοστέψει το διαθέσιμο νερό για όλο τον υπόλοιπο χρόνο. Αυτό μπορεί να επηρεάσει τη ποσότητα διαθέσιμου νερού στους κατάντη ταμιευτήρες.

2.2.10 Επιφανειακή απορροή

Επιφανειακή απορροή είναι η απορροή κατακρημνισμάτων πάνω από το εδαφικό ανάγλυφο. Μέρος δηλαδή των κατακρημνισμάτων που πέφτουν πάνω στο έδαφος, κυλούν επιφανειακά προς τα ποτάμια, σχηματίζοντας την επιφανειακή απορροή. Στην πραγματικότητα τα πράγματα είναι πιο περίπλοκα, καθώς τα ποτάμια κερδίζουν και χάνουν νερό μέσω του εδάφους.

Συνήθως, τμήμα της βροχής που πέφτει, ποτίζει το έδαφος, αλλά όταν το έδαφος είναι κορεσμένο ή αδιαπέρατο, το νερό αρχίζει να ρέει προς τα χαμηλά με τη μορφή απορροής. Το νερό στην πορεία του προς τα ποτάμια κυλά μέσω αυλακιών στο έδαφος. Η απορροή στην περίπτωση αυτή κυλά πάνω από χώμα και συμπαρασύρει φερτά μέσα στο ποτάμι. Το νερό που μπαίνει στο ρυάκι ξεκινά το ταξίδι του πίσω προς τη θάλασσα.

Όπως συμβαίνει με όλα τα μέρη του υδρολογικού κύκλου, η σχέση μεταξύ των κατακρημνισμάτων και της επιφανειακής απορροής μεταβάλλεται στο χρόνο και το χώρο. Παρόμοιες καταιγίδες σε μια ζούγκλα και σε μια έρημο προκαλούν διαφορετικές μορφές επιφανειακής απορροής. Η απορροή εξαρτάται τόσο από μετεωρολογικούς παράγοντες, όσο και από τη γεωλογία και το ανάγλυφο της περιοχής. Μόνο το ένα τρίτο περίπου του όγκου των κατακρημνισμάτων που πέφτει πάνω στο έδαφος, απορρέει σε υδατορεύματα και γυρίζει στη θάλασσα. Τα υπόλοιπα δύο τρίτα, εξατμίζονται, ή διηθούνται προς τα υπόγεια νερά. Τμήμα της επιφανειακής απορροής χρησιμοποιείται επίσης από τον άνθρωπο για δικές του χρήσεις.

2.2.11 Ροή σε υδατορεύματα

Ροή σε υδατορεύματα είναι η κίνηση του νερού μέσα σε ποτάμια, ρέματα ή ρυάκια.

Τα ποτάμια δεν είναι σημαντικά μόνο για τους ανθρώπους, αλλά και για τη ζωή παντού. Εκτός από τόποι αναψυχής μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης ως πηγή πόσιμου νερού και νερού για άρδευση, για τη παραγωγή ηλεκτρισμού, τη μετακίνηση εμπορευμάτων αλλά και ως πηγή τροφής. Χρησιμοποιούνται μερικές φορές αναγκαστικά και για την απόρριψη λυμάτων, τα οποία θα πρέπει να είναι επεξεργασμένα για την αποφυγή ρύπανσης και καταστροφής των πολλών ειδών οργανισμών, φυτών και ζώων, που ζουν στα ποτάμια. Τα ποτάμια βοηθούν στην τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων μέσω της διήθησης νερού από τη κοίτη τους προς τα κατώτερα υπεδάφια στρώματα, και επαναφέρουν στη θάλασσα το μεγαλύτερο τμήμα του νερού που εισέρχεται σε αυτά.

Για την κατανόηση της λειτουργίας του υδρολογικού κύκλου είναι σημαντική η έννοια των λεκανών απορροής των ποταμιών. Η λεκάνη απορροής είναι εδαφική έκταση που φιλοξενεί το ποτάμι και όλους τους παραποτάμους του, ακόμη και τα μικρά ρυάκια που καταλήγουν σε αυτό. Ακριβέστερα, λεκάνη απορροής σε μια δεδομένη θέση ενός υδατορεύματος είναι η γεωγραφική περιοχή που τα νερά της συνεισφέρουν στην απορροή που περνά από τη θέση αυτή του υδατορεύματος. Η μεγαλύτερη από τις λεκάνες όλων των ποταμών της υφλίου φτάνει τα 7,180,000 km² και είναι η έκταση που στραγγίζει στον ποταμό Αμαζόνιο στο σημείο που εκβάλλει στον Ατλαντικό Ωκεανό. Κάθε μεγάλη λεκάνη απορροής μπορεί να χωριστεί σε μικρότερες επιμέρους υπο-λεκάνες (π.χ. μια για κάθε παραπόταμο). Οι λεκάνες απορροής είναι πολύ σημαντικές διότι η ποσότητα και η ποιότητα του νερού στα ποτάμια εξαρτώνται από ό,τι συμβαίνει μέσα στις λεκάνες, είτε το έχει προκαλέσει ο άνθρωπος είτε όχι.

Η ροή στα υδατορεύματα αλλάζει συνεχώς, από μέρα σε μέρα, ή ακόμα από λεπτό σε λεπτό. Φυσικά, ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την παροχή του νερού είναι η απορροή των κατακρημνισμάτων από τη λεκάνη. Η βροχή αυξάνει τη στάθμη του νερού των ποταμών, ακόμα και αν έχει βρέξει πολύ ψηλά στη λεκάνη απορροής, μακριά από τη θέση παρατήρησης της ροής. Το μέγεθος ενός ποταμού εξαρτάται από το μέγεθος της λεκάνης απορροής του. Μεγάλο ποτάμι είναι αυτό που έχει μεγάλη λεκάνη απορροής. Ομοίως, ποτάμια διαφορετικών μεγεθών, αντιδρούν διαφορετικά σε καταιγίδες και βροχές. Η στάθμη των μεγάλων ποταμών αλλάζει πιο αργά από τη στάθμη των μικρών. Σε μια μικρή λεκάνη, η στάθμη του ποταμού θα ανυψωθεί και θα πέσει μέσα σε μερικά λεπτά ή ώρες. Στα μεγάλα ποτάμια κάτι τέτοιο μπορεί να πάρει μέρες και οι πλημμύρες μπορεί να διαρκέσουν πολύ.

2.2.12 Αποθήκευση γλυκού νερού

Ένα μέρος του υδρολογικού κύκλου, που είναι προφανώς ζωτικής σημασίας για τη ζωή πάνω στη Γη, είναι το γλυκό νερό που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Το επιφανειακό νερό περιλαμβάνει υδατορεύματα, λίμνες, ταμιευτήρες (τεχνητές λίμνες) και υγρότοπους γλυκού νερού.

Η ποσότητα του νερού στα ποτάμια και τις λίμνες αλλάζει συνεχώς λόγω της μεταβολής των εισροών (όπως των κατακρημνισμάτων και των παροχών των πηγών) και των εκροών (όπως της εξάτμισης και της διήθησης προς τους υπόγειους υδροφορείς). Η ποσότητα και η θέση του επιφανειακού νερού, αλλάζει στο χρόνο και το χώρο, ως αποτέλεσμα είτε φυσικών είτε ανθρωπογενών διεργασιών.

Όπως φαίνεται και από το Δέλτα του Νείλου, ζωή μπορεί να υπάρξει και μέσα στην έρημο, αρκεί να υπάρχει παροχή επιφανειακού (ή υπόγειου) νερού. Το επιφανειακό νερό επιτρέπει τη συνέχιση της ζωής στη Γη.

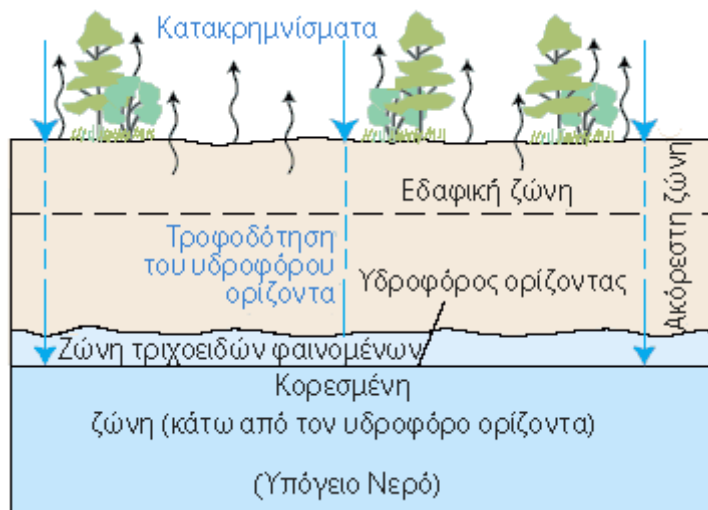
Το γλυκό νερό είναι σχετικά σπάνιο στην επιφάνεια της Γης. Μόνο το 3% του νερού του πλανήτη είναι γλυκό ενώ όλες οι λίμνες και τα έλη μαζί περιέχουν μόνο το 0,29% του γλυκού αυτού νερού. Το 20% του συνολικού γλυκού νερού των λιμνών και ελών βρίσκεται σε μία λίμνη, τη λίμνη Βαϊκάλη στην Ασία. Άλλο ένα 20% βρίσκεται αποθηκευμένο στις Μεγάλες Λίμνες (Huron, Michigan, και Superior) στις ΗΠΑ. Τα ποτάμια περιέχουν μόνο το 0,006% του συνολικού γλυκού νερού του πλανήτη.

2.2.13 Διήθηση

Διήθηση είναι η προς τα κάτω κίνηση του νερού από την επιφάνεια προς τα εδαφικά στρώματα και τα πετρώματα. Το υπόγειο νερό ξεκινά ως κατακρήμνισμα. Τμήμα του νερού που πέφτει ως βροχή ή χιόνι διηθείται μέσα στο έδαφος. Η ποσότητα του νερού που διηθείται εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων.

Τμήμα του νερού που διηθείται μένει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και μπορεί να καταλήξει τελικά σε ένα υδατόρευμα. Ένα άλλο τμήμα του νερού, μπορεί να διηθηθεί πιο βαθιά και να τροφοδοτήσει υπόγειους υδροφορείς. Αν οι υδροφορείς είναι κοντά στην επιφάνεια και αρκετά πορώδεις ώστε να επιτρέπουν τη γρήγορη κίνηση του νερού, μπορεί να κατασκευαστούν πηγάδια και να αντληθεί νερό για διάφορες ανάγκες. Το νερό μπορεί να ταξιδέψει μεγάλες αποστάσεις ή να μείνει αποθηκευμένο υπόγεια για μεγάλα χρονικά διαστήματα πριν επανέλθει στην επιφάνεια μπαίνοντας σε ποτάμια ή τη θάλασσα.

Καθώς το νερό διηθείται προς το υπέδαφος, σχηματίζει, συνήθως, μια ακόρεστη και μια κορεσμένη ζώνη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4. Στην ακόρεστη ζώνη υπάρχει νερό αλλά και αέρας στα κενά (πόρους) του εδαφικού σχηματισμού, δηλαδή τα κενά αυτά δεν είναι τελείως γεμάτα με νερό. Το άνω μέρος της ακόρεστης ζώνης είναι η εδαφική ζώνη. Η εδαφική ζώνη έχει κενά που δημιουργούνται από τις ρίζες των φυτών, τα οποία επιτρέπουν στο νερό να διηθηθεί. Το νερό στην ανώτερη αυτή ζώνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά. Κάτω από την ακόρεστη ζώνη βρίσκεται η κορεσμένη, στην οποία το νερό γεμίζει όλους τους πόρους του εδάφους.



Σχήμα 2.4: Βροχή που διεισδύει στο έδαφος (Πηγή: Perlman *et al.*, 2005)

2.2.14 Αποθήκευση υπόγειου νερού

Υπόγειο νερό είναι το νερό που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της Γης για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Εκτός από τις καθημερινά ορατές ποσότητες νερού, υπάρχουν και τεράστιες μη ορατές ποσότητες νερού που βρίσκεται και κινείται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το νερό αυτό εδώ και χιλιάδες χρόνια και συνεχίζουν και σήμερα να το χρησιμοποιούν, κυρίως για ύδρευση και άρδευση. Η ζωή στη Γη βασίζεται στο υπόγειο νερό όπως και στο επιφανειακό.

Μεγάλες ποσότητες νερού βρίσκονται αποθηκευμένες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το νερό αυτό συνεχίζει να κινείται, αν και συνήθως με πολύ μικρή ταχύτητα, και συνεχίζει να αποτελεί μέρος του υδρολογικού κύκλου. Το περισσότερο υπόγειο νερό προέρχεται από διήθηση κατακρημνισμάτων. Τα ανώτερα στρώματα αποτελούν την ακόρεστη ζώνη όπου η ποσότητα του νερού αλλάζει με το χρόνο αλλά δεν γεμίζει πλήρως τους πόρους του εδάφους. Κάτω από τη ζώνη αυτή υπάρχει η κορεσμένη ζώνη όπου όλοι οι πόροι και οι ρωγμές των πετρωμάτων είναι γεμάτες νερό. Ο όρος «υπόγειο νερό» χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυτή τη ζώνη. Ο χώρος αποθήκευσης του υπόγειου νερού αποδίδεται με τον όρο "υδροφορέας". Οι υδροφορείς ή τα υδροφόρα στρώματα, είναι αποθήκες νερού της Γης και η ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο εξαρτάται καθημερινά από αυτούς.

Τα πηγάδια, παλιότερα, ήταν μικρού βάθους. Σήμερα, η τεχνολογία επιτρέπει το άνοιγμα πηγαδιών, ακριβέστερα γεωτρήσεων, σε πολύ μεγαλύτερα βάθη, π.χ., εκατοντάδων μέτρων, που φτάνουν στα βαθύτερα υδροφόρα στρώματα.

2.2.15 Εκφόρτιση υπόγειου νερού

Εκφόρτιση υπόγειου νερού είναι η έξοδος του νερού από το υπέδαφος. Όπως προαναφέρθηκε, τμήμα των κατακρημνισμάτων διηθείται και μετατρέπεται σε υπόγειο νερό. Από το νερό που εισχωρεί στο έδαφος, ένα μέρος κινείται κοντά στην επιφάνεια και ξαναβγαίνει γρήγορα με τη μορφή απορροής προς τα υδατορεύματα, υπό την επίδραση της βαρύτητας. Όμως ένα άλλο μεγάλο μέρος συνεχίζει τη πορεία του προς βαθύτερα στρώματα.

Όπως δείχνει το Σχήμα 2.5, η κατεύθυνση και η ταχύτητα του υπόγειου νερού καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά των υδροφορέων και των στρωμάτων περιορισμού (υπεδάφια στρώματα, τα οποία διαπερνά το νερό πολύ δύσκολα ή σχεδόν καθόλου). Η υπόγεια κίνηση

του νερού εξαρτάται από τη διαπερατότητα (πόσο εύκολο ή δύσκολο είναι στο νερό να κινηθεί) και από το πορώδες (την ποσότητα των κενών μέσα στο υλικό) των στρώσεων. Αν το υπεδάφιο στρώμα επιτρέπει στο νερό να κινείται σχετικά γρήγορα, αυτό μπορεί να διανύσει μεγάλες αποστάσεις στη διάρκεια μερικών ημερών. Μπορεί όμως επίσης να βυθιστεί προς βαθιούς υδροφορείς και να κάνει χιλιάδες χρόνια μέχρι να ξαναβγεί στην επιφάνεια.



Σχήμα 2.5: Διείσδυση και κίνηση του νερού στο υπέδαφος (Πηγή: Perlman et al., 2005)

2.2.16 Πηγές

Πηγές είναι τα σημεία όπου το υπόγειο νερό βγαίνει στην επιφάνεια. Οι πηγές δημιουργούνται όταν ένας υδροφορέας γεμίζει τόσο ώστε το νερό να υπερχειλίσει προς την επιφάνεια του εδάφους. Το μέγεθός τους κυμαίνεται από μικρές πηγές που ενεργοποιούνται μόνο μετά από δυνατές βροχές, μέχρι τεράστιες πηγές που λειτουργούν σε μόνιμη βάση και βγάζουν χιλιάδες κυβικά μέτρα νερού ανά ημέρα.

Πηγές μπορούν να δημιουργηθούν σε κάθε τύπου πέτρωμα, αλλά είναι συνηθέστερες σε ασβεστόλιθο και δολομίτη οι οποίοι διαλύονται από το νερό, ιδιαίτερα όταν έχουν ρωγμές. Αυτά τα πετρώματα έχουν μεγάλη διαπερατότητα και απορροφούν μεγάλες ποσότητες κατακρημισμάτων, οπότε αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης πηγών, μέσω των οποίων εξέρχεται στην επιφάνεια το νερό που είχε εισχωρήσει στα πετρώματα.

Το νερό των πηγών είναι συνήθως διαυγές. Υπάρχουν όμως πηγές, των οποίων το νερό έχει χρώμα. Το κόκκινο χρώμα προκαλείται από το γεγονός ότι το υπόγειο νερό έρχεται σε επαφή με ορυκτά, όπως ο σίδηρος. Η παρουσία χρώματος στο νερό των πηγών μπορεί να δείχνει ότι το νερό περνά γρήγορα μέσα από μεγάλες υπόγειες διόδους, χωρίς να φιλτράρεται αρκετά από τα πετρώματα ώστε να φύγει το χρώμα.

Οι θερμές πηγές είναι κανονικές πηγές, το νερό των οποίων είναι όμως ζεστό, ή σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και καυτό. Πολλές θερμές πηγές βρίσκονται σε περιοχές με πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπου το νερό ζεσταίνεται ερχόμενο σε επαφή με θερμά πετρώματα πολύ κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τα πετρώματα γίνονται θερμότερα όσο το βάθος μεγαλώνει και σε περίπτωση που το βαθύ υπόγειο νερό βρει κάποια δίοδο προς την επιφάνεια, μπορεί να σχηματιστεί θερμή πηγή. Θερμές πηγές υπάρχουν σε πολλά μέρη και μπορούν κάλλιστα να συνυπάρχουν με παγόβουνα.

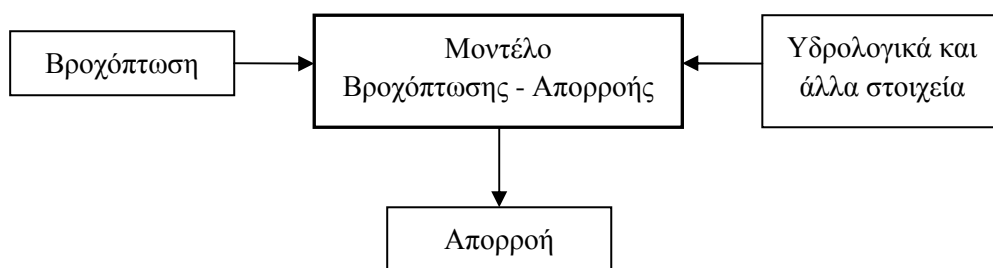
3 Μοντέλα βροχόπτωσης - απορροής

3.1 Ορισμός

Ως μοντέλο βροχόπτωσης - απορροής ορίζεται ένα σύνολο μαθηματικών σχέσεων, είτε αλγεβρικών είτε διαφορικών εξισώσεων ή λογικών σχέσεων, που συσχετίζουν την βροχόπτωση με την απορροή (Ναλμπάντης, 2007). Η αναπαράσταση των υδρολογικών διεργασιών μιας λεκάνης απορροής για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο ονομάζεται υδρολογική προσομοίωση.

Γενικά, ως προσομοίωση ορίζεται η τεχνική μίμησης της συμπεριφοράς ενός πραγματικού συστήματος σε ό,τι αφορά στη χρονική του εξέλιξη (Winston, 1994).

Η γενική λειτουργία ενός μοντέλου βροχόπτωσης - απορροής απεικονίζεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Μοντέλο βροχόπτωσης - απορροής (Πηγή: Ναλμπάντης, 2007)

Δεδομένα εισόδου στο μοντέλο είναι οι μετεωρολογικές μεταβλητές (κατακρημνίσματα, θερμοκρασία, άνεμος κλπ). Οι εξισώσεις του συστήματος είναι το σύνολο των μαθηματικών εξισώσεων που απεικονίζουν τις φυσικές διαδικασίες μετατροπής της βροχής σε απορροή (κατακράτηση, εξατμισοδιαπνοή, διήθηση, επιφανειακή απορροή, ενδιάμεση απορροή, εδαφική υγρασία, αποθήκευση υπόγειου ορίζοντα). Η έξοδος του μοντέλου, μετά την εφαρμογή των εξισώσεων του συστήματος με τα δεδομένα εισόδου, είναι η απορροή (Τσακίρης, 1995).

3.2 Ταξινόμηση

Η ταξινόμηση των μοντέλων βροχόπτωσης - απορροής σύμφωνα με διάφορα κριτήρια εξετάστηκε από τους Ναλμπάντη & Τσακίρη (2006), και συνοπτική παρουσίαση της ταξινόμησης αυτής δίνεται στον Πίνακα 3.1. Επιπλέον, οι Ναλμπάντης & Τσακίρης (2006) δίνουν παραδείγματα μοντέλων από τη βιβλιογραφία.

Ιστορικά, η έρευνα και η ανάπτυξη μοντέλων βροχόπτωσης - απορροής έχει δώσει μεγάλο πλήθος μοντέλων που καλύπτουν, επιλεκτικά, ορισμένες από τις κατηγορίες μοντέλων του Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Ταξινόμηση μοντέλων βροχόπτωσης - απορροής (Πηγή: Ναλμπάντης & Τσακίρης, 2006)

Κριτήριο	Κατηγορία	Περιγραφή
Χωρική μεταβλητότητα διεργασιών	Αδρομερή (lumped)	Η λεκάνη είναι μια χωρική ενότητα με ενιαία υδρολογικά μεγέθη και άλλα χαρακτηριστικά.
	Κατανεμημένα (distributed)	Η λεκάνη διασπάται σε τμήματα με διαφορετικά υδρολογικά μεγέθη και άλλα χαρακτηριστικά.
Είδος εξισώσεων	Μοντέλα «μαύρου κουτιού» (black box)	Σχέσεις της θεωρίας της ανάλυσης συστημάτων χωρίς θεώρηση φυσικών νόμων ούτε και εμπειρικών σχέσεων.
	Εννοιολογικά μοντέλα (conceptual)	Μαθηματικές σχέσεις που έχουν καταρτιστεί με εμπειρικό τρόπο.
	Μοντέλα φυσικής βάσης (physics-based)	Μαθηματικές σχέσεις που αναπαριστούν φυσικούς νόμους.
Χειρισμός αβεβαιότητας	Αιτιοκρατικά (deterministic)	Τα υδρολογικά μεγέθη έχουν σταθερές τιμές χωρίς αβεβαιότητα.
	Στοχαστικά (stochastic)	Ορισμένα από τα υδρολογικά μεγέθη έχουν αβεβαιότητα.
Λειτουργία σε σχέση με το χρόνο	Μοντέλα υδρολογικού γεγονότος (event-based)	Λειτουργούν ανά πλημμυρικό γεγονός και αναπαράγουν μόνο τις κύριες φυσικές διεργασίες των πλημμυρών.
	Μοντέλα συνεχούς χρόνου (continuous-time)	Αναπαριστούν την πλήρη χρονική εξέλιξη των υδρολογικών διεργασιών (σε υγρές και σε ξηρές περιόδους).

3.3 Βαθμονόμηση

Η διαδικασία εκτίμησης των παραμέτρων ενός μοντέλου βροχόπτωσης - απορροής με βάση μετρήσεις των υδρολογικών μεγεθών εισόδου και εξόδου ονομάζεται βαθμονόμηση (calibration) (Ναλμπάντης, 2007).

Αν θεωρηθεί ότι διατίθενται ταυτόχρονες χρονοσειρές απορροής από μετρήσεις Q_i ($i=1, 2, \dots, N$) και υδρολογικών μεγεθών εισόδου (π.χ. χωρικά μέσης βροχόπτωσης) που συμβολίζονται με ένα διάνυσμα μεταβλητών P_i ($i=1, 2, \dots, N$), και το μοντέλο βροχόπτωσης - απορροής έχει K παραμέτρους a_1, a_2, \dots, a_K , τότε η χρονοσειρά της συνθετικής απορροής QS_i ($i=1, 2, \dots, N$) για τυχούσες τιμές των παραμέτρων a_1, a_2, \dots, a_K , προκύπτει ως μία συνάρτηση $f(\cdot)$ των παραμέτρων και των υδρολογικών μεγεθών εισόδου (εξίσωση 3.1):

$$QS_i = f(P_i, a_1, a_2, \dots, a_K), i = 1, 2, \dots, N \quad (3.1)$$

Η πιστότητα της αναπαραγωγής της χρονοσειράς της μετρημένης απορροής δείχνει και τον βαθμό επιτυχούς προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα. Δηλαδή, γίνεται μια σύγκριση μεταξύ της μετρημένης απορροής και της χρονοσειράς συνθετικής απορροής που προέκυψε από την διαδικασία προσομοίωσης του μοντέλου και εξάγεται συμπέρασμα για το πόσο καλά

προσαρμόζεται το μοντέλο στα δεδομένα. Ως μέτρο καλής προσαρμογής ενός μοντέλου χρησιμοποιείται ευρύτατα ο συντελεστής προσδιορισμού (determination coefficient) NSE (Nash & Sutcliffe, 1970) που δίνεται από την εξίσωση 3.2.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - QS_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (3.2)$$

Όπου:

Q_i : η μετρημένη απορροή

QS_i : η εκτιμημένη απορροή

\bar{Q} : η μέση τιμή της μετρημένης απορροής

N : το πλήθος των παρατηρήσεων

Για τον συντελεστή NSE ισχύει η εξίσωση 3.3:

$$- \infty \leq NSE \leq 1 \quad (3.3)$$

Αρνητική τιμή του συντελεστή NSE σημαίνει ότι η συμπεριφορά του μοντέλου είναι χειρότερη από την απλή θεώρηση της μέσης τιμής της μετρημένης απορροής. Στην περίπτωση αυτή, το μοντέλο δεν είναι αποδεκτό. Αντίθετα, καλή προσαρμογή του μοντέλου σημαίνει υψηλή τιμή του NSE που τείνει στη μονάδα. Γενικά το όριο για να θεωρηθεί ικανοποιητική η προσαρμογή του μοντέλου είναι το 0,7 ή 0,8.

Από κάθε τρέξιμο του μοντέλου, με τα δεδομένα εισόδου και έναν συνδυασμό τιμών των παραμέτρων, προκύπτει μια τιμή του NSE. Επιλύεται το εξής πρόβλημα βελτιστοποίησης: συνάρτηση στόχου προς μεγιστοποίηση είναι το NSE και μεταβλητές απόφασης οι παράμετροι a_1, a_2, \dots, a_K . Η εφαρμογή μιας οποιαδήποτε κατάλληλης μεθόδου βελτιστοποίησης, δίνει τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \dots, \hat{a}_K$.

Το πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι, γενικά, μη γραμμικό. Σε κάθε επαναληπτικό βήμα της διαδικασίας βελτιστοποίησης, πραγματοποιείται ένα τρέξιμο του μοντέλου για μια ορισμένη χρονική περίοδο που λέγεται περίοδος βαθμονόμησης, έτσι ώστε να υπολογιστεί η χρονοσειρά της εκτιμημένης ή, αλλιώς, συνθετικής απορροής.

Μετά τον υπολογισμό των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων που έχουν εκτιμηθεί με τη βαθμονόμηση, αυτές εισάγονται στο μοντέλο μαζί με χρονοσειρές των υδρολογικών μεγεθών εισόδου για την υπό μελέτη λεκάνη, για μια χρονική περίοδο διαφορετική από την περίοδο βαθμονόμησης, η οποία λέγεται περίοδος επαλήθευσης. Με το τρέξιμο του μοντέλου λαμβάνεται η τιμή του NSE. Εφόσον η τιμή αυτή είναι συγκρίσιμη (αν και γενικά μικρότερη) με τη βέλτιστη τιμή που προέκυψε κατά την περίοδο βαθμονόμησης, τότε το μοντέλο γίνεται δεκτό για περαιτέρω χρησιμοποίηση. Αλλιώς απορρίπτεται (Ναλμπάντης, 2007).

4 Το μοντέλο BILAN

4.1 Βασικές πληροφορίες

4.1.1 Γενικά

Το μοντέλο BILAN (Kašpárek & Novický, 2004a και Kašpárek & Novický, 2004b) αναπτύχθηκε για την εκτίμηση των συνιστώσων του υδατικού ισοζυγίου μιας λεκάνης απορροής χρησιμοποιώντας μηνιαίο βήμα. Η δομή του μοντέλου διαμορφώθηκε από ένα σύστημα σχέσεων που περιγράφει τις βασικές αρχές του υδατικού ισοζυγίου στην επιφάνεια του εδάφους, στη ζώνη του αερισμού (ακόρεστη ζώνη εδάφους), συμπεριλαμβανομένης της επίδρασης της φυτοκάλυψης, και των υπόγειων υδάτων. Η θερμοκρασία του αέρα χρησιμοποιείται ως ένδειξη των ενεργειακών συνθηκών, οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά τις συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου.

4.1.2 Δεδομένα εισόδου

Τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου είναι μηνιαίες χρονοσειρές της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας του αέρα της λεκάνης απορροής. Επιπλέον, απαιτούνται οι χρονοσειρές της σχετικής υγρασίας του αέρα ή της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Οι μηνιαίες χρονοσειρές της απορροής στην έξοδο της λεκάνης απορροής χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου.

4.1.3 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή μπορεί είτε να διαβαστεί (αντί της χρονοσειράς της σχετικής υγρασίας του αέρα, επιλογή 2) από το αρχείο εισόδου είτε να υπολογισθεί από το έλλειμμα κορεσμού (επιλογή 1) χρησιμοποιώντας συναρτήσεις (που παρέχονται ως πίνακες) οι οποίες έχουν εξαχθεί για μεμονωμένους μήνες και για διαφορετικές βιοκλιματικές ζώνες από εμπειρικά γραφήματα (αντιπροσωπεύοντας τις συνθήκες του βόρειου ημισφαιρίου) (Gidrometeoizdat, 1976). Το έλλειμμα κορεσμού (σε mbar) υπολογίζεται από τα δεδομένα της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας του αέρα. Οι βιοκλιματικές ζώνες που συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο είναι οι εξής: α) τούνδρα, β) κωνοφόρο δάσος, γ) μεικτό δάσος, δ) φυλλοβόλο δάσος, και ε) στέπα. Κάθε βιοκλιματική ζώνη χαρακτηρίζεται από μία χαρακτηριστική μέση θερμοκρασία αέρα. Το μοντέλο έχει έναν αλγόριθμο παρεμβολής (μεταξύ συγκεκριμένων πινάκων), ο οποίος χρησιμοποιεί την μακροπρόθεσμη μέση θερμοκρασία αέρα της λεκάνης απορροής για την παρεμβολή μεταξύ των βιοκλιματικών ζωνών.

4.1.4 Προσομοιωμένες χρονοσειρές

Το μοντέλο προσομοιώνει για μια λεκάνη απορροής μηνιαίες χρονοσειρές της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (επιλογή 1), της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, της διήθησης του νερού στη ζώνη του αερισμού, της διήθησης του νερού προς τον υπόγειο υδροφορέα, και της αποθήκευσης του νερού στη χιονοκάλυψη, στη ζώνη του αερισμού (έδαφος) και στον υπόγειο υδροφορέα. Η συνολική απορροή αποτελείται από τρεις συνιστώσες, οι οποίες είναι η άμεση απορροή, υπεδάφια απορροή και η βασική απορροή.

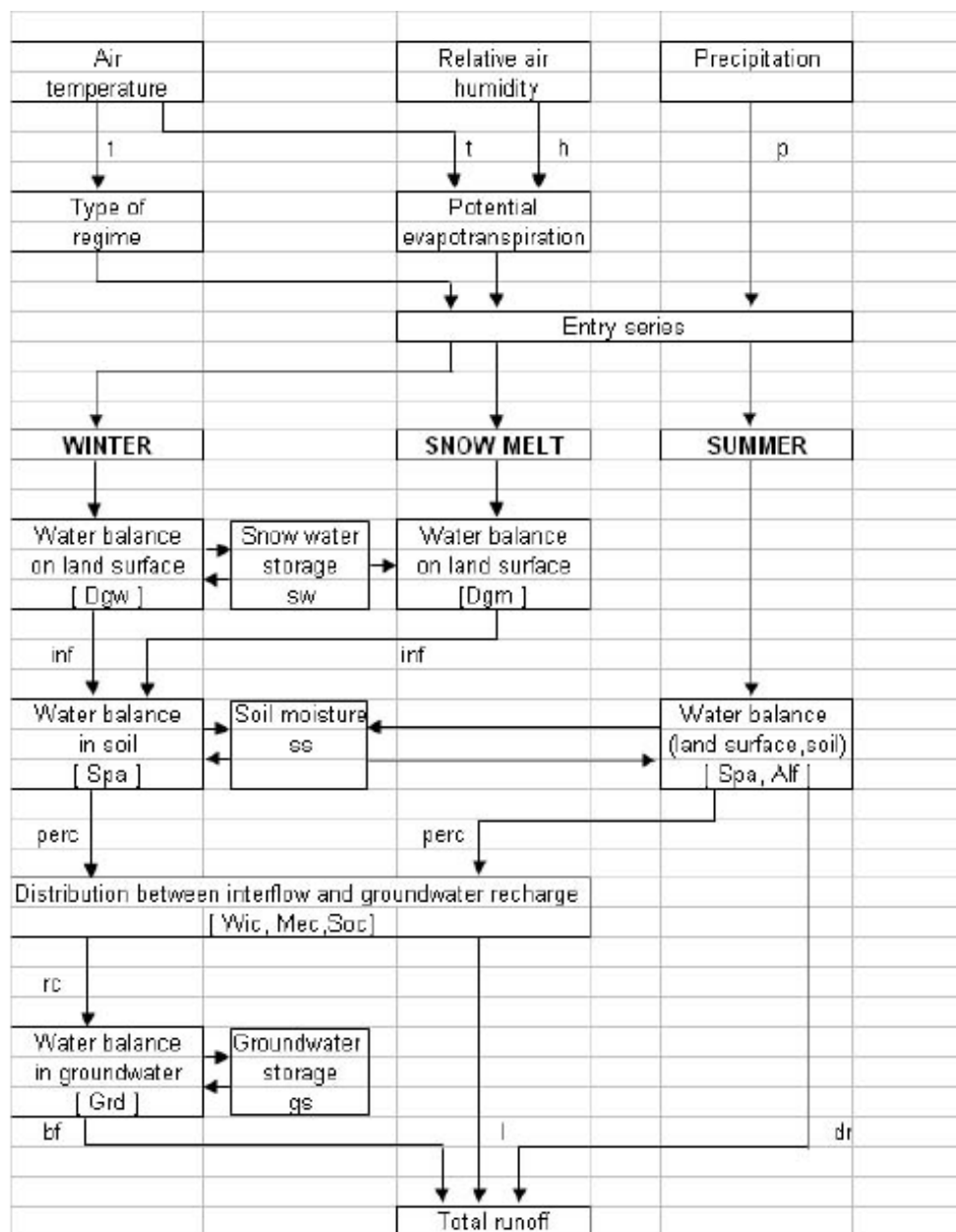
4.1.5 Παράμετροι του μοντέλου

Το μοντέλο έχει οκτώ ελεύθερες παραμέτρους και χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης για τη βαθμονόμησή τους χρησιμοποιώντας μετρημένες απορροές ρεμάτων. Η βελτιστοποίηση στοχεύει στην επίτευξη της καλύτερης προσαρμογής μεταξύ των παρατηρούμενων και των προσομοιωμένων χρονοσειρών απορροής, για τις οποίες διάφορα κριτήρια βελτιστοποίησης είναι διαθέσιμα.

4.2 Περιγραφή του μοντέλου

4.2.1 Εσωτερική δομή

Η εσωτερική δομή του μοντέλου απεικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Εσωτερική δομή του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου BILAN (Πηγή: Kašpárek & Novický, 2004b)

Σύμβολα και παράμετροι του μοντέλου:

i δείκτης του μήνα

Μεταβλητές του υδατικού ισοζυγίου:

Μεταβλητές εισόδου – μηνιαίες χρονοσειρές (συνολικές ή μέσες τιμές):

- (1) p κατακρήμνιση της λεκάνης απορροής (mm/μήνα)
- (2) t θερμοκρασία αέρα ($^{\circ}\text{C}$)
- (3) h σχετική υγρασία (%)
- (4) r παρατηρημένη απορροή (mm/μήνα)

Συνιστώσες υδατικού ισοζυγίου – μηνιαία σύνολα (όλα σε mm/μήνα):

- (1) pe δυνητική εξατμισοδιαπνοή
- (2) e εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής
- (3) inf διήθηση προς το έδαφος
- (4) $perc$ διήθηση από το έδαφος
- (5) rc επαναφόρτιση της αποθήκευσης υπογείων υδάτων
- (6) I υπεδάφια απορροή
- (7) dr άμεση απορροή από βροχόπτωση
- (8) bf βασική απορροή
- (9) rm συνολική απορροή (προσομοιωμένη)

Συνιστώσες της αποθήκευσης νερού – εκφραζόμενες ως στήλες νερού (όλα σε mm):

- (1) sw αποθήκευση νερού στη χιονοκάλυψη
- (2) ss αποθήκευση εδαφικής υγρασίας (αποθήκευση νερού στη ζώνη αερισμού)
- (3) gs αποθήκευση υπογείων νερών

Άλλες μεταβλητές – μηνιαία σύνολα (όλα σε mm/μήνα):

- (1) pot νερό από βροχόπτωση ή τήξη χιονιού (ποσότητα περιορισμένη από τη θερμοκρασία αέρα)
- (2) akt νερό στη μορφή χιονιού διαθέσιμο για τήξη και επακόλουθη διήθηση

Παράμετροι μοντέλου:

- (1) Spa χωρητικότητα της αποθήκευσης εδαφικής υγρασίας (mm)
- (2) Alf παράμετρος της εξίσωσης βροχής - απορροής (άμεση απορροή)
- (3) Dgm συντελεστής τήξης χιονιού
- (4) Dgw συντελεστής για τον υπολογισμό της ποσότητας του υγρού νερού διαθέσιμου στην επιφάνεια του εδάφους σε χειμερινές συνθήκες
- (5) Mec παράμετρος που ελέγχει την κατανομή της διήθησης σε υπεδάφια απορροή και επαναφόρτιση των υπογείων νερών σε συνθήκες τήξης χιονιού
- (6) Wic παράμετρος που ελέγχει την κατανομή της διήθησης σε υπεδάφια απορροή και επαναφόρτιση των υπογείων νερών σε χειμερινές συνθήκες

- (7) Soc παράμετρος που ελέγχει την κατανομή της διήθησης σε υπεδάφια απορροή και επαναφόρτιση των υπογείων νερών σε καλοκαιρινές συνθήκες
- (8) Grd παράμετρος που ελέγχει την εκροή από την αποθήκευση των υπόγειων νερών (βασική απορροή)

4.2.2 Διάκριση μεταξύ θερινών και χειμερινών συνθηκών

Κάποιοι από τους αλγόριθμους του μοντέλου εφαρμόζονται εξαρτώμενοι από τις συνθήκες σε ένα συγκεκριμένο μήνα. Χρησιμοποιώντας μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα, το μοντέλο διακρίνει μεταξύ θερινών και χειμερινών συνθηκών. Γίνεται παραδοχή θερινών συνθηκών αν η θερμοκρασία:

$$t_i \geq 0 \quad (4.1)$$

όπου t η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα και i ο αριθμός του μήνα.

Οι αλγόριθμοι για τις χειμερινές συνθήκες χρησιμοποιούνται αν η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα είναι αρνητική. Ένας αλγόριθμος για την τήξη του χιονιού χρησιμοποιείται αντί για τον θερινό αλγόριθμο όταν υπάρχει χιονοκάλυψη στη λεκάνη απορροής.

4.2.3 Συνιστώσες της συνολικής απορροής

Το μοντέλο προσομοιώνει τη συνολική απορροή rm_i ως άθροισμα τριών συνιστωσών:

$$rm_i = dr_i + I_i + bf_i \quad (4.2)$$

όπου dr_i , I_i και bf_i είναι η άμεση απορροή, η υπεδάφια απορροή και η βασική απορροή, αντίστοιχα.

Η συνιστώσα dr_i της συνολικής απορροής (θερινή άμεση απορροή προκαλούμενη από βροχή υψηλής έντασης) θεωρείται ότι είναι η συνιστώσα γρήγορης απορροής, η οποία δεν είναι διαθέσιμη για εξάτμιση και δεν επηρεάζει το ισοζύγιο του εδαφικού νερού. Ανεξάρτητα από την εποχή, η υπεδάφια απορροή I_i προκύπτει από το υδατικό ισοζύγιο ως επιπλέον νερό στη ζώνη του αερισμού στον εξεταζόμενο μήνα. Αυτή η συνιστώσα της απορροής θεωρείται ότι περιλαμβάνει και την άμεση απορροή εάν αυτή προκύψει τον χειμώνα ή κατά την περίοδο της τήξης του χιονιού.

Η αργή συνιστώσα της συνολικής απορροής είναι η βασική απορροή bf_i , της οποίας ο χρόνος συγκέντρωσης στη λεκάνη απορροής είναι πλέον του ενός μηνός. Παράγεται ως εκροή από την αποθήκευση υπόγειου νερού.

4.2.4 Σχηματισμός της άμεσης απορροής σε θερινές συνθήκες

Η άμεση απορροή που συμβαίνει κατά τη θερινή περίοδο προκαλείται από βροχόπτωση υψηλής έντασης. Υπολογίζεται ως:

$$dr_i = Alf \cdot p_i^2 \cdot \frac{ss_{i-1}}{Spa} \quad (4.3)$$

όπου Alf είναι μία παράμετρος της τετραγωνικής σχέσης μεταξύ της άμεσης απορροής και της βροχόπτωσης, p_i η κατακρήμνιση στον μήνα i , ss_{i-1} η εδαφική υγρασία στον μήνα $i-1$, και Spa μία παράμετρος που εκφράζει την χωρητικότητα της εδαφικής υγρασίας.

Η διήθηση inf μέσα στο έδαφος ισούται με:

$$inf_i = p_i - dr_i \quad (4.4)$$

Η διήθηση είναι στοιχείο εισόδου για τη ζώνη του αερισμού.

4.2.5 Εξάτμιση και ισοζύγιο εδαφικού νερού σε θερινές συνθήκες

Εάν η κατακρήμνιση μειωμένη κατά την άμεση απορροή, inf_i , που υπολογίστηκε από την εξίσωση (4) ισούται ή υπερβαίνει τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή, τότε η εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής είναι ίση με τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή:

$$e_i = pe_i \quad \text{εάν} \quad \text{inf}_i \geq pe_i \quad (4.5)$$

Η περίσσεια νερού $\text{inf}_i - pe_i$ είναι διαθέσιμη για την τροφοδότηση της εδαφικής υγρασίας:

$$ss_i = ss_{i-1} + \text{inf}_i - pe_i \quad (4.6)$$

Εάν γίνει υπέρβαση της χωρητικότητας αποθήκευσης της εδαφικής υγρασίας, το υπολειπόμενο νερό διηθείται προς τα κάτω:

$$\text{perc}_i = ss_i - S_{pa} \quad \text{εάν} \quad ss_i > S_{pa} \quad (4.7)$$

Τότε η αποθήκευση της εδαφικής υγρασίας ss_i είναι ίση με την παράμετρο S_{pa} :

$$ss_i = S_{pa} \quad (4.8)$$

Εάν η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπερβεί την κατακρήμνιση μειωμένη κατά την άμεση απορροή, η εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής τροφοδοτείται από την αποθήκευση της εδαφικής υγρασίας, η οποία απομειώνεται:

$$ss_i = ss_{i-1} \cdot e^{\frac{\text{inf}_i - pe_i}{S_{pa}}} \quad \text{εάν} \quad \text{inf}_i < pe_i \quad (4.9)$$

Η εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής ισούται με το άθροισμα της διήθησης και της απομείωσης της εδαφικής υγρασίας:

$$e_i = \text{inf}_i + ss_{i-1} - ss_i \quad (4.10)$$

Νερό για διήθηση δεν είναι διαθέσιμο.

4.2.6 Εξάτμιση και υδατικό ισοζύγιο στην επιφάνεια του εδάφους σε χειμερινές συνθήκες και κατά την περίοδο τήξης του χιονιού

Εάν το άθροισμα της κατακρήμνισης και της αποθήκευσης νερού στη χιονοκάλυψη στον εξεταζόμενο μήνα υπερβεί τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή, θεωρείται ότι η εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης απορροής είναι ίση με τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

$$e_i = pe_i \quad (4.11)$$

Η ποσότητα του υπολειπόμενου νερού, που είναι δυνητικά διαθέσιμο για διήθηση (διαθέσιμο νερό σε μορφή χιονιού), είναι:

$$\text{akt}_i = sw_{i-1} + p_i - pe_i \quad (4.12)$$

όπου sw_{i-1} είναι η αποθήκευση νερού στη χιονοκάλυψη στο μήνα $i-1$.

Ωστόσο, η εικονική ποσότητα του διαθέσιμου νερού για διήθηση περιορίζεται από την θερμική ικανότητα του αέρα να λιώσει τη χιονοκάλυψη στον εξεταζόμενο μήνα, η οποία, υπό συνθήκες τήξης χιονιού ($t_i \geq 0$), εκφράζεται ως:

$$\text{pot}_i = t_i \cdot D_{gm} + p_i \quad (4.13)$$

όπου Dgm είναι μία παράμετρος που εκφράζει τον ρυθμό τήξης του χιονιού εξαρτώμενο από τη θερμοκρασία αέρα.

Σε χειμερινές συνθήκες, μέρος της κατακρήμισης θεωρείται ότι είναι η βροχόπτωση (υγρό νερό) και/ή η υπάρχουσα χιονοκάλυψη λιώνει μερικώς. Αυτό θεωρείται ότι συμβαίνει εάν η μηνιαία θερμοκρασία του αέρα υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο, το οποίο αυθαιρέτως ορίζεται στο $T_{pk} = -8^{\circ}\text{C}$. Η αδρή χρονική ανάλυση του ενός μηνός είναι ο κύριος λόγος για την παραδοχή αυτή.

Η ποσότητα του νερού που είναι διαθέσιμη σε υγρή μορφή καθορίζεται ξανά χρησιμοποιώντας την θερμοκρασία αέρα:

$$pot_i = (t_i - T_{pk}) \cdot Dgm \quad (4.14)$$

όπου η παράμετρος Dgw ελέγχει την τήξη του χιονιού κατά τη διάρκεια χειμερινών συνθηκών.

Εάν η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα είναι κάτω από το όριο που καθορίστηκε ως T_{pk} , το υδατικό ισοζύγιο στην επιφάνεια του εδάφους περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$sw_i = sw_{i-1} + p_i - pe_i \quad (4.15)$$

Η διήθηση, inf_i , θεωρείται ότι είναι μηδέν σε αυτές τις συνθήκες. Η διαφορά μεταξύ κατακρήμισης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής προστίθεται στην αποθήκευση χιονιού νερού.

Εάν το διαθέσιμο νερό akt_i υπερβεί το όριο pot_i σε συνθήκες χειμώνα και τήξης χιονιού, το akt_i κατανέμεται σε ένα τμήμα που διηθείται, inf_i , και σε νερό που παραμένει στην επιφάνεια του εδάφους ως χιονοκάλυψη. Ισχύουν, συνεπώς, τα παρακάτω:

$$inf_i = pot_i \quad (4.16)$$

$$sw_i = akt_i - inf_i \quad (4.17)$$

Εάν το όριο pot_i υπερβεί την ποσότητα του διαθέσιμου νερού, το νερό αυτό είναι εξ'ολοκλήρου διαθέσιμο για διήθηση:

$$inf_i = akt_i \quad (4.18)$$

Κάτω από αυτές τις συνθήκες η αποθήκευση νερού στη χιονοκάλυψη εξαντλείται.

Το akt_i μπορεί κατ'εξάιρεση να είναι αρνητικό, όταν το άθροισμα της κατακρήμισης και της αποθήκευσης νερού στη χιονοκάλυψη στον εξεταζόμενο μήνα είναι μικρότερο από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή, και έτσι:

$$inf_i = 0 \quad (4.19)$$

$$sw_i = 0 \quad (4.20)$$

$$e_i = p_i + sw_{i-1} \quad (4.21)$$

4.2.7 Ισοζύγιο του εδαφικού νερού σε συνθήκες χειμερινές και τήξης χιονιού

Το νερό που υπολογίστηκε ως διήθηση inf_i τροφοδοτεί την εδαφική υγρασία (ή τη ζώνη αερισμού), η οποία θεωρείται ότι έχει μία μέγιστη χωρητικότητα, που δίνεται από την παράμετρο S_{pa} . Εάν γίνει υπέρβαση της εδαφικής χωρητικότητας, το επιπλέον νερό, $perc_i$, διηθείται προς τα κάτω για να τροφοδοτήσει την αποθήκευση και υπεδάφια απορροή των

υπόγειων νερών. Με άλλα λόγια, εάν το άθροισμα της αποθήκευσης του εδαφικού νερού από τον προηγούμενο μήνα, ss_{i-1} , και της διήθησης στον δεδομένο μήνα, inf_i , υπερβεί την παράμετρο S_{pa} , ισχύουν τα ακόλουθα:

$$perc_i = ss_{i-1} + inf_i - S_{pa} \quad (4.22)$$

$$ss_i = S_{pa} \quad (4.23)$$

Διαφορετικά:

$$perc_i = 0 \quad (4.24)$$

$$ss_i = ss_{i-1} + inf_i \quad (4.25)$$

4.2.8 Κατανομή της διήθησης σε υπεδάφια απορροή και επαναφόρτιση των υπόγειων νερών

Η διήθηση $perc_i$ διαιρείται σε υπεδάφια απορροή I_i που φτάνει το ρέμα στον εξεταζόμενο μήνα και σε επαναφόρτιση rc_i που αναπληρώνει την αποθήκευση των υπογείων νερών:

$$I_i = c \cdot perc_i \quad (4.26)$$

$$rc_i = (1 - c) \cdot perc_i \quad (4.27)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις, η παράμετρος W_{ic} αντικαθίσταται με την παράμετρο c σε χειμερινές συνθήκες, με την παράμετρο M_{ec} για την τήξη χιονιού και με την παράμετρο S_{oc} το καλοκαίρι.

4.2.9 Ισοζύγιο υπογείων υδάτων και βασική απορροή

Η αποθήκευση των υπογείων υδάτων gs_i τον μήνα i υπολογίζεται ως το άθροισμα της αποθήκευσης στον προηγούμενο μήνα και της επαναφόρτισης rc_i . Η βασική απορροή αντιπροσωπευόμενη από την εκροή από τα υπόγεια νερά είναι αναλογική της αποθήκευσης υπογείων νερών στην αρχή του δεδομένου μήνα και ελέγχεται από την παράμετρο Grd :

$$bf_i = Grd \cdot gs_{i-1} \quad (4.28)$$

Επομένως, η αποθήκευση των υπογείων νερών στο τέλος του μήνα είναι:

$$gs_i = rc_i + (1 - Grd) \cdot gs_{i-1} \quad (4.29)$$

4.3 Βελτιστοποίηση των παραμέτρων

Σε μία συμβατική διαδικασία βελτιστοποίησης, το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης (τυπική απόκλιση μεταξύ της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης χρονοσειράς απορροής) θα χρησιμοποιούνταν κανονικά ως κριτήριο βελτιστοποίησης. Ένα μειονέκτημα του κριτηρίου αυτού είναι το γεγονός ότι η εφαρμογή του δεν εξασφαλίζει μια καλή προσαρμογή μεταξύ της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης χρονοσειράς απορροής σε ένα χαμηλό εύρος ροής. Αυτό μπορεί να βελτιωθεί ουσιαστικά χρησιμοποιώντας το άθροισμα των σχετικών αποκλίσεων μεταξύ της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης χρονοσειράς απορροής («σχετικής» εννοώντας ότι η απόκλιση σε έναν συγκεκριμένο μήνα διαιρείται από την παρατηρημένη απορροή) αντί του τυπικού σφάλματος της εκτίμησης. Ωστόσο, το κριτήριο αυτό συχνά επιδεινώνει την προσαρμογή σε όρους μέσης απορροής και, επομένως, έχει αναπτυχθεί μία διαδικασία βελτιστοποίησης συνδυάζοντας τα δύο αυτά κριτήρια.

Η βαθμονόμηση των οκτώ παραμέτρων του μοντέλου εκτελείται σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα, το τυπικό σφάλμα εκτίμησης ή το μέσο απόλυτο σφάλμα (μέσο υπολογιζόμενο από απόλυτες αποκλίσεις μεταξύ της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης χρονοσειράς απορροής, όπου «απόλυτο» σημαίνει ότι οι αρνητικές αποκλίσεις μετατρέπονται σε θετικές τιμές) χρησιμοποιείται ως κριτήριο βελτιστοποίησης για τη βαθμονόμηση των παραμέτρων Sra, Dgm, Dgw και Alf που επηρεάζουν σημαντικά τη μέση απορροή.

Οι υπόλοιπες τέσσερις παράμετροι (Mec, Wic, Soc, Grd) που επηρεάζουν την κατανομή της απορροής στις μεμονωμένες συνιστώσες βαθμονομούνται μετά, χρησιμοποιώντας τον μέσο όρο των απόλυτων τιμών των σχετικών αποκλίσεων. Έχει αποδειχθεί με πειραματικούς υπολογισμούς ότι αυτή η διαδικασία βαθμονόμησης εξασφαλίζει ως επί το πλείστον μια αποδεκτή προσαρμογή, τόσο σε όρους μέσης απορροής όσο και σε όρους χαμηλής απορροής, η οποία κυρίως αποτελείται από τη βασική απορροή.

5 Εφαρμογή του μοντέλου BILAN στη λεκάνη απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού στη θέση Μονή Κηπίνας

5.1 Λεκάνη απορροής

5.1.1 Επιλογή

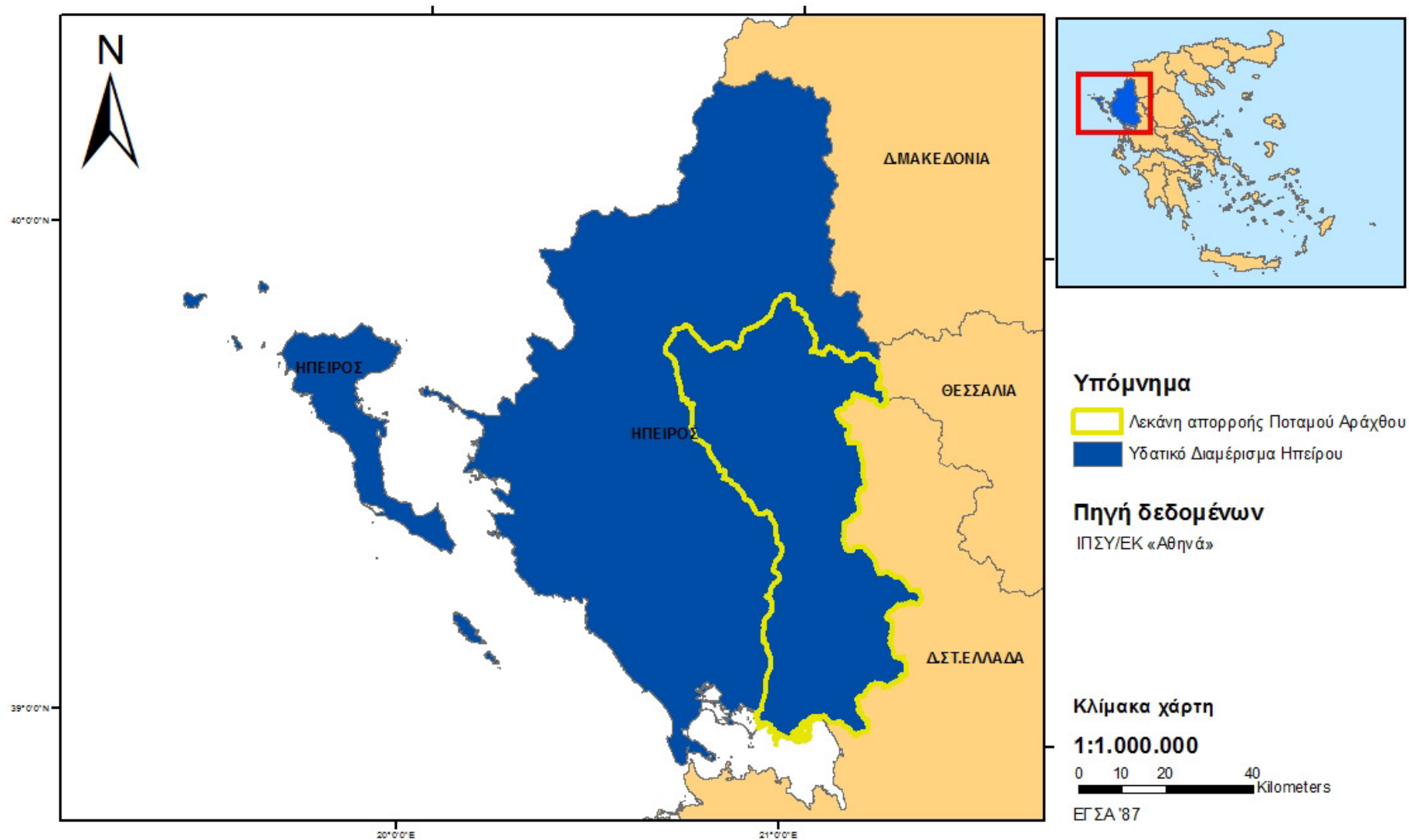
Για την εφαρμογή του μοντέλου BILAN επιλέχθηκε η λεκάνη απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού στη θέση Μονή Κηπίνας. Η επιλογή αυτή έγινε για τους εξής λόγους:

- (1) Ο Καλαρρύτεκος ποταμός είναι ο παραπόταμος του ποταμού Αράχθου αμέσως ανάντη των τεχνητών ταμιευτήρων της Δ.Ε.Η. Η Δ.Ε.Η. λειτουργεί δύο υδροηλεκτρικούς σταθμούς στον Άραχθο ποταμό κατάντη της συμβολής του με τον Καλαρρύτεκο: το Πουρνάρι Ι με ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα $303 \times 10^6 \text{ m}^3$, και το Πουρνάρι ΙΙ με ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα $4 \times 10^6 \text{ m}^3$. Η περιοχή μελέτης είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος από πολλές πλευρές:
 - 1) Παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας: οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί Πουρνάρι Ι και ΙΙ είναι συνολικής ισχύος 334 MW.
 - 2) Γεωργία: η Δ.Ε.Η. παρέχει σημαντικές ποσότητες από το νερό των ταμιευτήρων για άρδευση στην περιοχή.
 - 3) Αντιπλημμυρική προστασία: οι ταμιευτήρες της Δ.Ε.Η. λειτουργούν και για την προστασία των κατάντη περιοχών από τις πλημμύρες, ειδικά της Άρτας που είναι η μεγαλύτερη πλησιέστερη πόλη κατάντη των σταθμών Πουρνάρι Ι και ΙΙ.
- (2) Η λεκάνη απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού είναι σε μεγάλο της τμήμα ορεινή λεκάνη με σημαντική χιονόπτωση. Επομένως το μοντέλο BILAN μπορεί να εφαρμοστεί και να δώσει χρήσιμα αποτελέσματα ως προς την συμβολή του χιονιού στο υδατικό ισοζύγιο.
- (3) Λόγω της αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού της λεκάνης απορροής από την Δ.Ε.Η. και την γενικότερη δραστηριοποίησή της στην περιοχή, η Δ.Ε.Η. έχει αναπτύξει και λειτουργεί ένα μεγάλο δίκτυο μετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών μέτρησης και παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις πολλών παραμέτρων επί σειρά ετών. Τα δεδομένα αυτά η Δ.Ε.Η. τα παρέχει δωρεάν για ερευνητικούς σκοπούς, οπότε εξυπηρετεί και τις ανάγκες της παρούσας εργασίας καλύπτοντας το μεγαλύτερο φάσμα των απαραίτητων δεδομένων εισόδου του μοντέλου BILAN. Η θέση Μονή Κηπίνας επιλέχθηκε επειδή εκεί λειτουργεί υδρομετρικός σταθμός της Δ.Ε.Η..

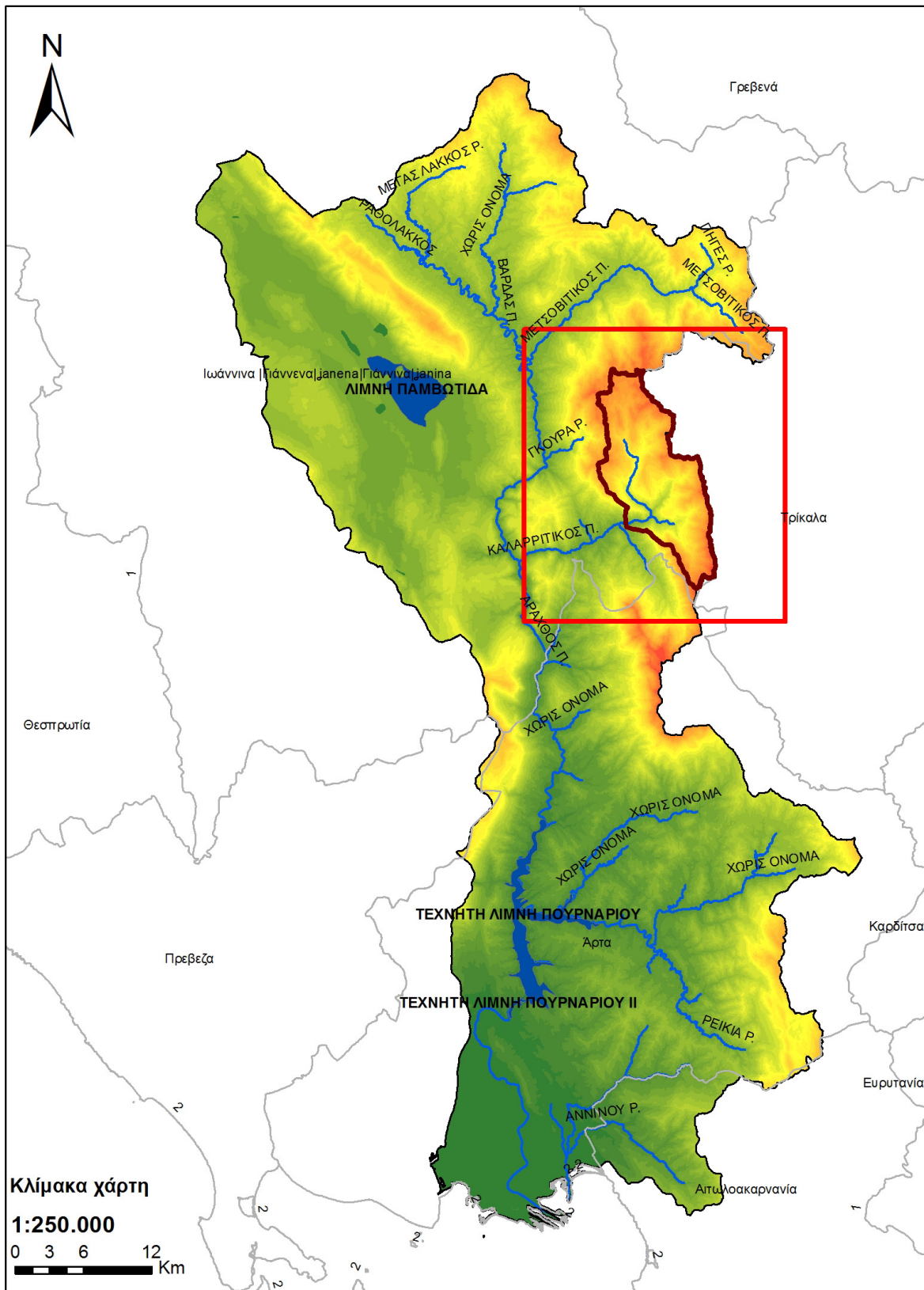
5.1.2 Περιγραφή

Η λεκάνη απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού είναι υπολεκάνη της λεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου, η οποία ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα της Ηπείρου (βλ. Σχήμα 5.1 και Σχήμα 5.2), στη δυτική Ελλάδα.

Η επιφάνεια της λεκάνης απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού είναι 103.54 km^2 ενώ της λεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου είναι 2.209 km^2 .



Σχήμα 5.1: Υδατικό διαμέρισμα Ηπείρου και λεκάνη απορροής ποταμού Αράχθου

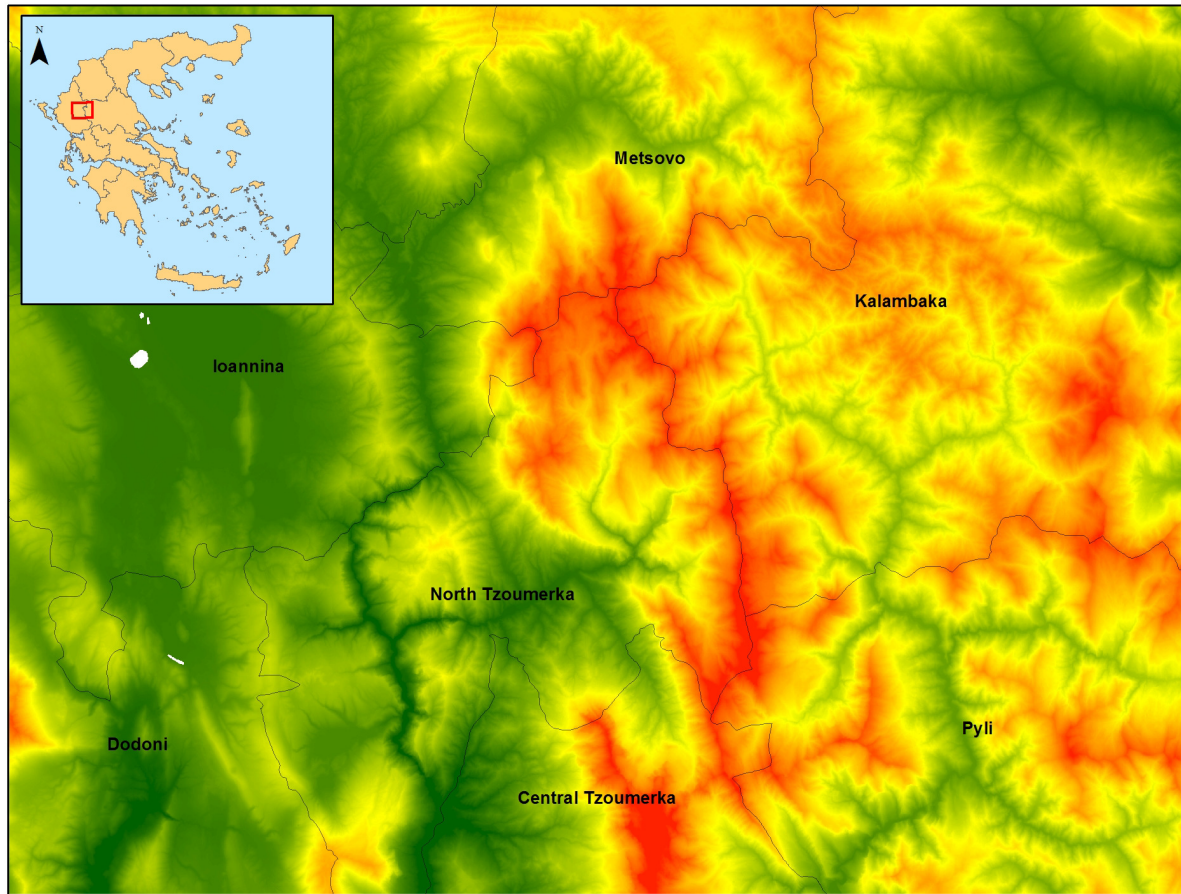


Σχήμα 5.2: Λεκάνη απορροής ποταμού Αράχθου και υπολεκάνη Καλαρρῦτικου ποταμού

5.2 Διαθέσιμα δεδομένα

5.2.1 Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση Α.Ε.

Παραχωρήθηκε από το Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση Α.Ε. (Ε.Κ.Χ.Α. Α.Ε.) το ψηφιακό μοντέλο εδάφους 5x5 m της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος (βλ. Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος

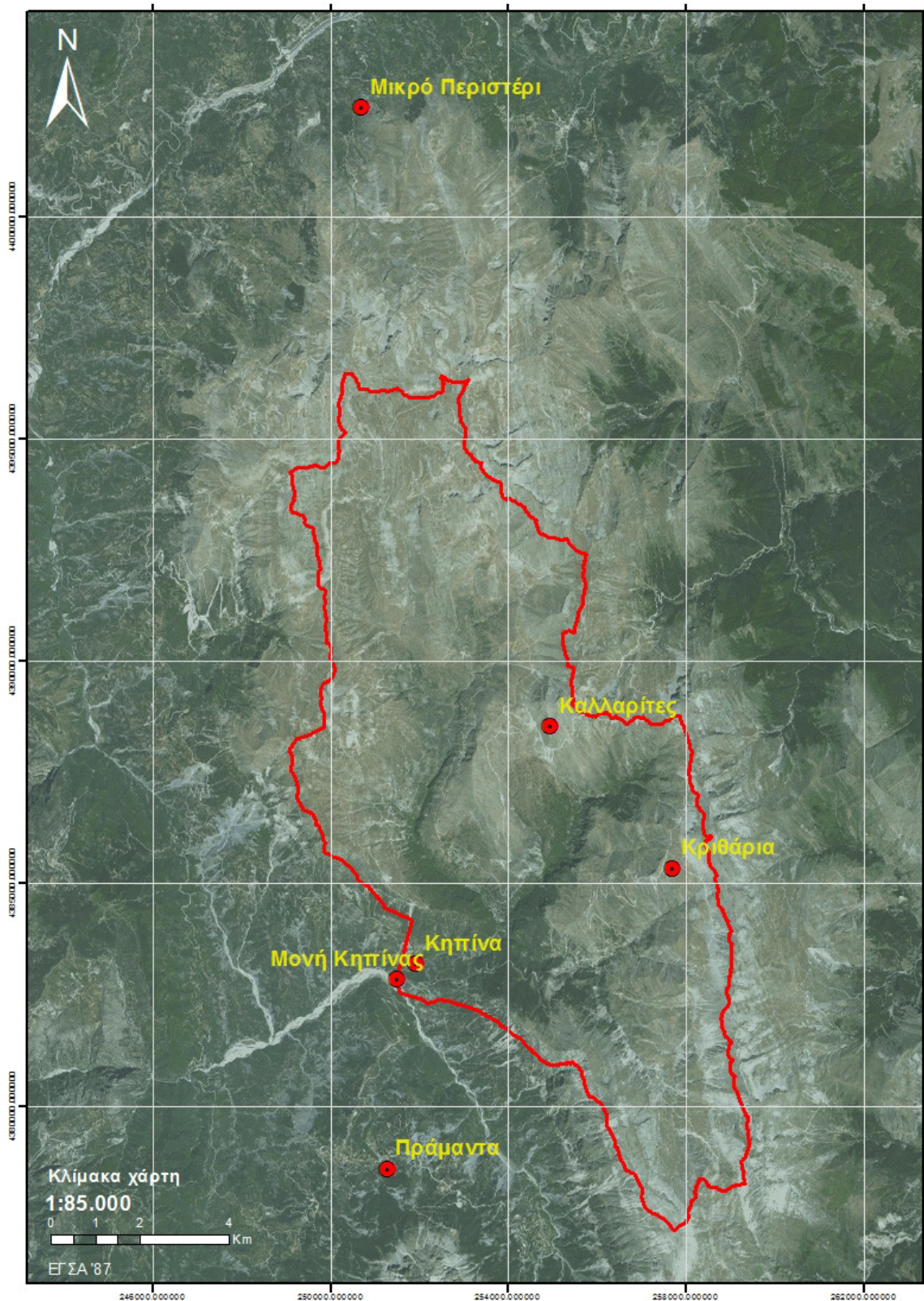
5.2.2 Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε.

Από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. (Δ.Ε.Η. Α.Ε.) παραχωρήθηκαν δεδομένα των εξής σταθμών:

- (1) Μικρό Περιστέρι (βροχομετρικός)
- (2) Πράμαντα (βροχομετρικός)
- (3) Καλλαρίτες (βροχομετρικός)
- (4) Κριθάρια (βροχομετρικός)
- (5) Κηπίνα (βροχομετρικός)
- (6) Μονή Κηπίνας (υδρομετρικός)
- (7) Λίμνη Ιωαννίνων (μετεωρολογικός)

Η θέση των σταθμών αυτών ως προς την υπολεκάνη του Καλαρρύτεκου ποταμού απεικονίζεται στο Σχήμα 5.4.

Τα βροχομετρικά δεδομένα παρουσιάζονται στους πίνακες 5.1-5.5, οι μετρήσεις χιονιού στους πίνακες 5.6-5.8, τα υδρομετρικά δεδομένα στον Πίνακα 5.9, και οι μετρήσεις θερμοκρασίας (μέγιστες, ελάχιστες) από τον μετεωρολογικό σταθμό Λίμνη Ιωαννίνων στον Πίνακα 5.10.



Σχήμα 5.4: Η θέση των σταθμών της Δ.Ε.Η. Α.Ε. ως προς την υπολεκάνη του Καλαρρύτεκου ποταμού

Πίνακας 5.1: Μετρήσεις κατακρημνισμάτων (βροχή & χιόνι) από τον βροχομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Μικρό Περιστέρι
 ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ
 ΔΥΗΠ
 ΤΥΔ

ΛΕΚΑΝΗ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΡΑΧΘΟΥ
 ΒΡΟΧΟΜ. ΣΤΑΘΜΟΣ Μ. ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ
 ΥΨΟΜ. ΣΤΑΘΜΟΥ 1019,3 μ

X Ψ
 250698.4 4402438

ΒΡΟΧΗ + ΧΙΟΝΙ (mm)

ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ
1994-95	71.0	191.2	234.0	174.3	95.8	156.8	74.5	93.2	12.5	20.4	102.3	140.2	1366.2
1995-96	0.0	124.3	248.8	45.6	218.5	141.2	117.8	82.0	20.0	46.9	17.8	221.5	1284.4
1996-97	140.1	307.6	265.0	77.4	37.9	61.5	116.5	14.4	29.6	11.3	60.1	0.0	1121.4
1997-98	273.0	120.9	195.5	47.1	151.1	48.4	82.4	149.3	24.0	0.3	90.1	126.9	1309.0
1998-99	180.7	360.7	155.6	76.8	163.7	75.0	102.9	45.6	42.4	46.7	6.7	50.4	1307.2
1999-00	116.3	208.0	373.8	138.1	132.1	87.6	91.6	26.8	33.0	24.2	0.0	48.8	1280.3
2000-01	76.3	158.1	96.5	124.7	72.3	53.6	189.5	50.9	23.0	7.8	63.1	18.7	934.5
2001-02	6.9	203.2	227.5	47.6	43.9	99.1	147.4	52.4	14.4	129.7	71.3	263.0	1306.4
2002-03	120.0	39.2	185.6	232.2	116.3	17.8	85.1	33.5	18.9	64.2	11.6	90.9	1015.3
2003-04	385.0	58.2	116.1	245.8	126.5	200.0	71.3	86.6	54.7	22.3	14.1	76.5	1457.1
2004-05	85.4	160.7	109.8	272.5	162.8	159.6	74.8	31.1	74.0	11.4	28.0	47.3	1217.4
2005-06	49.6	169.7	511.4	114.5	179.0	249.4	104.3	24.8	57.6	48.2	80.4	84.3	1673.2
2006-07	59.3	103.5	71.0	147.7	96.0	128.4	54.9	52.7	63.6	13.8	14.4	21.7	827.0
2007-08	133.8	357.6	122.0	75.9	60.4	143.2	73.6	42.7	68.7	46.1	0.0	91.1	1215.1
2008-09	125.0	140.9	212.0	255.0	144.5	163.1	87.9	114.6	152.0	48.2	34.6	61.0	1538.8
2009-10	179.4	224.5	243.2	149.7	341.5	131.8	91.2	115.7	96.6	74.2	0.5	115.6	1763.9
2010-11	265.0	476.0	291.5	86.0	106.0	126.5	24.0	162.0	22.5	3.0	54.5	40.3	1657.3
2011-12	114.5	8.5	242.0	107.0	178.0	45.0	276.5	174.5	27.0	10.5	48.0	91.6	1323.1
2012-13	263.5	141.0	371.0	321.0	260.5	290.5	52.5	119.5	42.5	50.0	25.5	25.6	1963.1

Πίνακας 5.2: Μετρήσεις κατακρημνισμάτων (βροχή & χιόνι) από τον βροχομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Πράμαντα
 ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΔΕΚΑΝΗ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΡΑΧΘΟΥ
 ΔΥΗΠ ΒΡΟΧ. ΣΤΑΘΜΟΣ ΠΡΑΜΑΝΤΑ
 ΤΥΔ ΥΨΟΜ. ΣΤΑΘΜΟΥ 865,7 μ

X Ψ
 251270.6 4378575

ΒΡΟΧΗ + ΧΙΟΝΙ (mm)

ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ
1994-95	145.0	281.1	349.6	208.7	139.5	236.8	128.8	106.7	8.1	79.0	93.8	166.4	1943.5
1995-96	0.0	381.4	530.0	101.4	358.3	255.3	137.1	103.0	17.6	95.0	65.0	224.3	2268.4
1996-97	166.2	550.5	576.4	132.8	98.6	132.5	181.6	0.0	40.1	40.9	115.3	3.7	2038.6
1997-98	423.7	353.7	386.8	85.2	291.1	70.4	81.3	210.5	32.9	5.8	48.9	180.1	2170.4
1998-99	122.3	436.5	236.4	204.3	287.1	334.7	147.6	68.1	39.2	111.5	46.0	56.8	2090.5
1999-00	119.0	331.1	528.8	136.1	257.7	149.6	113.8	42.2	145.3	50.1	2.1	40.8	1916.6
2000-01	123.3	294.2	263.8	197.6	84.8	78.7	336.4	102.2	41.4	25.1	40.4	60.5	1648.4
2001-02	13.0	210.1	218.6	86.1	52.9	94.4	195.1	94.7	65.7	108.0	143.2	438.8	1720.6
2002-03	217.8	107.0	383.4	389.2	242.3	44.8	125.8	105.5	37.3	46.4	34.3	111.5	1845.3
2003-04	428.8	109.6	279.7	312.3	159.4	350.1	170.8	195.0	115.9	59.0	35.9	189.7	2406.2
2004-05	175.0	358.8	424.7	394.3	280.6	177.0	127.5	100.8	195.9	8.3	49.4	130.9	2423.2
2005-06	107.7	371.7	950.1	231.3	376.0	470.5	186.2	49.1	79.7	81.6	112.4	222.5	3238.8
2006-07	134.5	240.0	141.6	214.7	168.8	252.9	118.1	131.0	107.8	16.6	11.5	90.7	1628.2
2007-08	246.0	455.7	178.0	158.2	90.8	204.0	90.8	67.6	125.4	107.8	91.5	101.7	1917.5
2008-09	144.0	232.0	460.3	482.2	260.4	417.4	162.1	105.7	152.4	65.7	66.3	29.9	2578.4
2009-10	430.6	359.0	429.7	362.0	536.6	208.4	68.2	117.3	100.2	87.1	15.0	174.0	2888.1
2010-11	540.2	652.0	370.0	113.3	134.5	163.6	56.5	116.3	71.2	6.7	145.5	69.5	2439.3
2011-12	136.2	4.1	352.8	150.3	231.0	103.6	310.7	175.9	36.2	6.1	39.5	137.9	1684.3
2012-13	350.4	204.4	408.6	469.7	350.5	371.9	43.9	98.0	53.2	26.9	34.6	37.4	1979.8

Πίνακας 5.3: Μετρήσεις κατακρημνισμάτων (βροχή & χιόνι) από τον βροχομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Καλαρρίτες
 ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ
 ΔΥΗΠ
 ΤΥΔ
 ΛΕΚΑΝΗ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΡΑΧΘΟΥ
 ΒΡΟΧΟΜ, ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΛΑΡΡΙΤΕΣ
 ΥΨΟΜ. ΣΤΑΘΜΟΥ 1957 μ

X Ψ
 254939 4388520

ΒΡΟΧΗ + ΧΙΟΝΙ (mm)

ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ
1994-95	248	313.7	369.4	187.2	136.6	116.4	101.2	86	20.2	106.3	156.9	212.5	2054.4
1995-96	25.3	217.6	475.6	40.5	222.6	222.6	91.1	141.7	45.5	106.3	91.1	202.4	1882.3
1996-97	182.2	546.5	313.7	116.4	70.8	81	136.6	25.3	60.7	15.2	91.1	10.1	1649.6
1997-98	*366,9	*366,8	*328,9	237.8	25.3	75.9	91.1	212.5	50.6	*53,6	*68,2	*197	693.2
1998-99	*167	*389,6	*244	*96,9	*210,3	*100,4	*107,3	*63,2	*43,3	126.5	55.7	50.6	232.8
1999-00	111.3	328.9	541.4	516.1	70.8	96.2	81	70.8	5.1	75.9	0	70.8	1968.3
2000-01	70.8	278.3	156.9	116.4	126.5	156.9	75.9	75.9	40.5	0	101.2	91.1	1290.4
2001-02	*25,3	217.6	303.6	161.9	25.3	75.9	242.9	75.9	70.8	106.3	121.4	283.4	1685
2002-03	172	172	161.9	263.1	247.9	10.1	25.3	101.2	96.1	40.5	35.4	106.3	1431.8
2003-04	581.9	116.4	121.4	354.2	283.4	172	126.5	167	91.1	86	10.1	167	2277
2004-05	121.4	258.1	283.4	*197,3	*268,2	*96,1	111.3	55.7	106.3	45.5	20.2	60.7	1062.6
2005-06	45.5	247.9	642.6	293.5	161.9	263.1	111.3	81	111.3	56	81	197.3	2292.4
2006-07	75.9	217.6	60.7	217.6	121.4	177.1	121.4	131.6	75.9	0	55.7	60.7	1315.6
2007-08	197.8	506.4	131.6	106.3	15.2	141.7	111.3	55.7	116.4	65.8	25.3	*151,8	1473.5
2008-09	210.5	333.6	227.7	458.5	167	465.5	130.5	126.5	131.6	45.5	96.1	30.4	2423.4
2009-10	389.6	359.3	339	272.1	440.2	167	60.7	177.1	126.5	116.4	35.4	167	2650.3
2010-11	445.3	703.3	344.1	91.1	75.9	121.4	65.8	116.4	136.6	15.2	10.5	86	2211.6
2011-12	106.3	10.1	283.4	*94,4	*158,4	*137,1	379.5	253	50.6	15.2	45.5	65.8	1209.4
2012-13	369.4	273.2	369.4	495.9	556.1	243.4	111.3	136.6	75.90	45.5	5.1	101.2	2783

* ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΚΕΝΩΝ ΑΠΟ ΣΥΝΟΛΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΜΕ ΚΗΠΙΝΑ

Πίνακας 5.4: Μετρήσεις κατακρημνισμάτων (βροχή & χιόνι) από τον βροχομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Κριθάρια
 ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ
 ΔΥΗΠ
 ΤΥΔ
 ΛΕΚΑΝΗ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΡΑΧΘΟΥ
 ΒΡΟΧΟΜ. ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΡΙΘΑΡΙΑ
 ΥΨΟΜ. ΣΤΑΘΜΟΥ 1843 μ

X Ψ
 257703.6 4385333

ΒΡΟΧΗ + ΧΙΟΝΙ (mm)

ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ
1994-95	313.7	318.8	237.8	172.1	121.4	136.6	156.9	60.7	10.1	91.1	96.1	283.4	1998.7
1995-96	-	237.8	430.1	81	25.3	263.1	581.9	40.5	60.7	45.5	35.4	232.8	2034.1
1996-97	227.7	414.9	278.3	187.2	91.1	116.4	126.5	75.9	70.8	25.3	10.1	15.2	1639.4
1997-98	516.1	161.9	344.1	278.3	40.5	70.8	106.3	253	81	10.1	50.6	212.5	2125.2
1998-99	232.8	379.5	187.2	420	263.1	172	65.8	60.7	60.7	131.6	15.2	55.7	2044.3
1999-00	151.8	420	430.1	551.6	96.1	75.9	75.9	60.7	86	45.5	0	35.4	2029
2000-01	159.9	336	160.9	127.5	137.6	90.1	232.8	116.4	65.8	0	75.9	*50,6	1502.9
2001-02	*10,1	227.7	328.9	151.8	20.2	91.1	197.3	86	50.6	101.2	81	349.1	1684.9
2002-03	197.3	65.8	263.1	298.3	247.9	10.1	96.1	126.5	70.8	15.2	35.4	91.1	1517.6
2003-04	*642,6	70.8	116.4	313.7	298.5	126.5	177.1	156.9	101.2	75.9	5.1	156.9	1599
2004-05	141.7	268.2	278.3	*496,4	*686,6	*243,9	101.2	65.8	156.9	0	10.1	96.1	1118.3
2005-06	70.8	268.2	652.7	303.6	187.2	404.8	131.6	55.7	86	65.8	91.1	207.5	2525
2006-07	70.8	182.2	86	167	146.7	187.2	106.3	60.7	86	0	50.6	75.9	1219.4
2007-08	177.1	430.1	167	116.4	25.3	156.9	207.5	45.5	101.2	50.6	0	167	1644.6
2008-09	177.1	227.7	242.9	480.7	*257,1	*415,9	106.3	131.6	121.4	15.2	79.3	15.2	1597.4
2009-10	374.4	303.6	334	237.8	450.3	374.4	116.4	141.7	111.3	75.9	10.1	161.9	2691.8
2010-11	465.5	743.8	298.5	96.1	96.1	91	50.6	131.6	172	130.4	0	106.3	2381.9
2011-12	101.2	30.4	263.1	*165,5	*191,8	*113,3	323.8	258.1	20.2	10.1	65.8	101.2	1173.9
2012-13	404.8	247.9	384.6	*455,4	*904,7	385.6	40.5	60.7	45.5	20.2	25.3	111.3	1726.4

* ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΚΕΝΩΝ ΑΠΟ ΣΥΝΟΛΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΜΕ ΚΗΠΙΝΑ

Πίνακας 5.5: Μετρήσεις κατακρημνισμάτων (βροχή & χιόνι) από τον βροχομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Κηπίνα
ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΔΕΚΑΝΗ ΠΟΤΑΜΟΥ ΑΡΑΧΘΟΥ
ΔΥΗΠ ΒΡΟΧΟΜ. ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΗΠΙΝΑ
ΤΥΔ ΥΨΟΜ. ΣΤΑΘΜΟΥ 577,8 μ

X Ψ
251912.7 4383183

ΒΡΟΧΗ + ΧΙΟΝΙ (mm)

ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ
1994-95	-	-	-	325.9	149.2	248.9	93	95.9	17.7	94.4	124.8	154.7	1304.5
1995-96	3.5	179.5	360.9	77.9	393.1	254.1	121.1	85.9	74.2	154.4	89.8	398.3	2192.7
1996-97	268	711.3	434.7	105.8	75.7	97.2	232	4.3	29.7	18.6	83.9	7.5	2068.7
1997-98	251.4	251.2	293.1	68.1	214.7	47.7	93.8	235.4	45.4	73	93.2	269.4	1936.4
1998-99	200.3	412.3	301.6	120.1	255	124.4	132.8	77.7	54.1	115.2	65.8	67.8	1927.1
1999-00	151.8	318.4	484.5	83.7	311.4	158.3	83.6	43.6	85.6	52.4	0	64.7	1838
2000-01	135.6	284.8	136.6	108.2	117.1	76.1	195.4	117.6	33.7	16.9	59.9	50.8	1332.7
2001-02	11.7	246.5	270.3	28.2	68.9	72.3	197.1	86.6	38.7	138.2	125.4	327.7	1611.6
2002-03	263.9	93.8	273.2	112.4	176.7	20.9	84	92.4	43.6	32.9	10.8	103	1307.6
2003-04	528.2	77.4	153.5	315.4	138.2	204.9	51.2	205.2	200.1	36.9	39.2	197.1	2147.3
2004-05	140.1	215.7	186.2	266.2	367.6	130.3	115.5	121.1	184.4	0	20.2	86.1	1833.4
2005-06	77.8	286.2	709	165.5	249.9	275.2	102.5	29	70.6	37.5	101.4	125.5	2230.1
2006-07	38.8	161.3	61.7	78.5	147.7	123.2	54.2	162.9	86.5	10.5	60.5	48.7	1034.5
2007-08	176.5	325.1	137.2	49.7	53.3	177.3	90.3	75.4	86.5	-	21.5	103.7	1296.5
2008-09	149.2	167.8	264.6	400.8	176	323	128	102.7	128.8	57.2	62.5	54.2	2014.8
2009-10	60.2	257.8	340.4	240	424.5	151.6	64	144.6	102.5	127.7	16.4	167	2096.7
2010-11	412.5	518.4	287.7	76.3	50.2	71.7	28.7	102.1	99	0	105.4	55.7	1807.7
2011-12	101.5	5.5	228.8	120.5	190.2	83.7	340	145.8	9.3	4.7	12.5	124.1	1366.6
2012-13	267.9	140.1	364.8	325.7	349.7	180.8	33.3	83.6	38.2	7.7	0	64.1	1855.9

Πίνακας 5.6: Μετρήσεις κατακρημνισμάτων (χιόνι) από τον βροχομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Μικρό Περιστέρι

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ
1993-94	0	7.7	0	9.7	89.9	0	0	0	0	0	0	0	107.3
1994-95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995-96	0	0	0	0	29.4	34	0	0	0	0	0	0	63.4
1996-97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997-98	0	0	19	4.2	8.9	0	0	0	0	0	0	0	32.1
1998-99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999-00	0	0	0	33.4	15.5	4	0	0	0	0	0	0	52.9
2000-01	0	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	2.5
2001-02	0	0	19.2	0	0	6	0	0	0	0	0	0	25.2
2002-03	0	0	0	11	1.6	3.7	22.5	0	0	0	0	0	38.8
2003-04	0	0	2.5	40.5	6	12	0	0	0	0	0	0	61
2004-05	0	0	0	124	30.7	19	0	0	0	0	0	0	173.7
2005-06	0	2.5	0	3	7	0	0	0	0	0	0	0	12.5
2006-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007-08	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	17
2008-09	0	0	2	0	21.5	53	0	0	0	0	0	0	76.5
2009-10	0	0	0	0	25.5	13	0	0	0	0	0	0	38.5
2010-11	0	0	23	0	0	6	0	0	0	0	0	0	29
2011-12	0	0	0	5	32	0	0	0	0	0	0	0	37
2012-13	0	0	13.5	24	24.5	0	0	0	0	0	0	0	62
2013-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5.7: Μετρήσεις κατακρημισμάτων (χιόνι) από τον βροχομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Πράμαντα

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ
1993-94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994-95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995-96	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	18
1996-97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997-98	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	8
1998-99	0	0	0	0	14.2	40.2	0	0	0	0	0	0	54.4
1999-00	0	0	0	18.5	14	12.2	0	0	0	0	0	0	44.7
2000-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001-02	0	0	12.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5
2002-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003-04	0	0	0	42	20	5.5	0	0	0	0	0	0	67.5
2004-05	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	60
2005-06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2006-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008-09	0	0	0	0	47.7	25.3	0	0	0	0	0	0	73
2009-10	0	0	0	0	0	4.3	0	0	0	0	0	0	4.3
2010-11	0	0	21.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.3
2011-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012-13	0	0	0	8.4	31.8	0	0	0	0	0	0	0	40.2
2013-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5.8: Μετρήσεις κατακρημνισμάτων (χιόνι) από τον βροχομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Κηπίνα

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ
1994-95	-	-	-	18.4	0	0	0	0	0	0	0	0	18.4
1995-96	0	0	0	0	14	25	0	0	0	0	0	0	39.0
1996-97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
1997-98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
1998-99	0	0	0	4.2	9	0	0	0	0	0	0	0	13.2
1999-00	0	0	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1
2000-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
2001-02	0	0	14.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.9
2002-03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
2003-04	0	0	0	16.2	0	0	0	0	0	0	0	0	16.2
2004-05	0	0	0	62.2	34.2	0	0	0	0	0	0	0	96.4
2005-06	0	0	0	8.1	0	0	0	0	0	0	0	0	8.1
2006-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
2007-08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
2008-09	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	15.0
2009-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
2010-11	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7.0
2011-12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
2012-13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
2013-14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0

Πίνακας 5.9: Μετρήσεις παροχής από τον υδρομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Μονή Κηπίνας (m³/s)

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΗ Π. ΚΑΛΑΡΡΥΤΙΚΟΥ ΣΤΟΝ ΥΔΡΟΜΕΤΡΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΜΟΝΗΣ ΚΗΠΙΝΑΣ (m ³ /s)													
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1994 - 95	1.37	8.95	5.19	12.0	7.49	6.35	8.54	12.1	5.66	1.94	2.02	4.25	6.31
1995 - 96	2.85	6.45	13.5	5.92	6.07	5.83	9.21	12.1	4.68	2.53	1.51	2.43	6.09
1996 - 97	5.48	9.02	12.5	7.36	3.69	3.71	5.15	5.20	1.05	0.513	1.16	1.18	4.68
1997 - 98	6.51	7.43	10.7	5.21	9.09	3.86	6.33	7.36	3.50	1.92	1.22	2.08	5.41
1998 - 99	4.92	10.49	7.8	3.2	4.7	8.2	9.2	11.53	5.07	2.46	1.57	0.88	5.84
1999 - 00	1.52	5.62	10.5	4.73	4.67	7.92	13.8	8.34	4.83	1.70	0.817	0.59	5.42
2000 - 01	1.45	3.42	4.57	4.58	4.27	7.45	9.51	6.76	3.26	1.92	1.39	1.10	4.14
2001 - 02	0.913	2.74	7.63	5.58	3.82	5.91	9.71	5.45	3.38	2.07	2.20	7.96	4.77
2002 - 03	10.2	4.45	6.32	10.7	5.76	3.69	8.83	10.6	4.19	1.93	1.39	1.31	5.79
2003 - 04	9.07	6.40	4.59	7.03	6.38	9.04	14.3	11.7	4.85	2.78	2.16	2.18	6.70
2004 - 05	5.97	7.02	8.0	5.33	4.76	13.9	13.1	13.5	9.02	3.19	1.88	1.53	7.29
2005 - 06	1.59	3.5	16.1	7.13	5.79	12.3	15.0	11.1	5.25	2.77	2.03	2.43	7.10
2006 - 07	2.95	4.56	5.25	6.19	6.02	7.05	8.71	6.77	4.84	2.23	1.53	1.16	4.76
2007 - 08	1.83	12.0	7.74	4.69	3.29	6.93	7.95	4.72	3.31	1.71	1.26	1.30	4.72
2008 - 09	3.75	5.49	11.6	11.1	9.0	7.0	13.0	12.9	6.43	3.16	1.83	1.43	7.20
Μέση τιμή	4.03	6.50	8.79	6.71	5.64	7.28	10.16	9.34	4.62	2.19	1.60	2.12	5.75

Πίνακας 5.10: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέγιστες, ελάχιστες) από τον μετεωρολογικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Λίμνη Ιωαννίνων

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ		Φορέας		Χ(m)		Υ(m)		Ζ(m)			
	Λίμνη Ιωαννίνων		ΔΕΗ		230899.85		4393837.69		468			
Υδρολογικό έτος	Οκτ		Νοε		Δεκ		Ιαν		Φεβ		Μαρ	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1994-95	21.77	10.32	17.2	5.46	11.25	-0.17	9.36	1.31	13.78	3.45	13.58	4.34
1995-96	21.4	9.63	12.03	3.45	11.58	5.48	10.46	2.36	10.18	3.52	10.96	3.61
1996-97	18.43	9.06	15.16	5.63	11.32	3.83	12	1.74	11.51	1.33	13.51	3.31
1997-98	20.03	8.29	15.87	6.77	9.74	3.78	12.03	2.23	14.37	2.74	12.67	1
1998-99	21.1	9.1	14.93	5.21	9.17	1.21	12	0.83	8.04	0.79	14.17	5.2
1999-00	24.78	10.65	16.33	6.71	12.4	4.6	8.48	-1.2	10.49	2.62	13.45	3.52
2000-01	22.61	10.61	18.07	8.2	11.65	3.13	10.37	4.5	11.39	3.68	17.32	8.03
2001-02	-	-	14.93	5.3	7.54	1	8.83	-0.03	13.64	3.71	17.2	5.73
2002-03	19.97	9.48	16.33	7.13	9.93	4.46	11.17	4.3	7.15	-0.56	13.43	3.2
2003-04	20.9	11.29	16.27	8.87	10.87	3.1	8.13	1.13	10.66	2.45	13.1	5.42
2004-05	22.57	12	15.5	6.3	12.47	4.95	8.38	1.21	6.93	0.29	13.26	4.94
2005-06	20.39	9.1	14.17	4.86	9.74	3.65	7.1	-0.35	9.15	1.15	12.03	4.94
2006-07	22.22	11.64	13.61	3.22	11.31	1.45	10.89	1.67	11.52	3.7	14.23	5.47
2007-08	21.07	9.61	13.59	6.45	9.72	1.48	10.08	0.41	10.73	1.31	14.17	6.38
2008-09	20.75	9.57	16.61	7.5	10.24	3.17	9.76	3.97	8.56	1.54	12.2	3.17
2009-10	20.59	9.81	14.86	4.36	13.22	5.07	10.07	2.62	10.24	2.43	14.79	5.07
2010-11	19.11	9.96	17.76	9.12	11.79	3.79	10.07	1.52	13.23	2.32	13.44	2.93
2011-12	19.52	7.96	14.3	2.2	9.89	2.14	8.14	-1.93	8.75	1.28	-	-
2012-13	23.6	12.8	18	6.2	10.62	0.85	11.15	1.74	11.13	1.83	14.79	5.72

Πίνακας 5.11: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέγιστες, ελάχιστες) από τον μετεωρολογικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Λίμνη Ιωαννίνων (συνέχεια)

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ		Φορέας		Χ(m)		Υ(m)		Ζ(m)			
	Λίμνη Ιωαννίνων		ΔΕΗ		230899.85		4393837.69		468			
Υδρολογικό έτος	Απρ		Μαϊ		Ιουν		Ιουλ		Αυγ		Σεπ	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1994-95	15.58	5.55	21.96	10.06	27.66	13.86	-	-	28.74	16.33	23.6	13.2
1995-96	15.24	6.2	22.78	13.5	26.42	14.78	30.19	16.03	30.64	16.67	23.1	12.86
1996-97	13.21	2.92	23.81	12.29	29.33	14.9	31.32	15.74	27.58	14.71	26.4	13.57
1997-98	19.1	6.1	21.61	11.1	27	14.9	32.45	16.48	32.75	18.34	24.03	12.83
1998-99	17.14	7.1	24.71	12.65	29.5	14	31.32	17.13	33.68	16.23	25.84	14.37
1999-00	20.07	9.61	25.2	11.74	30.33	14.6	32.65	15.9	33.68	16.23	27.44	13.61
2000-01	18.23	4.81	24.07	11.5	28.1	14	32.19	17.13	32.52	17.81	25.69	12.31
2001-02	15.97	8.43	23.03	11.69	28.57	15.97	31.52	17.68	28	16.73	23.5	15.33
2002-03	15.83	6.52	26.74	14.19	30.43	17.73	32.84	18.71	32.29	19.26	25.83	13.1
2003-04	17.37	9.83	20.61	10.84	27.1	15.57	31.74	17.9	31.03	17.13	26.63	13.97
2004-05	16.77	7	23.71	12.29	26.53	14.63	30.96	17.21	30.63	16.4	26.13	14.77
2005-06	18.59	8.72	23.79	11.79	26.8	14.73	29.52	17.61	30.46	16.78	26.24	13.83
2006-07	18.93	8.28	23.2	12.63	29	15.29	33.96	17.59	32.56	18.04	26.63	12.63
2007-08	18.52	7.44	23.66	11.69	27.59	15.63	30.83	16.97	33.71	17.61	25.56	14.04
2008-09	19	8.52	24.57	12.18	27.32	14.71	31.75	17.89	30.47	17.29	25.57	14.39
2009-10	19.73	7.8	23.52	10.1	27.04	14.84	30.57	17.07	33.72	16.66	25.89	13.46
2010-11	19.72	8.28	22.68	11.6	28.34	14	31.29	15.04	33.08	17.92	30.73	15.41
2011-12	-	-	-	-	30.39	16.82	34.79	21.04	33.04	17	28.33	14.26
2012-13	20.86	7.83	26.11	12.67	28.76	13.9	31.04	16.3	33.21	17.79	27.14	13.71

5.2.3 Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Ε.Α.Α.) χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις των θερμοκρασιών των εξής σταθμών (πίνακες 5.11-5.23):

- (1) ΠΡΑΜΑΝΤΑ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
- (2) ΑΓ. ΚΥΡΙΑΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
- (3) ΙΩΑΝΝΙΝΑ
- (4) ΤΡΙΣΤΕΝΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
- (5) ΔΕΡΒΙΖΙΑΝΑ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
- (6) ΒΩΒΟΥΣΑ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
- (7) ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΗΣ ΑΡΤΑΣ
- (8) ΚΟΜΠΟΤΙ ΑΡΤΑΣ
- (9) ΒΟΥΛΓΑΡΕΛΙ ΑΡΤΑΣ
- (10) ΘΕΟΔΩΡΙΑΝΑ ΑΡΤΑΣ
- (11) ΔΩΔΩΝΗ
- (12) ΠΕΡΤΟΥΛΙ
- (13) ΜΕΤΣΟΒΟ

Πίνακας 5.12: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Πράμαντα Ιωαννίνων (Πηγή: Ε.Α.Α. Πράμαντα Ιωαννίνων)

ΠΡΑΜΑΝΤΑ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	
H(m)=	840
Έτος	Μέση
2013	13.2
2014	12.7
2015	13.2
M.O.	13.03

Πίνακας 5.13: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Αγ. Κυριακή Ιωαννίνων (Πηγή: Ε.Α.Α. Αγ. Κυριακή Ιωαννίνων)

ΑΓ. ΚΥΡΙΑΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	
H(m)=	515
Έτος	Μέση
2012	13.2
2013	13.3
2014	13
2015	12.8
M.O.	13.08

Πίνακας 5.14: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Ιωάννινα (Πηγή: Ε.Α.Α. Ιωάννινα)

ΙΩΑΝΝΙΝΑ	
H(m)=	475
Έτος	Μέση
2007	13.2
2008	13.1
2009	13.2
2010	13.3
2011	12.7
2012	13.2
2013	13.3
2014	13.3
2015	13.2
M.O.	13.17

Πίνακας 5.15: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Τρίστενο Ιωαννίνων (Πηγή: Ε.Α.Α. Τρίστενο Ιωαννίνων)

ΤΡΙΣΤΕΝΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	
H(m)=	940
Έτος	Μέση
2009	11.7
2010	11.8
2011	11.5
2012	12.1
2013	12.3
2014	11.7
2015	12.2
M.O.	11.90

Πίνακας 5.16: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Δερβίζιανα Ιωαννίνων (Πηγή: Ε.Α.Α. Δερβίζιανα Ιωαννίνων)

ΔΕΡΒΙΖΙΑΝΑ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	
H(m)=	585
Έτος	Μέση
2010	13.6
2011	13.2
2012	14.1
2013	13.8
2014	13.6
2015	13.6
M.O.	13.65

Πίνακας 5.17: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Βωβούσα Ιωαννίνων (Πηγή: Ε.Α.Α. Βωβούσα Ιωαννίνων)

ΒΩΒΟΥΣΑ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	
H(m)=	1024
Έτος	Μέση
2009	9
2010	9.4
2011	8.5
2012	9.1
2013	9.8
2014	9.5
2015	9.3
M.O.	9.23

Πίνακας 5.18: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Καταρράκτης Άρτας (Πηγή: Ε.Α.Α. Καταρράκτης Άρτας)

ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΗΣ ΑΡΤΑΣ	
H(m)=	920
Έτος	Μέση
2009	13.2
2010	13.3
2011	13.1
2012	13.6
2013	13.5
2014	13.1
2015	13.3
M.O.	13.30

Πίνακας 5.19: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Κομπότι Άρτας (Πηγή: Ε.Α.Α. Κομπότι Άρτας)

ΚΟΜΠΟΤΙ ΑΡΤΑΣ	
H(m)=	75
Έτος	Μέση
2009	17.5
2010	17.6
2011	17.1
2012	17.6
2013	17.8
2014	17.4
2015	17.5
M.O.	17.50

Πίνακας 5.20: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Βουλγαρέλι Άρτας (Πηγή: Ε.Α.Α. Βουλγαρέλι Άρτας)

ΒΟΥΛΓΑΡΕΛΙ ΑΡΤΑΣ	
H(m)=	760
Έτος	Μέση
2011	12.9
2012	13.9
2013	13.8
2014	13.3
2015	13.5
M.O.	13.48

Πίνακας 5.21: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Θεοδωριανά Άρτας (Πηγή: Ε.Α.Α. Θεοδωριανά Άρτας)

ΘΕΟΔΩΡΙΑΝΑ ΑΡΤΑΣ	
H(m)=	974
Έτος	Μέση
2010	11.3
2011	10.7
2012	11.6
2013	11.6
2014	11.4
2015	11.7
M.O.	11.38

Πίνακας 5.22: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Δωδώνη (Πηγή: Ε.Α.Α. Δωδώνη)

ΔΩΔΩΝΗ	
H(m)=	675
Έτος	Μέση
2012	13.7
2013	13.7
2014	13.3
2015	13.8
M.O.	13.63

Πίνακας 5.23: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Περτούλι (Πηγή: Ε.Α.Α. Περτούλι)

ΠΕΡΤΟΥΛΙ	
H(m)=	1170
Έτος	Μέση
2015	8.9

Πίνακας 5.24: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέσες ετήσιες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Μέτσοβο (Πηγή: Ε.Α.Α. Μέτσοβο)

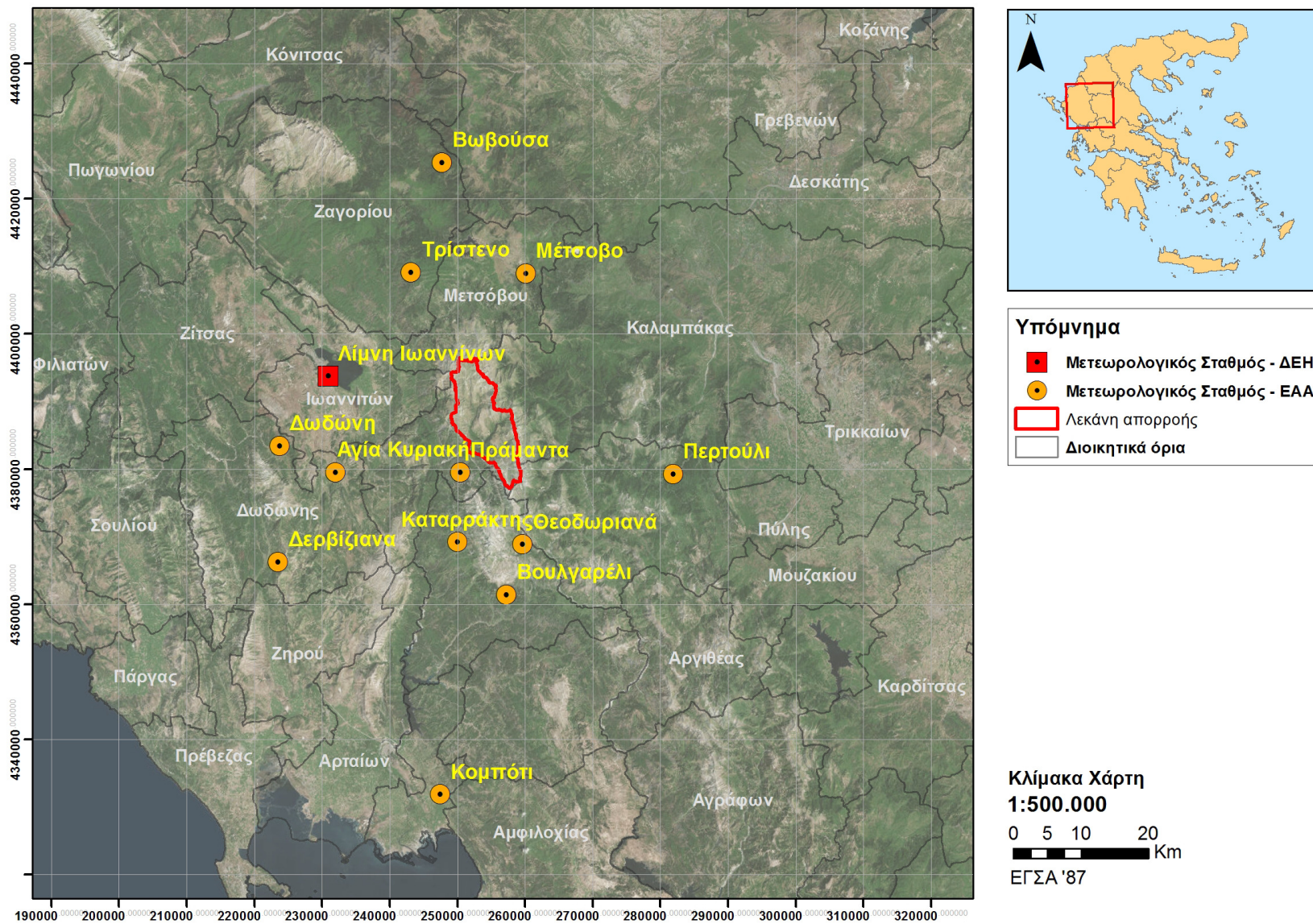
ΜΕΤΣΟΒΟ	
H(m)=	1240
Έτος	Μέση
2015	10.4

Η θέση των σταθμών αυτών ως προς την υπολεκάνη του Καλαρρύτεκου ποταμού απεικονίζεται στο Σχήμα 5.5.

Επιπρόσθετα, λόγω του ότι λείπουν κάποιες μηνιαίες θερμοκρασίες (μέγιστες, ελάχιστες) από τον μετεωρολογικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Λίμνη Ιωαννίνων (Πίνακας 5.10), χρησιμοποιήσαμε και τις μηνιαίες θερμοκρασίες του αντίστοιχου μετεωρολογικού σταθμού Ιωαννίνων του Ε.Α.Α. για την συμπλήρωσή τους. Ο σταθμός του Ε.Α.Α. έχει διαθέσιμα δεδομένα από τον Δεκέμβρη του 2006, οπότε αξιοποιήθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις του (Πίνακας 5.24) για την συμπλήρωση των κενών Μαρτίου, Απριλίου και Μαΐου 2012.

Πίνακας 5.25: Μετρήσεις θερμοκρασίας (μέγιστες και ελάχιστες μηνιαίες) από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ε.Α.Α. Ιωάννινα (Πηγή: Ε.Α.Α. Ιωάννινα)

ΙΩΑΝΝΙΝΑ		
H(m)=	475	
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	
2011-2012	Max	Min
Οκτ	19.60	4.40
Νοε	14.70	-1.30
Δεκ	10.00	-0.60
Ιαν	7.80	-5.30
Φεβ	9.00	-0.70
Μαρ	16.80	0.70
Απρ	18.30	5.20
Μάι	22.60	8.30
Ιουν	30.20	12.40
Ιουλ	35.00	15.40
Αυγ	34.30	13.70
Σεπ	28.80	10.50



Σχήμα 5.5: Η θέση των σταθμών του Ε.Α.Α. ως προς την υπολεκάνη του Καλαρρύτεικου ποταμού

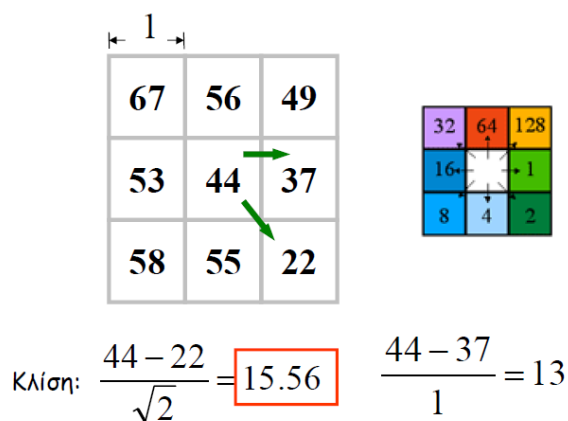
5.3 Επεξεργασία δεδομένων

5.3.1 Υδρολογική ανάλυση με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους

Μία από τις εφαρμογές του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Ψ.Μ.Ε.) είναι η αξιοποίησή του στη μελέτη των υδρογραφικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, το Ψ.Μ.Ε. χρησιμοποιείται για τη μελέτη του αναγλύφου ως προς τα μορφολογικά (ή φυσιογραφικά) του χαρακτηριστικά, για τον προσδιορισμό των ορίων των λεκανών απορροής, του υδρογραφικού δικτύου και τον υπολογισμό διαφόρων στατιστικών μεγεθών, τα οποία αποτελούν αντικείμενο της υδρολογικής ανάλυσης (Τσούλος κ.ά., 2015). Τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής τα οποία επηρεάζουν τη μελέτη των υδρολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής είναι το μέγεθος, το σχήμα, το υψόμετρο, το ανάγλυφο, και οι κλίσεις (Τσακίρης, 1995).

Οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου συνδέονται μεταξύ τους και εκείνοι που βρίσκονται σε χαμηλότερα υψόμετρα (κατάντη) δέχονται τα ύδατα από εκείνους που βρίσκονται σε ψηλότερα (άνάντη). Οι κλάδοι διακρίνονται ιεραρχικά σε τάξεις, σύμφωνα με διάφορες μεθόδους ταξινόμησης (π.χ. Horton, Strahler, Shreve, Scheidegger) (Τσακίρης, 1995). Ανεξάρτητα από τη μέθοδο ταξινόμησης, οι κλάδοι της μικρότερης τάξης είναι εκείνοι στους οποίους δεν συμβάλλουν άλλοι κλάδοι, δηλαδή είναι οι κλάδοι χωρίς ανάντη συμβολές.

Η διαδρομή που ακολουθούν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στην επιφάνεια του εδάφους –είτε αυτά προέρχονται από άμεση κατακρήμνιση, είτε οφείλονται στον κορεσμό του εδάφους– εξαρτάται άμεσα από τις υψομετρικές διαφορές, την κλίση του εδάφους και τον προσανατολισμό της επιφάνειας όπου κινούνται. Για τον λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα προσδιορισμού της διεύθυνσης απορροής με βάση ένα Ψ.Μ.Ε., εκ των οποίων το Μοντέλο Απορροής 8 Διευθύνσεων (Jenson & Domingue, 1988) είναι εκείνο με την ευρύτερη χρήση (Σχήμα 5.6).

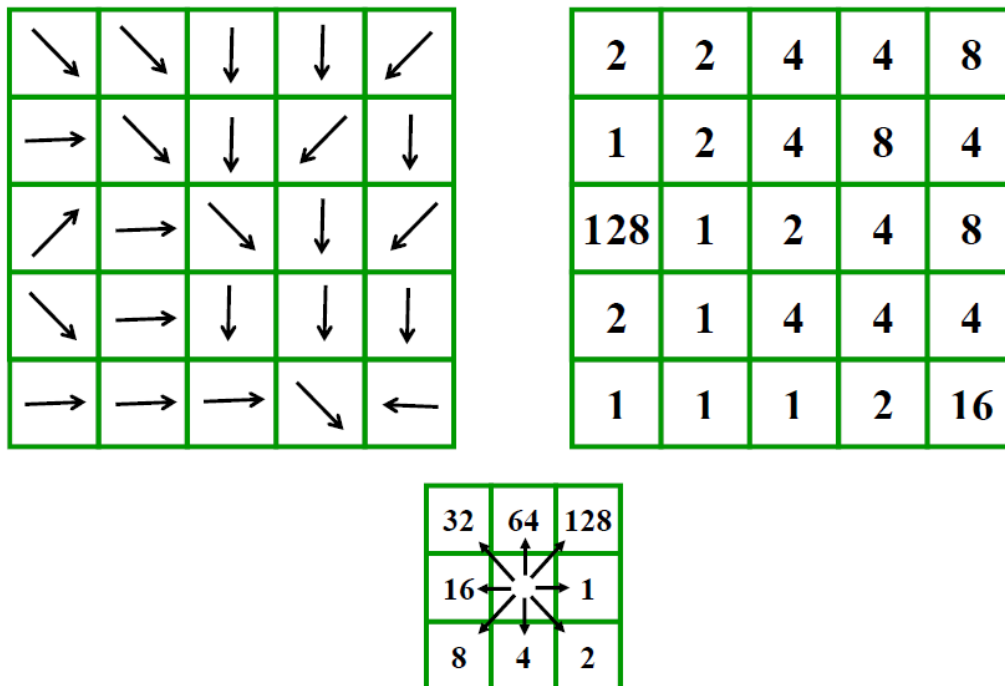


Σχήμα 5.6: Μοντέλο Απορροής Διευθύνσεων D8 (Πηγή: Τσούλος κ.ά., 2015)

Με βάση το μοντέλο αυτό:

- (1) Κάθε φατνίο του Ψ.Μ.Ε. εξετάζεται σε σχέση με τα γειτονικά φατνία.
- (2) Υπολογίζονται οι κλίσεις με βάση τις υψομετρικές διαφορές.
- (3) Προσδιορίζεται η διεύθυνση της μέγιστης κλίσης.

Η διεύθυνση της μέγιστης κλίσης είναι η διεύθυνση απορροής του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, οπότε το φατνίο κωδικοποιείται αναλόγως λαμβάνοντας μία από τις τιμές 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε κανονικοποιημένη δομή (raster), ως κανάβος διευθύνσεων απορροής (Σχήμα 5.7).

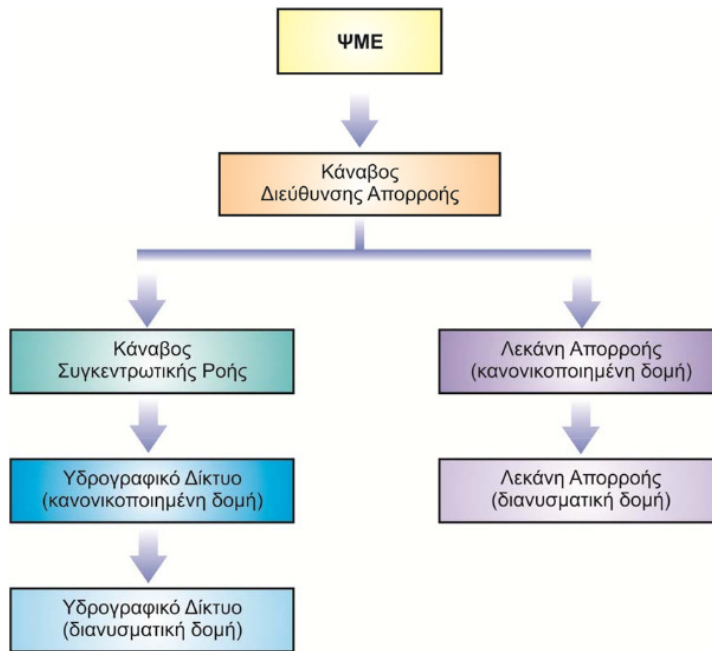


Σχήμα 5.7: Κανάβος διευθύνσεων απορροής (Πηγή: Τσούλος κ.ά., 2015)

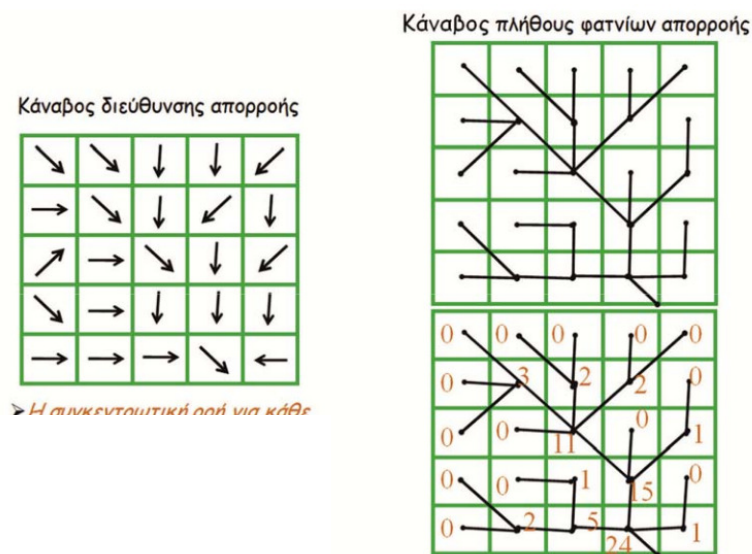
Όπως παρουσιάζεται και στο διάγραμμα ροής των εργασιών (Σχήμα 5.8), από τον κανάβο διευθύνσεων απορροής, παράγεται άμεσα το κανονικοποιημένο αρχείο (raster) της λεκάνης απορροής, το οποίο εν συνεχεία μπορεί να μετατραπεί σε διανυσματική δομή (vector) από όπου μπορούν να υπολογιστούν διάφορα γεωμετρικά στοιχεία (π.χ. εμβαδόν). Από το κανονικοποιημένο αρχείο προκύπτουν στοιχεία τα οποία είναι χρήσιμα στην υδρολογική μελέτη, όπως το μέγιστο, το ελάχιστο και το μέσο υψόμετρο.

Για τον προσδιορισμό του υδρογραφικού δικτύου, χρειάζεται να προσδιοριστούν οι περιοχές εκείνες του εδάφους, όπου συγκεντρώνονται τα επιφανειακά ύδατα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία του κανάβου συγκεντρωτικής ροής που προκύπτει από τον κανάβο διευθύνσεων απορροής. Σε κάθε φατνίο του κανάβου συγκεντρωτικής ροής αποθηκεύεται το πλήθος των φατνίων τα οποία απορρέουν σ' αυτό από τα γειτονικά φατνία (Σχήμα 5.9). Τα φατνία του κανάβου συγκεντρωτικής ροής με υψηλές τιμές αντιστοιχούν στις μισγάγγειες, ενώ τα φατνία με μηδενικές τιμές αντιστοιχούν στις κορυφογραμμές.

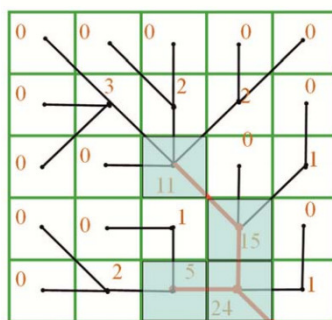
Το υδρογραφικό δίκτυο προκύπτει σε κανονικοποιημένη (raster) δομή, με την εφαρμογή ενός ορίου το οποίο καθορίζει το ελάχιστο πλήθος γειτονικών φατνίων που πρέπει να απορρέουν σε κάθε φατνίο, ώστε αυτό να ανήκει στο υδρογραφικό δίκτυο (Σχήμα 5.10). Το όριο αυτό προσδιορίζεται εμπειρικά, με διαδοχικές προσεγγίσεις. Στη συνέχεια, γίνεται η ιεράρχηση των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου σε τάξεις, σύμφωνα με κάποια μέθοδο ταξινόμησης και ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη και τις δυνατότητες του λογισμικού. Για περαιτέρω αξιοποίηση, μετατρέπεται σε διανυσματική δομή, προκειμένου να εξαχθούν γεωμετρικά στοιχεία (μήκος, μήκος ανά τάξη κλπ.) τα οποία χρησιμοποιούνται στην υδρολογική ανάλυση.



Σχήμα 5.8: Η ροή εργασιών για την υδρολογική ανάλυση σε ψηφιακό περιβάλλον (Πηγή: Τσούλος κ.ά., 2015)



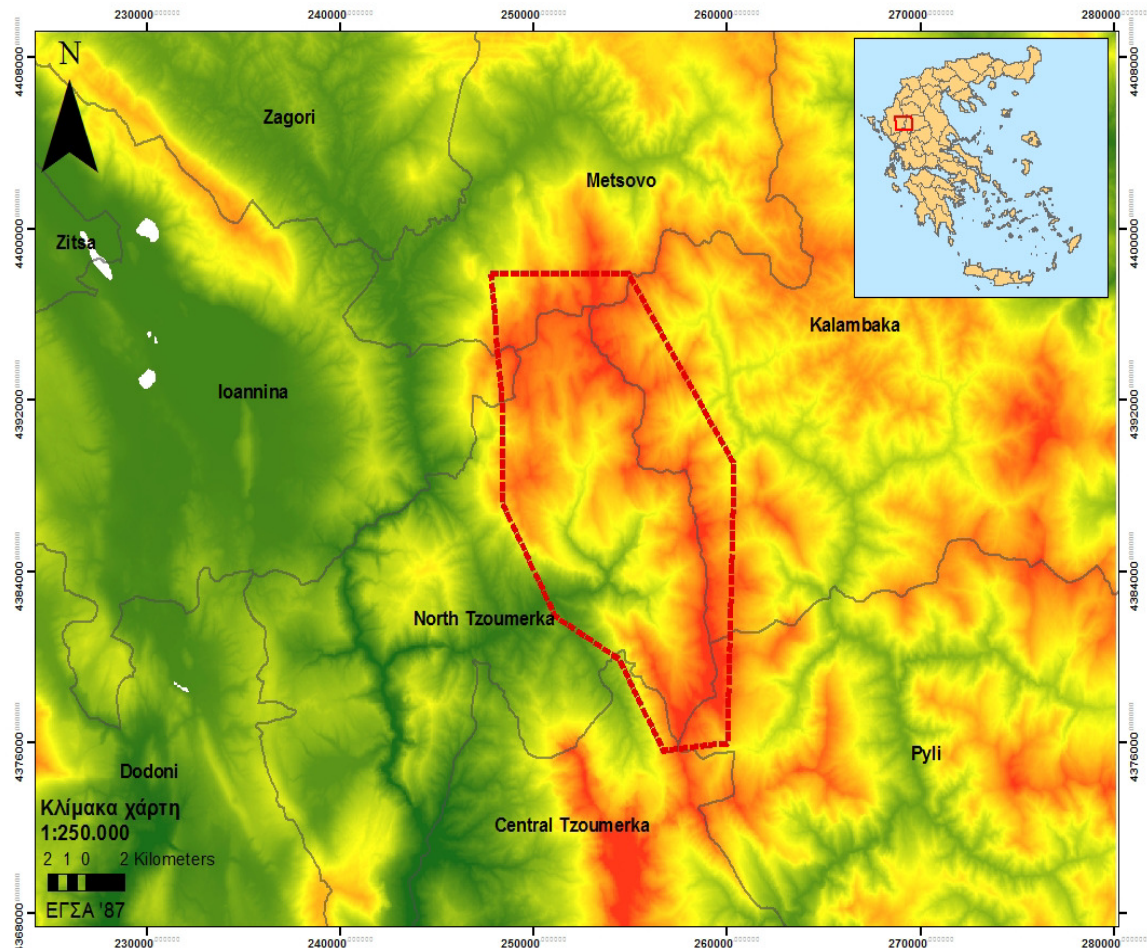
Σχήμα 5.9: Κάναβος συγκεντρωτικής ροής (Πηγή: Τσούλος κ.ά., 2015)



Σχήμα 5.10: Προσδιορισμός του υδρογραφικού δικτύου σε κανονικοποιημένη δομή (Πηγή: Τσούλος κ.ά., 2015)

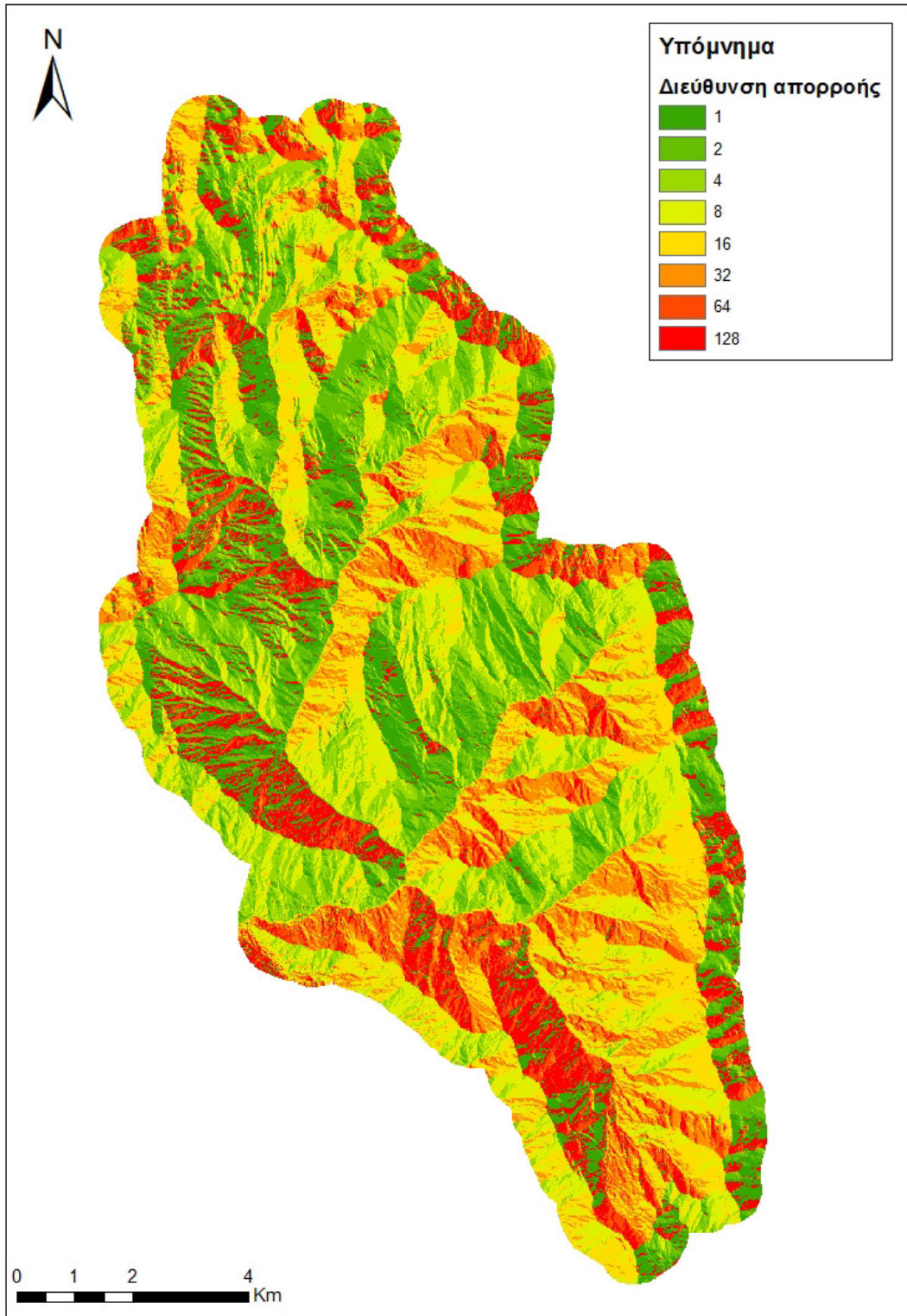
Στην περιοχή μελέτης μας, αρχικά ψηφιοποιήθηκαν τα όρια της λεκάνης απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού με χρήση του λογισμικού AutoCAD σε υπόβαθρο χαρτών Γ.Υ.Σ..

Τα ψηφιοποιημένα όρια της λεκάνης βελτιώθηκαν με την επεξεργασία του Ψ.Μ.Ε. με χρήση του λογισμικού ArcGIS. Το αρχικό Ψ.Μ.Ε. περικόπηκε σε μια ευρύτερη περιοχή που περικλείει τη λεκάνη απορροής, έτσι ώστε να είναι πιο εύχρηστο κατά την επεξεργασία (Σχήμα 5.11).



Σχήμα 5.11: Περιορισμένο Ψ.Μ.Ε. της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού

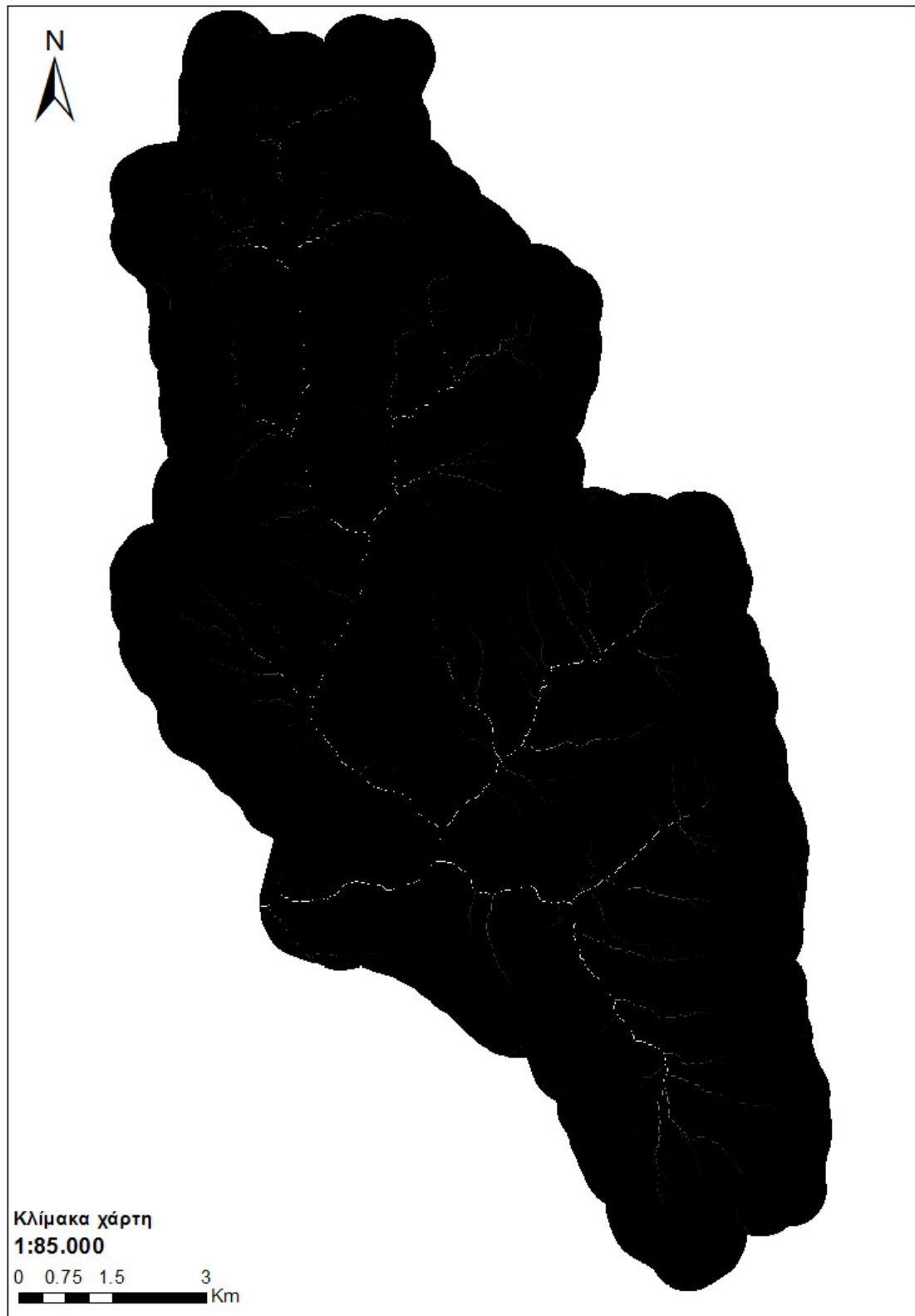
Στη συνέχεια με χρήση του λογισμικού ArcGIS (ESRI, 2011 και Graham & Sheehan, 2014) εφαρμόστηκε το Μοντέλο Απορροής 8 Διευθύνσεων και προέκυψε ο κάρναβος διευθύνσεων απορροής (Σχήμα 5.12).



Σχήμα 5.12: Κάναβος διευθύνσεων απορροής της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής του Καλαρρύτεικου ποταμού

Από τον κάναβο διευθύνσεων απορροής παρήχθη το κανονικοποιημένο αρχείο (raster) της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής, το οποίο κατόπιν μετατράπηκε σε διανυσματική δομή (vector). Τα όρια της λεκάνης διορθώθηκαν στο σημείο της εξόδου με βάση τη θέση του υδρομετρικού σταθμού Μονή Κηπίνας.

Από τον κάναβο διευθύνσεων απορροής παρήχθη επίσης ο κάναβος συγκεντρωτικής ροής της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής (Σχήμα 5.13) και τα ακριβή όρια της κύριας λεκάνης απορροής (Καλαρρύτεκου ποταμού) (Σχήμα 5.14).

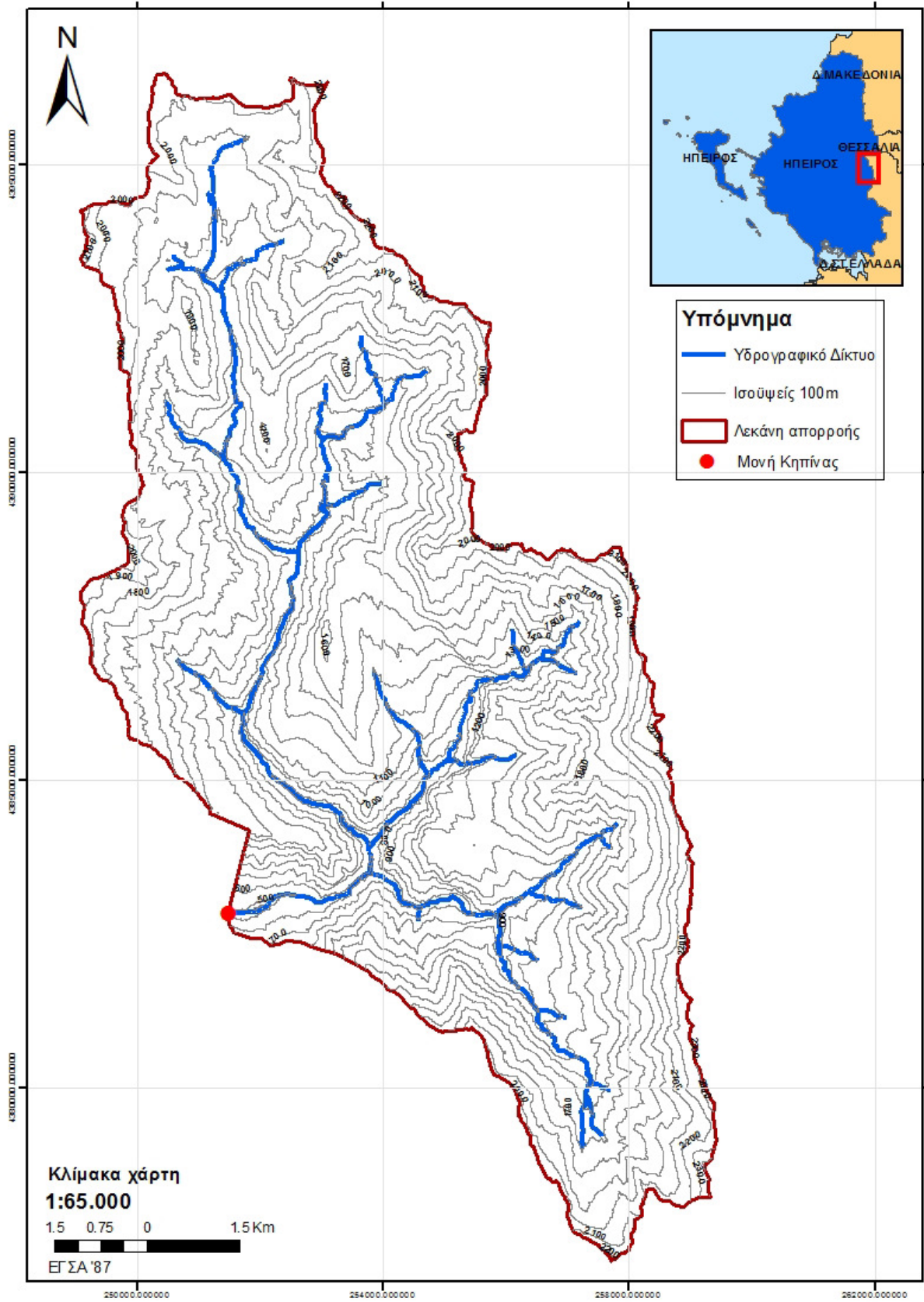


Σχήμα 5.13: Κάναβος συγκεντρωτικής ροής της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού

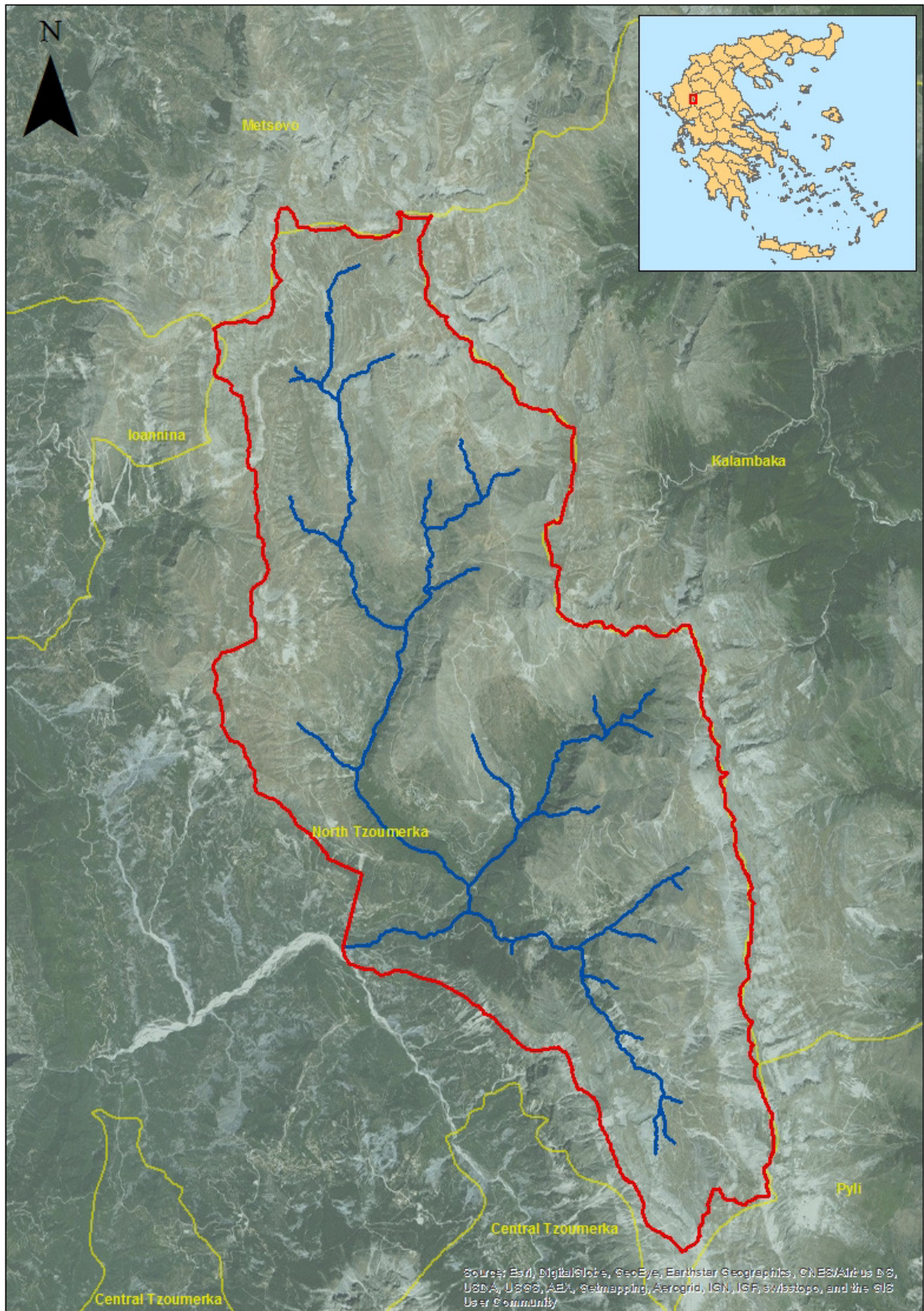


Σχήμα 5.14: Εντοπισμός ορίων κύριας λεκάνης απορροής (Καλαρρύτικου ποταμού)

Για το υδρογραφικό δίκτυο στη συγκεκριμένη περίπτωση καθορίστηκε το όριο επιλογής φατνίων υδρολογικού δικτύου ίσο με 50.000, οπότε διατηρήθηκαν τα φατνία με τιμή άνω του ορίου αυτού (σχήματα 5.15 και 5.16).

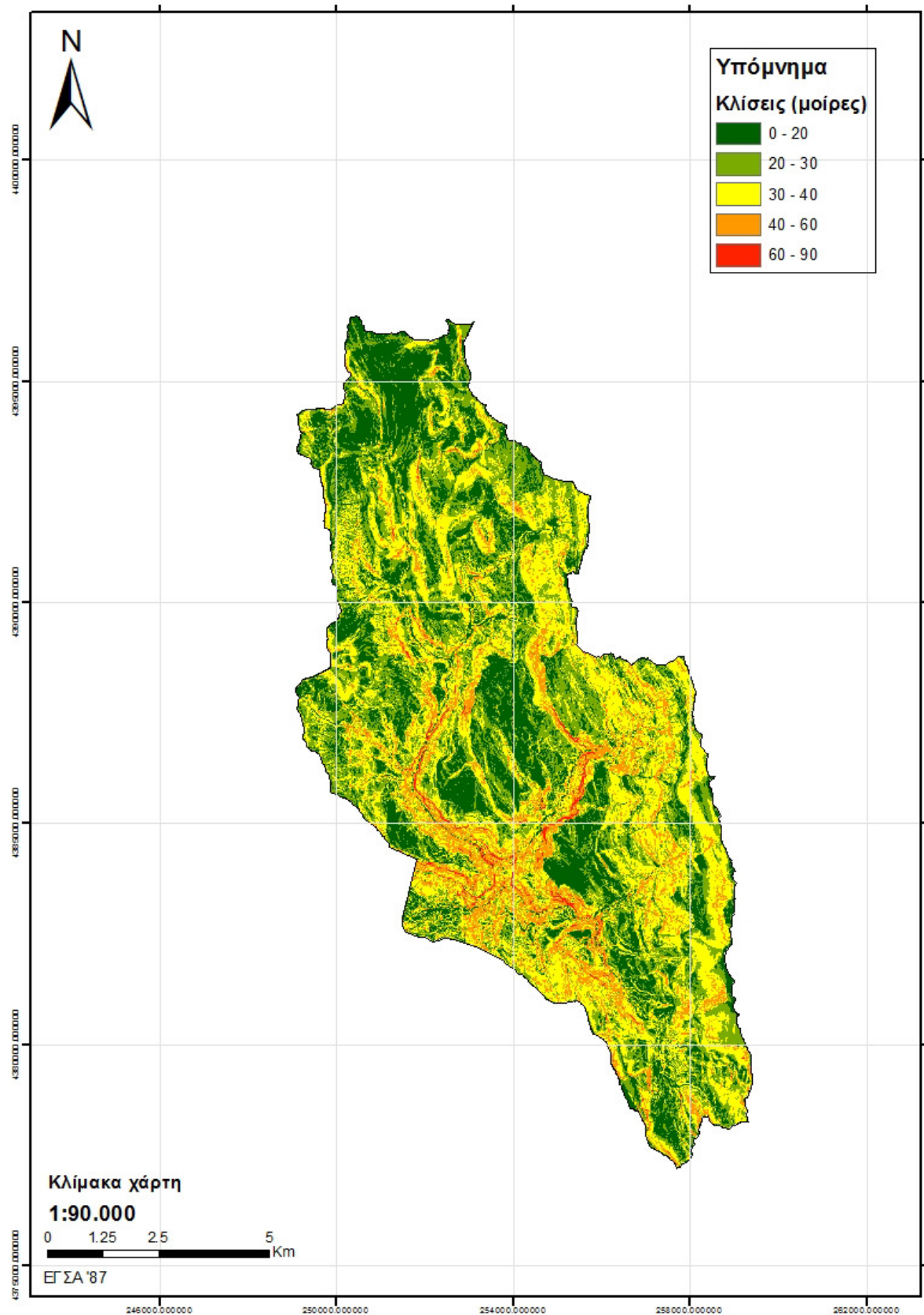


Σχήμα 5.10: Υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής Καλαρρύτεκου ποταμού σε υπόβαθρο Ψ.Μ.Ε.



Σχήμα 5.16: Υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής Καλαρρύτεκου ποταμού σε υπόβαθρο δορυφορικής εικόνας (ESRI World Imagery Basemap)

Στο Σχήμα 5.17 παρουσιάζεται ο κánaβος κλίσεων, και στον Πίνακα 5.25 τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του Καλαρρύτεκου ποταμού.



Σχήμα 5.17: Κánaβος κλίσεων λεκάνης απορροής Καλαρρύτεκου ποταμού

Πίνακας 5.26: Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής Καλαρρύτεκου ποταμού

Μέσο υψόμετρο λεκάνης	1543.90 m
Μέγιστο υψόμετρο λεκάνης	2427.61 m
Ελάχιστο υψόμετρο λεκάνης	468.57 m
Εμβαδόν λεκάνης απορροής	103.54 km ²
Μήκος υδρογραφικού δικτύου	58.73 km

5.3.2 Επεξεργασία χρονοσειράς κατακρημνισμάτων (βροχή & χιόνι)

Δεδομένου ότι υπάρχουν λίγα κενά στις χρονοσειρές βροχή+χιόνι των βροχομετρικών σταθμών Κριθάρια (1 τιμή: 10/1995) και Κηπίνα (4 τιμές: 10/1994, 11/1994, 12/1994, 07/2008), εφαρμόζουμε τη μεθοδολογία συμπλήρωσής τους με τη βοήθεια των τριών γειτονικών σταθμών που διαθέτουν πλήρη δεδομένα για όλη την περίοδο (10/1994-09/2013): Μικρό Περιστέρι, Πράμαντα και Καλαρρίτες. Οι σταθμοί αυτοί πρέπει προηγουμένως να έχουν ελεγχθεί για την ομογένεια των δεδομένων και για τον βαθμό συσχέτισης με τα δεδομένα των υπό συμπλήρωση σταθμών (Τσακίρης & Βαγγέλης, 2009).

Αν είναι διαθέσιμοι τρεις γειτονικοί σταθμοί βάσης τότε μπορεί για τη συμπλήρωση της τιμής P_X του υπό εξέταση σταθμού να εφαρμοστεί η εξίσωση:

$$P_X = \frac{1}{3} \left[\frac{N_X P_1}{N_1} + \frac{N_X P_2}{N_2} + \frac{N_X P_3}{N_3} \right] \quad (5.1)$$

Όπου: P_1, P_2 και P_3 οι αντίστοιχες τιμές στους σταθμούς 1, 2, 3,
 N_1, N_2 και N_3 η κανονική μέση βροχόπτωση στους 3 παραπάνω σταθμούς, και
 N_X η κανονική βροχόπτωση του υπό συμπλήρωση σταθμού.

Η συμπλήρωση των βροχομετρικών παρατηρήσεων μπορεί να γίνει με βάση τη γραμμική συσχέτιση των παρατηρήσεων του προς συμπλήρωση σταθμού με άλλο σταθμό βάσης εφόσον ο βαθμός γραμμικής συσχέτισης είναι ιδιαίτερα ισχυρός (π.χ. συντελεστής γραμμικής συσχέτισης $r > 0.80$).

Η συνήθης μορφή της εξίσωσης που συνδέει τα δεδομένα των δυο σταθμών είναι:

$$P_X = b_0 + b_1 \cdot P_1 \quad (5.2)$$

Όπου: b_0 και b_1 παράμετροι παλινδρόμησης,
 P_X οι υπολογιζόμενες τιμές συμπλήρωσης του σταθμού με τα ελλιπή δεδομένα, και
 P_1 οι αντίστοιχες τιμές του σταθμού βάσης.

Τα μεγέθη που συμπληρώνονται πρέπει να είναι μεγάλης διάρκειας (π.χ. ετήσια) και με μεθόδους επιμερισμού να καταλήγουν σε στοιχεία μικρότερης διάρκειας (π.χ. μηνιαία).

Χρήσιμη για τη συμπλήρωση των βροχομετρικών δεδομένων ενός σταθμού αποδεικνύεται πολλές φορές η παρατήρηση ότι το σημειακό ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου. Η παρατήρηση αυτή είναι επίσης ιδιαίτερα χρήσιμη για οποιαδήποτε αναγωγή βροχομετρικών παρατηρήσεων σε διαφορετικό υψόμετρο από αυτό που αρχικά ανήκουν.

Ο έλεγχος του βαθμού συσχέτισης των δεδομένων των σταθμών γίνεται ανά δύο στην κοινή χρονική περίοδο στην οποία υπάρχουν δεδομένα για τους σταθμούς.

Επειδή πρόκειται για ετήσια ύψη βροχής θεωρείται ότι παρουσιάζουν απλή γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους και ελέγχεται αν υπάρχει τέτοια γραμμική συσχέτιση μέσω του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r που δίνεται από την εξίσωση:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (5.3)$$

Για τον συντελεστή r ισχύει ότι $|r| \leq 1$ και οι ακραίες τιμές $r = \pm 1$ αντιστοιχούν σε πλήρη γραμμική εξάρτηση μεταξύ των X και Y , ενώ η τιμή $r = 0$ δηλώνει γραμμική ανεξαρτησία.

Όταν $0 \leq |r| \leq 0.5$ η συσχέτιση θεωρείται ασθενής ενώ όταν $0.7 \leq |r| \leq 1.0$ ισχυρή και στις άλλες περιπτώσεις μέτρια.

Για να είναι στατιστικά σημαντική η συσχέτιση θα πρέπει ο συντελεστής συσχέτισης που υπολογίζεται, να είναι σε απόλυτη τιμή μεγαλύτερος από την κρίσιμη τιμή:

$$r_c = \frac{2}{\sqrt{N}} \quad (5.4)$$

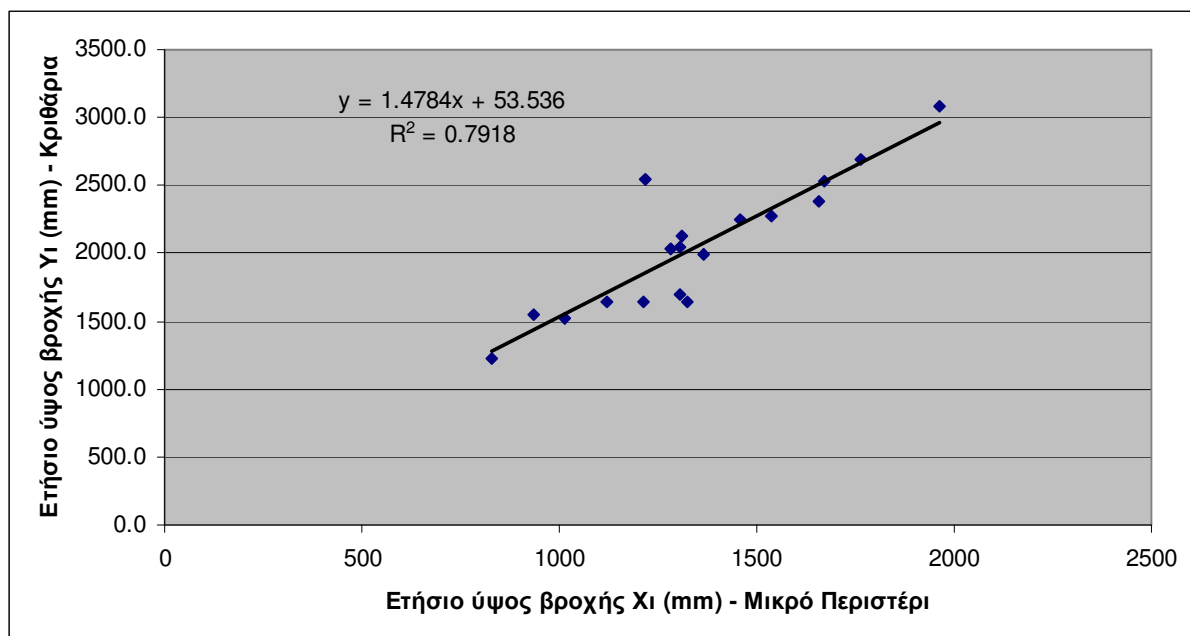
Η γραμμική συσχέτιση μεταξύ δύο σταθμών μπορεί να παρουσιαστεί και με τη δυνατότητα προσαρμογής μιας ευθείας γραμμής στα στοιχεία διαγράμματος μεταξύ των τιμών των μετρημένων υψών βροχής για κάθε έτος των δύο σταθμών X και Y .

Στην περίπτωσή μας ο έλεγχος των σταθμών ως προς τον βαθμό συσχέτισης γίνεται στους πίνακες 5.26-5.35 και στα σχήματα 5.18-5.27. Ο πρώτος Πίνακας 5.26 και το πρώτο Σχήμα 5.18 παρουσιάζονται εδώ, ενώ οι υπόλοιποι πίνακες (πίνακες Α.1-Α.9) και τα υπόλοιπα σχήματα (σχήματα Β.1-Β.9) περιλαμβάνονται στα Παραρτήματα Α και Β αντίστοιχα.

Σε όλα τα ζεύγη σταθμών ο συντελεστής συσχέτισης που υπολογίστηκε είναι σε απόλυτη τιμή μεγαλύτερος από την κρίσιμη τιμή r_c .

Πίνακας 5.27: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Μικρό Περιστέρι και Κριθάρια

Υδρολογικό Έτος	Μικρό Περιστέρι (Xi)	Κριθάρια (Yi)	Xi ²	Yi ²	Xi*Yi
1994-95	1366.2	1998.7	1866502.44	3994801.69	2730623.94
1996-97	1121.4	1639.4	1257537.96	2687632.36	1838423.16
1997-98	1309	2125.2	/1713481	4516475.04	2781886.8
1998-99	1307.2	2044.3	1708771.84	4179162.49	2672308.96
1999-00	1280.3	2029.0	1639168.09	4116841	2597728.7
2000-01	934.5	1553.5	873290.25	2413362.25	1451745.75
2001-02	1306.4	1695.0	1706680.96	2873025	2214348
2002-03	1015.3	1517.6	1030834.09	2303109.76	1540819.28
2003-04	1457.1	2241.6	2123140.41	5024770.56	3266235.36
2004-05	1217.4	2545.2	1482062.76	6478043.04	3098526.48
2005-06	1673.2	2525.0	2799598.24	6375625	4224830
2006-07	827	1219.4	683929	1486936.36	1008443.8
2007-08	1215.1	1644.6	1476468.01	2704709.16	1998353.46
2008-09	1538.8	2270.4	2367905.44	5154716.16	3493691.52
2009-10	1763.9	2691.8	3111343.21	7245787.24	4748066.02
2010-11	1657.3	2381.9	2746643.29	5673447.61	3947522.87
2011-12	1323.1	1644.5	1750593.61	2704380.25	2175837.95
2012-13	1963.1	3086.5	3853761.61	9526482.25	6059108.15
ΣΥΝΟΛΑ	24276.3	36853.6	34191712.21	79459307.22	51848500.2
r(X,Y) =	0.890	r ² =	0.792	r _c =	0.471



Σχήμα 5.11: Διάγραμμα των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Μικρό Περιστέρι και Κριθάρια

Με βάση τα αποτελέσματα που συνοψίζονται στον Πίνακα 5.27 υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων του σταθμού Καλαρρίτες με τους υπόλοιπους σταθμούς.

Πίνακας 5.27: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών

	Μικρό Περιστέρι	Πράμαντα	Κηπίνα	Καλαρρίτες	Κριθάρια
Μικρό Περιστέρι	1	0.629	0.623	0.937	0.890
Πράμαντα	0.629	1	0.764	0.651	0.691
Κηπίνα	0.623	0.764	1	0.678	0.709
Καλαρρίτες	0.937	0.651	0.678	1	0.864
Κριθάρια	0.890	0.691	0.709	0.864	1

Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος ομογένειας των βροχομετρικών παρατηρήσεων. Ελέγχεται δηλαδή, κατά πόσο το σύνολο των παρατηρήσεων προέκυψε με τις ίδιες συνθήκες μέτρησης. Η αλλαγή της θέσης του οργάνου, η αντικατάσταση του οργάνου και η αλλαγή του παρατηρητή, οδηγούν συνήθως σε μη ομοιογενή δεδομένα.

Ο έλεγχος της ομογένειας των δεδομένων ενός σταθμού γίνεται με τη σύγκρισή του με ομάδα γειτονικών σταθμών που αποτελούν τους σταθμούς βάσης. Σύμφωνα με τη μέθοδο ελέγχονται τα ετήσια ύψη βροχής ενώ στη συνέχεια μπορούν να συναχθούν συμπεράσματα και για τα μηνιαία ύψη βροχής.

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για έλεγχο ομοιογένειας στις χρονοσειρές βροχοπτώσεων είναι η δημιουργία διπλής αθροιστικής καμπύλης. Αναγκαία προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου της διπλής αθροιστικής καμπύλης είναι ο υψηλός βαθμός γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των δύο σταθμών.

Διπλή αθροιστική καμπύλη είναι η απεικόνιση σε γράφημα, με άξονες κοινής αριθμητικής διαβάθμισης, της σημειοσειράς που προκύπτει από τα διαδοχικά ύψη βροχής δύο σταθμών, αφού τα ύψη βροχής μετατραπούν σε αθροιστικές σειρές. Ο άξονας Σ_X (τεταγμένες) αναφέρεται στο αθροιστικό ύψος βροχής ενός βροχομετρικού σταθμού βάσης (με διαπιστωμένη συνέπεια μετρήσεων). Ο άξονας Σ_Y (τεταγμένες) αναφέρεται στο αθροιστικό ύψος βροχής του υπό έλεγχο σταθμού.

Στην περίπτωση μας ως σταθμός βάσης επιλέγεται ο σταθμός Καλαρρίτες, δεδομένης της καλύτερης συσχέτισης που παρουσιάζει (βλ. Πίνακα 5.27) και της επιρροής του στη λεκάνη απορροής (ποσοστό συμμετοχής 50.57%), και εξετάζουμε την ομογένεια των δεδομένων των υπολοίπων σταθμών ως προς τον σταθμό αυτό.

Αθροίζονται τα ύψη βροχής σε κάθε σταθμό, ξεκινώντας από το πιο πρόσφατο υδρολογικό έτος (δηλαδή το 2012-13) προς τα παλαιότερα έτη (έως το 1994-95). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται δύο αθροιστικές σειρές δεδομένων, μια για κάθε σταθμό. Τοποθετούνται στη

συνέχεια τα αθροιστικά ύψη βροχής που υπολογίστηκαν σε διάγραμμα, με τα δεδομένα του σταθμού βάσης στον άξονα των X (Καλαρρίτες) και του σταθμού που ελέγχεται κάθε φορά στον άξονα των Y (Πράμαντα, Κηπίνα, Μικρό Περιστέρι, Κριθάρια). Τα σημεία που τοποθετούνται στο διάγραμμα αντιστοιχούν στα έτη που είναι διαθέσιμα. Στα σημεία αυτά θα πρέπει να προσαρμόζεται κανονικά μια ευθεία γραμμή. Στη περίπτωση που στην ευθεία αυτή γραμμή παρατηρηθεί κάποια θλάση τα δεδομένα δεν είναι ομογενή και πρέπει να γίνει διόρθωση των ετήσιων βροχομετρικών υψών, συνήθως θεωρώντας αξιόπιστες τις πιο πρόσφατες μετρήσεις και διορθώνοντας το παλιότερο υποσύνολο. Η διόρθωση γίνεται με πολλαπλασιασμό επί ένα συντελεστή αναγωγής (α) που προκύπτει ως ο λόγος των κλίσεων (λ_1, λ_2) των δύο ευθύγραμμων τμημάτων της διπλής αθροιστικής καμπύλης.

$$a = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (5.5)$$

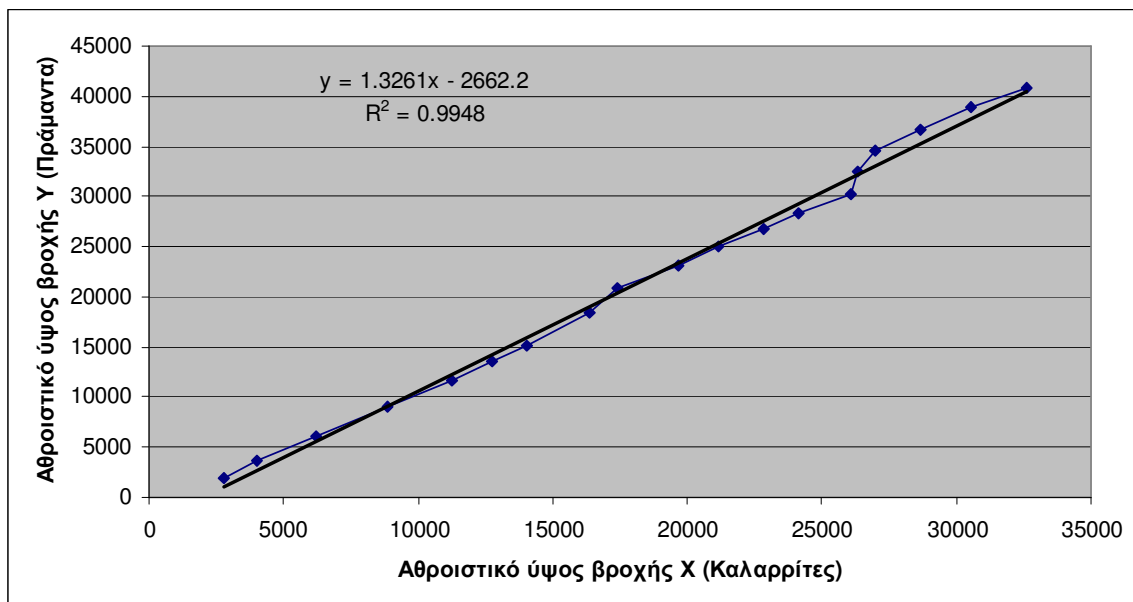
Στους πίνακες 5.28, 5.29, 5.30 και 5.31 παρουσιάζονται οι υπολογισμοί των αθροιστικών σειρών και στα σχήματα 5.19, 5.29, 5.30 και 5.31 εφαρμόζεται, αντίστοιχα, η μέθοδος της διπλής αθροιστικής καμπύλης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Πράμαντα, Κηπίνα, Μικρό Περιστέρι, Κριθάρια αντίστοιχα. Ο πρώτος Πίνακας 5.28 και το πρώτο Σχήμα 5.19 παρουσιάζονται εδώ, ενώ οι υπόλοιποι πίνακες (πίνακες A.10-A.12) και τα υπόλοιπα σχήματα (σχήματα B.10-B.12) περιλαμβάνονται στα Παραρτήματα Α και Β αντίστοιχα.

Από τα αποτελέσματα και στις τέσσερις περιπτώσεις δεν προκύπτει θλάση στην ευθεία γραμμή προσαρμογής. Προκύπτει πολύ υψηλός συντελεστής γραμμικής συσχέτισης, που σημαίνει ισχυρή ομογένεια μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών.

Εφόσον λοιπόν προκύπτει ισχυρή γραμμική συσχέτιση και ομογένεια μεταξύ των παρατηρήσεων των σταθμών, προχωρούμε στην συμπλήρωση των ελλειπουσών μετρήσεων εφαρμόζοντας την εξίσωση 5.1. Αρχικά συμπληρώνουμε την μία τιμή που λείπει στον σταθμό Κριθάρια (10/1995) και προκύπτει ο Πίνακας 5.29. Στη συνέχεια συμπληρώνουμε τις τέσσερις τιμές που λείπουν στον σταθμό Κηπίνα (10/1994, 11/1994, 12/1994, 07/2008) και προκύπτει ο Πίνακας 5.30.

Πίνακας 5.28: Υπολογισμοί των αθροιστικών σειρών των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Πράμαντα

Υδρολογικό έτος	ΕΤΗΣΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ(mm)		ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	
	Καλαρρίτες (Xi)	Πράμαντα (Yi)	Καλαρρίτες (Xi)	Πράμαντα (Yi)
2012-13	2783	1979.8	2783	1979.8
2011-12	1209.4	1684.3	3992.4	3664.1
2010-11	2211.6	2439.3	6204	6103.4
2009-10	2650.3	2888.1	8854.3	8991.5
2008-09	2423.4	2578.4	11277.7	11569.9
2007-08	1473.5	1917.5	12751.2	13487.4
2006-07	1315.6	1628.2	14066.8	15115.6
2005-06	2292.4	3238.8	16359.2	18354.4
2004-05	1062.6	2423.2	17421.8	20777.6
2003-04	2277	2406.2	19698.8	23183.8
2002-03	1431.8	1845.3	21130.6	25029.1
2001-02	1685	1720.6	22815.6	26749.7
2000-01	1290.4	1648.4	24106	28398.1
1999-00	1968.3	1916.6	26074.3	30314.7
1998-99	232.8	2090.5	26307.1	32405.2
1997-98	693.2	2170.4	27000.3	34575.6
1996-97	1649.6	2038.6	28649.9	36614.2
1995-96	1882.3	2268.4	30532.2	38882.6
1994-95	2054.4	1943.5	32586.6	40826.1
r=	0.997		r ² =	0.9948



Σχήμα 5.19: Διπλή αθροιστική καμπύλη μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Πράμαντα

Πίνακας 5.29: Συμπλήρωση χρονοσειράς βροχή+χιόνι του βροχομετρικού σταθμού Κριθάρια

Υδρολογικό έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ
1994-95	313.7	318.8	237.8	172.1	121.4	136.6	156.9	60.7	10.1	91.1	96.1	283.4	1998.7
1995-96	125.3	237.8	430.1	81.0	25.3	263.1	581.9	40.5	60.7	45.5	35.4	232.8	2159.4
1996-97	227.7	414.9	278.3	187.2	91.1	116.4	126.5	75.9	70.8	25.3	10.1	15.2	1639.4
1997-98	516.1	161.9	344.1	278.3	40.5	70.8	106.3	253.0	81.0	10.1	50.6	212.5	2125.2
1998-99	232.8	379.5	187.2	420.0	263.1	172.0	65.8	60.7	60.7	131.6	15.2	55.7	2044.3
1999-00	151.8	420.0	430.1	551.6	96.1	75.9	75.9	60.7	86.0	45.5	0.0	35.4	2029.0
2000-01	159.9	336.0	160.9	127.5	137.6	90.1	232.8	116.4	65.8	0.0	75.9	50.6	1553.5
2001-02	10.1	227.7	328.9	151.8	20.2	91.1	197.3	86.0	50.6	101.2	81.0	349.1	1695.0
2002-03	197.3	65.8	263.1	298.3	247.9	10.1	96.1	126.5	70.8	15.2	35.4	91.1	1517.6
2003-04	642.6	70.8	116.4	313.7	298.5	126.5	177.1	156.9	101.2	75.9	5.1	156.9	2241.6
2004-05	141.7	268.2	278.3	496.4	686.6	243.9	101.2	65.8	156.9	0.0	10.1	96.1	2545.2
2005-06	70.8	268.2	652.7	303.6	187.2	404.8	131.6	55.7	86.0	65.8	91.1	207.5	2525.0
2006-07	70.8	182.2	86.0	167.0	146.7	187.2	106.3	60.7	86.0	0.0	50.6	75.9	1219.4
2007-08	177.1	430.1	167.0	116.4	25.3	156.9	207.5	45.5	101.2	50.6	0.0	167.0	1644.6
2008-09	177.1	227.7	242.9	480.7	257.1	415.9	106.3	131.6	121.4	15.2	79.3	15.2	2270.4
2009-10	374.4	303.6	334.0	237.8	450.3	374.4	116.4	141.7	111.3	75.9	10.1	161.9	2691.8
2010-11	465.5	743.8	298.5	96.1	96.1	91.0	50.6	131.6	172.0	130.4	0.0	106.3	2381.9
2011-12	101.2	30.4	263.1	165.5	191.8	113.3	323.8	258.1	20.2	10.1	65.8	101.2	1644.5
2012-13	404.8	247.9	384.6	455.4	904.7	385.6	40.5	60.7	45.5	20.2	25.3	111.3	3086.5

Πίνακας 5.30: Συμπλήρωση χρονοσειράς βροχή+χιόνι του βροχομετρικού σταθμού Κηπίνα

Υδρολογικό έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣΙΟ
1994-95	117.9	169.4	192.6	325.9	149.2	248.9	93.0	95.9	17.7	94.4	124.8	154.7	1784.4
1995-96	3.5	179.5	360.9	77.9	393.1	254.1	121.1	85.9	74.2	154.4	89.8	398.3	2192.7
1996-97	268.0	711.3	434.7	105.8	75.7	97.2	232.0	4.3	29.7	18.6	83.9	7.5	2068.7
1997-98	251.4	251.2	293.1	68.1	214.7	47.7	93.8	235.4	45.4	73.0	93.2	269.4	1936.4
1998-99	200.3	412.3	301.6	120.1	255.0	124.4	132.8	77.7	54.1	115.2	65.8	67.8	1927.1
1999-00	151.8	318.4	484.5	83.7	311.4	158.3	83.6	43.6	85.6	52.4	0.0	64.7	1838.0
2000-01	135.6	284.8	136.6	108.2	117.1	76.1	195.4	117.6	33.7	16.9	59.9	50.8	1332.7
2001-02	11.7	246.5	270.3	28.2	68.9	72.3	197.1	86.6	38.7	138.2	125.4	327.7	1611.6
2002-03	263.9	93.8	273.2	112.4	176.7	20.9	84.0	92.4	43.6	32.9	10.8	103.0	1307.6
2003-04	528.2	77.4	153.5	315.4	138.2	204.9	51.2	205.2	200.1	36.9	39.2	197.1	2147.3
2004-05	140.1	215.7	186.2	266.2	367.6	130.3	115.5	121.1	184.4	0.0	20.2	86.1	1833.4
2005-06	77.8	286.2	709.0	165.5	249.9	275.2	102.5	29.0	70.6	37.5	101.4	125.5	2230.1
2006-07	38.8	161.3	61.7	78.5	147.7	123.2	54.2	162.9	86.5	10.5	60.5	48.7	1034.5
2007-08	176.5	325.1	137.2	49.7	53.3	177.3	90.3	75.4	86.5	253.6	21.5	103.7	1550.1
2008-09	149.2	167.8	264.6	400.8	176.0	323.0	128.0	102.7	128.8	57.2	62.5	54.2	2014.8
2009-10	60.2	257.8	340.4	240.0	424.5	151.6	64.0	144.6	102.5	127.7	16.4	167.0	2096.7
2010-11	412.5	518.4	287.7	76.3	50.2	71.7	28.7	102.1	99.0	0.0	105.4	55.7	1807.7
2011-12	101.5	5.5	228.8	120.5	190.2	83.7	340.0	145.8	9.3	4.7	12.5	124.1	1366.6
2012-13	267.9	140.1	364.8	325.7	349.7	180.8	33.3	83.6	38.2	7.7	0.0	64.1	1855.9

Μετά τον έλεγχο, την ομογενοποίηση και τη συμπλήρωση των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών μιας λεκάνης απορροής το μέσο βροχομετρικό ύψος της λεκάνης απορροής μπορεί να υπολογισθεί με τους ακόλουθους τρόπους (Τσακίρης, 1995):

- (1) Αριθμητικός μέσος όρος παρατηρήσεων των σημειακών βροχομετρικών υψών των σταθμών της λεκάνης απορροής. Η χρήση του αριθμητικού μέσου όρου προϋποθέτει την ύπαρξη πολλών σταθμών και την ομοιόμορφη κατανομή τους στη λεκάνη και σπάνια χρησιμοποιείται.
- (2) Πολύγωνα Thiessen. Η μέθοδος χρησιμοποιεί τον παράγοντα βάρους που αντιστοιχεί στα εμβαδά των πολυγώνων (περιοχών) επηρεασμού κάθε σταθμού όπως προκύπτει με τη χάραξη των μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους. Σύμφωνα με τη μέθοδο, το μέσο βροχομετρικό ύψος μιας λεκάνης P_0 δίνεται από την εξίσωση:

$$P_0 = \frac{\sum A_i P_i}{A} = \sum \left(\frac{A_i}{A} \cdot P_i \right) \quad (5.6)$$

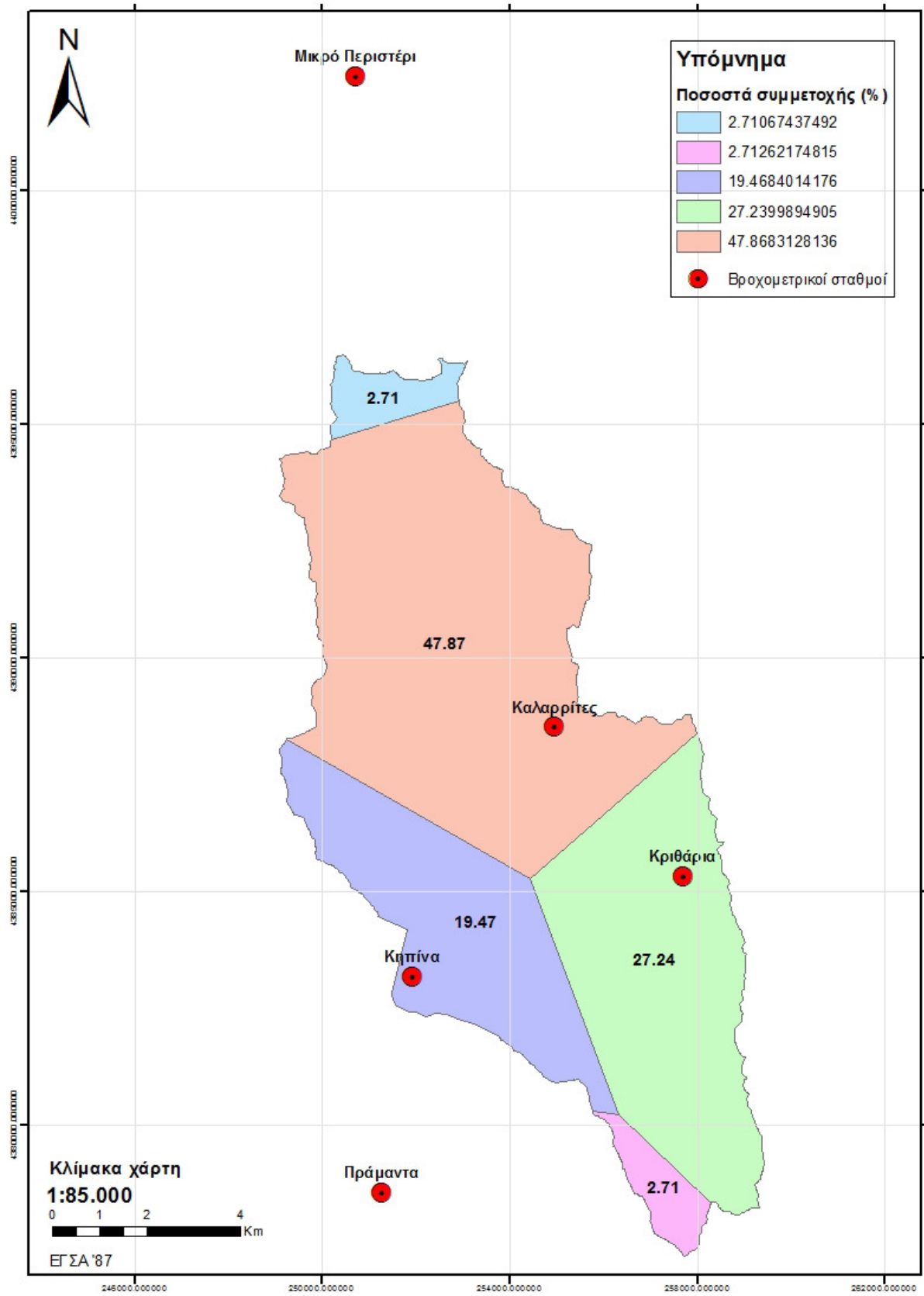
Όπου: P_0 μέσο βροχομετρικό ύψος λεκάνης
 A_i εμβαδά πολυγώνων επηρεασμού
 A εμβαδόν λεκάνης απορροής
 P_i βροχομετρικό ύψος σταθμών

- (3) Ισοϋέτιες ή ισόβροχες καμπύλες. Οι ισοϋέτιες καμπύλες φέρονται με αντίστοιχες μεθοδολογίες όπως και οι ισοϋψείς καμπύλες στην τοπογραφία. Η μέθοδος είναι ακριβέστερη των δύο προηγούμενων, προϋποθέτει όμως την ύπαρξη αρκετών σταθμών και τη γνώση της περιοχής ώστε να μην εξομαλύνονται ανωμαλίες στα χαρακτηριστικά της βροχής που προκαλούνται από τοπικά αίτια.
- (4) Υψομετρική μέθοδος. Η μέθοδος αυτή προτείνεται από το WMO (WMO, 1975) για μικρές λεκάνες και σημαντικές υψομετρικές διαφορές μεταξύ ανώτατου και κατώτατου σημείου. Βασική ιδέα της μεθόδου είναι η συσχέτιση της κατανομής της βροχής με την υψομετρική καμπύλη της λεκάνης.

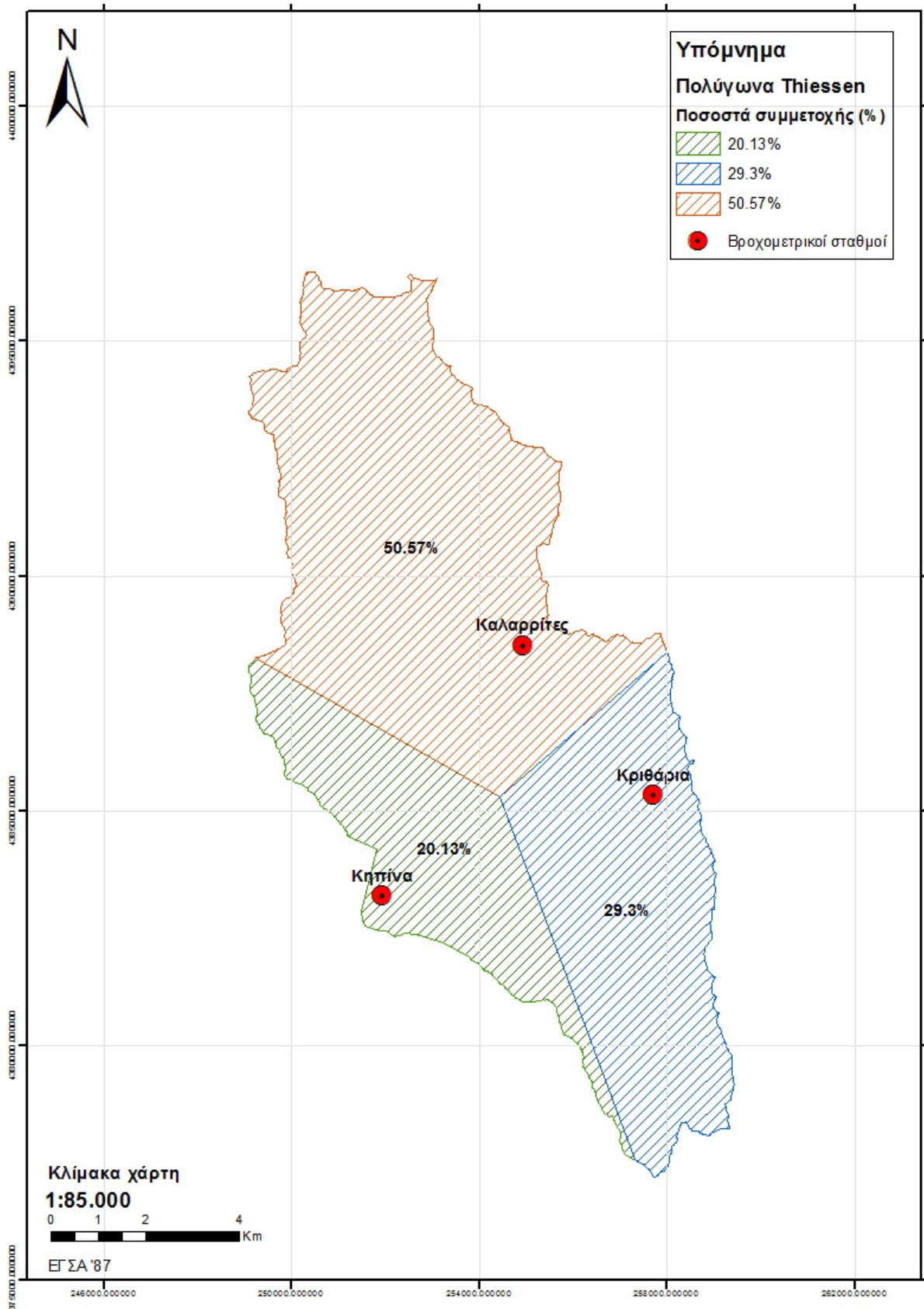
Στην περίπτωση μας επιλέγεται ο προσδιορισμός των μηνιαίων επιφανειακών υψών βροχής με τη μέθοδο Thiessen.

Καταρχάς χαράσσονται οι μεσοκάθετες επί των αποστάσεων των 5 σταθμών μεταξύ τους (Καλαρρίτες, Πράμαντα, Κηπίνα, Μικρό Περιστέρι, Κριθάρια) και εμβαδομετρούνται οι περιοχές επηρεασμού κάθε σταθμού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.20.

Δεδομένου ότι οι σταθμοί Μικρό Περιστέρι και Πράμαντα έχουν ελάχιστη επιρροή (ποσοστό συμμετοχής 2.711% και 2.713% αντίστοιχα), δεν λαμβάνονται υπόψη και εφαρμόζεται εκ νέου η μέθοδος Thiessen με τους άλλους 3 σταθμούς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.21. Οι υπολογισμοί των εμβαδών των εκτάσεων επηρεασμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.31.



Σχήμα 5.12: Εφαρμογή της μέθοδου Thiessen με 5 σταθμούς



Σχήμα 5.21: Εφαρμογή της μέθοδου Thiessen με 3 σταθμούς

Πίνακας 5.31: Υπολογισμοί εμβαδών για την εφαρμογή της μεθόδου Thiessen με 3 σταθμούς

Σταθμοί	Εμβαδόν έκτασης επηρεασμού (km ²)	Ποσοστό έκτασης επηρεασμού (%)
Καλαρρίτες	52.368717	50.57
Κηπίνα	20.838048	20.13
Κριθάρια	30.33172	29.30
Σύνολο	103.538485	100.00

Το μέσο βροχομετρικό ύψος της λεκάνης (P_0) υπολογίζεται εφαρμόζοντας την εξίσωση 5.6 η οποία για τους 3 σταθμούς παίρνει την μορφή της εξίσωσης 5.7.

$$P_0 = 0.5057 \cdot P_{\text{ΚΑΛ}} + 0.293 \cdot P_{\text{ΚΡΙ}} + 0.2013 \cdot P_{\text{ΚΗΠ}} \quad (5.7)$$

Τα μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.32 όπως υπολογίστηκαν αθροίζοντας τα γινόμενα των μηνιαίων υψών βροχόπτωσης κάθε σταθμού επί το αντίστοιχο ποσοστό έκτασης επηρεασμού του καθενός.

Πίνακας 5.32: Μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχής (mm) με τη μέθοδο Thiessen

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1994-95	241.1	286.1	295.2	210.7	134.7	149.0	115.9	80.6	16.7	99.5	132.6	221.6
1995-96	50.0	215.8	439.2	59.9	199.1	240.8	240.9	100.8	55.7	98.2	74.5	250.7
1996-97	212.8	541.1	327.7	135.0	77.7	94.6	152.8	35.9	57.4	18.8	65.9	11.1
1997-98	387.4	283.5	326.1	215.5	67.9	68.7	96.1	229.0	58.5	44.8	68.1	216.1
1998-99	193.0	391.2	239.0	196.2	234.8	126.2	100.3	65.4	50.6	125.7	45.9	55.6
1999-00	131.3	353.5	497.3	439.5	126.6	102.8	80.0	62.4	45.0	62.3	0.0	59.2
2000-01	110.0	296.5	154.0	118.0	127.9	121.1	145.9	96.2	46.5	3.4	85.5	71.1
2001-02	18.1	226.4	304.3	132.0	32.6	79.6	220.3	81.0	58.4	111.2	110.4	311.6
2002-03	197.9	125.1	214.0	243.1	233.6	12.3	57.9	106.8	78.1	31.6	30.4	101.2
2003-04	588.9	95.2	126.4	334.5	258.6	165.3	126.2	171.7	116.0	73.2	14.5	170.1
2004-05	131.1	252.5	262.3	298.8	410.8	146.3	109.2	71.8	136.8	23.0	17.2	76.2
2005-06	59.4	261.6	658.9	270.7	187.0	307.1	115.5	63.1	95.7	55.1	88.1	185.8
2006-07	66.9	195.9	68.3	174.8	134.1	169.2	103.4	117.1	81.0	2.1	55.2	62.7
2007-08	187.4	447.5	143.1	97.9	25.8	153.3	135.3	56.7	105.9	99.2	17.1	146.6
2008-09	188.4	269.2	239.6	453.4	195.2	422.3	122.9	123.2	128.0	39.0	84.4	30.7
2009-10	318.8	322.5	337.8	255.6	440.0	224.7	77.7	160.2	117.2	106.8	24.2	165.5
2010-11	444.6	677.9	319.4	89.6	76.6	102.5	53.9	118.0	139.4	45.9	26.5	85.8
2011-12	103.8	15.1	266.5	120.5	174.6	119.4	355.2	232.9	33.4	11.6	44.8	87.9
2012-13	359.3	239.0	372.9	449.8	616.7	272.5	74.9	103.7	59.4	30.5	10.0	96.7

Με την ίδια σχέση βαρών επιρροής των πολυγώνων Thiessen μπορεί να υπολογιστεί μια αντίστοιχη σχέση μεταξύ των υψομέτρων της κάθε περιοχής και του (ιδεατού) μέσου υψομέτρου της λεκάνης απορροής (Τσακίρης & Βαγγέλης, 2009). Κατά αναλογία με τα ύψη βροχής, η εξίσωση αυτή είναι:

$$Z_0 = 0.5057 \cdot Z_{\text{ΚΑΛ}} + 0.293 \cdot Z_{\text{ΚΡΙ}} + 0.2013 \cdot Z_{\text{ΚΗΠ}} \quad (5.8)$$

Το μέσο αυτό υψόμετρο δεν είναι το πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης, αλλά ένα ιδεατό μέσο σταθμισμένο υψόμετρο της λεκάνης, το οποίο προκύπτει πολλαπλασιάζοντας τα υψόμετρα των τριών σταθμών επί τα ποσοστά επηρεασμού τους στην έκταση της λεκάνης όπως, αυτά προέκυψαν με τη μέθοδο Thiessen. Είναι απαραίτητο να γίνει διόρθωση των υψών βροχής που υπολογίστηκαν για την υψομετρική διαφορά μεταξύ πραγματικού και ιδεατού υψομέτρου.

Η αναγωγή βροχομετρικών δεδομένων σε διαφορετικό υψόμετρο γίνεται μέσω της βροχοβαθμίδας. Βροχοβαθμίδα είναι η μέση αύξηση του ετήσιου σημειακού βροχομετρικού ύψους ανά 100 m αύξησης του υψομέτρου. Η βροχοβαθμίδα συνήθως προκύπτει για κάθε περιοχή από τη γραφική παράσταση των μέσων ετήσιων βροχομετρικών υψών των βροχομετρικών σταθμών μιας περιοχής σε συνάρτηση με τα υψόμετρα των σταθμών με γραμμική παλινδρόμηση. Η κλίση της ευθείας που προκύπτει από τη γραμμική παλινδρόμηση αποτελεί τη βροχοβαθμίδα.

Συνεπώς η υψομετρική αναγωγή των επιφανειακών υψών βροχής που προέκυψαν με τη μέθοδο Thiessen στο πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης γίνεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$P = P_0 + \beta \cdot \Delta Z \quad (5.9)$$

όπου: P το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανηγμένο στο πραγματικό υψόμετρο της λεκάνης σε mm

β η βροχοβαθμίδα σε mm βροχής/m υψομέτρου

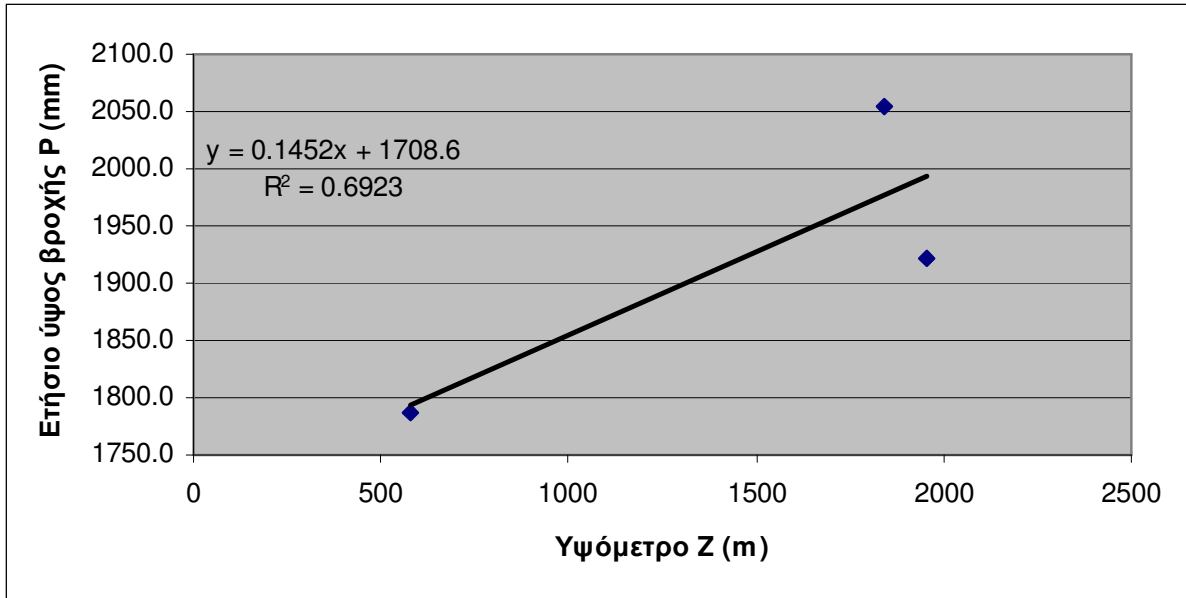
P_0 το μέσο ετήσιο ύψος βροχής που αντιστοιχεί στο ιδεατό μέσο υψόμετρο της λεκάνης σε mm

$\Delta Z = Z - Z_0$ η διαφορά μεταξύ πραγματικού μέσου υψομέτρου της λεκάνης (Z) και ιδεατού μέσου υψομέτρου της λεκάνης (Z_0) σε m

Στην περίπτωση μας: $\Delta Z = Z - Z_0 = 1543.9\text{m} - 1646.0\text{m} = -102.1\text{m}$, και η βροχοβαθμίδα προκύπτει $\beta = 0.145$ mm βροχής / m υψομέτρου, σύμφωνα με τους υπολογισμούς που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.33 και στο Σχήμα 5.22.

Πίνακας 5.33: Δεδομένα υπολογισμού βροχοβαθμίδας στη λεκάνη απορροής

ΒΡΟΧΟΒΑΘΜΙΔΑ mm βροχής / m υψομέτρου		
Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Ετήσιο ύψος βροχής (mm)
ΚΑΛΛΑΡΙΤΕΣ	1957	1922.0
ΚΡΙΘΑΡΙΑ	1843	2053.3
ΚΗΠΙΝΑ	577.8	1786.1



Σχήμα 5.22: Υπολογισμός της βροχοβαθμίδας στη λεκάνη απορροής

Στη συνέχεια ανάγουμε τα μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχής στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής σύμφωνα με τους υπολογισμούς που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.34. Επειδή τον Αύγουστο του 2000 προκύπτει αρνητική τιμή (-1.2mm) την διορθώνουμε εξισώνοντάς την με το μηδέν.

Κατ' αντιστοιχία επεξεργαζόμαστε τις μετρήσεις του μηνιαίου ισοδύναμου ύψους χιονιού. Από τους τρεις σταθμούς που χρησιμοποιούμε τελικά (Καλαρρίτες, Κηπίνα, Κριθάρια), μόνο η Κηπίνα διαθέτει μηνιαία χρονοσειρά χιονιού. Συνεπώς, εφαρμόζοντας την ίδια βροχοβαθμίδα, ανάγουμε την χρονοσειρά από το υψόμετρο του σταθμού Κηπίνα στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης (Πίνακας 35).

Πίνακας 5.34: Μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχής (mm) ανηγμένα στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1994-95	239.8	284.9	294.0	209.5	133.4	147.8	114.6	79.3	15.5	98.2	131.4	220.4
1995-96	48.8	214.6	437.9	58.7	197.9	239.6	239.7	99.6	54.5	96.9	73.3	249.5
1996-97	211.6	539.9	326.5	133.8	76.5	93.4	151.6	34.7	56.2	17.6	64.7	9.8
1997-98	386.1	282.3	324.9	214.3	66.6	67.5	94.9	227.7	57.2	43.5	66.8	214.9
1998-99	191.7	390.0	237.7	195.0	233.5	125.0	99.0	64.2	49.3	124.5	44.6	54.3
1999-00	130.1	352.2	496.1	438.2	125.4	101.5	78.8	61.1	43.8	61.0	0	58.0
2000-01	108.7	295.3	152.8	116.8	126.6	119.8	144.7	94.9	45.3	2.2	84.2	69.9
2001-02	16.9	225.1	303.1	130.8	31.3	78.4	219.1	79.8	57.2	110.0	109.1	310.3
2002-03	196.7	123.9	212.7	241.8	232.3	11.0	56.6	105.6	76.9	30.3	29.2	99.9
2003-04	587.6	94.0	125.2	333.3	257.4	164.1	124.9	170.5	114.8	71.9	13.3	168.9
2004-05	129.9	251.3	261.1	297.6	409.6	145.1	108.0	70.6	135.6	21.8	16.0	75.0
2005-06	58.2	260.3	657.7	269.5	185.8	305.8	114.2	61.9	94.5	53.9	86.8	184.6
2006-07	65.7	194.7	67.1	173.5	132.9	168.0	102.2	115.9	79.8	0.9	53.9	61.5
2007-08	186.2	446.3	141.9	96.6	24.6	152.1	134.0	55.4	104.7	97.9	15.9	145.3
2008-09	187.1	268.0	238.3	452.2	194.0	421.0	121.7	122.0	126.8	37.7	83.2	29.5
2009-10	317.6	321.3	336.6	254.4	438.8	223.4	76.4	159.0	116.0	105.6	22.9	164.3
2010-11	443.4	676.7	318.2	88.4	75.4	101.3	52.6	116.7	138.2	44.7	25.3	84.6
2011-12	102.6	13.9	265.2	119.3	173.4	118.1	354.0	231.7	32.1	10.4	43.6	86.7
2012-13	358.1	237.8	371.7	448.5	615.5	271.2	73.6	102.5	58.2	29.2	8.8	95.5

Πίνακας 5.35: Μηνιαίο ισοδύναμο ύψος χιονιού (mm) ανηγμένο στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1994-95				158.7								
1995-96					154.3	165.3						
1996-97												
1997-98												
1998-99				144.5	149.3							
1999-00				143.4								
2000-01												
2001-02			155.2									
2002-03												
2003-04				156.5								
2004-05				202.5	174.5							
2005-06				148.4								
2006-07												
2007-08												
2008-09					155.3							
2009-10												
2010-11				147.3								
2011-12												
2012-13												
2013-14												

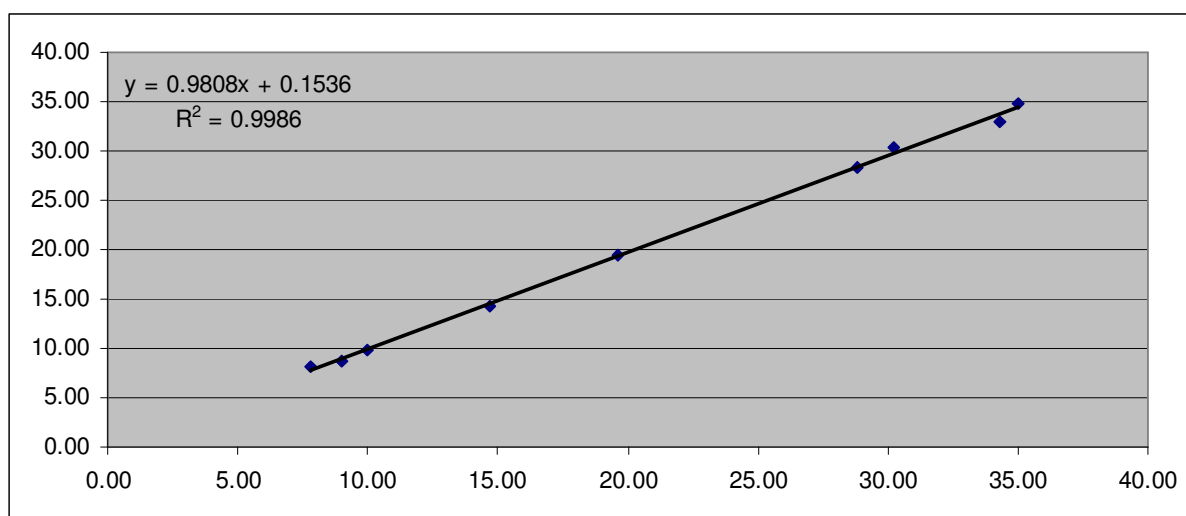
5.3.3 Επεξεργασία χρονοσειράς θερμοκρασιών

Αρχικά, συμπληρώνουμε τις μηνιαίες θερμοκρασίες (μέγιστες, ελάχιστες) που λείπουν από τον μετεωρολογικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Λίμνη Ιωαννίνων (Πίνακας 5.10) ως εξής:

- (1) Αξιοποιούμε τις μηνιαίες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες του αντίστοιχου μετεωρολογικού σταθμού Ιωαννίνων του Ε.Α.Α. (του οποίου η λειτουργία άρχισε τον Δεκέμβρη του 2006) για την συμπλήρωση των ελλειπουσών μετρήσεων Μαρτίου, Απριλίου και Μαΐου 2012 της Δ.Ε.Η. Α.Ε., εφαρμόζοντας τη μέθοδο γραμμικής παλινδρόμησης (Τσακίρης & Βαγγέλης, 2009) στους υπόλοιπους μήνες του υδρολογικού έτους 2011-2012 (Πίνακας 5.24). Οι υπολογισμοί παρουσιάζονται για τις μηνιαίες μέγιστες θερμοκρασίες στον Πίνακα 5.36 και στο Σχήμα 5.23 και για τις μηνιαίες ελάχιστες θερμοκρασίες στον Πίνακα 5.37 και στο Σχήμα 5.24 όπου X ο σταθμός Ιωαννίνων του Ε.Α.Α. και Y ο σταθμός Ιωαννίνων της Δ.Ε.Η. Α.Ε..

Πίνακας 5.36: Υπολογισμοί για την γραμμική παλινδρόμηση στις μηνιαίες μέγιστες θερμοκρασίες

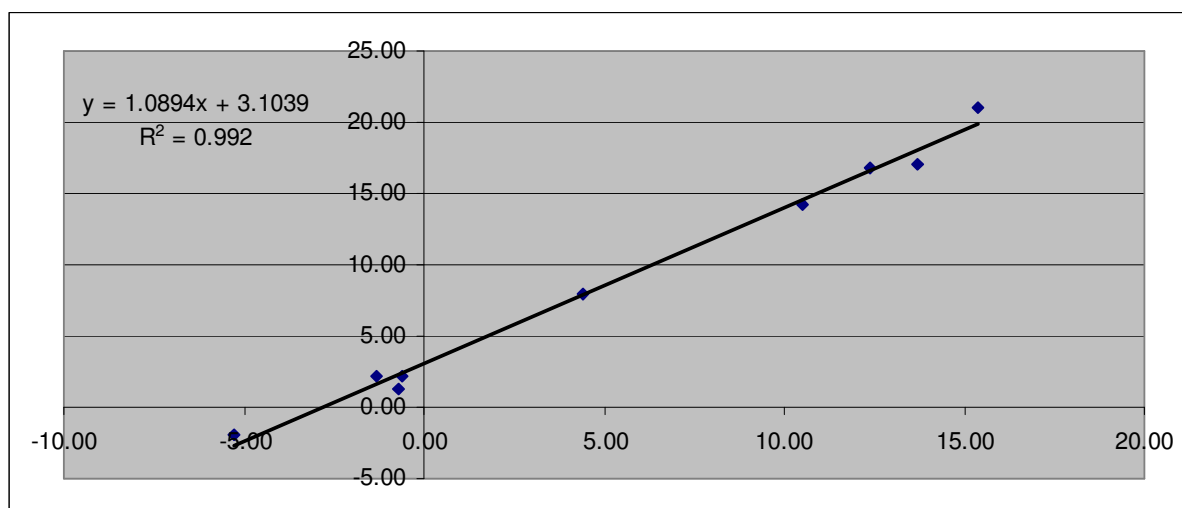
max T	X	Y	XY	X ²	Y ²
ΟΚΤ	19.60	19.52	382.592	384.16	381.0304
ΝΟΕ	14.70	14.30	210.21	216.09	204.4900
ΔΕΚ	10.00	9.89	98.9	100.00	97.8121
ΙΑΝ	7.80	8.14	63.492	60.84	66.2596
ΦΕΒ	9.00	8.75	78.75	81.00	76.5625
ΙΟΥΝ	30.20	30.39	917.778	912.04	923.5521
ΙΟΥΛ	35.00	34.79	1217.65	1225.00	1210.3441
ΑΥΓ	34.30	33.04	1133.272	1176.49	1091.6416
ΣΕΠ	28.80	28.33	815.904	829.44	802.5889
r(X,Y) =	0.999	r ² =	0.999	r _c =	0.667



Σχήμα 5.13: Διάγραμμα και εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης στις μηνιαίες μέγιστες θερμοκρασίες

Πίνακας 5.37: Υπολογισμοί για την γραμμική παλινδρόμηση στις μηνιαίες ελάχιστες θερμοκρασίες

min T	X	Y	XY	X ²	Y ²
ΟΚΤ	4.40	7.96	35.024	19.36	63.3616
ΝΟΕ	-1.30	2.20	-2.86	1.69	4.8400
ΔΕΚ	-0.60	2.14	-1.284	0.36	4.5796
ΙΑΝ	-5.30	-1.93	10.229	28.09	3.7249
ΦΕΒ	-0.70	1.28	-0.896	0.49	1.6384
ΙΟΥΝ	12.40	16.82	208.568	153.76	282.9124
ΙΟΥΛ	15.40	21.04	324.016	237.16	442.6816
ΑΥΓ	13.70	17.00	232.9	187.69	289.0000
ΣΕΠ	10.50	14.26	149.73	110.25	203.3476
r(X,Y) =	0.996	r ² =	0.992	r _c =	0.667



Σχήμα 5.24: Διάγραμμα και εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης στις μηνιαίες ελάχιστες θερμοκρασίες

Δεδομένου ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι και στις δύο περιπτώσεις μεγαλύτερος από την κρίσιμη τιμή, η συσχέτιση είναι στατιστικά σημαντική. Συνεπώς εφαρμόζουμε τις εξισώσεις της γραμμικής παλινδρόμησης για την συμπλήρωση των ελλειπουσών μετρήσεων Μαρτίου, Απριλίου και Μαΐου 2012.

- (2) Λόγω έλλειψης μετεωρολογικών δεδομένων από άλλους σταθμούς για την ίδια χρονική περίοδο, οι παρατηρήσεις των θερμοκρασιών του Οκτώβρη του 2001 και του Ιουλίου του 1995 συμπληρώνονται με υπολογισμό του μέσου όρου των αντίστοιχων τιμών θερμοκρασίας των υπόλοιπων ετών για τους μήνες Οκτώβρη και Ιουλίου αντίστοιχα.

Προκύπτει ο συμπληρωμένος Πίνακας θερμοκρασιών 5.38.

Πίνακας 5.38: Συμπληρωμένες μετρήσεις θερμοκρασίας (μέγιστες, ελάχιστες) του μετεωρολογικού σταθμού της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Λίμνη Ιωαννίνων

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ		Φορέας		Χ(m)		Υ(m)		Ζ(m)			
	Λίμνη Ιωαννίνων		ΔΕΗ		230899.85		4393837.69		468			
Υδρολογικό έτος	Οκτ		Νοε		Δεκ		Ιαν		Φεβ		Μαρ	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1994-95	21.77	10.32	17.2	5.46	11.25	-0.17	9.36	1.31	13.78	3.45	13.58	4.34
1995-96	21.4	9.63	12.03	3.45	11.58	5.48	10.46	2.36	10.18	3.52	10.96	3.61
1996-97	18.43	9.06	15.16	5.63	11.32	3.83	12	1.74	11.51	1.33	13.51	3.31
1997-98	20.03	8.29	15.87	6.77	9.74	3.78	12.03	2.23	14.37	2.74	12.67	1
1998-99	21.1	9.1	14.93	5.21	9.17	1.21	12	0.83	8.04	0.79	14.17	5.2
1999-00	24.78	10.65	16.33	6.71	12.4	4.6	8.48	-1.2	10.49	2.62	13.45	3.52
2000-01	22.61	10.61	18.07	8.2	11.65	3.13	10.37	4.5	11.39	3.68	17.32	8.03
2001-02	21.16	10.05	14.93	5.3	7.54	1	8.83	-0.03	13.64	3.71	17.2	5.73
2002-03	19.97	9.48	16.33	7.13	9.93	4.46	11.17	4.3	7.15	-0.56	13.43	3.2
2003-04	20.9	11.29	16.27	8.87	10.87	3.1	8.13	1.13	10.66	2.45	13.1	5.42
2004-05	22.57	12	15.5	6.3	12.47	4.95	8.38	1.21	6.93	0.29	13.26	4.94
2005-06	20.39	9.1	14.17	4.86	9.74	3.65	7.1	-0.35	9.15	1.15	12.03	4.94
2006-07	22.22	11.64	13.61	3.22	11.31	1.45	10.89	1.67	11.52	3.7	14.23	5.47
2007-08	21.07	9.61	13.59	6.45	9.72	1.48	10.08	0.41	10.73	1.31	14.17	6.38
2008-09	20.75	9.57	16.61	7.5	10.24	3.17	9.76	3.97	8.56	1.54	12.2	3.17
2009-10	20.59	9.81	14.86	4.36	13.22	5.07	10.07	2.62	10.24	2.43	14.79	5.07
2010-11	19.11	9.96	17.76	9.12	11.79	3.79	10.07	1.52	13.23	2.32	13.44	2.93
2011-12	19.52	7.96	14.3	2.2	9.89	2.14	8.14	-1.93	8.75	1.28	16.63	3.87
2012-13	23.6	12.8	18	6.2	10.62	0.85	11.15	1.74	11.13	1.83	14.79	5.72

Πίνακας 5.38 (συνέχεια): Συμπληρωμένες μετρήσεις θερμοκρασίας (μέγιστες, ελάχιστες) του μετεωρολογικού σταθμού της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Λίμνη Ιωαννίνων (συνέχεια)

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ		Φορέας		X(m)		Y(m)		Z(m)			
	Λίμνη Ιωαννίνων		ΔΕΗ		230899.85		4393837.69		468			
Υδρολογικό έτος	Απρ		Μαϊ		Ιουν		Ιουλ		Αυγ		Σεπ	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1994-95	15.58	5.55	21.96	10.06	27.66	13.86	31.72	17.19	28.74	16.33	23.6	13.2
1995-96	15.24	6.2	22.78	13.5	26.42	14.78	30.19	16.03	30.64	16.67	23.1	12.86
1996-97	13.21	2.92	23.81	12.29	29.33	14.9	31.32	15.74	27.58	14.71	26.4	13.57
1997-98	19.1	6.1	21.61	11.1	27	14.9	32.45	16.48	32.75	18.34	24.03	12.83
1998-99	17.14	7.1	24.71	12.65	29.5	14	31.32	17.13	33.68	16.23	25.84	14.37
1999-00	20.07	9.61	25.2	11.74	30.33	14.6	32.65	15.9	33.68	16.23	27.44	13.61
2000-01	18.23	4.81	24.07	11.5	28.1	14	32.19	17.13	32.52	17.81	25.69	12.31
2001-02	15.97	8.43	23.03	11.69	28.57	15.97	31.52	17.68	28	16.73	23.5	15.33
2002-03	15.83	6.52	26.74	14.19	30.43	17.73	32.84	18.71	32.29	19.26	25.83	13.1
2003-04	17.37	9.83	20.61	10.84	27.1	15.57	31.74	17.9	31.03	17.13	26.63	13.97
2004-05	16.77	7	23.71	12.29	26.53	14.63	30.96	17.21	30.63	16.4	26.13	14.77
2005-06	18.59	8.72	23.79	11.79	26.8	14.73	29.52	17.61	30.46	16.78	26.24	13.83
2006-07	18.93	8.28	23.2	12.63	29	15.29	33.96	17.59	32.56	18.04	26.63	12.63
2007-08	18.52	7.44	23.66	11.69	27.59	15.63	30.83	16.97	33.71	17.61	25.56	14.04
2008-09	19	8.52	24.57	12.18	27.32	14.71	31.75	17.89	30.47	17.29	25.57	14.39
2009-10	19.73	7.8	23.52	10.1	27.04	14.84	30.57	17.07	33.72	16.66	25.89	13.46
2010-11	19.72	8.28	22.68	11.6	28.34	14	31.29	15.04	33.08	17.92	30.73	15.41
2011-12	18.10	8.77	22.32	12.15	30.39	16.82	34.79	21.04	33.04	17	28.33	14.26
2012-13	20.86	7.83	26.11	12.67	28.76	13.9	31.04	16.3	33.21	17.79	27.14	13.71

Στη συνέχεια γίνεται η υψομετρική αναγωγή των θερμοκρασιών από το υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Λίμνη Ιωαννίνων ($Z_0=468$ m) στο πραγματικό μέσο υψόμετρο της λεκάνης ($Z=1543.9$ m) με τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας.

$$T = T_0 + \theta \cdot \Delta Z \quad (5.10)$$

όπου: T η θερμοκρασία στο πραγματικό υψόμετρο της λεκάνης σε $^{\circ}\text{C}$

θ η θερμοβαθμίδα σε $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ υψομέτρου

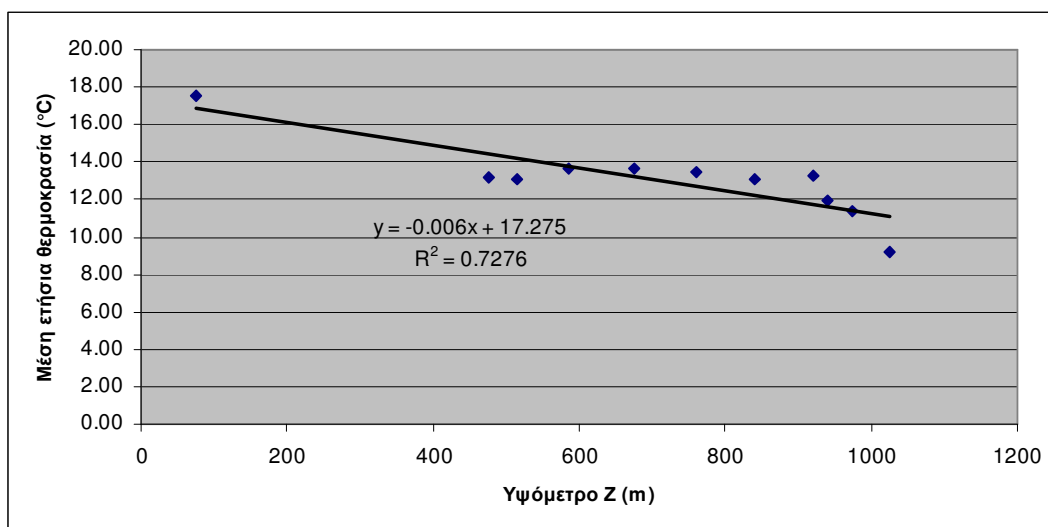
T_0 η θερμοκρασία στο υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Λίμνη Ιωαννίνων σε $^{\circ}\text{C}$

$\Delta Z=Z-Z_0$ η διαφορά μεταξύ πραγματικού μέσου υψομέτρου της λεκάνης (Z) και υψομέτρου του μετεωρολογικού σταθμού (Z_0) σε m

Στην περίπτωση μας για τον υπολογισμό της θερμοβαθμίδας χρησιμοποιήσαμε τις μέσες ετήσιες θερμοκρασίες 11 διαθέσιμων μετεωρολογικών σταθμών του Ε.Α.Α. (βλ. πίνακες 5.8-5.18), όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.39. Εξαιρέθηκαν οι σταθμοί Περτούλι και Μέτσοβο, λόγω του ότι είχαν δεδομένα μόνο για ένα έτος (πίνακες 5.22-5.23).

Πίνακας 5.39: Δεδομένα υπολογισμού θερμοβαθμίδας στη λεκάνη απορροής

ΣΤΑΘΜΟΣ	Υψόμετρο (m)	Μέση ετήσια θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)
ΚΟΜΠΟΤΙ ΑΡΤΑΣ	75	17.50
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	475	13.17
ΑΓ. ΚΥΡΙΑΚΗ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	515	13.08
ΔΕΡΒΙΖΙΑΝΑ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	585	13.65
ΔΩΔΩΝΗ	675	13.63
ΒΟΥΛΓΑΡΕΛΙ ΑΡΤΑΣ	760	13.48
ΠΡΑΜΑΝΤΑ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	840	13.03
ΚΑΤΑΡΡΑΚΤΗΣ ΑΡΤΑΣ	920	13.30
ΤΡΙΣΤΕΝΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	940	11.90
ΘΕΟΔΩΡΙΑΝΑ ΑΡΤΑΣ	974	11.38
ΒΩΒΟΥΣΑ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	1024	9.23



Σχήμα 5.25: Υπολογισμός της θερμοβαθμίδας στη λεκάνη απορροής

Συνεπώς η θερμοβαθμίδα είναι $\theta = -0.006 \text{ }^\circ\text{C/m}$ υψομέτρου (Σχήμα 5.25) και με την τιμή αυτή ανάγουμε τις μέγιστες και τις ελάχιστες θερμοκρασίες του Πίνακα 5.38 στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής οπότε προκύπτει ο Πίνακας 5.40.

Οι μέσες θερμοκρασίες υπολογίζονται στον Πίνακα 5.41 ως μέσες τιμές των μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών του Πίνακα 5.40.

Πίνακας 5.40: Ανηγγόμενες μετρήσεις μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας (°C) στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής

Υδρολογικό έτος	Οκτ		Νοε		Δεκ		Ιαν		Φεβ		Μαρ	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1994-95	15.31	3.86	10.74	-1.00	4.79	-6.63	2.90	-5.15	7.32	-3.01	7.12	-2.12
1995-96	14.94	3.17	5.57	-3.01	5.12	-0.98	4.00	-4.10	3.72	-2.94	4.50	-2.85
1996-97	11.97	2.60	8.70	-0.83	4.86	-2.63	5.54	-4.72	5.05	-5.13	7.05	-3.15
1997-98	13.57	1.83	9.41	0.31	3.28	-2.68	5.57	-4.23	7.91	-3.72	6.21	-5.46
1998-99	14.64	2.64	8.47	-1.25	2.71	-5.25	5.54	-5.63	1.58	-5.67	7.71	-1.26
1999-00	18.32	4.19	9.87	0.25	5.94	-1.86	2.02	-7.66	4.03	-3.84	6.99	-2.94
2000-01	16.15	4.15	11.61	1.74	5.19	-3.33	3.91	-1.96	4.93	-2.78	10.86	1.57
2001-02	14.70	3.59	8.47	-1.16	1.08	-5.46	2.37	-6.49	7.18	-2.75	10.74	-0.73
2002-03	13.51	3.02	9.87	0.67	3.47	-2.00	4.71	-2.16	0.69	-7.02	6.97	-3.26
2003-04	14.44	4.83	9.81	2.41	4.41	-3.36	1.67	-5.33	4.20	-4.01	6.64	-1.04
2004-05	16.11	5.54	9.04	-0.16	6.01	-1.51	1.92	-5.25	0.47	-6.17	6.80	-1.52
2005-06	13.93	2.64	7.71	-1.60	3.28	-2.81	0.64	-6.81	2.69	-5.31	5.57	-1.52
2006-07	15.76	5.18	7.15	-3.24	4.85	-5.01	4.43	-4.79	5.06	-2.76	7.77	-0.99
2007-08	14.61	3.15	7.13	-0.01	3.26	-4.98	3.62	-6.05	4.27	-5.15	7.71	-0.08
2008-09	14.29	3.11	10.15	1.04	3.78	-3.29	3.30	-2.49	2.10	-4.92	5.74	-3.29
2009-10	14.13	3.35	8.40	-2.10	6.76	-1.39	3.61	-3.84	3.78	-4.03	8.33	-1.39
2010-11	12.65	3.50	11.30	2.66	5.33	-2.67	3.61	-4.94	6.77	-4.14	6.98	-3.53
2011-12	13.06	1.50	7.84	-4.26	3.43	-4.32	1.68	-8.39	2.29	-5.18	10.18	-2.59
2012-13	17.14	6.34	11.54	-0.26	4.16	-5.61	4.69	-4.72	4.67	-4.63	8.33	-0.74

Πίνακας 5.40: Ανηγμένες μετρήσεις μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας (°C) στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (συνέχεια)

Υδρολογικό έτος	Απρ		Μαϊ		Ιουν		Ιουλ		Αυγ		Σεπ	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1994-95	9.12	-0.91	15.50	3.60	21.20	7.40	25.26	10.73	22.28	9.87	17.14	6.74
1995-96	8.78	-0.26	16.32	7.04	19.96	8.32	23.73	9.57	24.18	10.21	16.64	6.40
1996-97	6.75	-3.54	17.35	5.83	22.87	8.44	24.86	9.28	21.12	8.25	19.94	7.11
1997-98	12.64	-0.36	15.15	4.64	20.54	8.44	25.99	10.02	26.29	11.88	17.57	6.37
1998-99	10.68	0.64	18.25	6.19	23.04	7.54	24.86	10.67	27.22	9.77	19.38	7.91
1999-00	13.61	3.15	18.74	5.28	23.87	8.14	26.19	9.44	27.22	9.77	20.98	7.15
2000-01	11.77	-1.65	17.61	5.04	21.64	7.54	25.73	10.67	26.06	11.35	19.23	5.85
2001-02	9.51	1.97	16.57	5.23	22.11	9.51	25.06	11.22	21.54	10.27	17.04	8.87
2002-03	9.37	0.06	20.28	7.73	23.97	11.27	26.38	12.25	25.83	12.80	19.37	6.64
2003-04	10.91	3.37	14.15	4.38	20.64	9.11	25.28	11.44	24.57	10.67	20.17	7.51
2004-05	10.31	0.54	17.25	5.83	20.07	8.17	24.50	10.75	24.17	9.94	19.67	8.31
2005-06	12.13	2.26	17.33	5.33	20.34	8.27	23.06	11.15	24.00	10.32	19.78	7.37
2006-07	12.47	1.82	16.74	6.17	22.54	8.83	27.50	11.13	26.10	11.58	20.17	6.17
2007-08	12.06	0.98	17.20	5.23	21.13	9.17	24.37	10.51	27.25	11.15	19.10	7.58
2008-09	12.54	2.06	18.11	5.72	20.86	8.25	25.29	11.43	24.01	10.83	19.11	7.93
2009-10	13.27	1.34	17.06	3.64	20.58	8.38	24.11	10.61	27.26	10.20	19.43	7.00
2010-11	13.26	1.82	16.22	5.14	21.88	7.54	24.83	8.58	26.62	11.46	24.27	8.95
2011-12	11.65	2.31	15.86	5.69	23.93	10.36	28.33	14.58	26.58	10.54	21.87	7.80
2012-13	14.40	1.37	19.65	6.21	22.30	7.44	24.58	9.84	26.75	11.33	20.68	7.25

Πίνακας 5.41: Μέσες θερμοκρασίες (°C) στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής

Υδρολογικό έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
1994 - 1995	9.59	4.87	-0.92	-1.12	2.16	2.50	4.11	9.55	14.30	18.00	16.08	11.94
1995 - 1996	9.06	1.28	2.07	-0.05	0.39	0.83	4.26	11.68	14.14	16.65	17.20	11.52
1996 - 1997	7.29	3.94	1.12	0.41	-0.04	1.95	1.61	11.59	15.66	17.07	14.69	13.53
1997 - 1998	7.70	4.86	0.30	0.67	2.10	0.38	6.14	9.90	14.49	18.01	19.09	11.97
1998 - 1999	8.64	3.61	-1.27	-0.04	-2.04	3.23	5.66	12.22	15.29	17.77	18.50	13.65
1999 - 2000	11.26	5.06	2.04	-2.82	0.10	2.03	8.38	12.01	16.01	17.82	18.50	14.07
2000 - 2001	10.15	6.68	0.93	0.98	1.08	6.22	5.06	11.33	14.59	18.20	18.71	12.54
2001 - 2002	9.15	3.66	-2.19	-2.06	2.22	5.01	5.74	10.90	15.81	18.14	15.91	12.96
2002 - 2003	8.27	5.27	0.74	1.28	-3.16	1.86	4.72	14.01	17.62	19.32	19.32	13.01
2003 - 2004	9.64	6.11	0.53	-1.83	0.10	2.80	7.14	9.27	14.88	18.36	17.62	13.84
2004 - 2005	10.83	4.44	2.25	-1.66	-2.85	2.64	5.43	11.54	14.12	17.63	17.06	13.99
2005 - 2006	8.29	3.06	0.24	-3.08	-1.31	2.03	7.20	11.33	14.31	17.11	17.16	13.58
2006 - 2007	10.47	1.96	-0.08	-0.18	1.15	3.39	7.15	11.46	15.69	19.32	18.84	13.17
2007 - 2008	8.88	3.56	-0.86	-1.21	-0.44	3.82	6.52	11.22	15.15	17.44	19.20	13.34
2008 - 2009	8.70	5.60	0.25	0.41	-1.41	1.23	7.30	11.92	14.56	18.36	17.42	13.52
2009 - 2010	8.74	3.15	2.69	-0.11	-0.12	3.47	7.31	10.35	14.48	17.36	18.73	13.22
2010 - 2011	8.08	6.98	1.33	-0.66	1.32	1.73	7.54	10.68	14.71	16.71	19.04	16.61
2011 - 2012	7.28	1.79	-0.44	-3.35	-1.44	3.79	6.98	10.78	17.15	21.46	18.56	14.84
2012 - 2013	11.74	5.64	-0.72	-0.01	0.02	3.80	7.89	12.93	14.87	17.21	19.04	13.97

5.3.4 Επεξεργασία χρονοσειράς απορροών

Για τις ανάγκες του μοντέλου BILAN μετατρέπουμε τις μετρημένες παροχές από τον υδρομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Μονή Κηπίνας (Πίνακας 5.9) από m^3/s σε mm (Πίνακας 5.42) ως εξής:

$$Q\left(\frac{\text{mm}}{\text{month}}\right) = Q\left(\frac{\text{m}^3}{\text{sec}}\right) \cdot 1000 \cdot 24 \cdot \text{number of days in month} \cdot 3600 / \text{Area (m}^2\text{)}$$

όπου Area η έκταση της λεκάνης $103,5385 \text{ km}^2 = 103.538.500 \text{ m}^2$

Πίνακας 5.42: Μετρήσεις μέσης μηνιαίας παροχής ποταμού Καλαρρύτεκου από τον υδρομετρικό σταθμό της Δ.Ε.Η. Α.Ε. Μονή Κηπίνας (mm)

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1994 - 95	35.56	224.17	134.18	310.09	175.10	164.38	213.85	313.57	141.71	50.13	52.29	106.36
1995 - 96	73.75	161.47	349.29	153.22	146.88	150.75	230.68	312.53	117.27	65.45	38.94	60.92
1996 - 97	141.75	225.81	323.14	190.31	86.20	95.86	128.87	134.62	26.39	13.28	29.99	29.59
1997 - 98	168.45	185.92	277.23	134.79	212.39	99.80	158.51	190.47	87.59	49.58	31.61	51.98
1998 - 99	127.38	262.72	202.25	82.51	109.38	212.03	231.43	298.23	127.04	63.75	40.64	21.92
1999 - 00	39.41	140.63	271.32	122.29	113.06	204.90	345.78	215.65	121.01	43.93	21.15	14.74
2000 - 01	37.54	85.67	118.14	118.54	99.69	192.67	238.06	174.90	81.55	49.62	36.00	27.49
2001 - 02	23.61	68.58	197.36	144.42	89.22	152.77	243.17	140.89	84.69	53.47	56.89	199.15
2002 - 03	263.68	111.29	163.38	275.57	134.64	95.36	221.11	273.58	104.98	50.06	35.90	32.76
2003 - 04	234.51	160.19	118.67	181.82	154.34	233.86	358.02	301.90	121.32	71.92	55.89	54.46
2004 - 05	154.38	175.75	207.04	137.96	111.12	359.78	328.16	350.29	225.73	82.42	48.74	38.22
2005 - 06	41.17	88.38	415.23	184.38	135.22	318.64	375.25	288.19	131.45	71.61	52.41	60.80
2006 - 07	76.44	114.16	135.75	160.22	140.72	182.43	218.04	175.05	121.15	57.80	39.58	29.01
2007 - 08	47.35	299.46	200.16	121.40	79.70	179.39	198.92	122.04	82.87	44.35	32.69	32.58
2008 - 09	96.96	137.41	299.43	286.00	209.34	180.59	325.27	333.21	160.87	81.85	47.24	35.76

5.3.5 Υπολογισμός χρονοσειράς εξατμισοδιαπνοής

Δεδομένου ότι διαθέτουμε μόνο δεδομένα θερμοκρασίας για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, επιλέγεται η μέθοδος του Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985). Είναι μια εμπειρική μέθοδος εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς, η οποία απαιτεί μόνο θερμοκρασιακά δεδομένα εισόδου, και βασίζεται στην εξίσωση:

$$E_{rc} = 0.0023 \cdot \frac{S_0}{\lambda} \cdot (T_a + 17.8) \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} \quad (5.11)$$

όπου:

E_{rc} η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς σε mm/d

S_0 η εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία σε kJ/(m² d)

λ η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης σε kJ/kg

T_a η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα σε °C

T_{\max} η μέγιστη θερμοκρασία σε °C

T_{\min} η ελάχιστη θερμοκρασία σε °C

Η μέθοδος φαίνεται ότι δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα με σφάλμα της τάξης του 10-15% ή του 1 mm/d (το μεγαλύτερο από τα δύο) και συστήνεται ως μια ανεκτή προσέγγιση για την περίπτωση που τα μόνα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα είναι τα θερμοκρασιακά (Shuttleworth, 1993).

Για την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης λ λαμβάνεται η τυπική τιμή 2.460 kJ/kg (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999).

Για την εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία S_0 λαμβάνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές για το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής ενδιαφέροντος ($\phi = 39^\circ 40'$) όπως δίνονται στον Πίνακα 5.43.

Πίνακας 5.43: Μέσες μηνιαίες τιμές της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολία S_0 σε kJ/(m² d) για γεωγραφικό πλάτος (ϕ) 40° στο Βόρειο Ημισφαίριο (Πηγή: Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999)

$\phi=40^\circ$	Βόρειο Ημισφαίριο
Μήνας	S_0 σε kJ/(m ² d)
Οκτ	22571
Νοε	16488
Δεκ	13755
Ιαν	15156
Φεβ	20092
Μαρ	27198
Απρ	34441
Μαΐ	39564
Ιουν	41711
Ιουλ	40701
Αυγ	36590
Σεπ	30053

Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς σε mm/d υπολογίζεται με την εφαρμογή της εξίσωσης 5.11 στον Πίνακα 5.44.

Στον Πίνακα 5.45 υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς σε mm/μήνα με πολλαπλασιασμό του Πίνακα 5.44 με τον αριθμό των ημερών κάθε μήνα.

Πίνακας 5.44: Εξαμηνιαία διασπορά της καλλιέργειας αναφοράς σε mm/d

Υδρολογικό έτος			Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
1994	-	1995	1.96	1.20	0.73	0.67	1.21	1.57	2.23	3.49	4.65	5.19	4.08	2.70
1995	-	1996	1.94	0.86	0.63	0.72	0.88	1.28	2.14	3.32	4.25	4.93	4.48	2.64
1996	-	1997	1.62	1.03	0.67	0.83	1.06	1.60	2.00	3.69	4.96	5.24	3.99	3.15
1997	-	1998	1.84	1.05	0.57	0.82	1.27	1.58	2.78	3.32	4.38	5.45	4.79	2.80
1998	-	1999	1.93	1.03	0.60	0.84	0.80	1.60	2.39	3.86	5.08	5.10	5.19	2.99
1999	-	2000	2.31	1.09	0.71	0.66	0.94	1.59	2.73	4.05	5.23	5.55	5.19	3.33
2000	-	2001	2.04	1.19	0.70	0.64	0.98	1.86	2.70	3.82	4.74	5.32	4.79	3.12
2001	-	2002	1.90	1.03	0.51	0.66	1.19	1.96	2.08	3.58	4.65	5.09	3.87	2.47
2002	-	2003	1.78	1.08	0.56	0.71	0.76	1.60	2.21	4.17	4.92	5.31	4.58	3.09
2003	-	2004	1.80	1.00	0.66	0.60	0.96	1.45	2.21	3.13	4.33	5.12	4.52	3.16
2004	-	2005	1.96	1.04	0.71	0.61	0.72	1.50	2.34	3.67	4.29	5.00	4.50	3.01
2005	-	2006	1.85	0.98	0.57	0.57	0.88	1.34	2.53	3.73	4.35	4.58	4.42	3.11
2006	-	2007	1.94	0.98	0.72	0.76	1.00	1.60	2.62	3.52	4.84	5.72	4.78	3.26
2007	-	2008	1.91	0.88	0.63	0.73	1.00	1.53	2.61	3.71	4.44	4.99	5.08	2.97
2008	-	2009	1.87	1.09	0.62	0.62	0.82	1.45	2.62	3.87	4.48	5.12	4.37	2.94
2009	-	2010	1.84	1.05	0.75	0.68	0.93	1.69	2.79	3.82	4.40	4.92	5.16	3.07
2010	-	2011	1.65	1.12	0.70	0.71	1.19	1.61	2.76	3.51	4.80	5.29	4.91	3.78
2011	-	2012	1.80	1.05	0.62	0.65	0.84	1.96	2.44	3.37	5.02	5.54	4.98	3.44
2012	-	2013	2.05	1.24	0.69	0.77	1.02	1.65	2.99	4.17	4.91	5.12	4.95	3.27

Πίνακας 5.45: Εξαμνησοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς σε mm/μήνα

Υδρολογικό έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
1994 - 1995	60.63	35.93	22.75	20.79	33.74	48.65	67.03	108.21	139.53	160.97	126.57	80.86
1995 - 1996	60.28	25.85	19.57	22.20	25.58	39.81	64.09	103.00	127.51	152.95	138.73	79.10
1996 - 1997	50.24	31.04	20.64	25.63	29.81	49.73	60.15	114.41	148.70	162.39	123.61	94.60
1997 - 1998	57.17	31.62	17.62	25.41	35.70	48.96	83.40	102.97	131.43	168.82	148.51	84.00
1998 - 1999	59.93	30.88	18.60	26.07	22.32	49.65	71.82	119.57	152.44	158.06	160.81	89.78
1999 - 2000	71.46	32.80	22.10	20.48	27.36	49.26	81.81	125.43	156.88	171.97	160.81	99.91
2000 - 2001	63.35	35.57	21.80	19.99	27.57	57.71	80.92	118.43	142.31	164.83	148.50	93.56
2001 - 2002	58.75	30.80	15.92	20.59	33.18	60.90	62.45	110.84	139.60	157.75	120.01	74.11
2002 - 2003	55.24	32.37	17.29	21.97	21.38	49.57	66.38	129.22	147.70	164.60	142.10	92.66
2003 - 2004	55.65	30.09	20.37	18.57	27.94	45.01	66.17	97.03	129.82	158.71	140.06	94.91
2004 - 2005	60.89	31.20	21.92	18.98	20.27	46.49	70.14	113.71	128.84	154.98	139.46	90.33
2005 - 2006	57.35	29.43	17.75	17.65	24.54	41.62	75.87	115.73	130.51	142.12	137.15	93.18
2006 - 2007	60.17	29.46	22.19	23.51	27.88	49.45	78.66	109.08	145.08	177.17	148.08	97.69
2007 - 2008	59.10	26.40	19.39	22.66	29.03	47.57	78.22	115.13	133.34	154.79	157.47	89.11
2008 - 2009	57.98	32.66	19.13	19.25	22.85	45.08	78.51	119.96	134.44	158.83	135.62	88.29
2009 - 2010	57.02	31.40	23.32	21.21	25.99	52.29	83.78	118.27	131.93	152.42	160.03	92.19
2010 - 2011	51.21	33.69	21.58	22.02	33.22	49.91	82.81	108.73	144.05	164.11	152.14	113.55
2011 - 2012	55.79	31.52	19.27	20.14	24.36	60.82	73.13	104.52	150.62	171.73	154.45	103.20
2012 - 2013	63.52	37.24	21.28	23.97	28.59	51.28	89.58	129.21	147.36	158.58	153.44	98.14

5.4 Εκτέλεση του μοντέλου BILAN

Δεδομένου ότι μετρημένες χρονοσειρές απορροής διαθέτουμε από το υδρολογικό έτος 1994-1995 έως το υδρολογικό έτος 2008-2009, εκτελούμε το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου BILAN (έκδοση 1.7) για την περίοδο αυτή, για την οποία διαθέτουμε επίσης όλες τις άλλες απαραίτητες χρονοσειρές (κατακρημνίσματα, θερμοκρασίες, εξατμισοδιαπνοή).

Η αρχική - κεντρική οθόνη του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7) απεικονίζεται στο Σχήμα 5.26 και περιλαμβάνει 3 ενότητες:

(1) Παράμετροι:

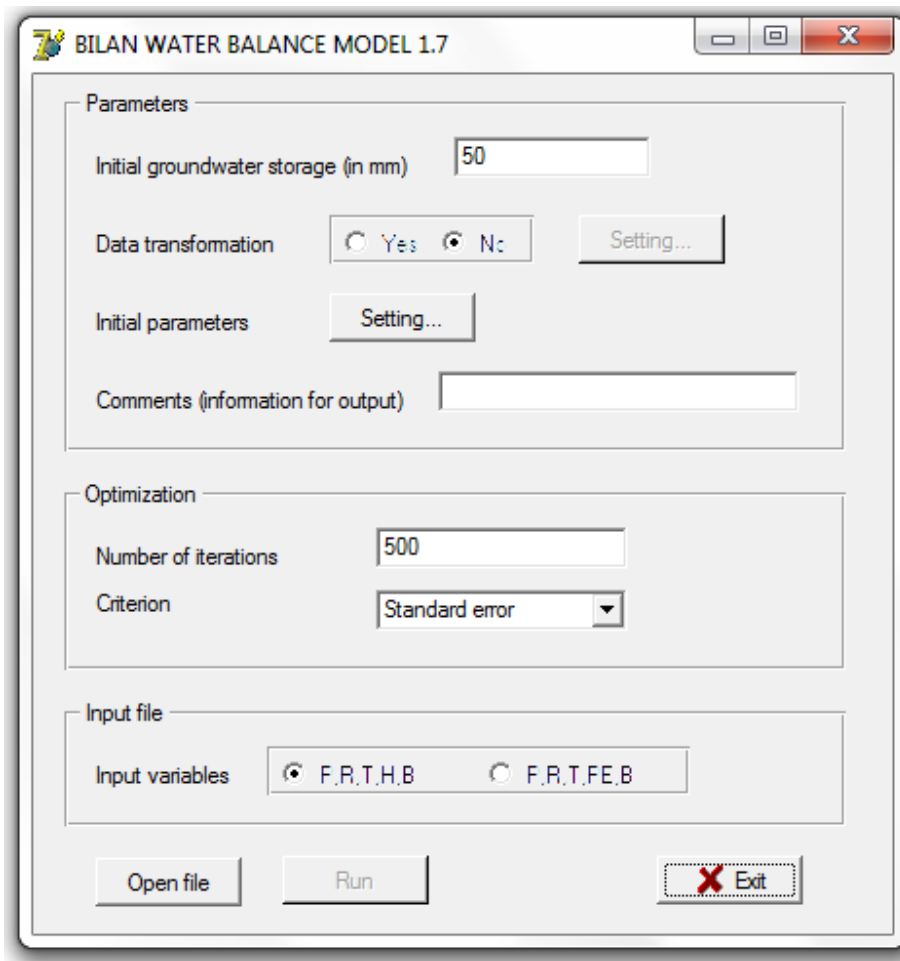
- Αρχικό απόθεμα υπογείων υδάτων (με προκαθορισμένη τιμή 50 mm).
- Μετασηματισμός δεδομένων (με επιλογή ναι ή όχι - στην επιλογή ναι ανοίγει το παράθυρο του Σχήματος 5.27).
- Αρχικές παράμετροι (με δυνατότητα χειροκίνητης εισαγωγής παραμέτρων - ανοίγει το παράθυρο του Σχήματος 5.28).
- Σχόλια (πληροφορίες εξόδου).

(2) Βελτιστοποίηση:

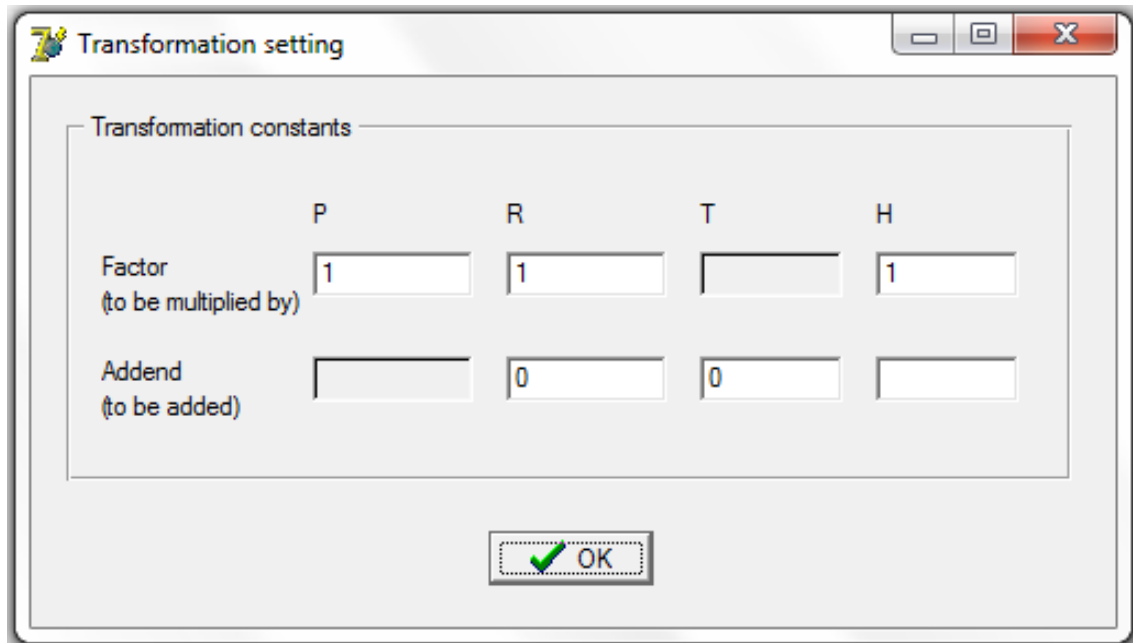
- Αριθμός επαναλήψεων (με προκαθορισμένη τιμή 500).
- Κριτήριο βελτιστοποίησης (με επιλογή τυπικό σφάλμα ή μέσο απόλυτο σφάλμα).

(3) Αρχείο εισόδου:

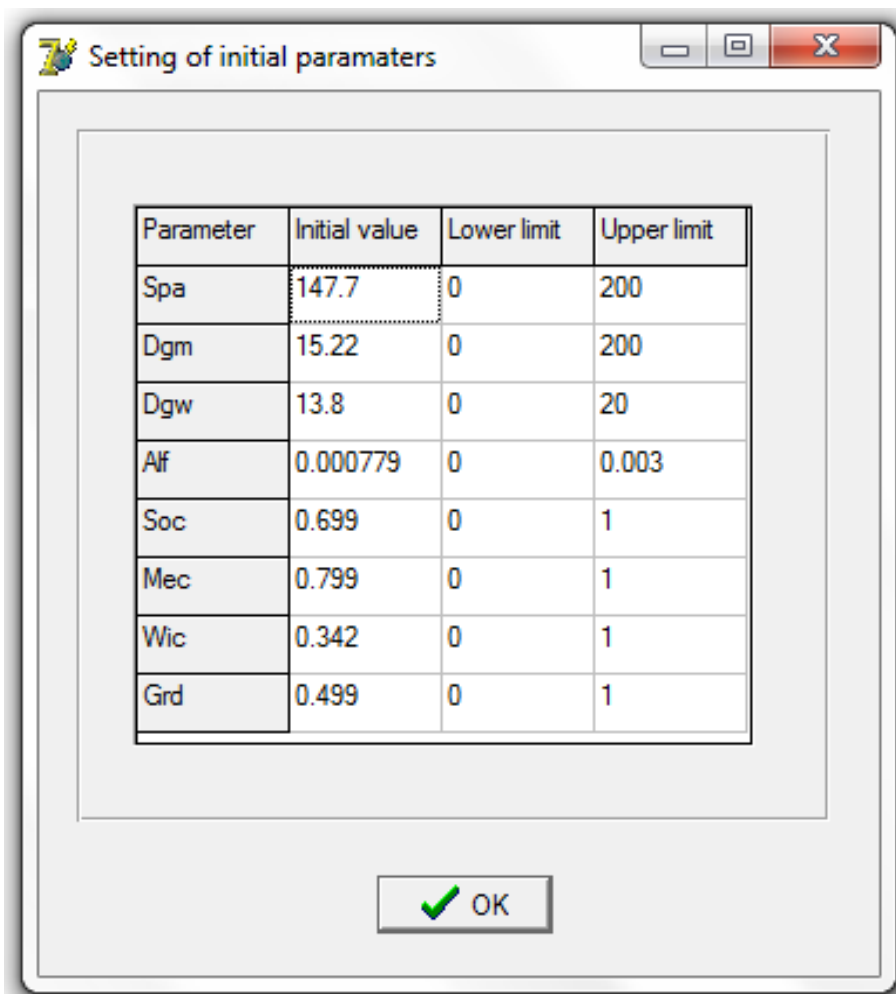
- Μεταβλητές εισόδου (με επιλογή είτε μηνιαίες χρονοσειρές κατακρήμνισης P , απορροής R , θερμοκρασίας αέρα T , σχετικής υγρασίας αέρα H και μιας οποιασδήποτε άλλης πρόσθετης μεταβλητής B , ή αντί της σχετικής υγρασίας αέρα H τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή PE).



Σχήμα 5.14: Αρχική - κεντρική οθόνη του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



Σχήμα 5.27: Παράθυρο μετασχηματισμού δεδομένων του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



Σχήμα 5.28: Παράθυρο αρχικών παραμέτρων του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)

Στην περίπτωσή μας επιλέγουμε πάντα απενεργοποίηση του μετασχηματισμού δεδομένων, κριτήριο βελτιστοποίησης το τυπικό σφάλμα, και μεταβλητές εισόδου τις F.R.T.PE.B. (δεδομένου ότι έχουμε τη χρονοσειρά της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής). Εισάγουμε τις χρονοσειρές των δεδομένων εισόδου για την κοινή χρονική περίοδο 1994-2009.

Η πρώτη εκτέλεση του μοντέλου γίνεται με αρχικό απόθεμα υπογείων υδάτων την προκαθορισμένη τιμή 50 mm, με αρχικές παραμέτρους τις προκαθορισμένες τιμές του Σχήματος 5.40, και με αριθμό επαναλήψεων την προκαθορισμένη τιμή 500.

Κατά την επιλογή του αρχείου δεδομένων εισόδου (Σχήμα 5.29) το μοντέλο εμφανίζει το παράθυρο επικύρωσης του Σχήματος 5.30 που περιλαμβάνει το όνομα του αρχείου, τον αριθμό των μηνών στις χρονοσειρές εισόδου και το επόμενο έτος από το έτος έναρξης της προσομοίωσης (στην περίπτωσή μας 1995), καθώς και στατιστικά στοιχεία για τις χρονοσειρές εισόδου (ετήσια σύνολα και ετήσιες μέσες τιμές).

Μετά το τρέξιμο του μοντέλου ανοίγουν δύο παράθυρα (σχήματα 5.31 και 5.32), το πρώτο με τα συνοπτικά αποτελέσματα (μέσες ετήσιες τιμές χρονοσειρών εισόδου και εξόδου, οι βελτιστοποιημένες τιμές των 8 παραμέτρων του μοντέλου, και η τιμή του κριτηρίου βελτιστοποίησης που ιδανικά πρέπει να τείνει στο μηδέν), και το δεύτερο με επιλογές για την αποθήκευση των χρονοσειρών εισόδου και εξόδου (είτε τα μηνιαία χαρακτηριστικά τους είτε ολόκληρες τις μηνιαίες χρονοσειρές) (Σχήμα 5.33) και την γραφική τους αναπαράσταση αντίστοιχα (Σχήμα 5.34).

Στην περίπτωση μας επιλέγουμε πάντα ολόκληρες τις μηνιαίες χρονοσειρές.

1	2	3	4	5
180				
4				
1995				
237.5	35.56	9.59	60.63	0.000
281.6	224.17	4.87	35.96	0.000
290.2	134.18	-0.92	22.75	0.000
209.4	310.09	-1.12	20.79	158.700
133.4	175.10	2.16	33.74	0.000
147.4	164.38	2.50	48.65	0.000
114.6	213.85	4.11	67.03	0.000
79.3	313.57	9.55	108.21	0.000
15.5	141.71	14.30	139.53	0.000
98.2	50.13	18.00	160.97	0.000
131.4	52.29	16.08	126.57	0.000
220.4	106.36	11.94	80.86	0.000

Σχήμα 5.29: Αρχείο εισόδου του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)

Validation of input data

Info

Input file name:

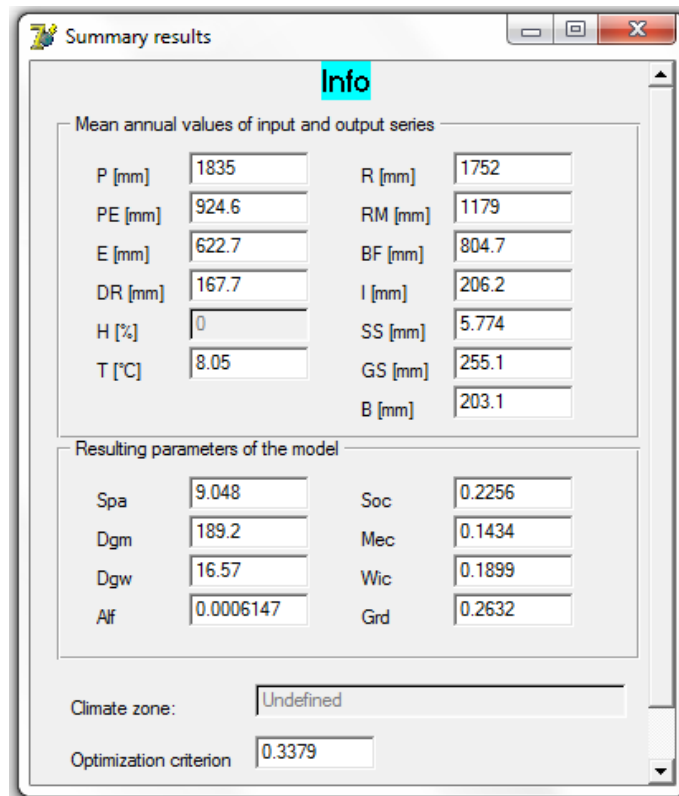
Number of months: Initial year:

Mean annual values of input series

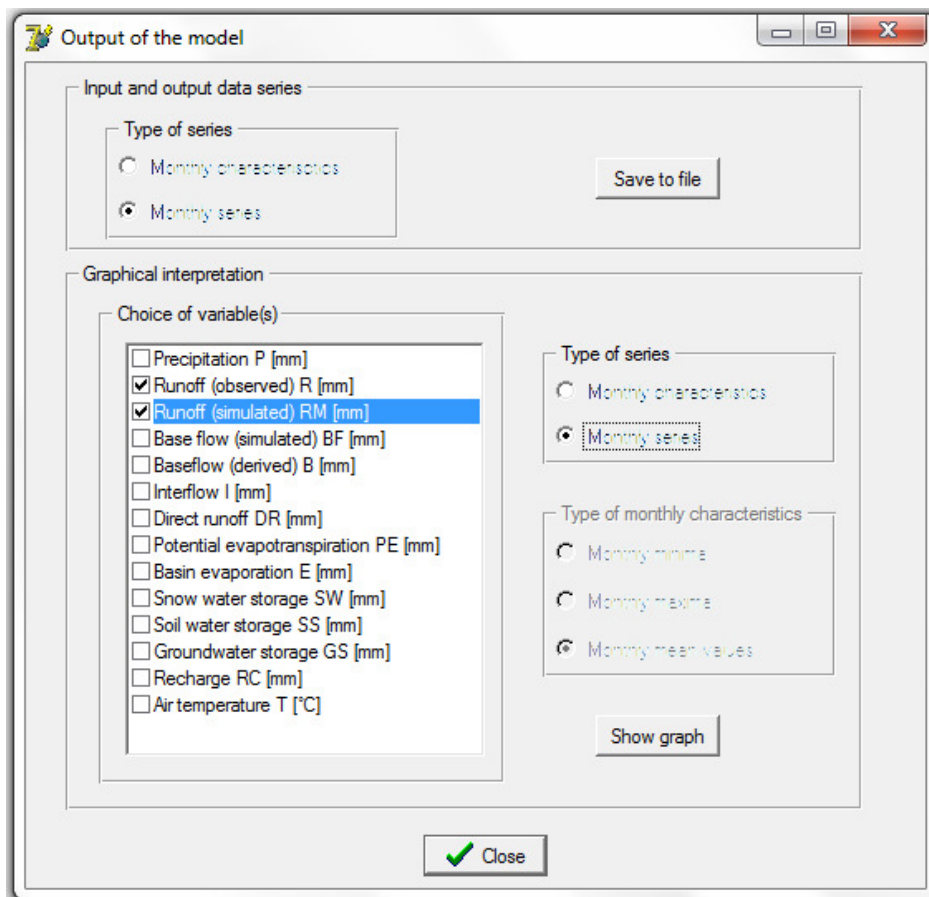
Annual totals		Annual average	
P [mm]	<input type="text" value="1835"/>	H [%]	<input type="text"/>
R [mm]	<input type="text" value="1752"/>	T [°C]	<input type="text" value="8.05"/>
PE [mm]	<input type="text" value="924.6"/>	B [mm]	<input type="text" value="203.1"/>

Confirm

Σχήμα 5.30: Παράθυρο επικύρωσης των δεδομένων εισόδου του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



Σχήμα 5.31: Παράθυρο συνοπτικών αποτελεσμάτων του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



Σχήμα 5.32: Παράθυρο εξόδου του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)

```

File Edit Format View Help
[BILAN model simulation - monthly series]

"Input file name", "D:\dipl\matikh\BILAN\BILAN_program\Tsouni-vroxi+xiioni-a=0.DAT"
"Initial year", 1995
"Number of months", 180
"Initial groundwater storage", 50
"Comments", ""

"Climate zone", "undefined"

"Mean annual values of input and output series"
"P [mm]", "R [mm]", "RM [mm]", "BF [mm]", "I [mm]", "DR [mm]", "PE [mm]", "E [mm]", "SS [mm]", "GS [mm]", "T [°C]", "B [mm]"
1835,1752,1179,804.7,206.2,167.7,924.6,622.7,5.774,255.1,8.05,203.1

"Resulting parameters of the model"
"Spa", "Dgm", "Dgw", "Aif", "soc", "Nec", "wic", "Grd"
9.048,189.2,16.57,0.0006147,0.2256,0.1434,0.1899,0.2632

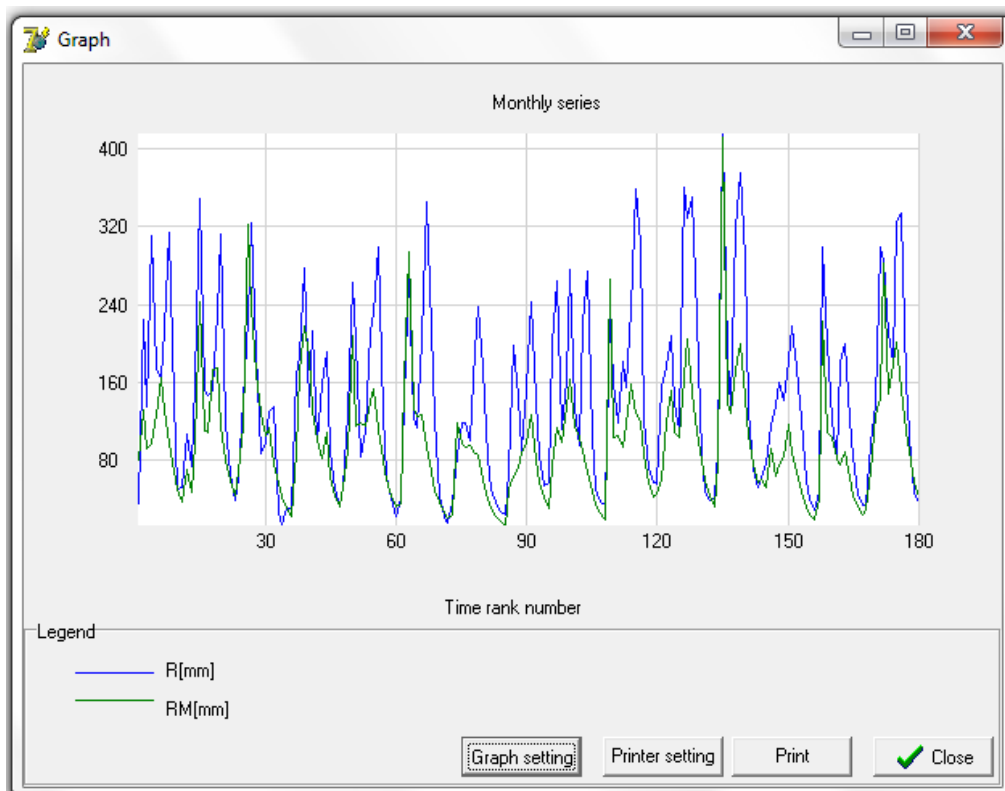
"Optimization criterion"
0.3379

"Monthly time series of output variables"

"Rank number", "Year", "P [mm]", "R [mm]", "RM [mm]", "BF [mm]", "B [mm]", "I [mm]", "DR [mm]", "PE [mm]", "E [mm]", "SW [mm]", "SS [mm]", "GS [mm]", "RC [mm]", "T [°C]"
1,1995,237.5,35.56,79.92,13.16,11.45,32.09,34.67,60.63,60.63,0,9.048,146.9,110.1,9.59
2,1995,281.6,224.2,131.9,38.68,11.89,44.43,48.75,35.96,35.96,0,9.048,260.7,152.5,4.87
3,1995,290.2,134.2,90.91,68.63,13.93,22.28,0,22.75,22.75,150.1,9.048,287.1,95.03,-0.92
4,1995,209.4,310.1,97.23,75.58,13.65,21.65,0,20.79,20.79,224.8,9.048,303.9,92.34,-1.12
5,1995,133.4,175.1,126.5,79.99,12.92,46.51,0,33.74,33.74,0,9.048,501.8,277.9,2.16
6,1995,147.4,164.4,164.7,132.1,13.54,19.27,13.36,48.65,48.65,0,9.048,435.8,66.13,2.5
7,1995,114.6,213.8,131.7,114.7,13.78,8.912,8.073,67.03,67.03,0,9.048,351.7,30.58,4.11
8,1995,79.3,313.6,96.44,92.58,13.38,0,3.866,108.2,84.24,0,0.2417,259.1,0,9.55
9,1995,15.5,141.7,68.21,68.21,12.55,0,0.003945,139.5,15.74,0,2.688E-07,190.9,0,14.3
10,1995,98.2,50.13,50.25,50.25,12.07,0,1.761E-07,161.98,2,0,2.609E-10,140.7,0,18
11,1995,131.4,52.29,37.03,37.03,11.78,0,3.06E-10,126.6,126.6,0,4.83,103.6,0,16.08
12,1995,220.4,106.4,70.16,27.28,11.54,26.94,15.94,80.86,80.86,0,9.048,168.8,92.44,11.94
13,1996,64.73,75.47,22.44,43.11,37.0,2712.2,518.60,28.60,28.0,9.048,125.3,0.9308,9.06
14,1996,214.6,161.5,97.49,32.98,11.31,36.2,28.31,25.85,25.85,0,9.048,216.6,124.2,1.28
15,1996,437.9,349.3,242.7,57.11,66.67,9.117,9.19,57.19,57.0,9.048,392.2,232.7,2.07
16,1996,58.6,153.2,110.2,103.2,12.66,6.913,0,22.2,22.2,0,9.048,318.5,29.49,-0.05
17,1996,197.9,146.9,108.5,83.83,16.79,24.7,0,25.58,25.58,0,9.048,382.2,147.6,0.39
18,1996,239.6,150.8,173,100.6,29.07,37.12,35.29,39.81,39.81,0,9.048,409,127.4,0.83
19,1996,239.7,230.7,174.6,107.7,19.18,31.66,35.32,64.09,64.09,0,9.048,410,108.6,4.26
20,1996,99.6,312.5,114,107.9,15.07,0,6.098,103,99.38,0,3.167,302.1,0,11.68
21,1996,54.5,117.3,80.15,79.51,13.2,0,0.6391,127.5,57.03,0,0.0009233,222.6,0,14.14
22,1996,96.9,65.45,58.38,58.58,12.35,0,0.000589,152.9,96.9,0,1.883E-06,164.0,16.65
23,1996,73.3,38.94,43.16,43.16,11.9,0,6.874E-07,138.7,73.3,0,1.362E-09,120.8,0,17.2
24,1996,249.5,60.92,68.21,31.8,11.65,36.41,5.76E-09,79.1,79.1,0,9.048,214,124.9,11.52
25,1997,211.5,141.8,114,56.32,11.46,30.18,27.5,50.24,50.24,0,9.048,261.2,103.6,7.29
26,1997,539.9,225.8,322.3,68.76,11.34,74.39,179.2,31.04,31.04,0,9.048,447.7,255.3,3.94
27,1997,326.4,323.1,237.6,117.9,11.42,54.21,65.49,20.64,20.64,0,9.048,515.9,186.1,1.12

```

Σχήμα 5.33: Παράθυρο χρονοσειρών εξόδου του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



Σχήμα 5.34 Παράθυρο γραφήματος χρονοσειρών του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)

Από τα αποτελέσματα της πρώτης εκτέλεσης του μοντέλου προκύπτει μεγάλη απόκλιση μεταξύ της παρατηρημένης και προσομοιωμένης απορροής, και υπολογίζεται συντελεστής $NSE = 0.300$, τιμή μη αποδεκτή.

Στη συνέχεια δοκιμάζουμε να διπλασιάσουμε το αρχικό απόθεμα υπογείων υδάτων, οπότε εκτελούμε εκ νέου το μοντέλο με τιμή 100 mm. Υπολογίζεται συντελεστής $NSE = 0.302$, τιμή μη αποδεκτή και πάλι, και χωρίς καμία ουσιαστικά αλλαγή.

Επίσης δοκιμάζουμε να αυξήσουμε τον αριθμό επαναλήψεων του αλγορίθμου βελτιστοποίησης από 500 σε 5000, και εκτελούμε εκ νέου το μοντέλο, και πάλι χωρίς καμία ουσιαστικά βελτίωση, οπότε κρατάμε το 5000.

Παρατηρούμε στο Σχήμα 5.31 ότι η τιμή των μέσων ετήσιων κατακρημνισμάτων είναι $P=1835\text{mm}$ και η τιμή της μετρημένης απορροής είναι $R=1752\text{mm}$, ενώ της προσομοιωμένης απορροής είναι $RM=1179\text{mm}$. Αυτό υποδηλώνει ότι είναι υποεκτιμημένα τα κατακρημνίσματα.

Δοκιμάζουμε εναλλακτικά να τρέξουμε το μοντέλο με δύο εξαμηνιαίες βροχοβαθμίδες για τα κατακρημνίσματα (βροχή + χιόνι), μία για το χειμερινό εξάμηνο (δεδομένα Οκτ – Μαρ) και μία για το θερινό εξάμηνο (Απρ – Σεπ). Αντί για την ενιαία βροχοβαθμίδα $\beta=0.1452\text{ mm βροχής / m υψομέτρου}$ προκύπτει χειμερινή βροχοβαθμίδα $\beta_x=0.1448\text{ mm βροχής / m υψομέτρου}$ και θερινή βροχοβαθμίδα $\beta_\theta=-0.0028\text{ mm βροχής / m υψομέτρου}$. Δεν προκύπτει ουσιαστική βελτίωση με τη λύση αυτή των εποχιακών βροχοβαθμίδων, διότι δεν αυξάνονται σημαντικά τα κατακρημνίσματα.

Συνεπώς αυξάνονται δοκιμαστικά τα μηνιαία ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα κατά ποσοστό υποεκτίμησης α (%) (διαδοχικά 10%, 20%, 30%, 40% και 50%). Ορίζουμε περίοδο βαθμονόμησης Οκτ 1994 - Σεπ 2002 και περίοδο επαλήθευσης Οκτ 2002 - Σεπ 2009 και υπολογίζονται για τις περιόδους αυτές για κάθε α (%) οι συντελεστές NSE , εισάγοντας ως αρχικές παραμέτρους στην επαλήθευση τις βέλτιστες τιμές που προκύπτουν από την βαθμονόμηση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.46, όπου φαίνεται ότι ο καλύτερος συνδυασμός αποτελεσμάτων NSE προκύπτει για $\alpha=30\%$.

Πίνακας 5.46: Υπολογισμός των συντελεστών NSE για ποσοστά υποεκτίμησης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων $\alpha = 0, 10, 20, 30, 40, 50 \%$

Ποσοστό υποεκτίμησης ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων α (%)	NSE στη βαθμονόμηση	NSE στην επαλήθευση
0	0,308	0.351
10	0,424	0.511
20	0,469	0,639
30	0,468	0,707
40	0,411	0,729
50	0,321	0,738

Για κάθε τρέξιμο της περιόδου επαλήθευσης η τιμή του αρχικού αποθέματος υπογείων υδάτων τον πρώτο μήνα (Οκτ 2002) λαμβάνεται ίση με την τιμή του τελευταίου μήνα της περιόδου βαθμονόμησης (Σεπ 2002).

Δοκιμάζουμε για $\alpha=30\%$ να βελτιώσουμε την περίοδο της βαθμονόμησης αλλάζοντας το αρχικό απόθεμα υπογείων υδάτων την 1^η Οκτ 1994 και ξανακάνοντας βαθμονόμηση. Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.47 προκύπτει ότι δεν υπάρχει ουσιαστική αλλαγή, οπότε θεωρούμε αρχικό απόθεμα υπογείων υδάτων 100 mm.

Πίνακας 5.47: Υπολογισμός των συντελεστών NSE για αρχικό απόθεμα υπογείων υδάτων 50, 100, 150, 200, 300, 500 mm

Αρχικό απόθεμα υπογείων υδάτων (mm)	NSE στη βαθμονόμηση	NSE στην επαλήθευση
50	0,471	0,707
100	0,468	0.707
150	0,467	0.707
200	0,463	0.708
300	0,462	0.708
500	0,415	0.709

Κατόπιν για $\alpha=30\%$ και αρχικό απόθεμα υπογείων υδάτων 100mm αντιστρέφουμε την περίοδο της βαθμονόμησης με την περίοδο της επαλήθευσης, και υπολογίζουμε για τις περιόδους αυτές τους συντελεστές NSE. Ορίζουμε δηλαδή περίοδο βαθμονόμησης Οκτ 2002 - Σεπ 2009 και περίοδο επαλήθευσης Οκτ 1994 - Σεπ 2002 και προκύπτουν αντίστοιχα συντελεστές NSE 0.709 και 0.467, στα ίδια επίπεδα και πάλι.

Συνεπώς, για να υπάρξει ουσιαστική βελτίωση, ελέγχουμε και εξαιρούμε από τις περιόδους βαθμονόμησης και επαλήθευσης τους μήνες που παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ της μετρημένης και προσομοιωμένης απορροής, και προκύπτει έτσι η χρονοσειρά απορροών όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.48.

Στη συνέχεια αντικαθιστούμε τα κενά των μετρημένων απορροών R με τις αντίστοιχες τιμές των προσομοιωμένων απορροών RM, οπότε προκύπτει ο Πίνακας 5.49.

Για περίοδο βαθμονόμησης Οκτ 2002 - Σεπ 2009 και περίοδο επαλήθευσης Οκτ 1994 - Σεπ 2002 προκύπτουν αντίστοιχα συντελεστές NSE 0.872 και 0.814, δηλαδή πολύ βελτιωμένες τιμές, οπότε θεωρούμε ικανοποιητική και τελικά αποδεκτή τη λύση αυτή.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

Πίνακας 5.48: Χρονοσειρά απορροών εξαιρουμένων των μηνών με μεγάλη απόκλιση από την προσομοιωμένη απορροή (mm)

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1994 - 95												
1995 - 96	73.75	161.47	349.29	153.22	146.88		230.68		117.27	65.45	38.94	60.92
1996 - 97	141.75		323.14	190.31		95.86	128.87	134.62	26.39	13.28	29.99	29.59
1997 - 98	168.45	185.92	277.23		212.39	99.80	158.51	190.47	87.59	49.58	31.61	51.98
1998 - 99	127.38	262.72	202.25		109.38	212.03	231.43		127.04	63.75	40.64	21.92
1999 - 00	39.41	140.63		122.29	113.06	204.90				43.93	21.15	14.74
2000 - 01	37.54		118.14	118.54	99.69	192.67			81.55	49.62	36.00	27.49
2001 - 02	23.61	68.58		144.42	89.22	152.77		140.89	84.69	53.47	56.89	199.15
2002 - 03		111.29	163.38	275.57	134.64	95.36			104.98	50.06	35.90	32.76
2003 - 04	234.51	160.19	118.67	181.82	154.34	233.86			121.32	71.92	55.89	54.46
2004 - 05	154.38	175.75	207.04	137.96	111.12		328.16		225.73	82.42	48.74	38.22
2005 - 06	41.17	88.38	415.23		135.22	318.64	375.25	288.19	131.45	71.61	52.41	60.80
2006 - 07	76.44	114.16	135.75		140.72	182.43		175.05	121.15	57.80	39.58	29.01
2007 - 08	47.35	299.46	200.16	121.40	79.70	179.39	198.92	122.04	82.87	44.35	32.69	32.58
2008 - 09	96.96	137.41	299.43	286.00	209.34		325.27		160.87	81.85	47.24	35.76

Πίνακας 5.49: Τελική χρονοσειρά απορροών εισόδου (mm)

Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1994 - 95	121.10	196.80	135.50	137.60	175.10	285.50	214.50	142.90	88.97	56.45	42.99	100.70
1995 - 96	73.75	161.47	349.29	153.22	146.88	254.30	230.68	177.40	117.27	65.45	38.94	60.92
1996 - 97	141.75	380.40	323.14	190.31	185.30	95.86	128.87	134.62	26.39	13.28	29.99	29.59
1997 - 98	168.45	185.92	277.23	278.10	212.39	99.80	158.51	190.47	87.59	49.58	31.61	51.98
1998 - 99	127.38	262.72	202.25	156.10	109.38	212.03	231.43	177.50	127.04	63.75	40.64	21.92
1999 - 00	39.41	140.63	367.20	122.29	113.06	204.90	142.90	92.41	57.65	43.93	21.15	14.74
2000 - 01	37.54	143.60	118.14	118.54	99.69	192.67	122.80	86.07	81.55	49.62	36.00	27.49
2001 - 02	23.61	68.58	72.30	144.42	89.22	152.77	187.30	140.89	84.69	53.47	56.89	199.15
2002 - 03	150.20	111.29	163.38	275.57	134.64	95.36	141.50	92.99	104.98	50.06	35.90	32.76
2003 - 04	234.51	160.19	118.67	181.82	154.34	233.86	182.80	160.20	121.32	71.92	55.89	54.46
2004 - 05	154.38	175.75	207.04	137.96	111.12	245.80	328.16	239.30	225.73	82.42	48.74	38.22
2005 - 06	41.17	88.38	415.23	256.40	135.22	318.64	375.25	288.19	131.45	71.61	52.41	60.80
2006 - 07	76.44	114.16	135.75	79.57	140.72	182.43	147.50	175.05	121.15	57.80	39.58	29.01
2007 - 08	47.35	299.46	200.16	121.40	79.70	179.39	198.92	122.04	82.87	44.35	32.69	32.58
2008 - 09	96.96	137.41	299.43	286.00	209.34	285.80	325.27	234.30	160.87	81.85	47.24	35.76

5.5 Αποτελέσματα του μοντέλου BILAN

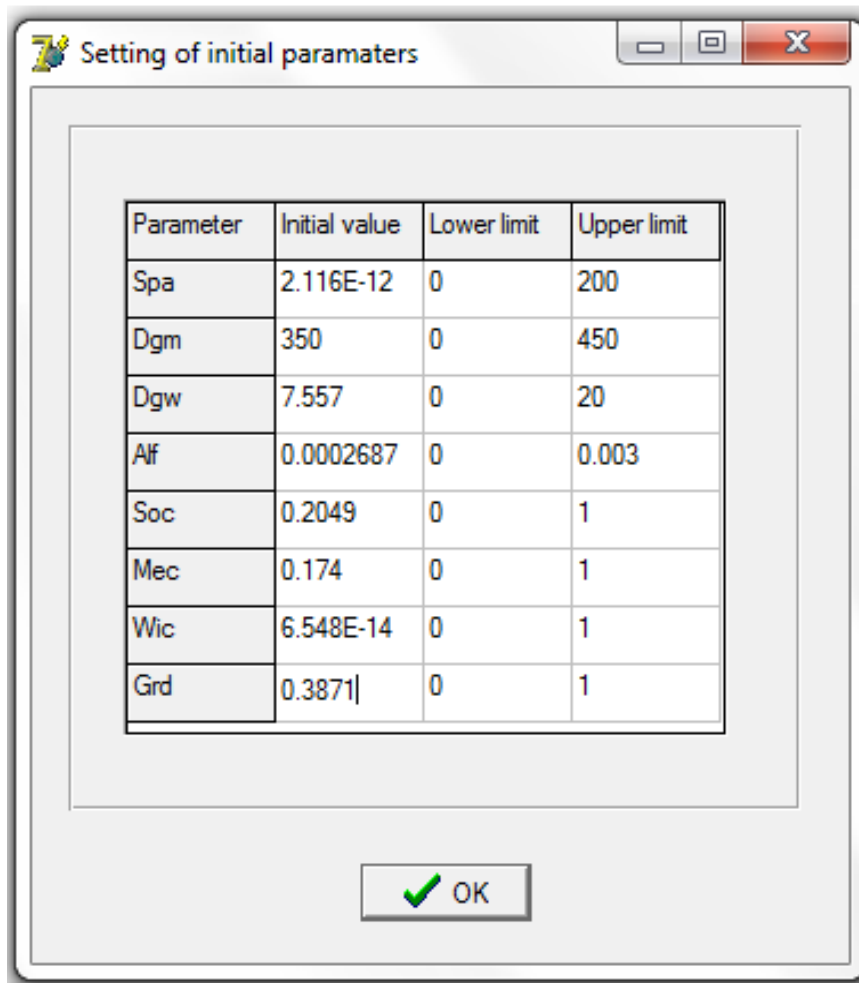
Τα αποτελέσματα της τελικής λύσης του μοντέλου BILAN προκύπτουν συνεπώς για την χρονοσειρά απορροών του Πίνακα 5.49, για περίοδο βαθμονόμησης Οκτ 2002 - Σεπ 2009 και περίοδο επαλήθευσης Οκτ 1994 - Σεπ 2002, με τις παραμέτρους εισόδου των σχημάτων 5.35 και 5.36. Στο Σχήμα 5.37 παρουσιάζεται η επικύρωση των δεδομένων εισόδου, και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 5.38-5.41.

The screenshot shows the main configuration window for the BILAN model. The window is titled "BILAN WATER BALANCE MODEL 1.7". It is divided into three main sections: "Parameters", "Optimization", and "Input file".

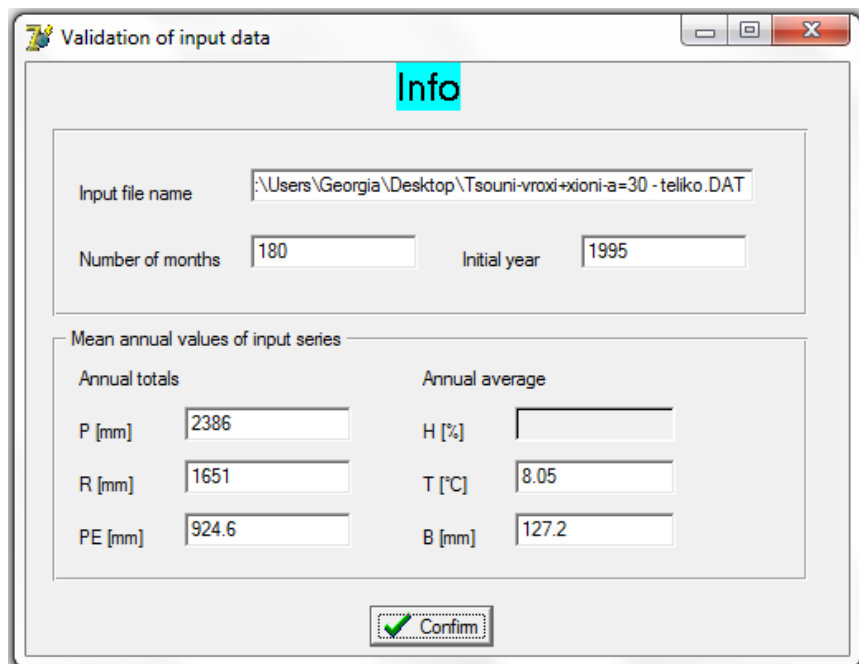
- Parameters:**
 - Initial groundwater storage (in mm): 100
 - Data transformation: Radio buttons for "Yes" and "No", with "No" selected. A "Setting..." button is next to it.
 - Initial parameters: A "Setting..." button.
 - Comments (information for output): An empty text input field.
- Optimization:**
 - Number of iterations: 5000
 - Criterion: A dropdown menu set to "Standard error".
- Input file:**
 - Input variables: Radio buttons for "F,R,T,H,B" and "F,R,T,FE,B", with "F,R,T,FE,B" selected.

At the bottom of the window, there are three buttons: "Open file" (with a dotted border), "Run", and "Exit" (with a red 'X' icon).

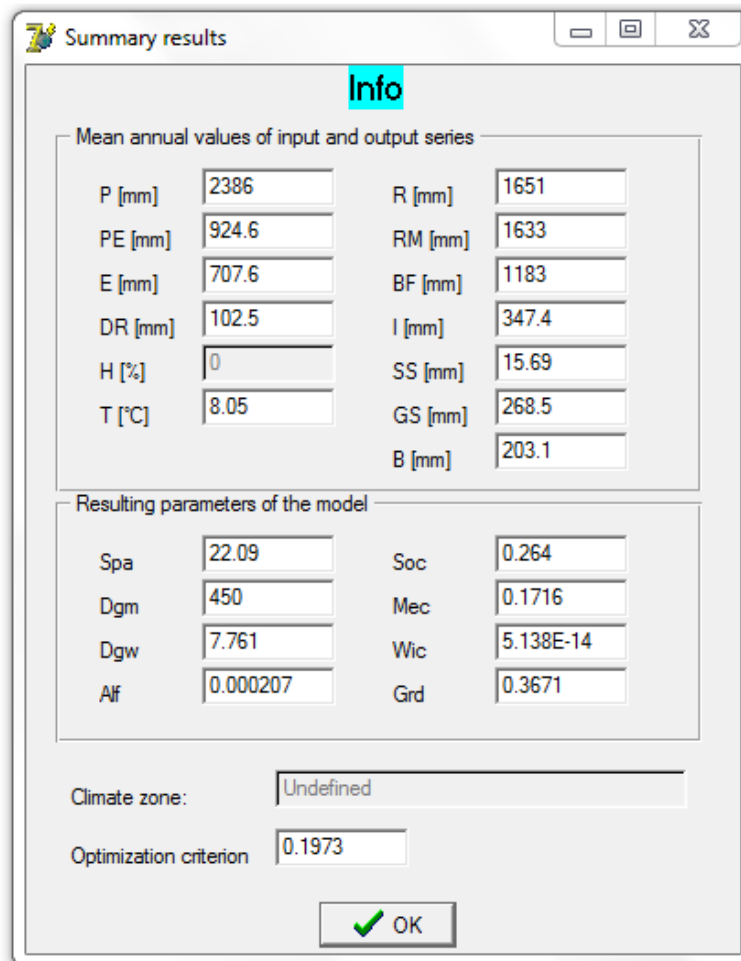
Σχήμα 5.35: Αρχική - κεντρική οθόνη της τελικής λύσης του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



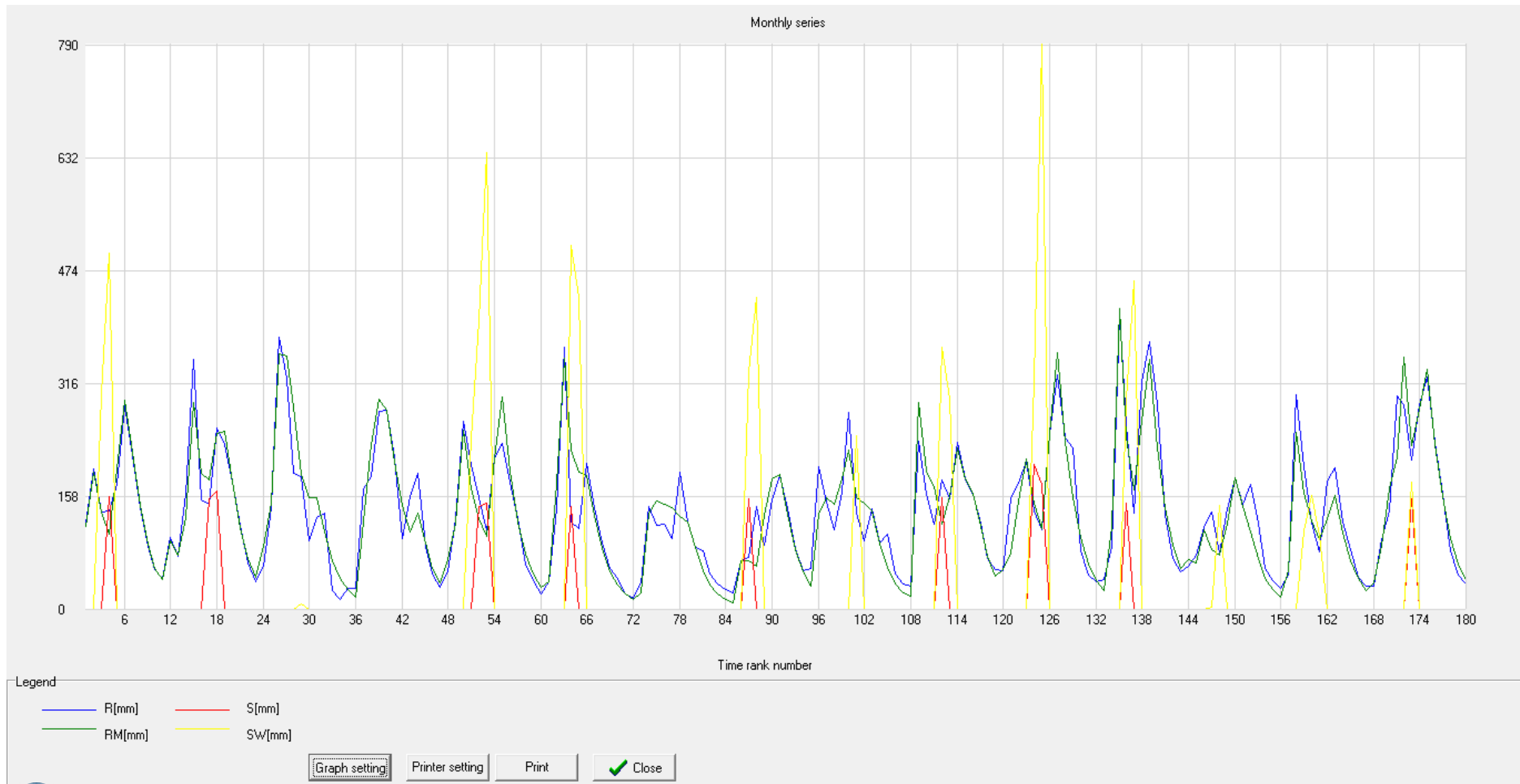
Σχήμα 5.36: Αρχικές παράμετροι της τελικής λύσης του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



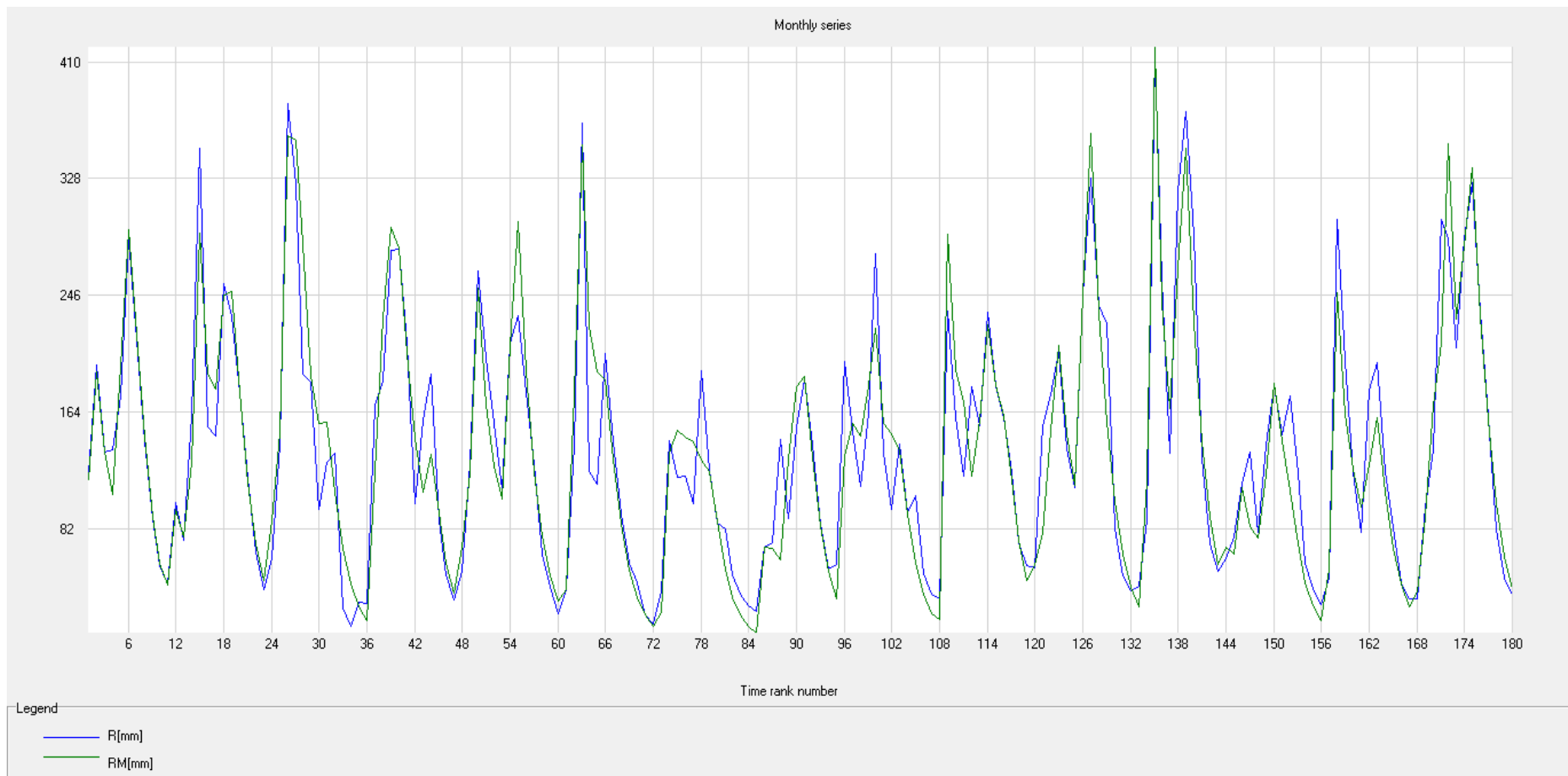
Σχήμα 5.37: Επικύρωση των δεδομένων εισόδου της τελικής λύσης του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



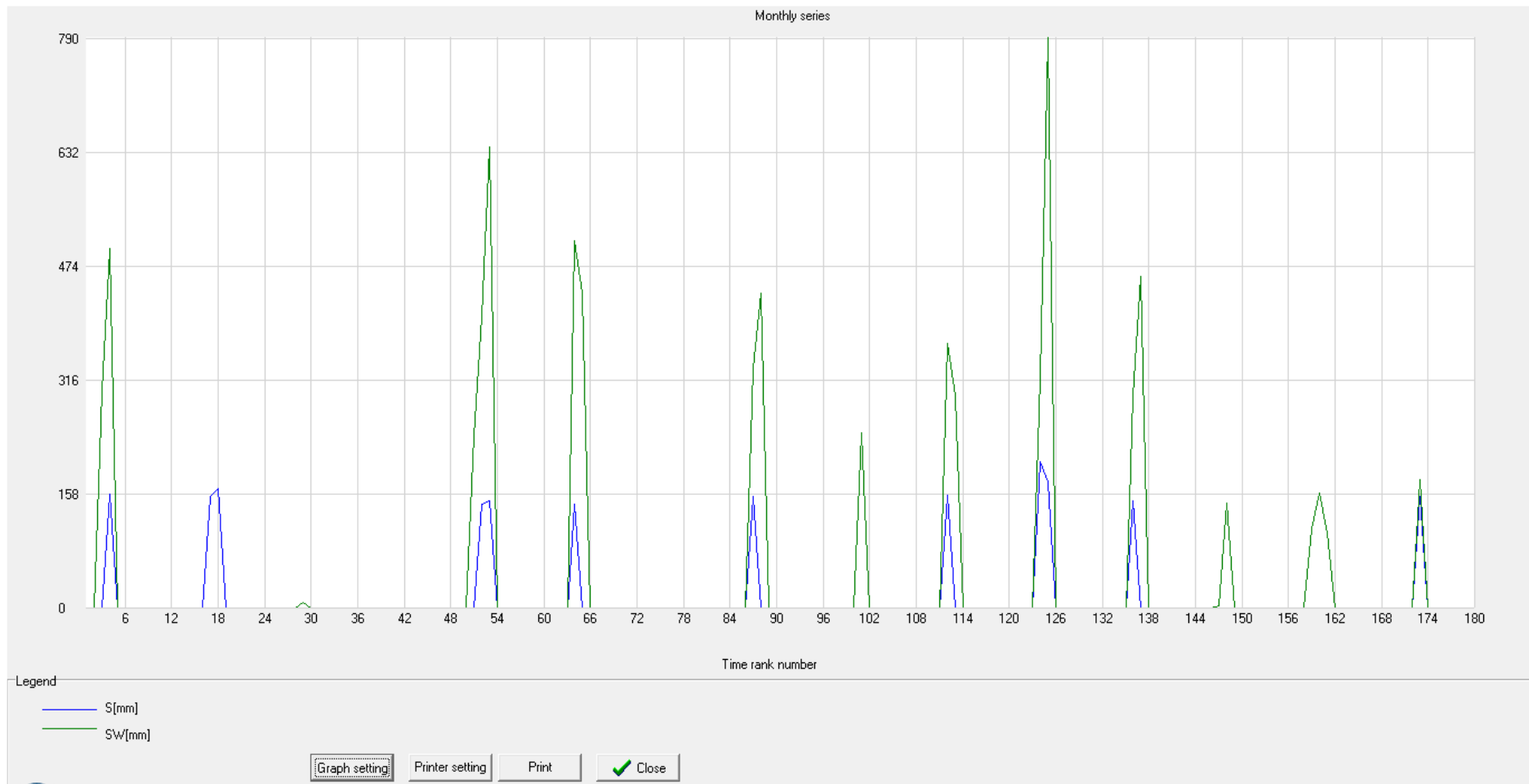
Σχήμα 5.38: Συνοπτικά αποτελέσματα τελικής λύσης του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



Σχήμα 5.39: Γράφημα χρονοσειρών R (μετρημένη απορροή), RM (προσομοιωμένη απορροή), S (μετρημένο ισοδύναμο ύψος χιονιού) και SW (προσομοιωμένη αποθήκευση νερού στη χιονοκάλυψη) τελικής λύσης του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



Σχήμα 5.40: Γράφημα χρονοσειρών R (μετρημένη απορροή) και RM (προσομοιωμένη απορροή) τελικής λύσης του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)



Σχήμα 5.41: Γράφημα χρονοσειρών S (μετρημένο ισοδύναμο ύψος χιονιού) και SW (προσομοιωμένη αποθήκευση νερού στη χιονοκάλυψη) τελικής λύσης του μοντέλου BILAN (έκδοση 1.7)

6 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως στόχο τη μελέτη της επίδρασης του χιονιού στο υδατικό ισοζύγιο των λεκανών απορροής. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε μέσω της προσομοίωσης με το υδρολογικό μοντέλο BILAN στη λεκάνη απορροής του ποταμού Καλαρρύτικου, με έξοδο τον υδρομετρικό σταθμό στη θέση Μονής Κηπίνας. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε συλλογή γεω-χωρικών και υδρολογικών δεδομένων από διάφορους φορείς. Τα δεδομένα αυτά, μετά από επεξεργασία και ανάλυση μέσω ειδικών λογισμικών, εισήχθησαν στο μοντέλο BILAN. Έτσι, έγινε εφικτή η εκτέλεση του μοντέλου και, στη συνέχεια, η βαθμονόμησή του, για να επιτευχθεί η ακριβέστερη δυνατή προσομοίωση των υδρολογικών διεργασιών στη λεκάνη απορροής.

Η προσομοίωση μιας λεκάνης απορροής με μοντέλο βροχόπτωσης - απορροής συνιστά πολύπλοκη διαδικασία, που απαιτεί πολύ καλή γνώση της υδρολογίας και των λειτουργιών του μοντέλου που εφαρμόζεται. Κρίσιμες παράμετροι για την βέλτιστη προσομοίωση αποτελούν, επίσης, η αξιοπιστία και η επάρκεια των δεδομένων εισόδου καθώς και η κατάλληλη επεξεργασία τους.

Για την υλοποίηση των εργασιών μας, όπως και σε πολλές μελέτες στον ελληνικό χώρο, αντιμετωπίσαμε το πρόβλημα των ελλείψεων σε μετεωρολογικά και υδρολογικά δεδομένα.

Συγκεκριμένα, βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών που επιλέχθηκαν περιείχαν κενά, τα οποία ευτυχώς ήταν για μικρά χρονικά διαστήματα και δεν εμφανίζονταν ταυτόχρονα σε περισσότερους από έναν σταθμούς, γεγονός που ευνόησε την όσο το δυνατό σωστότερη συμπλήρωσή τους.

Τα θερμοκρασιακά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού των Ιωαννίνων που χρησιμοποιήθηκαν, αφορούν σε πληροφωρία για την μηνιαία μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία για όλα τα υδρολογικά έτη της μελέτης, με ορισμένα όμως κενά. Για τη συμπλήρωσή τους, αξιοποιήθηκαν, στα κοινά υδρολογικά έτη, δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του Ε.Α.Α. στα Ιωάννινα. Για τα υπόλοιπα έτη, υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι των αντίστοιχων τιμών θερμοκρασίας των λοιπών ετών.

Για τον υπολογισμό της θερμοβαθμίδας και την εξαγωγή της χρονοσειράς της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, λόγω έλλειψης άλλων μετεωρολογικών σταθμών της Δ.Ε.Η. Α.Ε., τόσο στη λεκάνη μας, όσο και στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος, χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες 11 διαθέσιμων μετεωρολογικών σταθμών του Ε.Α.Α.

Η αρχική επιλογή για το χρονικό βάθος των δεδομένων της μελέτης μας ήταν η περίοδος 1994-2013. Ο υδρομετρικός σταθμός στη θέση Μονή Κηπίνας διαθέτει δεδομένα απορροών έως το 2009. Σε αυτό το πλαίσιο, και παρά το γεγονός ότι επετεύχθη η δημιουργία χρονοσειρών βροχομετρικών και θερμοκρασιακών δεδομένων για την περίοδο 1994-2013, η περίοδος αναφοράς περιορίστηκε κατά τέσσερα υδρολογικά έτη (1994-2009).

Από τα αποτελέσματα του μοντέλου, συμπεραίνουμε καταρχάς ότι υπήρχε ικανοποιητική ανταπόκριση ως προς τις εποχικές διακυμάνσεις αλλά και σημαντική υποεκτίμηση των κατακρημνισμάτων εισόδου στο μοντέλο. Αυτό οφείλεται πρωτίστως στο ότι το δίκτυο των μετεωρολογικών σταθμών δεν έχει επαρκή γεω-χωρική κάλυψη της λεκάνης απορροής, με

αποτέλεσμα να μην μπορεί να υπολογιστεί με ικανοποιητική αξιοπιστία η βροχοβαθμίδα της λεκάνης. Ακόμα μεγαλύτερο είναι το πρόβλημα για τις μετρήσεις του ισοδύναμου ύψους χιονιού, διότι ακόμα λιγότεροι σταθμοί διαθέτουν τέτοια δεδομένα. Για την ορθότερη εκτίμηση του ύψους βροχής και του ισοδύναμου ύψους χιονιού σε επίπεδο λεκάνης απορροής, σκόπιμη είναι η πύκνωση του δικτύου, τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά. Υπενθυμίζεται ότι για την βροχόπτωση αντλήθηκαν δεδομένα από 3 σταθμούς, ενώ για την χιονόπτωση μόνο από έναν σταθμό.

Η επίδραση του χιονιού στο υδατικό ισοζύγιο λεκανών απορροής του ποταμού είναι σημαντική τους μήνες Απρίλιο και Μάιο που λιώνουν τα χιόνια, και δευτερευόντως τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο. Η επίδραση γίνεται εμφανής από τις μεγαλύτερες αποκλίσεις ανάμεσα στην μετρημένη και προσομοιωμένη απορροή κατά τους μήνες που εμφανίζεται σημαντικός ισοδύναμος όγκος νερού από τα χιόνια που λιώνουν.

Τελικά, επετεύχθη ικανοποιητική βαθμονόμηση του μοντέλου με $NSE=0.872$ στην περίοδο βαθμονόμησης και $NSE=0.814$ στην περίοδο επαλήθευσης, και καλή ανταπόκριση του μοντέλου τόσο στην βροχόπτωση όσο και στη χιονόπτωση. Η προσομοίωση μπορεί, προφανώς, να βελτιωθεί περαιτέρω αν εισαχθούν δεδομένα από περισσότερους κατάλληλους σταθμούς.

Αναφορές

Στην ελληνική γλώσσα

- Κουτσογιάννης, Δ. & Ξανθόπουλος, Θ. (1999) *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Ναλμπάντης, Ι. (2007) *Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων – Σημειώσεις*. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Τσακίρης, Γ. (1995) *Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσακίρης, Γ. & Βαγγέλης, Χ. (2009) *Υδατικοί Πόροι: ΙΙ. Εφαρμογές Τεχνικής Υδρολογίας*. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσούλος, Α., Σκοπελίτη, Α., Στάμου, Α. (2015) Υδρολογική ανάλυση με βάση το ΨΜΕ. *Χαρτογραφική σύνθεση και απόδοση σε ψηφιακό περιβάλλον*, κεφ 8. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα.
- Evans, J. M., Perlman, H., και Κουτσογιάννης, Δ. (2005) Ο υδρολογικός κύκλος, *United States Geological Survey*.
- Perlman, H., Μακρόπουλος, Χ., και Κουτσογιάννης, Δ. (2005) Ο υδρολογικός κύκλος, doi:10.13140/RG.2.2.11182.92480. *United States Geological Survey*.

Ξενόγλωσσες

- Earth Forum (2005) Average Annual precipitation, *Houston Museum of Natural Science*.
- ESRI (2011) *Arc Hydro Tools - Tutorial*, Version 2.0, October 2011, USA.
- Graham, A. & Sheehan, D. (2014) *Hydrology tools in ArcGIS*, IAP2014 Watershed Delineation.
- Gidrometeoizdat (1976) *Rekomendatsii po roschotu ispareniiia s poverhnosti suchi* (Guidelines for calculation of evaporation from land surface), St.Peterburg, Russia.
- Hargreaves, G. H. & Samani, Z. A. (1985) Reference crop evaporation from temperature, *Appl. Eng. Agric.*, 1(2) 96-99.
- Jenson, S. K. & Domingue, J. O. (1988) Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol 54 (No 11), 1593-1600.
- Kašpárek, L. & Novický, O. (2004a) BILAN User's guide, *T.G. Masaryk Water Research Institute*, Prague, Czech Republic
- Kašpárek, L. & Novický, O. (2004b) BILAN Background information, *T.G. Masaryk Water Research Institute*, Prague, Czech Republic
- Nash, J. E. & Sutcliffe, J. V. (1970) River flow forecasting through conceptual models, I. A discussion of principles, *J. Hydrol.* 10(3), 282-290.

Shuttleworth, W. J. (1993) Evaporation, Ch. 4 in *Handbook of Hydrology*, edited by D. R. Maidment, McGraw-Hill, New York, USA.

University of Arizona (2005) World map of the extent of glaciers 20,000 years ago.

Winston, W. L. (1994) *Operations Research*. Duxbury Press, Belmont California, USA.

World Meteorological Organisation (1975) *Guide to Hydrometeorological Practices*. WMO No. 168, TP. 82.

Διαδικτυακές

E.A.A. Πράμαντα Ιωαννίνων, <http://penteli.meteo.gr/stations/pramanta/>

E.A.A. Αγ. Κυριακή Ιωαννίνων, <http://penteli.meteo.gr/stations/agiakiriaki/>

E.A.A. Ιωάννινα, <http://penteli.meteo.gr/stations/ioannina/>

E.A.A. Τρίστενο Ιωαννίνων, <http://penteli.meteo.gr/stations/tristeno/>

E.A.A. Δερβίζιανα Ιωαννίνων, <http://penteli.meteo.gr/stations/derviziana/>

E.A.A. Βωβούσα Ιωαννίνων, <http://penteli.meteo.gr/stations/vovoussa/>

E.A.A. Καταρράκτης Άρτας, <http://penteli.meteo.gr/stations/katarraktis/>

E.A.A. Κομπότι Άρτας, <http://penteli.meteo.gr/stations/kompoti/>

E.A.A. Βουλγαρέλι Άρτας, <http://penteli.meteo.gr/stations/vourgareli/>

E.A.A. Θεοδοριανά Άρτας, <http://penteli.meteo.gr/stations/theodoriana/>

E.A.A. Δωδώνη, <http://penteli.meteo.gr/stations/dodoni/>

E.A.A. Περούλι, <http://penteli.meteo.gr/stations/pertouli/>

E.A.A. Μέτσοβο, <http://penteli.meteo.gr/stations/metsovo/>

Παράρτημα Α: Πίνακες

Πίνακας Α.1: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Πράμαντα και Κριθάρια

Υδρολογικό Έτος	Πράμαντα (X_i)	Κριθάρια (Y_i)	X_i^2	Y_i^2	$X_i * Y_i$
1994-95	1943.5	1998.7	3777192.25	3994801.69	3884473.45
1996-97	2038.6	1639.4	4155889.96	2687632.36	3342080.84
1997-98	2170.4	2125.2	4710636.16	4516475.04	4612534.08
1998-99	2090.5	2044.3	4370190.25	4179162.49	4273609.15
1999-00	1916.6	2029.0	3673355.56	4116841	3888781.4
2000-01	1648.4	1553.5	2717222.56	2413362.25	2560789.4
2001-02	1720.6	1695.0	2960464.36	2873025	2916417
2002-03	1845.3	1517.6	3405132.09	2303109.76	2800427.28
2003-04	2406.2	2241.6	5789798.44	5024770.56	5393737.92
2004-05	2423.2	2545.2	5871898.24	6478043.04	6167528.64
2005-06	3238.8	2525.0	10489825.44	6375625	8177970
2006-07	1628.2	1219.4	2651035.24	1486936.36	1985427.08
2007-08	1917.5	1644.6	3676806.25	2704709.16	3153520.5
2008-09	2578.4	2270.4	6648146.56	5154716.16	5853999.36
2009-10	2888.1	2691.8	8341121.61	7245787.24	7774187.58
2010-11	2439.3	2381.9	5950184.49	5673447.61	5810168.67
2011-12	1684.3	1644.5	2836866.49	2704380.25	2769831.35
2012-13	1979.8	3086.5	3919608.04	9526482.25	6110652.7
ΣΥΝΟΛΑ	38557.7	36853.6	85945373.99	79459307.22	81476136.4
$r(X,Y) =$	0.691	$r^2 =$	0.478	$r_C =$	0.471

Πίνακας Α.2: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Κηπίνα και Κριθάρια

Υδρολογικό Έτος	Κηπίνα (X_i)	Κριθάρια (Y_i)	X_i^2	Y_i^2	$X_i * Y_i$
1996-97	2068.7	1639.4	4279519.69	2687632.36	3391426.78
1997-98	1936.4	2125.2	3749644.96	4516475.04	4115237.28
1998-99	1927.1	2044.3	3713714.41	4179162.49	3939570.53
1999-00	1838.0	2029.0	3378244	4116841	3729302
2000-01	1332.7	1553.5	1776089.29	2413362.25	2070349.45
2001-02	1611.6	1695.0	2597254.56	2873025	2731662
2002-03	1307.6	1517.6	1709817.76	2303109.76	1984413.76
2003-04	2147.3	2241.6	4610897.29	5024770.56	4813387.68
2004-05	1833.4	2545.2	3361355.56	6478043.04	4666369.68
2005-06	2230.1	2525.0	4973346.01	6375625	5631002.5
2006-07	1034.5	1219.4	1070190.25	1486936.36	1261469.3
2008-09	2014.8	2270.4	4059419.04	5154716.16	4574401.92
2009-10	2096.7	2691.8	4396150.89	7245787.24	5643897.06
2010-11	1807.7	2381.9	3267779.29	5673447.61	4305760.63
2011-12	1366.6	1644.5	1867595.56	2704380.25	2247373.7
2012-13	1855.9	3086.5	3444364.81	9526482.25	5728235.35
ΣΥΝΟΛΑ	28409.1	33210.3	52255383.37	72759796.37	60833859.62
$r(X,Y) =$	0.709	$r^2 =$	0.502	$r_c =$	0.500

Πίνακας Α.3: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Κριθάρια

Υδρολογικό Έτος	Καλαρρίτες (X_i)	Κριθάρια (Y_i)	X_i^2	Y_i^2	$X_i * Y_i$
1994-95	2054.4	1998.7	4220559.36	3994801.69	4106129.28
1996-97	1649.6	1639.4	2721180.16	2687632.36	2704354.24
1997-98	2074.6	2125.2	4303965.16	4516475.04	4408939.92
1998-99	1654.8	2044.3	2738363.04	4179162.49	3382907.64
1999-00	1968.3	2029.0	3874204.89	4116841	3993680.7
2000-01	1290.4	1553.5	1665132.16	2413362.25	2004636.4
2001-02	1710.3	1695.0	2925126.09	2873025	2898958.5
2002-03	1431.8	1517.6	2050051.24	2303109.76	2172899.68
2003-04	2277.0	2241.6	5184729	5024770.56	5104123.2
2004-05	1624.2	2545.2	2638025.64	6478043.04	4133913.84
2005-06	2292.4	2525.0	5255097.76	6375625	5788310
2006-07	1315.6	1219.4	1730803.36	1486936.36	1604242.64
2007-08	1625.3	1644.6	2641600.09	2704709.16	2672968.38
2008-09	2423.4	2270.4	5872867.56	5154716.16	5502087.36
2009-10	2650.3	2691.8	7024090.09	7245787.24	7134077.54
2010-11	2211.6	2381.9	4891174.56	5673447.61	5267810.04
2011-12	1599.3	1644.5	2557760.49	2704380.25	2630048.85
2012-13	2783.0	3086.5	7745089	9526482.25	8589729.5
ΣΥΝΟΛΑ	34636.3	36853.6	70039819.65	79459307.22	74099817.71
$r(X,Y) =$	0.864	$r^2 =$	0.747	$r_c =$	0.471

Πίνακας Α.4: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Μικρό Περιστέρι και Κηπίνα

Υδρολογικό Έτος	Μικρό Περιστέρι (X_i)	Κηπίνα (Y_i)	X_i^2	Y_i^2	$X_i * Y_i$
1995-96	1284.4	2192.7	1649683.36	4807933.29	2816303.88
1996-97	1121.4	2068.7	1257537.96	4279519.69	2319840.18
1997-98	1309	1936.4	1713481	3749644.96	2534747.6
1998-99	1307.2	1927.1	1708771.84	3713714.41	2519105.12
1999-00	1280.3	1838.0	1639168.09	3378244	2353191.4
2000-01	934.5	1332.7	873290.25	1776089.29	1245408.15
2001-02	1306.4	1611.6	1706680.96	2597254.56	2105394.24
2002-03	1015.3	1307.6	1030834.09	1709817.76	1327606.28
2003-04	1457.1	2147.3	2123140.41	4610897.29	3128830.83
2004-05	1217.4	1833.4	1482062.76	3361355.56	2231981.16
2005-06	1673.2	2230.1	2799598.24	4973346.01	3731403.32
2006-07	827	1034.5	683929	1070190.25	855531.5
2008-09	1538.8	2014.8	2367905.44	4059419.04	3100374.24
2009-10	1763.9	2096.7	3111343.21	4396150.89	3698369.13
2010-11	1657.3	1807.7	2746643.29	3267779.29	2995901.21
2011-12	1323.1	1366.6	1750593.61	1867595.56	1808148.46
2012-13	1963.1	1855.9	3853761.61	3444364.81	3643317.29
ΣΥΝΟΛΑ	22979.4	30601.8	32498425.12	57063316.66	42415453.99
$r(X,Y) =$	0.623	$r^2 =$	0.388	$r_c =$	0.485

Πίνακας Α.5: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Πράμαντα και Κηπίνα

Υδρολογικό Έτος	Πράμαντα (X_i)	Κηπίνα (Y_i)	X_i^2	Y_i^2	$X_i * Y_i$
1995-96	2268.4	2192.7	5145638.56	4807933.29	4973920.68
1996-97	2038.6	2068.7	4155889.96	4279519.69	4217251.82
1997-98	2170.4	1936.4	4710636.16	3749644.96	4202762.56
1998-99	2090.5	1927.1	4370190.25	3713714.41	4028602.55
1999-00	1916.6	1838.0	3673355.56	3378244	3522710.8
2000-01	1648.4	1332.7	2717222.56	1776089.29	2196822.68
2001-02	1720.6	1611.6	2960464.36	2597254.56	2772918.96
2002-03	1845.3	1307.6	3405132.09	1709817.76	2412914.28
2003-04	2406.2	2147.3	5789798.44	4610897.29	5166833.26
2004-05	2423.2	1833.4	5871898.24	3361355.56	4442694.88
2005-06	3238.8	2230.1	10489825.44	4973346.01	7222847.88
2006-07	1628.2	1034.5	2651035.24	1070190.25	1684372.9
2008-09	2578.4	2014.8	6648146.56	4059419.04	5194960.32
2009-10	2888.1	2096.7	8341121.61	4396150.89	6055479.27
2010-11	2439.3	1807.7	5950184.49	3267779.29	4409522.61
2011-12	1684.3	1366.6	2836866.49	1867595.56	2301764.38
2012-13	1979.8	1855.9	3919608.04	3444364.81	3674310.82
ΣΥΝΟΛΑ	36965.1	30601.8	83637014.05	57063316.66	68480690.65
$r(X,Y) =$	0.764	$r^2 =$	0.584	$r_C =$	0.485

Πίνακας Α.6: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Κηπίνα

Υδρολογικό Έτος	Κηπίνα (X_i)	Καλαρρίτες (Y_i)	X_i^2	Y_i^2	$X_i * Y_i$
1995-96	2192.7	1882.3	4807933.29	3543053.29	4127319.21
1996-97	2068.7	1649.6	4279519.69	2721180.16	3412527.52
1997-98	1936.4	2074.6	3749644.96	4303965.16	4017255.44
1998-99	1927.1	1654.8	3713714.41	2738363.04	3188965.08
1999-00	1838.0	1968.3	3378244	3874204.89	3617735.4
2000-01	1332.7	1290.4	1776089.29	1665132.16	1719716.08
2001-02	1611.6	1710.3	2597254.56	2925126.09	2756319.48
2002-03	1307.6	1431.8	1709817.76	2050051.24	1872221.68
2003-04	2147.3	2277.0	4610897.29	5184729	4889402.1
2004-05	1833.4	1624.2	3361355.56	2638025.64	2977808.28
2005-06	2230.1	2292.4	4973346.01	5255097.76	5112281.24
2006-07	1034.5	1315.6	1070190.25	1730803.36	1360988.2
2008-09	2014.8	2423.4	4059419.04	5872867.56	4882666.32
2009-10	2096.7	2650.3	4396150.89	7024090.09	5556884.01
2010-11	1807.7	2211.6	3267779.29	4891174.56	3997909.32
2011-12	1366.6	1599.3	1867595.56	2557760.49	2185603.38
2012-13	1855.9	2783.0	3444364.81	7745089	5164969.7
ΣΥΝΟΛΑ	30601.8	32838.9	57063316.66	66720713.49	60840572.44
$r(X,Y) =$	0.678	$r^2 =$	0.459	$r_c =$	0.485

Πίνακας Α.7: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Μικρό Περιστέρι και Πράμαντα

Υδρολογικό Έτος	Μικρό Περιστέρι (X_i)	Πράμαντα (Y_i)	X_i^2	Y_i^2	$X_i * Y_i$
1994-95	1366.2	1943.5	1866502.44	3777192.25	2655209.70
1995-96	1284.4	2268.4	1649683.36	5145638.56	2913532.96
1996-97	1121.4	2038.6	1257537.96	4155889.96	2286086.04
1997-98	1309	2170.4	1713481.00	4710636.16	2841053.60
1998-99	1307.2	2090.5	1708771.84	4370190.25	2732701.60
1999-00	1280.3	1916.6	1639168.09	3673355.56	2453822.98
2000-01	934.5	1648.4	873290.25	2717222.56	1540429.80
2001-02	1306.4	1720.6	1706680.96	2960464.36	2247791.84
2002-03	1015.3	1845.3	1030834.09	3405132.09	1873533.09
2003-04	1457.1	2406.2	2123140.41	5789798.44	3506074.02
2004-05	1217.4	2423.2	1482062.76	5871898.24	2950003.68
2005-06	1673.2	3238.8	2799598.24	10489825.44	5419160.16
2006-07	827	1628.2	683929.00	2651035.24	1346521.40
2007-08	1215.1	1917.5	1476468.01	3676806.25	2329954.25
2008-09	1538.8	2578.4	2367905.44	6648146.56	3967641.92
2009-10	1763.9	2888.1	3111343.21	8341121.61	5094319.59
2010-11	1657.3	2439.3	2746643.29	5950184.49	4042651.89
2011-12	1323.1	1684.3	1750593.61	2836866.49	2228497.33
2012-13	1963.1	1979.8	3853761.61	3919608.04	3886545.38
ΣΥΝΟΛΑ	25560.7	40826.1	35841395.57	91091012.55	56315531.23
$r(X, Y) =$	0.629	$r^2 =$	0.396	$r_c =$	0.459

Πίνακας Α.8: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Μικρό Περιστέρι και Καλαρρίτες

Υδρολογικό Έτος	Μικρό Περιστέρι (X_i)	Καλαρρίτες (Y_i)	X_i^2	Y_i^2	$X_i * Y_i$
1994-95	1366.2	2054.4	1866502.44	4220559.36	2806721.28
1995-96	1284.4	1882.3	1649683.36	3543053.29	2417626.12
1996-97	1121.4	1649.6	1257537.96	2721180.16	1849861.44
1997-98	1309	2074.6	1713481	4303965.16	2715651.4
1998-99	1307.2	1654.8	1708771.84	2738363.04	2163154.56
1999-00	1280.3	1968.3	1639168.09	3874204.89	2520014.49
2000-01	934.5	1290.4	873290.25	1665132.16	1205878.8
2001-02	1306.4	1710.3	1706680.96	2925126.09	2234335.92
2002-03	1015.3	1431.8	1030834.09	2050051.24	1453706.54
2003-04	1457.1	2277.0	2123140.41	5184729	3317816.7
2004-05	1217.4	1624.2	1482062.76	2638025.64	1977301.08
2005-06	1673.2	2292.4	2799598.24	5255097.76	3835643.68
2006-07	827	1315.6	683929	1730803.36	1088001.2
2007-08	1215.1	1625.3	1476468.01	2641600.09	1974902.03
2008-09	1538.8	2423.4	2367905.44	5872867.56	3729127.92
2009-10	1763.9	2650.3	3111343.21	7024090.09	4674864.17
2010-11	1657.3	2211.6	2746643.29	4891174.56	3665284.68
2011-12	1323.1	1599.3	1750593.61	2557760.49	2116033.83
2012-13	1963.1	2783.0	3853761.61	7745089	5463307.3
ΣΥΝΟΛΑ	25560.7	36518.6	35841395.57	73582872.94	51209233.14
$r(X,Y) =$	0.937	$r^2 =$	0.877	$r_c =$	0.459

Πίνακας Α.9: Υπολογισμός του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Πράμαντα και Καλαρρίτες

Υδρολογικό Έτος	Καλαρρίτες (X_i)	Πράμαντα (Y_i)	X_i^2	Y_i^2	$X_i * Y_i$
1994-95	2054.4	1943.5	4220559.36	3777192.25	3992726.4
1995-96	1882.3	2268.4	3543053.29	5145638.56	4269809.32
1996-97	1649.6	2038.6	2721180.16	4155889.96	3362874.56
1997-98	2074.6	2170.4	4303965.16	4710636.16	4502711.84
1998-99	1654.8	2090.5	2738363.04	4370190.25	3459359.4
1999-00	1968.3	1916.6	3874204.89	3673355.56	3772443.78
2000-01	1290.4	1648.4	1665132.16	2717222.56	2127095.36
2001-02	1710.3	1720.6	2925126.09	2960464.36	2942742.18
2002-03	1431.8	1845.3	2050051.24	3405132.09	2642100.54
2003-04	2277.0	2406.2	5184729	5789798.44	5478917.4
2004-05	1624.2	2423.2	2638025.64	5871898.24	3935761.44
2005-06	2292.4	3238.8	5255097.76	10489825.44	7424625.12
2006-07	1315.6	1628.2	1730803.36	2651035.24	2142059.92
2007-08	1625.3	1917.5	2641600.09	3676806.25	3116512.75
2008-09	2423.4	2578.4	5872867.56	6648146.56	6248494.56
2009-10	2650.3	2888.1	7024090.09	8341121.61	7654331.43
2010-11	2211.6	2439.3	4891174.56	5950184.49	5394755.88
2011-12	1599.3	1684.3	2557760.49	2836866.49	2693700.99
2012-13	2783.0	1979.8	7745089	3919608.04	5509783.4
ΣΥΝΟΛΑ	36518.6	40826.1	73582872.94	91091012.55	80670806.27
$r(X, Y) =$	0.651	$r^2 =$	0.424	$r_c =$	0.459

Πίνακας Α.10: Υπολογισμοί των αθροιστικών σειρών των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Κηπίνα

Υδρολογικό έτος	ΕΤΗΣΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ(mm)		ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	
	Καλαρρίτες (X_i)	Κηπίνα (Y_i)	Καλαρρίτες (X_i)	Κηπίνα (Y_i)
2012-13	2783	1855.9	2783	1855.9
2011-12	1209.4	1366.6	3992.4	3222.5
2010-11	2211.6	1807.7	6204	5030.2
2009-10	2650.3	2096.7	8854.3	7126.9
2008-09	2423.4	2014.8	11277.7	9141.7
2007-08	1473.5	1559.4	12751.2	10701.1
2006-07	1315.6	1034.5	14066.8	11735.6
2005-06	2292.4	2230.1	16359.2	13965.7
2004-05	1062.6	1833.4	17421.8	15799.1
2003-04	2277	2147.3	19698.8	17946.4
2002-03	1431.8	1307.6	21130.6	19254
2001-02	1685	1611.6	22815.6	20865.6
2000-01	1290.4	1332.7	24106	22198.3
1999-00	1968.3	1838	26074.3	24036.3
1998-99	232.8	1927.1	26307.1	25963.4
1997-98	693.2	1936.4	27000.3	27899.8
1996-97	1649.6	2068.7	28649.9	29968.5
1995-96	1882.3	2192.7	30532.2	32161.2
1994-95	2054.4	1737.8	32586.6	33899
$r=$	0.993		$r^2 =$	0.9866

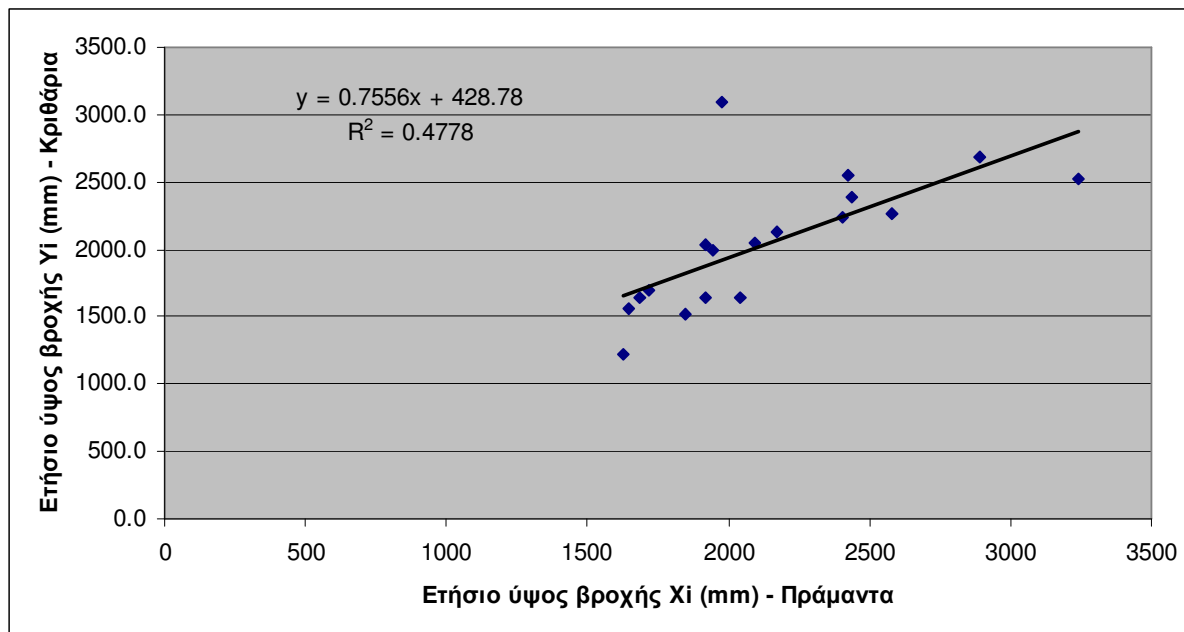
Πίνακας Α.11: Υπολογισμοί των αθροιστικών σειρών των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Μικρό Περιστέρι

Υδρολογικό έτος	ΕΤΗΣΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ(mm)		ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	
	Καλαρρίτες (X_i)	Μικρό Περιστέρι (Y_i)	Καλαρρίτες (X_i)	Μικρό Περιστέρι (Y_i)
2012-13	2783	1963.1	2783	1963.1
2011-12	1209.4	1323.1	3992.4	3286.2
2010-11	2211.6	1657.3	6204	4943.5
2009-10	2650.3	1763.9	8854.3	6707.4
2008-09	2423.4	1538.8	11277.7	8246.2
2007-08	1473.5	1215.1	12751.2	9461.3
2006-07	1315.6	827	14066.8	10288.3
2005-06	2292.4	1673.2	16359.2	11961.5
2004-05	1062.6	1217.4	17421.8	13178.9
2003-04	2277	1457.1	19698.8	14636
2002-03	1431.8	1015.3	21130.6	15651.3
2001-02	1685	1306.4	22815.6	16957.7
2000-01	1290.4	934.5	24106	17892.2
1999-00	1968.3	1280.3	26074.3	19172.5
1998-99	232.8	1307.2	26307.1	20479.7
1997-98	693.2	1309	27000.3	21788.7
1996-97	1649.6	1121.4	28649.9	22910.1
1995-96	1882.3	1284.4	30532.2	24194.5
1994-95	2054.4	1366.2	32586.6	25560.7
$r=$	0.997		$r^2 =$	0.9944

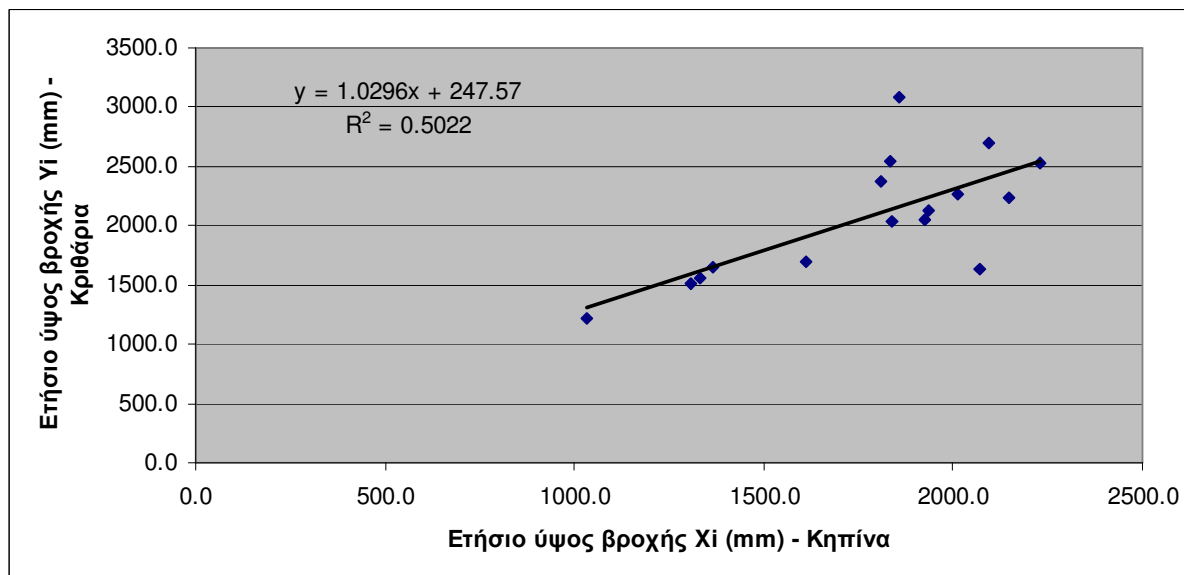
Πίνακας Α.12: Υπολογισμοί των αθροιστικών σειρών των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Κριθάρια

Υδρολογικό έτος	ΕΤΗΣΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ(mm)		ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ (mm)	
	Καλαρρίτες (X _i)	Κριθάρια (Y _i)	Καλαρρίτες (X _i)	Κριθάρια (Y _i)
2012-13	2783	3086.5	2783	3086.5
2011-12	1209.4	1644.5	3992.4	4731
2010-11	2211.6	2381.9	6204	7112.9
2009-10	2650.3	2691.8	8854.3	9804.7
2008-09	2423.4	2270.4	11277.7	12075.1
2007-08	1473.5	1644.6	12751.2	13719.7
2006-07	1315.6	1219.4	14066.8	14939.1
2005-06	2292.4	2525	16359.2	17464.1
2004-05	1062.6	2545.2	17421.8	20009.3
2003-04	2277	2241.6	19698.8	22250.9
2002-03	1431.8	1517.6	21130.6	23768.5
2001-02	1685	1695	22815.6	25463.5
2000-01	1290.4	1553.5	24106	27017
1999-00	1968.3	2029	26074.3	29046
1998-99	232.8	2044.3	26307.1	31090.3
1997-98	693.2	2125.2	27000.3	33215.5
1996-97	1649.6	1639.4	28649.9	34854.9
1995-96	1882.3	2210.8	30532.2	37065.7
1994-95	2054.4	1998.7	32586.6	39064.4
$r=$	0.996		$r^2 =$	0.9926

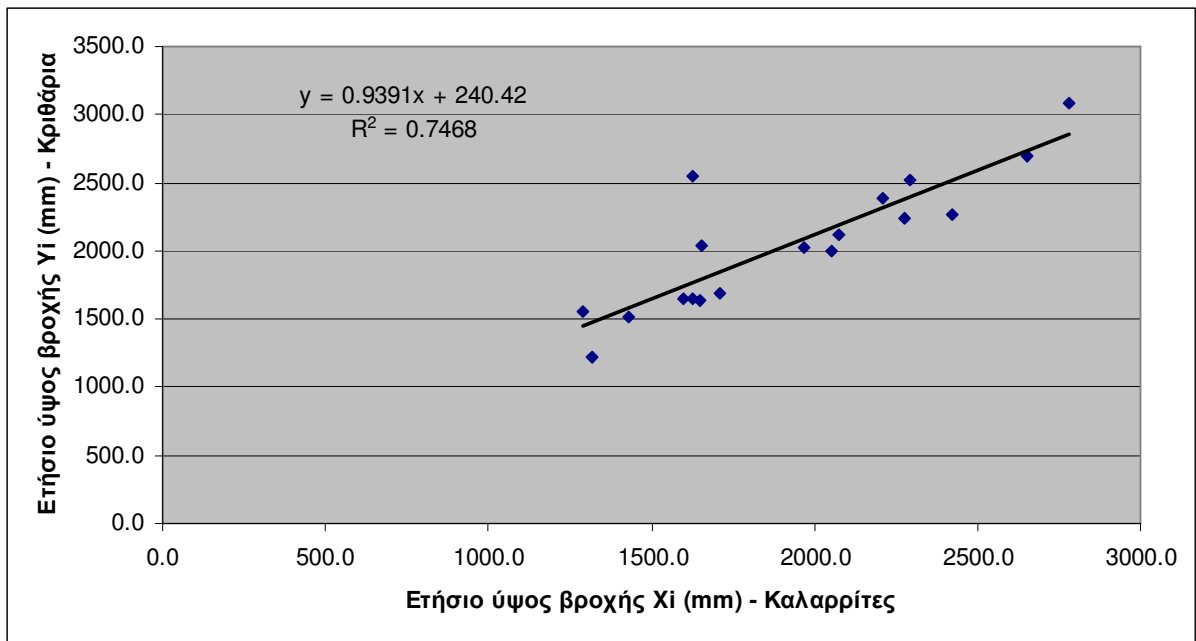
Παράρτημα Β: Σχήματα



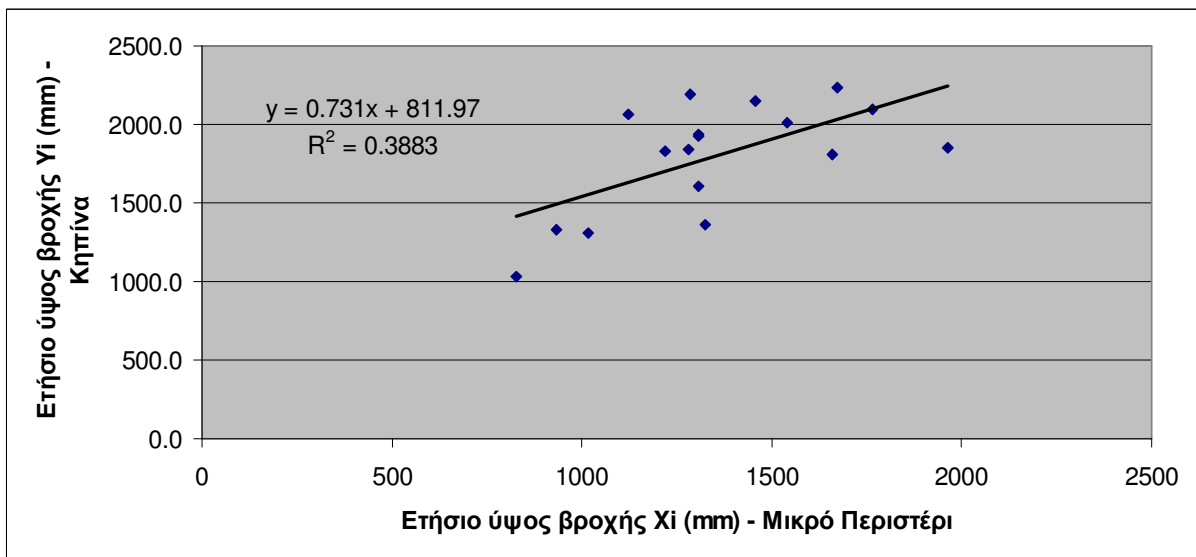
Σχήμα Β.1: Διάγραμμα των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Πράμαντα και Κριθάρια



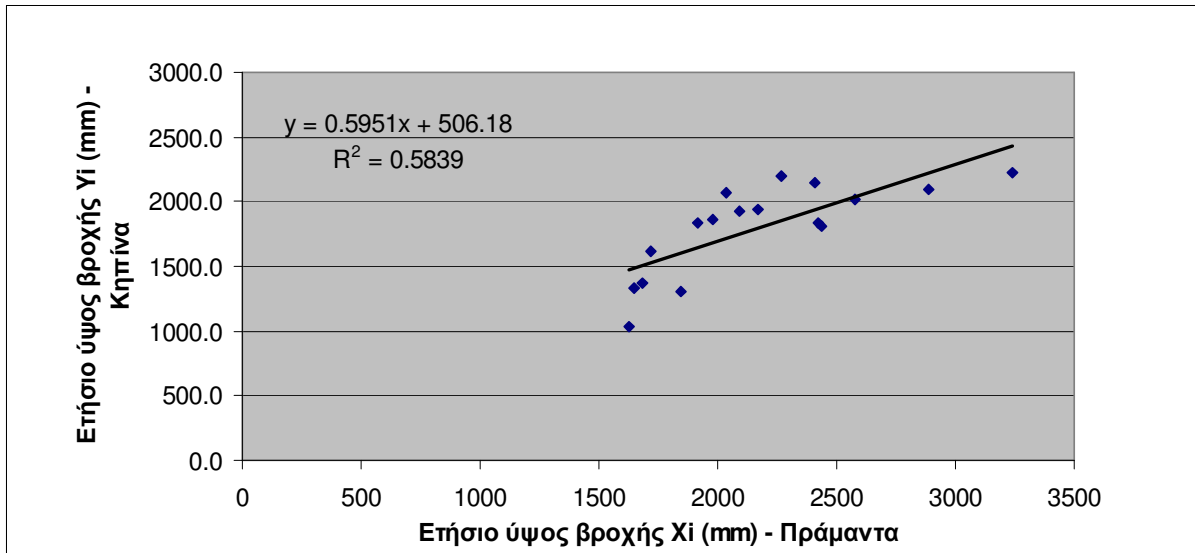
Σχήμα Β.2: Διάγραμμα των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Κηπίνα και Κριθάρια



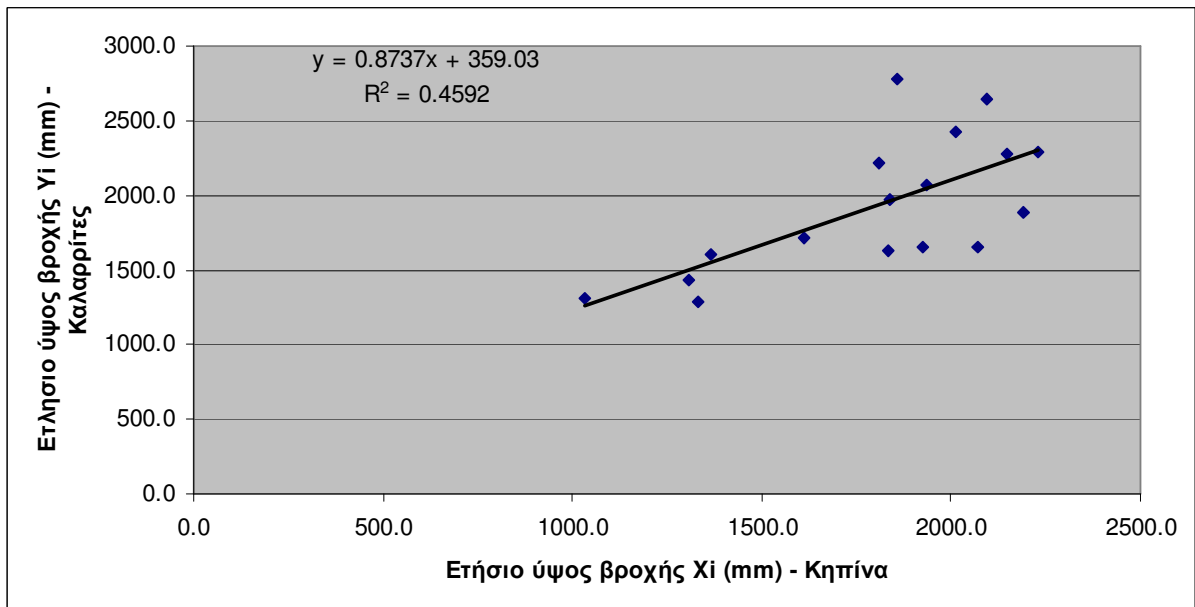
Σχήμα Β.3: Διάγραμμα των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Κριθάρια



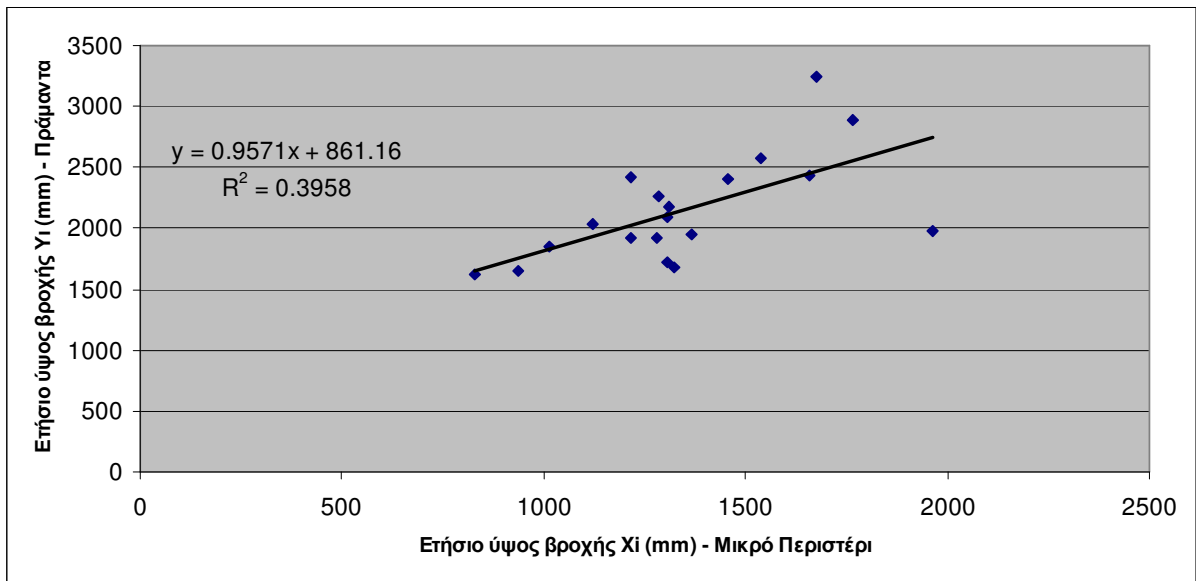
Σχήμα Β.4: Διάγραμμα των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Μικρό Περιστέρι και Κηφίνα



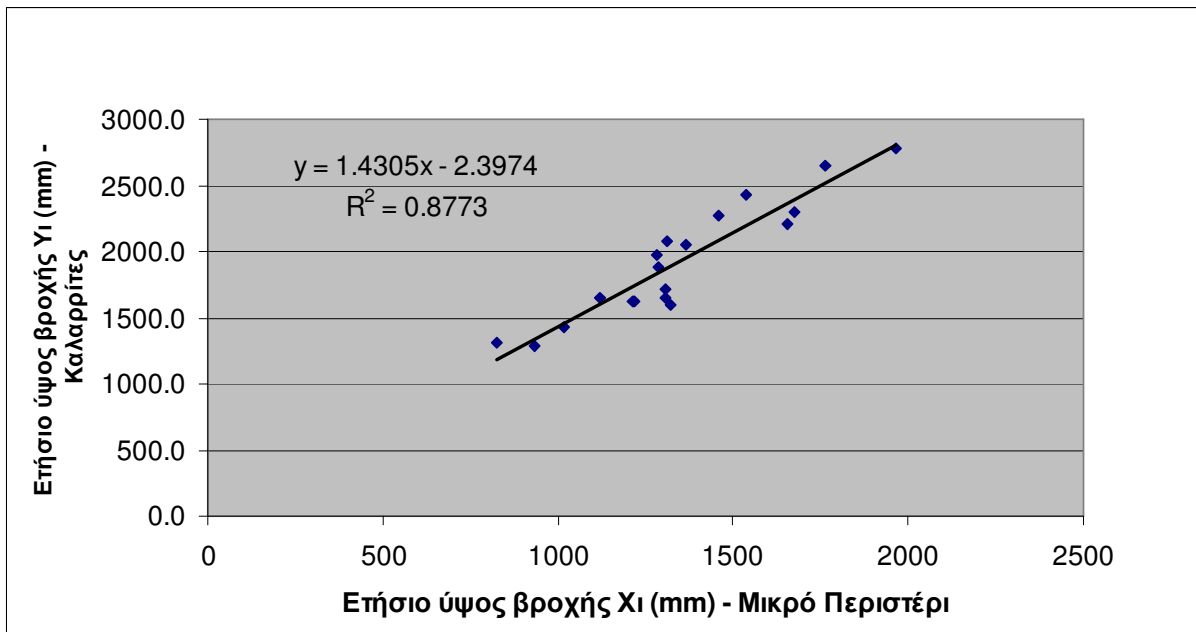
Σχήμα Β.5: Διάγραμμα των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Πράμαντα και Κηπίνα



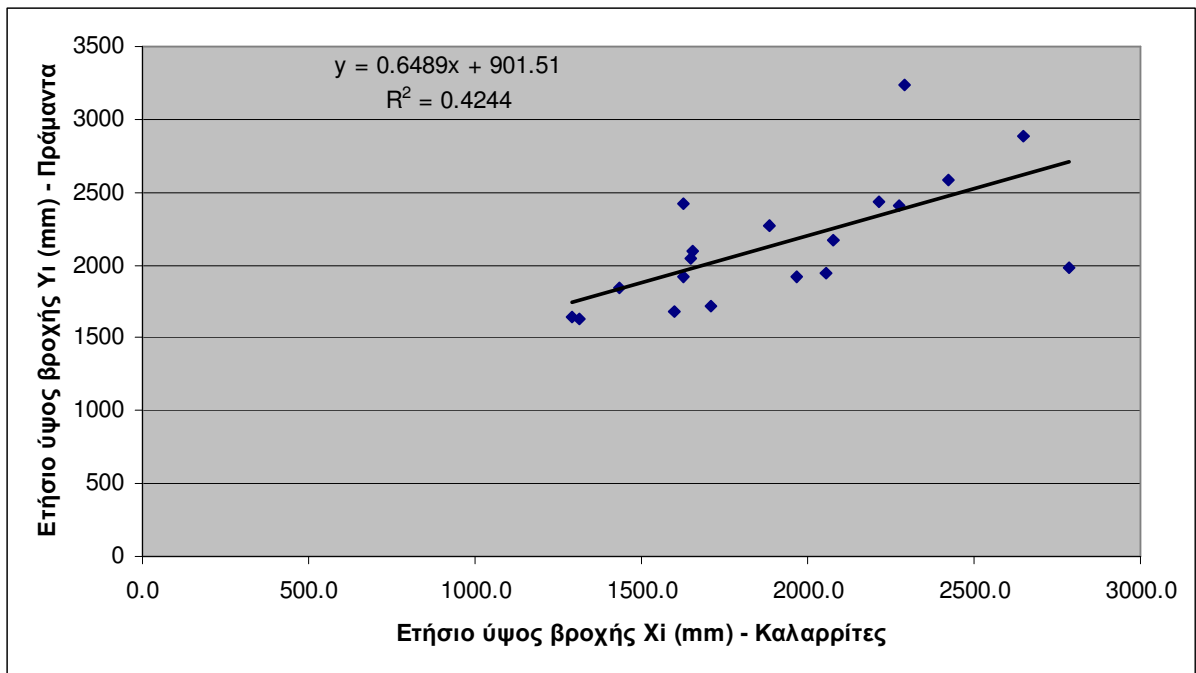
Σχήμα Β.6: Διάγραμμα των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Κηπίνα



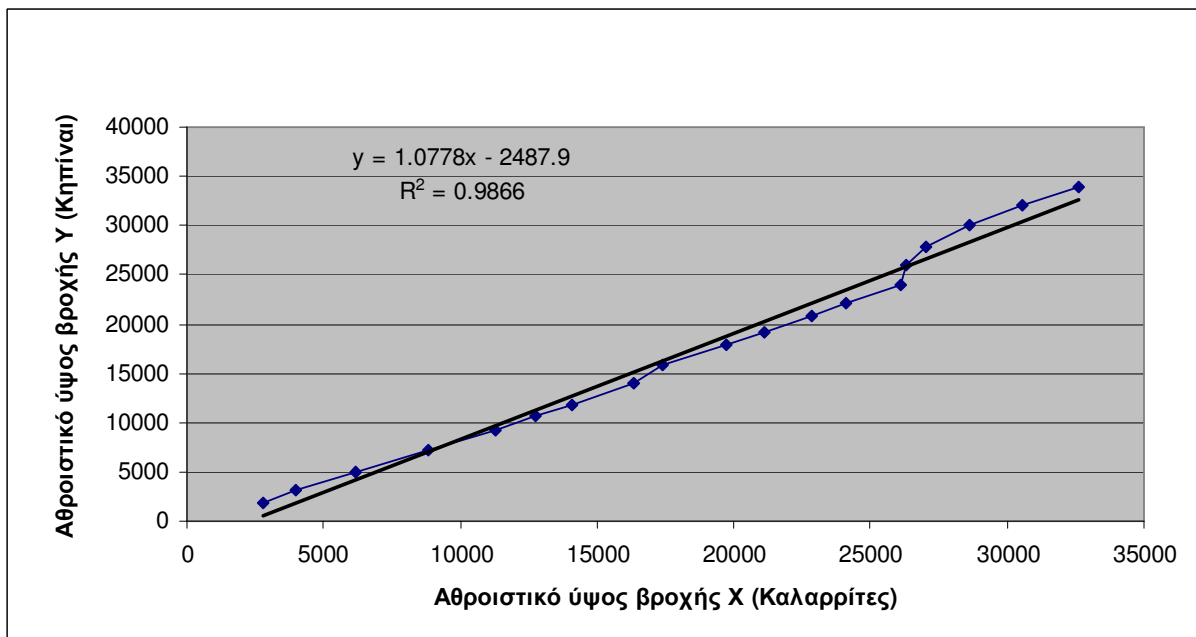
Σχήμα Β.7: Διάγραμμα των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Μικρό Περιστέρι και Πράμαντα



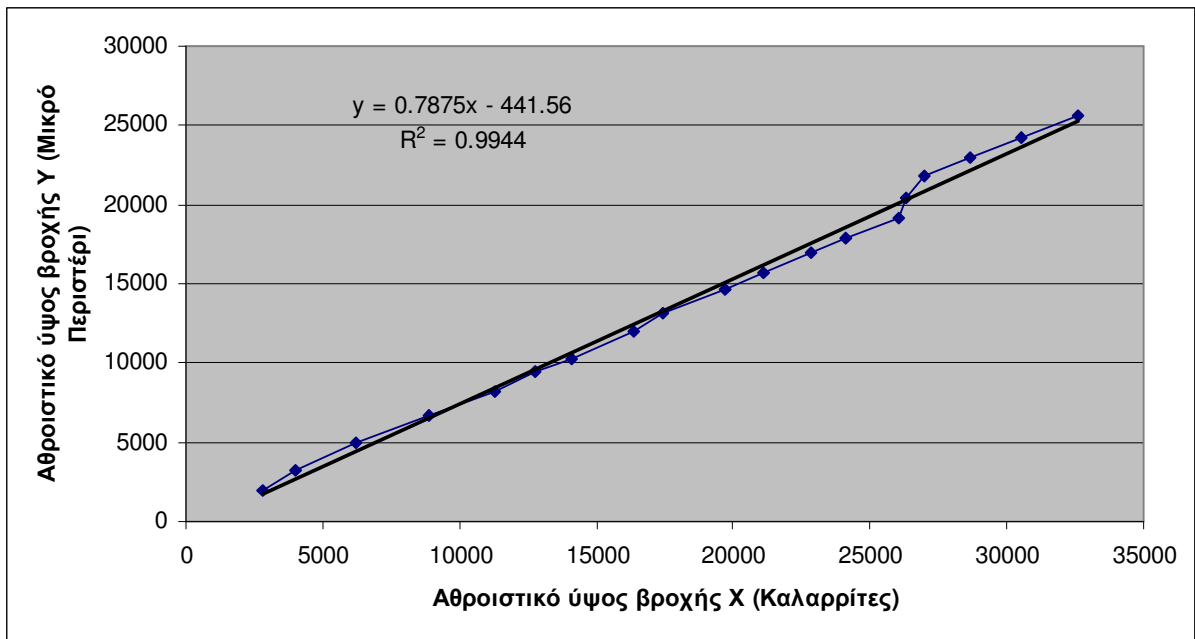
Σχήμα Β.8: Διάγραμμα των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Μικρό Περιστέρι και Καλαρρίτες



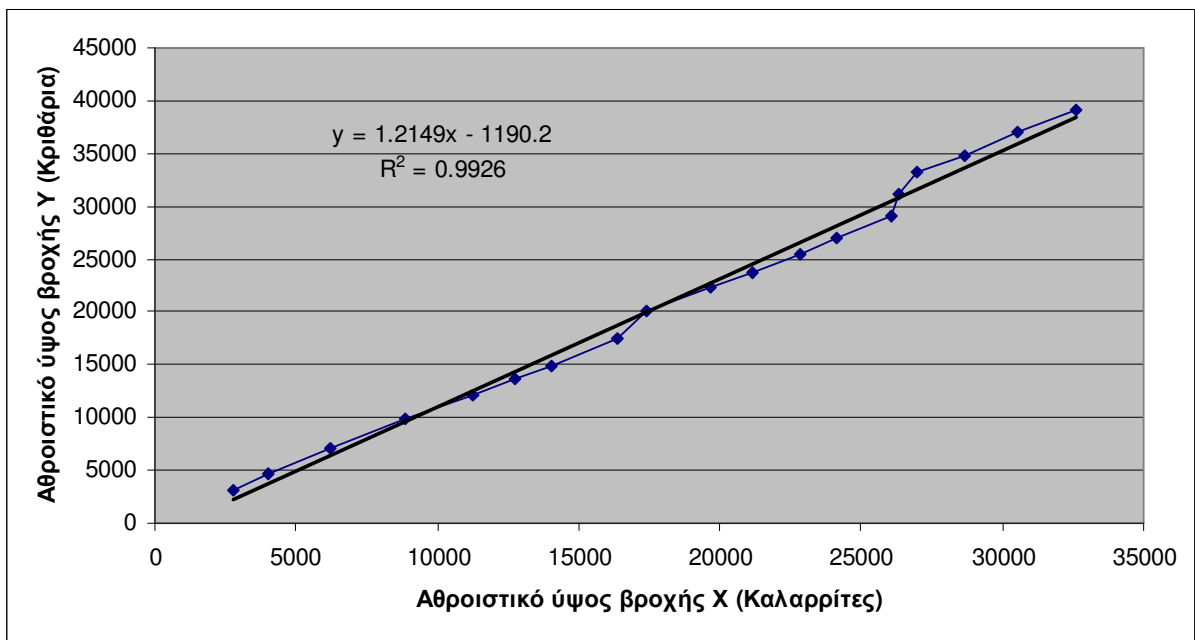
Σχήμα Β.9: Διάγραμμα των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Πράμαντα και Καλαρρίτες



Σχήμα Β.10: Διπλή αθροιστική καμπύλη μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Κηπίνας



ΣχήμαB.11: Διπλή αθροιστική καμπύλη μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Μικρό Περιστέρι



Σχήμα 6B.12: Διπλή αθροιστική καμπύλη μεταξύ των ετήσιων βροχοπτώσεων των σταθμών Καλαρρίτες και Κριθάρια