

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε μια ολοκληρωμένη υδρολογική διερεύνηση της λεκάνης απορροής του Αχελώου ποταμού, η οποία χωρίστηκε σε τρεις υπολεκάνες ανάντη των υφιστάμενων μεγάλων φραγμάτων (από ανάντη προς κατάντη): Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου. Οι ιστορικές χρονοσειρές που χρησιμοποιήθηκαν, των υψών βροχής και της απορροής στις θέσεις των φραγμάτων αυτών, ήταν σε μηνιαίο χρονικό βήμα και καλύπτουν ευρείες χρονικές περιόδους έως και το πρόσφατο υδρολογικό έτος 2007-08. Η διερεύνηση αυτή περιελάμβανε τα εξής:

- I. Ψηφιοποίηση χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ) κλίμακας 1:50.000 για την κάθε υπολεκάνη και για την συνολική, δημιουργία των αντίστοιχων ψηφιακών μοντέλων εδάφους, υδρογραφικού δικτύου και τεχνητών λιμνών. Επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων μηνιαίων υψών βροχής (από 8 διαφορετικούς σταθμούς) και λήψη τιμών μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας (από τρεις σταθμούς, εκ των οποίων ο ένας πλήρης).
- II. Έλεγχο καταλληλότητας χρήσης ενός τριπαραμετρικού μοντέλου βροχόπτωσης-απορροής στις τρεις υπολεκάνες καθώς επίσης και ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων αυτού.
- III. Διερεύνηση ύπαρξης ή μη περιοδικότητας και τάσεων στις ιστορικές χρονοσειρές ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης και απορροής στις τρεις υπολεκάνες. Για μεν την περιοδικότητα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των συντελεστών αυτοσυσχέτισης, ενώ για τον έλεγχο των τάσεων η δοκιμή Kendall, η γραμμική και η πολυωνυμική συσχέτιση.

ABSTRACT

In this work, a complete hydrological investigation over the Acheloos River's basin has been performed. This basin was separated into three sub-basins upstream of the existing large dams' sites (from upstream to downstream): Kremasta, Kastraki and Stratos. The historic time series that have been used, these of precipitation and runoff at the dams' sites, were in monthly time step and covered broad time periods till the recent hydrological year 2007-08. This study included the following:

1. The digitization of the maps of the Military Geographical Service at the scale of 1:50.000 for each sub-basin and the total one, the creation of the respective digital terrain models, of the hydrographic network and the artificial lakes. The elaboration of primary data which referred to monthly precipitation (from 8 different stations) and collection of mean monthly temperature values (from 3 stations, among them one having complete record).
2. The test of suitability of a three parameters rainfall-runoff model in the three sub-basins, as well as the sensitivity analysis of these parameters.
3. The investigation of periodicity and trends in the historic time series of areal annual precipitation and annual runoff in the three sub-basins. For the periodicity, the method of autocorrelation coefficients was used, whereas for the detection of trends, the Kendall's rank correlation test, the linear and the polynomial correlation, were chosen.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ABSTRACT	2
Πίνακας Περιεχομένων	3
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	5
1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	5
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	6
1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	7
1.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	7
1.3.2 Γεωλογία – Έδαφος.....	9
1.3.3 Χρήσεις γης.....	10
Κεφάλαιο 2 : Μοντέλα Βροχόπτωσης – Απορροής	13
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	13
2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	14
2.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	15
2.3.1 Μοντέλο Απλού Υδατικού Ισοζυγίου	15
2.3.2 Μοντέλο MORIN.....	17
2.3.3 Μοντέλο MERO	18
2.3.4 Μοντέλο STANFORD IV	21
2.3.5 Μοντέλο SHE.....	22
2.3.6 Μοντέλο SWAT	23
2.3.7 Μοντέλο ILWAS	24
Κεφάλαιο 3 : Επεξεργασία δεδομένων της λεκάνης απορροής	27
3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	27
3.1.1 Γενικές πληροφορίες.....	27
3.1.2 Ψηφιοποίηση των χαρτών της ΓΥΣ	28
3.1.3 Μεταφορά και επεξεργασία των δεδομένων σε περιβάλλον Arcgis.	30
3.1.4 Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.....	30
3.1.5 Υπολογισμός μορφομετρικών χαρακτηριστικών κάθε λεκάνης απορροής.....	33
3.2 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	36
3.2.1 Σκοπός	36
3.2.2 Βροχομετρικοί σταθμοί και δεδομένα	37

3.2.3 Έλεγχοι ομογένειας δεδομένων.....	39
3.2.4 Συμπλήρωση ελλείψεων και επέκταση δειγμάτων	44
3.2.5 Εκτίμηση επιφανειακής βροχόπτωσης	47
3.2.6 Υψομετρική αναγωγή βροχοπτώσεων.....	48
3.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ.....	51
3.3.1 Γενικά	51
3.3.2 Υπολογισμός μέσης ανηγμένης θερμοκρασίας.....	52
Κεφάλαιο 4 : Απορροές	55
4.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	55
4.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΑΠΛΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ.....	55
4.3 ΕΦΑΡΜΟΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	60
4.3.1 Υπολεκάνη Κρεμαστών.....	61
4.3.2 Υπολεκάνη Καστρακίου.....	64
4.3.3 Υπολεκάνη Στράτου.....	67
4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΠΛΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ	69
Κεφάλαιο 5 : Περιοδικότητα και τάσεις στις υδρολογικές χρονοσειρές	73
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	73
5.2 ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΤΗΤΑΣ	74
5.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΑΣΕΩΝ	77
5.3.1 Δοκιμή Kendall.....	81
5.3.2 Έλεγχος γραμμικής συσχέτισης	82
5.3.3 Έλεγχος πολυωνυμικής συσχέτισης.....	86
Κεφάλαιο 6 : Συμπεράσματα.....	91
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
Ελληνική	93
Ξενόγλωσση	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	98
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ.....	99
ΣΧΗΜΑΤΑ.....	99
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	100

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το πλαίσιο διαχείρισης των υδατικών πόρων στη χώρα μας έχει διαμορφωθεί και συνεχίζει να διαμορφώνεται με βάση το κύριο χαρακτηριστικό αυτής σε σχέση με την διαθεσιμότητα του νερού στα όριά της και αυτό δεν είναι άλλο από την ανομοιόμορφη κατανομή των υδατικών πόρων στο χώρο και στον χρόνο. Παρότι αποτελεί μια σχετικά ευνοημένη υδρολογικά χώρα της Μεσογείου, η αναντιστοιχία της χρονικής και κυρίως χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων με τις χρονικές και χωρικές κατανομές της ζήτησης έχουν δημιουργήσει στο παρελθόν και συνεχίζουν να δημιουργούν προβλήματα έλλειψης νερού, ιδιαίτερα σε περιόδους ανομβρίας ή περίσσειας σε περιπτώσεις πλημμυρικών γεγονότων. Η άνιση αυτή κατανομή ισχύει σε όλα τα γεωγραφικά πλάτη της χώρας από την Κρήτη έως την Ήπειρο και την Μακεδονία. Η βροχόπτωση στις δυτικές περιοχές είναι σχεδόν διπλάσια αυτής στις ανατολικές και οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι είναι πολλαπλάσιοι. Αντίστροφα με την κατανομή των υδατικών πόρων, η ζήτηση είναι μεγαλύτερη στα ανατολικά της χώρας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της αναντιστοιχίας στην κατανομή των υδατικών πόρων αποτελεί το Υδατικό διαμέρισμα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας. Το συγκεκριμένο υδατικό διαμέρισμα περιλαμβάνει την υδρολογική λεκάνη του μεγαλύτερου σε παροχή ποταμού που βρίσκεται εξ ολοκλήρου σε ελληνικό έδαφος, του Αχελώου. Η γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής του ποταμού έχει διευκολύνει την αξιοποίηση του πλούσιου υδατικού δυναμικού του σε μεγάλο βαθμό με την δημιουργία κατασκευών μεγάλης ταμίευσης. Ωστόσο, το ζήτημα της βέλτιστης διαχείρισης των υδατικών πόρων της λεκάνης απορροής του ποταμού Αχελώου παραμένει ακόμη ένα από τα γνωστότερα στο ευρύ κοινό ζητήματα υδατικής διαχείρισης και έχει αποτελέσει αντικείμενο πολυάριθμων μελετών τις τελευταίες δεκαετίες.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια επικαιροποιημένη υδρολογική διερεύνηση της περιοχής του Αχελώου ποταμού, με χωρική κλίμακα τη λεκάνη απορροής του, όπως εξάλλου επιτάσσει και η κοινοτική οδηγία 2000/20/ΕΚ. Άλλωστε, αυτή είναι η μόνη χωρική κλίμακα στην οποία έχει νόημα να μιλούμε για τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αυτή αναπτύσσεται σε 6 κεφάλαια σύμφωνα με τη σειρά που πραγματοποιήθηκαν οι διεργασίες και οι επεξεργασίες που ήταν απαραίτητες για την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων για το υδατικό δυναμικό της λεκάνης απορροής του ποταμού Αχελώου.

Κεφάλαιο 1

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο γενικότερο πλαίσιο που κινήθηκε η διπλωματική εργασία και στα κύρια χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Κεφάλαιο 2

Δίνεται ο ορισμός των μοντέλων βροχόπτωσης – απορροής, η ταξινόμησή τους και παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια αντιπροσωπευτικά μοντέλα.

Κεφάλαιο 3

Περιγράφεται αναλυτικά η προετοιμασία των δεδομένων του μοντέλου βροχόπτωσης – απορροής που επελέγη (γεωγραφικών, βροχομετρικών και δεδομένων όπως η μέση μηνιαία θερμοκρασία, που αφορούν στη δυνητική εξατμισοδιαπνοή).

Κεφάλαιο 4

Περιλαμβάνει την εφαρμογή μιας τροποποιημένης εκδοχής του Μοντέλου Απλού Υδατικού Ισοζυγίου του Thornthwaite στις λεκάνες απορροής και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτήν.

Κεφάλαιο 5

Παρουσιάζεται η διερεύνηση περιοδικότητας και τάσεων στις διαθέσιμες υδρολογικές χρονοσειρές με τη χρήση στατιστικών ελέγχων.

Κεφάλαιο 6

Αποτελεί το τελευταίο κεφάλαιο όπου συνοψίζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

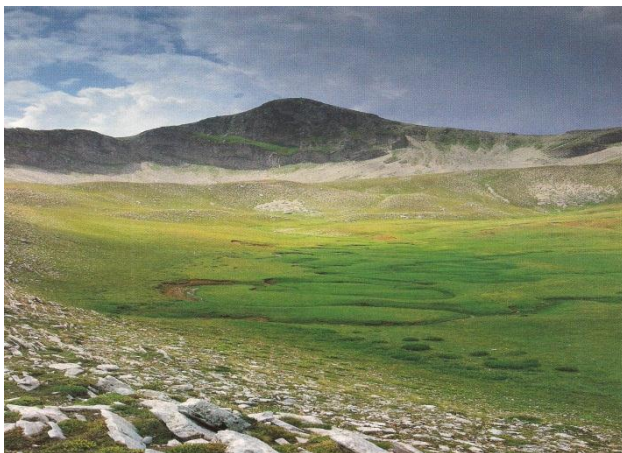
1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η λεκάνη απορροής του Αχελώου βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας και γειτονεύει βόρεια και δυτικά με τις λεκάνες του Αράχθου και της λίμνης Αμβρακίας και ανατολικά με τις λεκάνες του Πηνειού, του Σπερχειού και του Ευήνου. Αποτελεί την πλουσιότερη λεκάνη της χώρας σε υδατικό δυναμικό που βρίσκεται εξ ολοκλήρου επί ελληνικού εδάφους. Ο υδροκρίτης της λεκάνης ακολουθεί δυτικά τις κορυφογραμμές των οροσειρών Θυάμου, Μακρύ, Βάλτου και Αθαμανίων, βορειοδυτικά τις κορυφογραμμές του όρους Λάκμος (Περιστέρι) και τέλος ανατολικά τις κορυφογραμμές τις Νότιας Πίνδου, του Τυμφρηστού, της Οξυάς και του Παναιτωλικού. Η λεκάνη του ποταμού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τα όρια του υδατικού διαμερίσματος (αρ.Υ.Δ 04) της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (ιδιαίτερα στον Άνω Ρου του ταυτίζεται πλήρως με αυτά). Το υδατικό διαμέρισμα περιλαμβάνει ακόμα τις λεκάνες απορροής του Μόρνου και του Ευήνου, τα παράλια του Ν. Αιτ/νίας καθώς και τη Ν. Λευκάδα.

Ο ποταμός Αχελώος είναι ο δεύτερος σε μήκος ποταμός της χώρας και έχει τις πηγές του στην περιοχή του όρους Λάκμος της Πίνδου, κοντά στο Μέτσοβο. Αφού διατρέξει με κατεύθυνση από τα βόρεια προς τα νότια ολόκληρη την Δυτική Ελλάδα κατά μήκος σχεδόν της οροσειράς της Πίνδου (μια συνολική διαδρομή περί τα 220km) εκβάλλει στο Ιόνιο πέλαγος απέναντι από τα νησιά Εχινάδες. Οι εκβολές του Αχελώου στο Ιόνιο πέλαγος σχηματίζουν ένα εκτεταμένο δέλτα λοβοειδούς τύπου (Ψιλοβίκος και Χαχαμίδου 1987), η μορφή του οποίου διαμορφώθηκε τα τελευταία 10.000 χρόνια από τις προσχώσεις του ποταμού. Χαρακτηρίζεται ως ένας από τους πιο σημαντικούς υδροβιότοπους της Μεσογείου και προστατεύεται από την συνθήκη RAMSAR για την προστασία υδροτόπων διεθνούς σημασίας.

Στον άνω ρου του ποταμού συμβάλλουν διάφοροι παραπόταμοι εκ των οποίων οι σπουδαιότεροι είναι ο Καμναϊτικός και το Βαθύρρεμα ανάντη της Μεσοχώρας και ο Κουμπουριανίτικος στην περιοχή της Συκιάς. Οι κυριότερες λεκάνες στο μέσο ρου του ποταμού είναι αυτές του Αγραφιώτη, του Μέγδοβα ή Ταυρωπού και του Τρικεριώτη ανατολικά, οι απορροές των οποίων καταλήγουν στην τεχνητή λίμνη των Κρεμαστών και του Ινάχου ή Μπιζάκα στα δυτικά, οι απορροές του οποίου καταλήγουν στο Καστράκι. Επισημαίνεται ότι το τμήμα της λεκάνης του Μέγδοβα δεν έχει συμπεριληφθεί στην λεκάνη του Αχελώου δοθέντος ότι τα νερά του εκτρέπονται προς τη Θεσσαλία μέσω του Φράγματος Ταυρωπού.



Εικ. 1.1: Οι πηγές του Αχελώου στο όρος Λάκμος (πηγές της Βερλίκας).



Εικ. 1.2: Οι εκβολές του Αχελώου στο Ιόνιο απέναντι από τα νησιά Εχινάδες.

Η περιοχή ενδιαφέροντος δεν περιορίζεται μόνον στα όρια της λεκάνης απορροής του Αχελώου. Ιδιαίτερα στον κάτω ρου, τα ενεργειακά και εγγειοβελτιωτικά έργα έχουν δημιουργήσει ένα σύνθετο σύστημα το οποίο περιλαμβάνει την τεχνητή λίμνη του Στράτου, τις φυσικές λίμνες Τριχωνίδα και Λυσιμαχία καθώς και τον ίδιο τον ρου του ποταμού.

Το σύστημα του Αχελώου μπορεί να διακριθεί συνεπώς σε δυο υποσυστήματα, όριο των οποίων μπορεί να θεωρηθεί σχηματικά ότι είναι το φράγμα Στράτου. Το υποσύστημα του Άνω και Μέσου Αχελώου περιλαμβάνει τα έργα Στράτου, Καστρακίου και Κρεμαστών, τα οποία αποσκοπούν στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και στην εξασφάλιση εγγυημένων παροχών στα κατάντη για αρδευτική χρήση και περιβαλλοντική προστασία. Στο σύστημα αυτό προστίθενται ήδη τα υπό κατασκευή έργα της Μεσοχώρας και της Συκιάς. Τα συμπληρωματικά έργα έχουν μελετηθεί καταρχήν για υδροηλεκτρική ανάπτυξη. Ωστόσο, η πιο πιθανή εκδοχή είναι η αξιοποίηση των έργων της Συκιάς (πρωτίστως) και της Μεσοχώρας (δευτερευόντως) για την εκτροπή νερού προς τη Θεσσαλία για αρδευτική χρήση και περιβαλλοντική αναβάθμιση. Για το σκοπό αυτό έχει αρχίσει και η κατασκευή σήραγγας εκτροπής από τον ταμιευτήρα Μεσοχώρας προς τη Θεσσαλία (Πευκόφυτο). Η ποσότητα που πρόκειται να εκτραπεί προς τη Θεσσαλία σύμφωνα με το τρέχον σενάριο υπολογίζεται στα 600 hm³ ετησίως ενώ έχουν εξεταστεί και άλλα σενάρια μικρότερης ή μεγαλύτερης ποσότητας εκτροπής (μέχρι 1100 hm³ ετησίως).

Το δεύτερο υποσύστημα του Αχελώου αφορά στις αρδευτικές κυρίως και λοιπές χρήσεις νερού στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας κατάντη του Στράτου. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει, όπως ήδη έχει αναφερθεί εκτός από τον Κάτω Αχελώο, και τις λίμνες Τριχωνίδα και Λυσιμαχία, καθώς και τα υπόγεια νερά της περιοχής. Τα έργα του υποσυστήματος αυτού είναι αρδευτικά έργα και πρωτίστως διώρυγες για τη μεταφορά

νερού από τις θέσεις υδροληψίας (Αχελώος κατάντη Στράτου, Τριχωνίδα, Λυσιμαχία, γεωτρήσεις) προς τις θέσεις κατανάλωσης.

1.3.2 Γεωλογία – Έδαφος

Η περιοχή της λεκάνης απορροής του Αχελώου από γεωτεκτονική άποψη ανήκει στην ομάδα των εξωτερικών ζωνών που σχηματίστηκαν κατά τις Αλπικές πτυχώσεις. Την περιοχή διασχίζουν τρεις γεωτεκτονικές ζώνες:

- Η ζώνη Ωλονού-Πίνδου
- Η ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως, δυτικά της ζώνης Πίνδου.
- Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη, στο κεντρικό και δυτικό τμήμα, ως νεώτερη.

Οι τρεις αυτές ζώνες χαρακτηρίζονται από ανθρακικούς, ως επί το πλείστον, σχηματισμούς Τριαδικής έως και Ηωκαινικής ηλικίας αλλά και από φλυσχικά πετρώματα σημαντικού πάχους, τριαδικά λατυποπαγή, σχιστοκερατολίθους.

Η ζώνη Ωλονού-Πίνδου καλύπτει το ανατολικό και περισσότερο ορεινό τμήμα της λεκάνης που αντιστοιχεί κυρίως στον μέσο και άνω ρου του ποταμού. Περιλαμβάνει ανθρακικά και κλαστικά ιζήματα ως τριαδικούς λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους με ενστρώσεις κερατολίθων και αργιλικών σχιστόλιθων μικρού επιφανειακού ανοίγματος και ορατού πάχους. Περιλαμβάνει ακόμα ιουρασικούς ασβεστόλιθους και σχιστόλιθους σε εναλλαγές, ιουρασικούς σχιστοκερατολίθους, πλακώδεις κρητιδικούς ασβεστόλιθους και περιορισμένες εμφανίσεις φλύσχη.

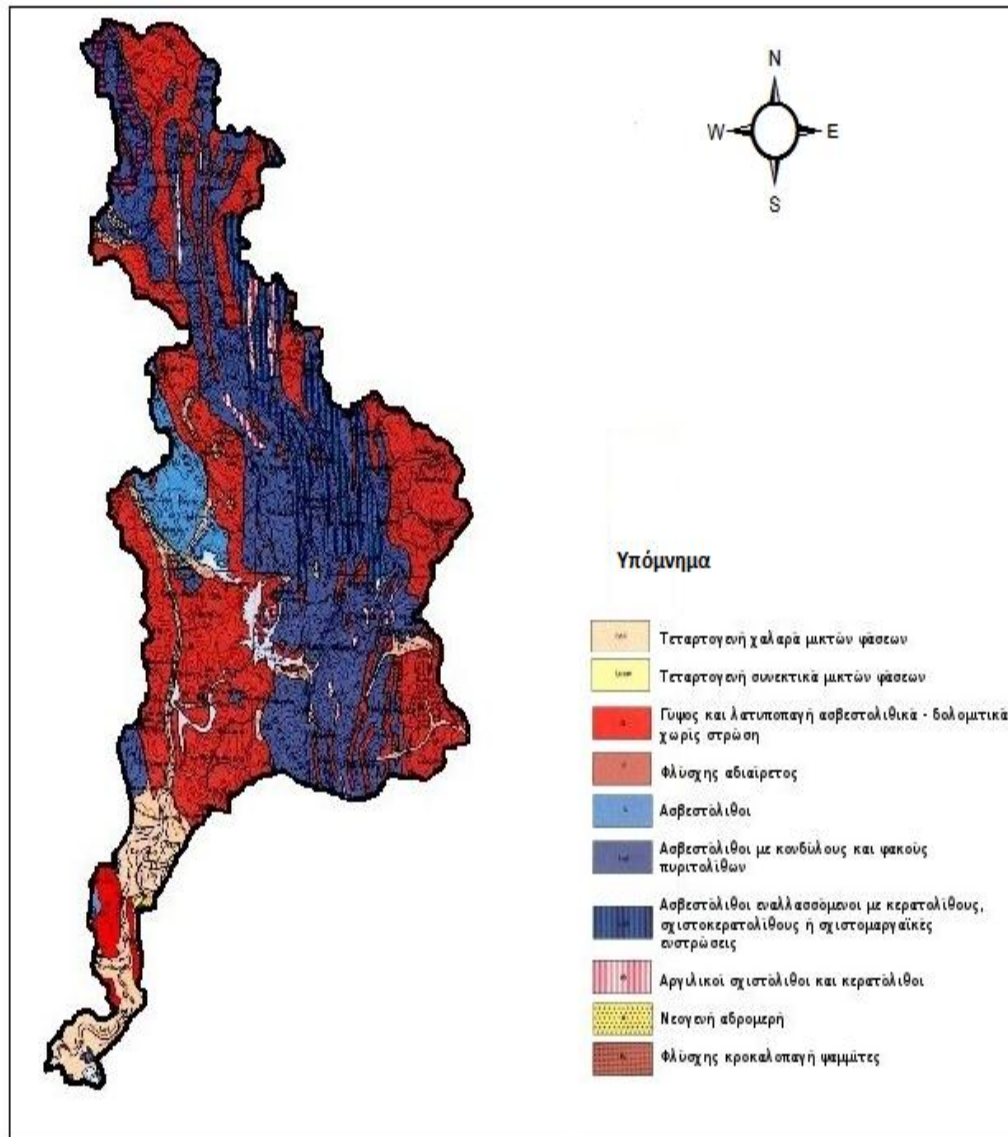
Νοτιότερα παρατηρούνται νεώτερα πλειοκαινικά ιζήματα από μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγή περιορισμένης έκτασης και πάχους καθώς και τεταρτογενείς αποθέσεις (θαλάσσια ιζήματα, λιμνοθαλάσσια και λιμναία ιζήματα του Πλειστοκαίνου και του Ολοκαίνου)

Η ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως αντιπροσωπεύεται κυρίως από φλύσχη σημαντικού πάχους και μικρής έκτασης ανθρακικά πετρώματα στο βόρειο τμήμα.

Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη διασχίζει κυρίως το τμήμα της λεκάνης που αντιστοιχεί στο κάτω ρου του ποταμού. Στη ζώνη αυτή κυριαρχούν τα ανθρακικά πετρώματα, ενώ στη βάση έχουμε σχηματισμούς τριαδικών γύψων και στην κορυφή έχουμε φλύσχη. Δυτικά επικρατούν οι ασβεστόλιθοι όλων των ηλικιών και τύπων μέχρι τις ακτές του Ιονίου Πελάγους. Για το λόγο αυτό τα καρστικά φαινόμενα έχουν μεγάλη ανάπτυξη με ιδιαίτερους χαρακτήρες στην περιοχή του δέλτα.

Στο χώρο της λεκάνης του Κάτω Αχελώου έχουν αποθεθεί μεταλλικά ιζήματα, κυρίως γλυκών υδάτων του Πλειστοκαίνου καθώς επίσης και τεταρτογενείς αποθέσεις ποτάμιες, ποταμολιμναίες, δελταϊκές και ποταμοθαλάσσιες (αποθέσεις κροκαλών, άμμου, ιλύος, αργίλου) (ΙΓΜΕ 1983, ΥΠ.ΑΝ 2003).

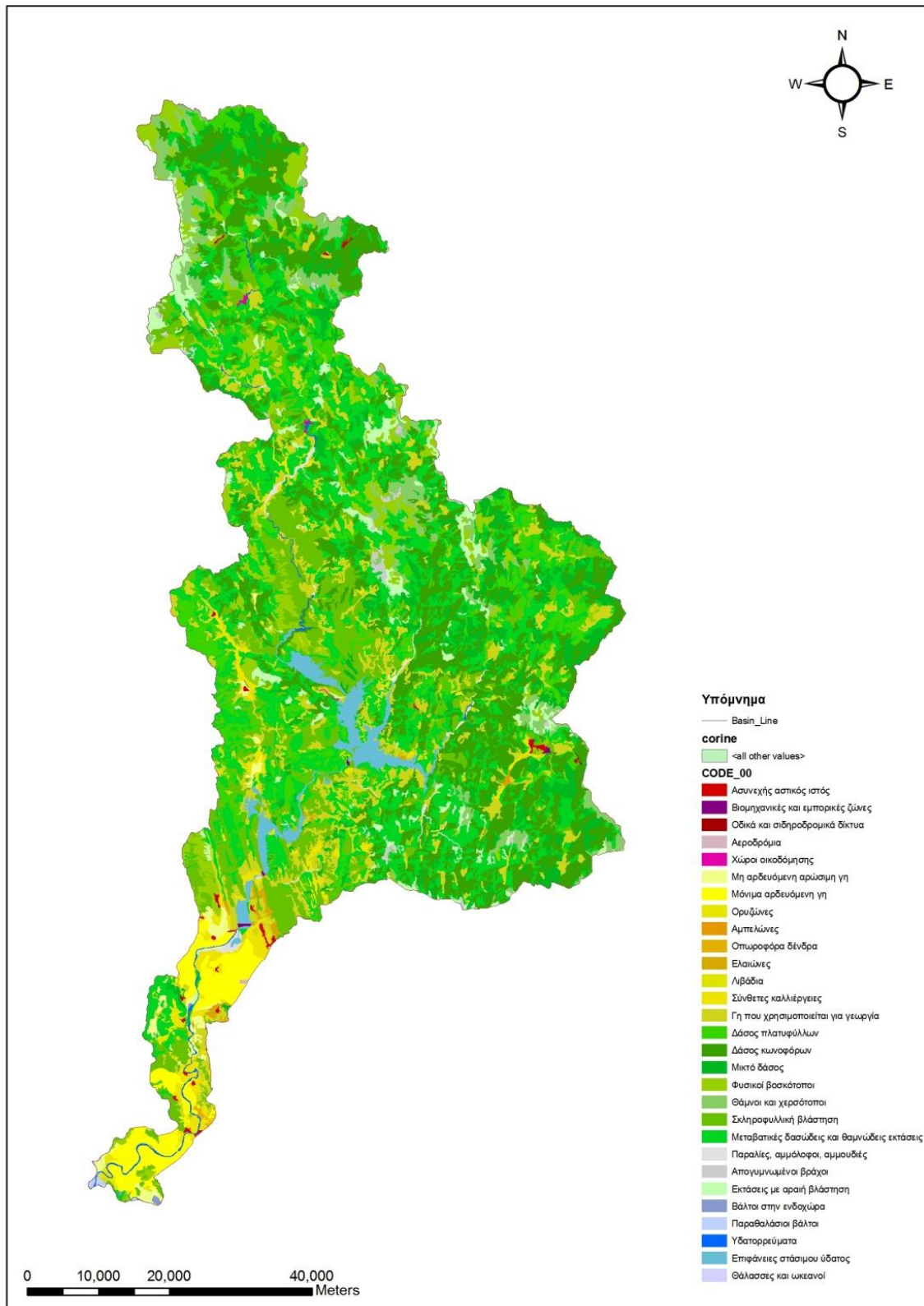
Παρακάτω παρουσιάζεται ένας γεωτεχνικός χάρτης της περιοχής.



Σχήμα 1.1: Γεωτεχνικός χάρτης περιοχής μελέτης ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών).

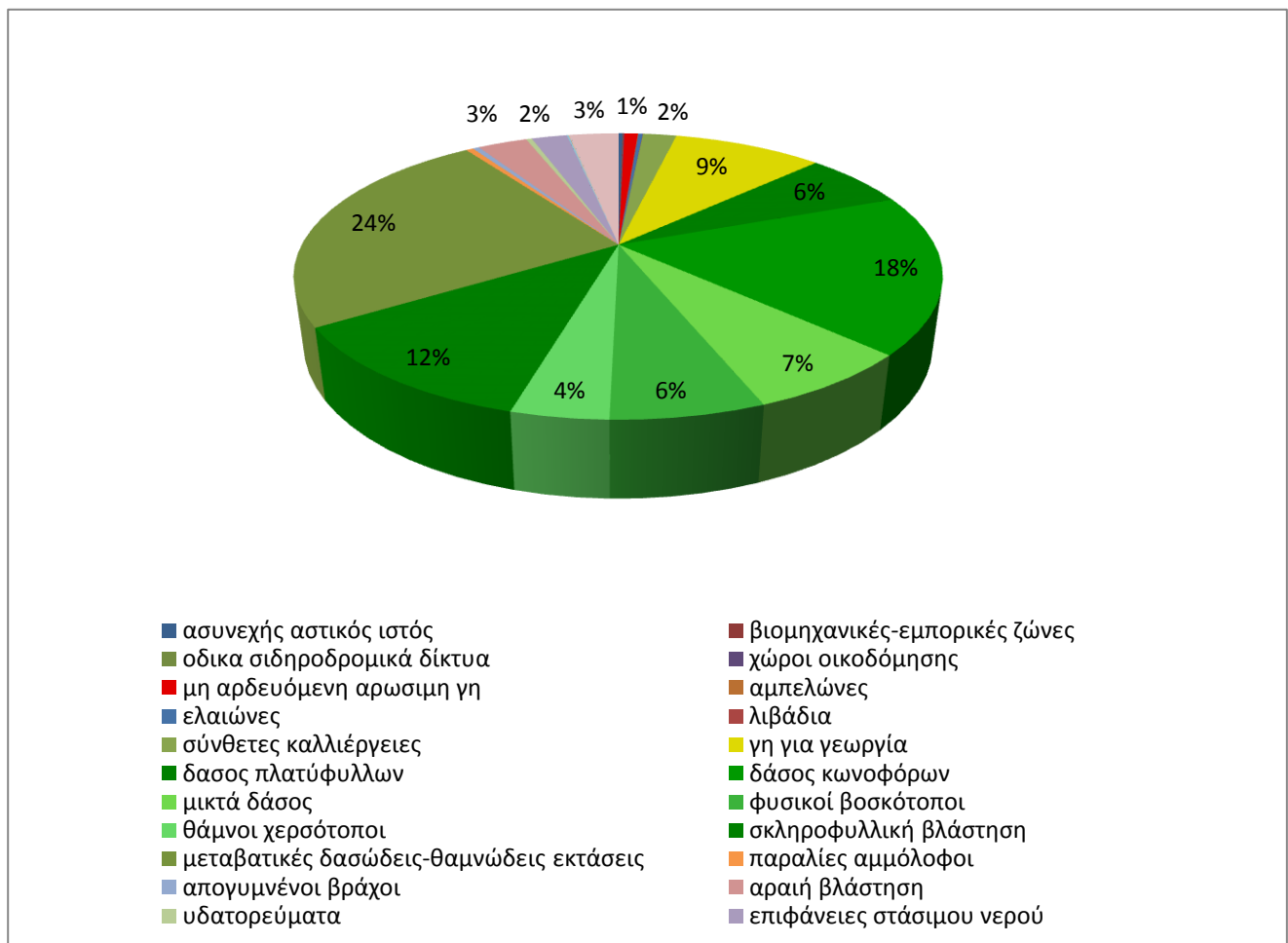
1.3.3 Χρήσεις γης

Με την εφαρμογή του προγράμματος Corine Land Cover 2000 για την καταγραφή των χρήσεων γης στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, προέκυψε ο παρακάτω χάρτης όπου παρουσιάζονται οι κατηγορίες χρήσεων γης που συναντώνται στην περιοχή.



Σχήμα 1.2: Αναλυτική κατηγοριοποίηση χρήσεων γης στην λεκάνη απορροής του Αχελώου ποταμού όπως προέκυψε από το πρόγραμμα Corine 2000.

Όπως παρατηρείται στα Σχήματα 1.2 και 1.3, το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχής μελέτης καλύπτεται από δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις. Συγκεκριμένα, οι δασικές εκτάσεις (κωνοφόρα, πλατύφυλλα και μικτά δάση) καταλαμβάνουν το 31% περίπου της περιοχής. Η θαμνώδης βλάστηση καλύπτει επίσης ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής έκτασης (περίπου 16%), καθώς και οι μεταβατικές εκτάσεις από τη μία κατηγορία στην άλλη (24%). Το συνολικό ποσοστό δασικών και θαμνωδών εκτάσεων ανέρχεται στο 70% περίπου της συνολικής έκτασης, ενώ οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις καταλαμβάνουν μόλις το 15% της συνολικής γης και συναντώνται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους στην περιοχή του κάτω ρου του ποταμού. Οι αστικές επιφάνειες και οι ανθρωπογενείς κατασκευές εντοπίζονται διάσπαρτες και καλύπτουν ένα πολύ μικρό ποσοστό της περιοχής.



Σχήμα 1.3: Γράφημα με τις χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του Αχελώου.

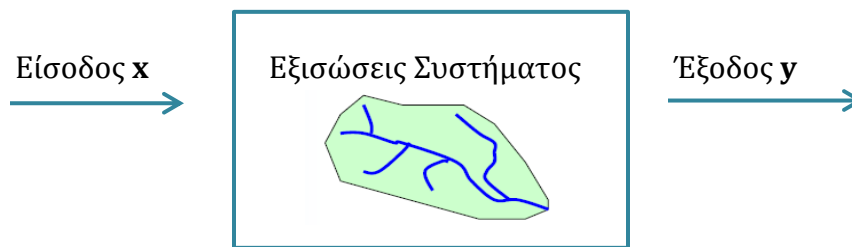
Κεφάλαιο 2

Μοντέλα Βροχόπτωσης-Απορροής

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Το υδρολογικό μοντέλο ορίζεται ως ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων, οι οποίες αξιοποιώντας προσεγγίσεις σχετικές με τους μηχανισμούς του υδρολογικού κύκλου και χρησιμοποιώντας δεδομένα πεδίου (υδρολογικά, γεωμορφολογικά, κλπ.), αναπαριστούν το σύνολο των αλληλοσχετιζόμενων φαινομένων που υπεισέρχονται στη διαδικασία μετατροπής της βροχής σε απορροή.

Σχηματικά ένα υδρολογικό μοντέλο αναπαρίσταται ως εξής:



Σχήμα 2.1: Γενική αναπαράσταση μοντέλου

Αντίστοιχα η μαθηματική του αναπαράσταση είναι: $y = f(s_0, \mathbf{x}, \theta)$

όπου:

Είσοδος x : “φορτίσεις” (βροχή, δυνητική εξατμισοδιαπνοή, απολήψεις, κλπ.)

Έξοδος y : “αποκρίσεις” (επιφανειακή και υπόγεια απορροή, διαφυγές, κλπ.)

s_0 : αρχικές και οριακές συνθήκες

θ : μετρήσεις πεδίου και παράμετροι

Να σημειωθεί πως το αυξημένο ενδιαφέρον για το περιβάλλον και τις επιπτώσεις της ανθρώπινης παρέμβασης στα φυσικά οικοσυστήματα, οδήγησε στην ανάπτυξη ενός άλλου τύπου σύνθετων οικολογικών-υδρολογικών μοντέλων τα οποία εκτός από την προσομοίωση της απορροής, περιλαμβάνουν και αλγόριθμους που προσομοιώνουν φαινόμενα όπως η ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτινων οικοσυστημάτων, η εδαφική διάβρωση κλπ.

Ο πληρέστερος ορισμός ενός τέτοιου μοντέλου περιλαμβάνει τελικά και αλγόριθμους προσομοίωσης χημικών διαδικασιών.

2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Τα μοντέλα βροχόπτωσης-απορροής ταξινομούνται σε κατηγορίες με βάση διάφορα κριτήρια όπως η λειτουργία τους σε σχέση με τον χρόνο, η χωρική τους κλίμακα, η μαθηματική τους δομή, δηλαδή το είδος των εξισώσεων που περιλαμβάνουν αλλά και τη μέθοδο χειρισμού της αβεβαιότητας των υδρολογικών μεγεθών. Ο κύριος διαχωρισμός τους γίνεται με βάση το χρονικό τους βήμα σε μοντέλα μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος και συνεχή μοντέλα, καθώς και με βάση την χωρική τους κλίμακα σε ενιαία και κατανεμημένα.

Συγκεκριμένα:

1α. Τα μοντέλα μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος (*event-based*) λειτουργούν ανά πλημμυρικό γεγονός και αναπαριστούν μόνον τις κύριες φυσικές διεργασίες των πλημμύρων.

1β. Τα συνεχή μοντέλα (*continuous time*) αναπαριστούν την πλήρη χρονική εξέλιξη των υδρολογικών διεργασιών περιλαμβάνοντας ως είσοδο μια ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στο χρόνο (χρονοσειρές) μιας ή περισσότερων μετεωρολογικών μεταβλητών.

2αi. Τα ενιαία ή αδρομερή μοντέλα (*lumped*) βασίζονται στην παραδοχή ομοιόμορφης κατανομής φορτίσεων και κοινών παραμέτρων για όλη την επιφάνεια της λεκάνης απορροής.

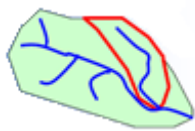
2αii. Τα ημι-αδιαμέριστα μοντέλα (*semi-lumped*) διατηρούν την υπόθεση των κοινών παραμέτρων ανά χωρική ενότητα της λεκάνης απορροής αλλά με διαφορετικές φορτίσεις σε καθεμιά από αυτές.

2βi. Τα κατανεμημένα μοντέλα (*distributed*) βασίζονται στην χωρική κατανομή που προκύπτει από την κατάτμηση της λεκάνης σε πολύ μικρές χωρικές ενότητες με ανομοιόμορφα τοπογραφικά ή άλλα χαρακτηριστικά.

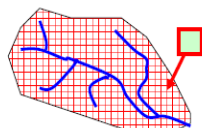
2βii. Τα ημι-κατανεμημένα μοντέλα (*semi-distributed*) βασίζονται στην παραδοχή διαφορετικών φορτίσεων και παραμέτρων ανά χωρική ενότητα.



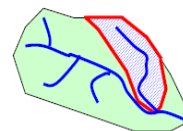
Σχήμα 2.2: Το ενιαίο μοντέλο



Σχήμα 2.3: Το ημι-αδιαμέριστο μοντέλο.



Σχήμα 2.4.: Το κατανεμημένο μοντέλο.



Σχήμα 2.5: Το ημι-κατανεμημένο μοντέλο.

Τα συνεχή μοντέλα βροχόπτωσης-απορροής ταξινομούνται με τη σειρά τους σε υποκατηγορίες:

Σε φυσικά ή φυσικής βάσης, παραμετρικά ή εννοιολογικά και μοντέλα μαύρου κουτιού με κριτήριο το είδος των εξισώσεων και σε προσδιοριστικά ή στοχαστικά με κριτήριο το αν λαμβάνεται υπ' όψιν ή όχι η τυχαιότητα των φαινομένων.

Συγκεκριμένα:

1α. Μοντέλα φυσικής βάσης (physic-based) στα οποία οι μαθηματικές σχέσεις αναπαριστούν τους φυσικούς νόμους που διέπουν τον μετασχηματισμό της βροχής σε απορροή.

1β. *Εννοιολογικά ή παραμετρικά μοντέλα (conceptual)* στα οποία οι φυσικές διεργασίες αναπαρίστανται με απλές μαθηματικές σχέσεις που έχουν καταρτιστεί με εμπειρικό τρόπο.

1γ. *Μοντέλα μαύρου κουτιού (black box)* στα οποία οι φυσικές διεργασίες αναπαρίστανται από σχέσεις της γενικής θεωρίας της ανάλυσης των συστημάτων χωρίς καμία θεώρηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών (φυσικοί νόμοι, εμπειρικές σχέσεις) του υπό μελέτη συστήματος (λεκάνη απορροής).

2α. *Αιτιοκρατικά ή προσδιοριστικά (deterministic)* στα οποία υπάρχει η θεώρηση για όλα τα υδρολογικά μεγέθη ότι έχουν σταθερές τιμές χωρίς αβεβαιότητα.

2β. *Στοχαστικά (stochastic)* στα οποία ορισμένα από τα υδρολογικά μεγέθη που υπεισέρχονται θεωρούνται ότι περιέχουν αβεβαιότητα.

2.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

2.3.1 Μοντέλο Απλού Υδατικού Ισοζυγίου

Το εννοιολογικό μοντέλο του απλού υδατικού ισοζυγίου (Thorntwaite, 1948; Thorntwaite and Mather, 1955) αποτέλεσε τη βάση για πολλά μοντέλα που αναπτύχθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες. Το μοντέλο διαθέτει μια και μοναδική παράμετρο, τη μέγιστη αποθηκευτικότητα του εδάφους S_{max} . Τροποποιήθηκε και εμπλουτίστηκε στη συνέχεια από πολλούς ερευνητές. Για τον ελληνικό χώρο αναφέρουμε τους Giakoumakis et al. (1991) οι οποίοι πρόσθεσαν και μια δεύτερη παράμετρο για τη διήθηση σε βαθείς υδροφορείς (βαθειά διήθηση). Περισσότερες από μια παραμέτρους πρόσθεσαν οι Rozos et al. (2004).

Θεωρούμε μια απλή υδρολογική λεκάνη με την έννοια ότι αυτή δεν παρουσιάζει σημαντική υπόγεια υδροφορία, ούτε μεγάλα υδάτινα σώματα (λίμνες, έλη), αλλά ούτε και σοβαρές ανθρωπογενείς επεμβάσεις (π.χ ταμιευτήρες).

Θεωρούμε όγκο αναφοράς που περιλαμβάνει όλο τον όγκο του εδάφους της λεκάνης, μαζί με όλο το απόθεμα εδαφικής υγρασίας S_t σε κάθε χρονική στιγμή t . Το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης για το χρονικό διάστημα $[t, t+\Delta t]$ διάρκειας Δt , μεταξύ των χρονικών στιγμών t και $t+\Delta t$ γράφεται:

$$S_{t+\Delta t} - S_t = P_t - E_t - Q_t \quad (2.1)$$

Όπου S_t , $S_{t+\Delta t}$ είναι το απόθεμα εδαφικής υγρασίας στους χρόνους t και $t+\Delta t$ αντίστοιχα, P_t είναι η χωρικά μέση βροχόπτωση στο διάστημα $[t, t+\Delta t]$, E_t η χωρικά μέση πραγματική εξατμισοδιαπνοή στο διάστημα $[t, t+\Delta t]$, και Q_t η απορροή στο στόμιο εξόδου της λεκάνης στο διάστημα $[t, t+\Delta t]$.

Όλα τα μεγέθη εκφράζονται σε ύψος νερού (mm) στο σύνολο της έκτασης της εξεταζόμενης λεκάνης.

Αν κατά το χρονικό διάστημα Δt η βροχόπτωση υπερβαίνει τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_{pt} ($P_t \geq E_{pt}$), η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ταυτίζεται με τη δυνητική ($E_t = E_{pt}$), και υπάρχει περίσσειμα νερού ($P_t - E_{pt}$). Αυτό αποθηκεύεται εξ ολοκλήρου στο έδαφος, στην περίπτωση που δεν υπάρχει υπέρβαση της αποθηκευτικής ικανότητας του εδάφους S_{max} , δηλαδή όταν $S_t + P_t - E_{pt} < S_{max}$. Στην αντίθετη περίπτωση, απορρέει ποσότητα νερού $Q_t = S_t + P_t - E_{pt} - S_{max}$.

Σε κωδικοποιημένη μορφή:

Αν $P_t \geq E_{pt}$

$$S_{t+\Delta t} = \min(S_t + P_t - E_{pt}, S_{max}) \quad (2.2)$$

$$Q_t = \max(S_t + P_t - E_{pt} - S_{max}, 0) \quad (2.3)$$

Αν $P_t < E_{pt}$, τότε δεν ικανοποιούνται οι ανάγκες για εξατμισοδιαπνοή, αλλά θεωρείται ότι εξατμίζεται όλη η βροχόπτωση και απομένει, ακόμη, μια «ζήτηση» για εξατμισοδιαπνοή ίση με $E_{pt} - P_t$. Η ζήτηση αυτή θεωρείται ότι ασκείται στο απόθεμα εδαφικής υγρασίας σε κάθε χρονική στιγμή u , όπου $t \leq u \leq t + \Delta t$, με σταθερό στιγμιαίο ρυθμό $e_{max,t}$ ίσο με:

$$e_{max,t} = \frac{E_{pt} - P_t}{\Delta t} \quad (2.4)$$

Ο στιγμιαίος ρυθμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής $\frac{dE}{du}$ συμπίπτει με τον ρυθμό της ζήτησης για εξατμισοδιαπνοή $e_{max,t}$, όταν το έδαφος είναι κορεσμένο ($S=S_{max}$). Όταν το έδαφος είναι ξερό ($S=0$), ο στιγμιαίος ρυθμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής

μηδενίζεται. Μεταξύ των δυο αυτών ακραίων καταστάσεων, δεχόμαστε γραμμική μεταβολή, δηλαδή

$$\frac{dE}{du} = e_{\max,t} \left(\frac{S}{S_{\max}} \right) \quad (2.5)$$

Από την εξίσωση συνέχειας σε στιγμιαία μεγέθη λαμβάνεται:

$$\frac{dS}{du} = - \frac{dE}{du} \quad (2.6)$$

Από τις τελευταίες τρεις εξισώσεις λαμβάνεται μια διαφορική εξίσωση ως προς τη μεταβλητή S από την οποία, μετά από ολοκλήρωση στο χρονικό διάστημα $[t, t+\Delta t]$, προκύπτει:

$$S_{t+\Delta t} = S_t \exp \left(- \frac{Ept - Pt}{S_{\max}} \right) \quad (2.7)$$

Στην δεύτερη αυτή περίπτωση δεν παράγεται απορροή ($Q_t = 0$).

Το μοντέλο έχει ως δεδομένα εισόδου τις χρονοσειρές της χωρικά μέσης βροχόπτωσης και της χωρικά μέσης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, ως έξοδο τη συνθετική χρονοσειρά της απορροής στο στόμιο εξόδου της υπό μελέτη λεκάνης, και, ως μοναδική παράμετρο, τη μέγιστη αποθηκευτικότητα του εδάφους S_{\max} .

2.3.2 Μοντέλο MORIN

Το μοντέλο αυτό αποτελεί αντιπροσωπευτικό παράδειγμα απλού προσδιοριστικού μοντέλου. Τα διαδοχικά στάδια των υπολογισμών εκτελούνται με την ακόλουθη σειρά:

1. Ποσότητα νερού από την τήξη του χιονιού
2. Εξατμισοδιαπνοή
3. Διήθηση
4. Ενδιάμεση απορροή
5. Υπόγεια απορροή
6. Επιφανειακή απορροή
7. Αποθήκευση στο άνω στρώμα
8. Αποθήκευση στο κάτω στρώμα
9. Ολική ποσότητα νερού διαθέσιμη για την απορροή
10. Απορροή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω διαδικασίες είναι συνεχείς και ταυτόχρονες. Το μοντέλο περιλαμβάνει συνολικά 17 παραμέτρους. Η ρύθμιση του μοντέλου μπορεί να γίνει με δοκιμές ή αυτόματα με πρόγραμμα βελτιστοποίησης μιας αντικειμενικής συνάρτησης.

2.3.3 Μοντέλο MERO

Πρόκειται για ένα προσδιοριστικό εννοιολογικό μοντέλο (*conceptual model*), το οποίο βασίζεται στην προσομοίωση των υδρολογικών διεργασιών στη θεωρούμενη λεκάνη απορροής που είναι η κατακράτηση από τη χλωρίδα, η διήθηση στη ζώνη του ριζοστρώματος, η βαθιά διήθηση σε βαθιά υδροφόρα στρώματα, η επίγεια απορροή, η υπεδάφια απορροή, και η απορροή των προσωρινών και των μόνιμων πηγών. Οι διεργασίες αυτές και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις περιγράφονται στο μοντέλο με εμπειρικές σχέσεις, όπως η συνάρτηση της επιφανειακής απορροής, η συνάρτηση της υπόγειας ροής και η σχέση αποθήκευσης – ανανέωσης του εδαφικού νερού, που έχουν προκύψει από στοιχεία μακροχρόνιων παρατηρήσεων σε λεκάνες απορροής της Κύπρου (Phanartzis, 1972).

Τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο είναι οι ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης $P(\text{mm})$ και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής $E_p(\text{mm})$, ενώ παράγει συνθετικές χρονοσειρές ημερήσιων τιμών απορροής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

Το μοντέλο ακολουθεί μία υπολογιστική διαδικασία, κατά την οποία η ποσότητα βροχής (δεδομένα εισόδου) αποθηκεύεται σε διάφορα στρώματα, σε κάθε ένα από τα οποία ορισμένη ποσότητα εκρέει (δεδομένα εξόδου), μέχρι τελικά όλη η αρχική ποσότητα να έχει μετρηθεί (Underhill et al., 1970).

Πιο συγκεκριμένα, το νερό της βροχόπτωσης θεωρείται ότι διέρχεται από μία σειρά διασυνδεδεμένων δεξαμενών που είναι οι ακόλουθες (Σχήμα 2.6):

1. Δεξαμενή κατακράτησης από τη χλωρίδα με χωρητικότητα $UMAX$ και απόθεμα U .
2. Δεξαμενή εδαφικής ζώνης ριζοστρώματος χωρητικότητας LFC (υδατοικανότητα) και απόθεμα L_1 .
3. Δεξαμενή υπόγειου νερού χωρητικότητας $LMAX-LFC$ (όπου $LMAX$ η συνολική χωρητικότητα του εδάφους) και απόθεμα L_2 .
4. Δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης επίγεια απορροής με απόθεμα ST .
5. Δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης υπεδάφια απορροής με απόθεμα I .
6. Δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης απορροής προσωρινών πηγών με απόθεμα G_1 .
7. Δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης απορροής μόνιμων πηγών με απόθεμα G_2 .

Η βροχόπτωση πρώτα γεμίζει τη δεξαμενή U από την οποία το νερό εξατμίζεται με δυνητικό ρυθμό που εκφράζεται από τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_p . Εφόσον η δεξαμενή γεμίσει, το περίσσειμα PN διατίθεται πρώτα για επίγεια ροή DST σύμφωνα με τη σχέση:

$$DST = f_1(PN, PRST) \quad (2.8)$$

όπου PRST είναι το συνολικό ποσοστό πλήρωσης των δύο δεξαμενών εδαφικής υγρασίας L_1 και L_2 .

Το νέο περίσσειμα PN- DST παράγει την υπεδάφια απορροή DI:

$$DI = f_2(PN-DST, PRST) \quad (2.9)$$

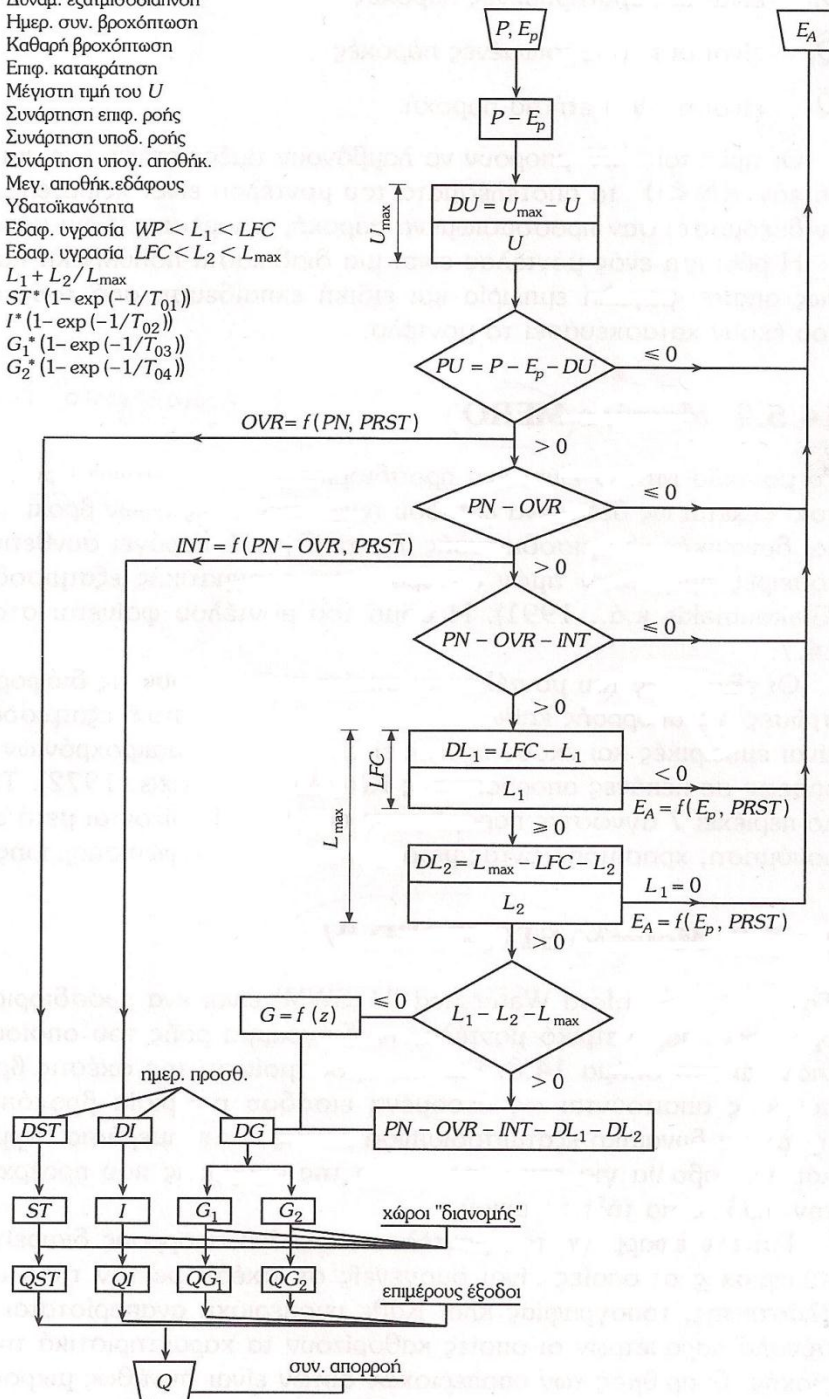
και το υπολειπόμενο εισέρχεται στη δεξαμενή L_1 . Από τη δεξαμενή αυτή εξατμίζεται ποσότητα νερού εφόσον υπάρχει επάρκεια νερού. Αν υπάρξει υπερχειλίση ισχύει: $L_1 > LFC$, (Giakoumakis et al., 1991; Τίγκας, 2003).

Οι εξισώσεις του μοντέλου οι οποίες περιγράφουν τις διάφορες συνιστώσες της απορροής καθώς επίσης και την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, είναι εμπειρικές. Η υπόγεια απορροή επιμερίζεται μέσω της συνάρτησης G σε δυο συνιστώσες DG_1 και DG_2 οι οποίες εισέρχονται στις δεξαμενές G_1 και G_2 αντίστοιχα. Οι δεξαμενές ST, I, G_1 και G_2 αποφορτίζονται γραμμικά με διαφορετικούς ρυθμούς αποφόρτισης. Το μοντέλο περιέχει συνολικά 7 άγνωστες παραμέτρους που προσδιορίζονται μετά από βαθμονόμηση, χρησιμοποιώντας μετρημένα στοιχεία απορροής.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- E_A : Πραγμ. εξατμισοδιαπνοή
- E_p : Δυναμ. εξατμισοδιαπνοή
- P : Ημερ. συν. βροχοπτώση
- PN : Καθαρή βροχοπτώση
- U : Επιφ. κατακράτηση
- U_{max} : Μέγιστη τιμή του U
- OVR : Συνάρτηση επιφ. ροής
- INT : Συνάρτηση υποδ. ροής
- G : Συνάρτηση υπογ. αποθήκ.
- L_{max} : Μεγ. αποθήκ. εδάφους
- LFC : Υδατοϊκανότητα
- L_1 : Εδαφ. υγρασία $WP < L_1 < LFC$
- L_2 : Εδαφ. υγρασία $LFC < L_2 < L_{max}$
- $PRST$: $L_1 + L_2 / L_{max}$
- Q_{ST} : $ST^* (1 - \exp(-1/T_{01}))$
- Q_I : $I^* (1 - \exp(-1/T_{02}))$
- Q_{G_2} : $G_2^* (1 - \exp(-1/T_{03}))$
- Q_{G_1} : $G_1^* (1 - \exp(-1/T_{04}))$

ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ του ΜΕΡΟ



Σχήμα 2.6. Λογικό διάγραμμα του μοντέλου ΜΕΡΟ (Giakoumakis et al., 1991).

2.3.4 Μοντέλο STANFORD IV

Το μοντέλο STANFORD Watershed IV, (N.H. Crawford and R.K. Linsley, 1966) είναι ένα προσδιοριστικό, αδρομερές, παραμετρικό μοντέλο. Για την προσομοίωση της σχέσης βροχόπτωσης-απορροής απαιτούνται ως δεδομένα εισόδου η ωριαία βροχόπτωση, η ημερήσια δυναμική εξατμισοδιαπνοή καθώς και η ημερήσια θερμοκρασία και ακτινοβολία για τον υπολογισμό της απορροής που προέρχεται από την διαδικασία της τήξης του χιονιού.

Για την εφαρμογή του μοντέλου η λεκάνη απορροής διαιρείται σε υποπεριοχές οι οποίες είναι ομογενείς σε σχέση με τον τύπο εδάφους, βλάστησης, τοπογραφίας κλπ. Κάθε υποπεριοχή αναπαρίσταται από ένα σύνολο παραμέτρων οι οποίες καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της υποπεριοχής. Ο αριθμός των υποπεριοχών αυτών είναι συνήθως μικρός και συχνά είναι ίσος με τον αριθμό των βροχομετρικών σταθμών που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση.

Η κατακράτηση στην φυτοκάλυψη προσομοιώνεται μέσω της αποθηκευτικής ικανότητας κατακράτησης η οποία θεωρείται ότι είναι μεταξύ 0 και 5mm. Η βροχόπτωση κατακρατείται στην φυτοκάλυψη μέχρι πληρώσεως της αποθηκευτικής ικανότητάς της, η οποία εκκενώνεται από τη δυναμική εξάτμιση. Η εξάτμιση κατά τη διάρκεια ενός γεγονότος βροχής αυξάνει τις απώλειες κατακράτησης στη φυτοκάλυψη. Η αδιαπέραστη περιοχή μιας λεκάνης προσομοιώνεται με εκτροπή ενός σταθερού ποσοστού της βροχόπτωσης προς το υδατόρευμα. Το ποσοστό αυτό είναι ίσο με το ποσοστό της αδιαπέραστης περιοχής της λεκάνης.

Η διήθηση στο έδαφος μεταβάλλεται γραμμικά, σαν συνάρτηση του λόγου της υγρασίας της κατώτερης εδαφικής ζώνης προς την ονομαστική αποθήκευση της ζώνης αυτής. Η υπεδάφια ροή προσομοιώνεται με μια παρόμοια διαδικασία. Η υπεδάφια ροή αυξάνει όσο αυξάνει η εδαφική υγρασία. Η ροή αυτή αποθηκεύεται και ένα τμήμα της απελευθερώνεται προς το υδατόρευμα σε κάθε χρονικό βήμα.

Όσον αφορά την επιφανειακή απορροή, αυτή είτε αποθηκεύεται στην άνω εδαφική ζώνη, είτε μετατρέπεται σε ροή στην επιφάνεια του εδάφους υπολογιζόμενη από μια απλή εξίσωση συνέχειας. Κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ένα μέρος της αποθήκευσης της άνω ζώνης περνάει στην κατώτερη ζώνη και διανέμεται μεταξύ εδαφικής υγρασίας κατώτερης ζώνης και υπόγειας αποθήκευσης. Η ποσότητα νερού που εισέρχεται στο υπόγειο στρώμα είτε προωθείται προς τη βαθεία ή αδρανή υπόγεια αποθήκευση μη συνεισφέροντας στην απορροή του υδατορεύματος, είτε προωθείται

προς την υπόγεια αποθήκευση από την οποία στη συνέχεια εισέρχεται στο υδατόρευμα.

2.3.5 Μοντέλο SHE

Το μοντέλο SHE (Système Hydrologique Européen), (Danish Hydraulic Institute (Denmark), Institute of Hydrology (UK) and SOGREAH (France), 1976) είναι ένα καταναμημένο (distributed) υδρολογικό μοντέλο φυσικής βάσης το οποίο προσομοιώνει όλες τις κύριες φάσεις του υδρολογικού κύκλου. Πιο συγκεκριμένα, οι διαδικασίες αυτές του υδρολογικού κύκλου προσομοιώνονται ως ακολούθως:

Κατακράτηση στη φυτοκάλυψη

Η συνιστώσα αυτή υπολογίζει την καθαρή βροχόπτωση που φθάνει στο έδαφος μέσω της φυτοκάλυψης, το ποσό του νερού που αποθηκεύεται στη φυτοκάλυψη καθώς και την εξάτμιση. Η κατακράτηση στη φυτοκάλυψη προσομοιώνεται με το τροποποιημένο μοντέλο Rutter et al. (1971-72).

Εξατμισοδιαπνοή

Η προσομοίωση της δυνητικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής γίνεται με τρεις διαφορετικές μεθόδους οι οποίες δίνουν στο μοντέλο SHE την ελαστικότητα να προσαρμόζεται στα δεδομένα των εκάστοτε τοπικών συνθηκών. Η πλέον σύνθετη και φυσικώς ρεαλιστική σχέση που χρησιμοποιείται από το μοντέλο είναι η σχέση Penman-Monteith (Monteith, 1965).

Επιφανειακή απορροή

Για τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής υιοθετείται μια δισδιάστατη λύση βασισμένη στις εξισώσεις Saint Venant, οι οποίες επιλύονται με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών (Preissman and Zaoui, 1979).

Ποτάμια ροή

Ο υπολογισμός της ροής του υδατορεύματος βασίζεται επίσης στις εξισώσεις Saint Venant οι οποίες επιλύονται σε μονοδιάστατη μορφή.

Ακόρεστη υπεδάφια ροή

Η συνιστώσα αυτή του μοντέλου υπολογίζει την εδαφική υγρασία και την κατανομή της πίεσης στην ακόρεστη ζώνη, η οποία εκτείνεται από τη επιφάνεια του εδάφους μέχρι την επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα. Η επίλυση που ακολουθείται βασίζεται

στην υπόθεση ότι η ροή ακολουθεί την κατακόρυφη διεύθυνση και η λύση αποκτάται με την μονοδιάστατη εξίσωση Richards.

Κορεσμένη υπεδάφια ροή

Η συνιστώσα αυτή υπολογίζει το ύψος του υδροφόρου ορίζοντα και την ροή η οποία θεωρείται μόνο κατά την οριζόντια διεύθυνση στην ακόρεστη ζώνη. Η μεταβολή στο χρόνο του ύψους της επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα υπολογίζεται σε κάθε τετραγωνίδιο από τη μη γραμμική εξίσωση Boussinesq.

Τήξη χιονιού

Ο σκοπός της συνιστώσας αυτής είναι να προσομοιώσει το πάχος του στρώματος χιονιού, όπως αυτό επηρεάζεται από τα κατακρημνίσματα και την τήξη και να προσομοιώσει το ρυθμό απόληψης από το έδαφος του νερού που προέρχεται από την τήξη του χιονοστρώματος. Στο σημείο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν δυο διαφορετικές μέθοδοι αναλόγως των διαθέσιμων δεδομένων. Η πιο απλή μέθοδος που χρησιμοποιείται απαιτεί ως δεδομένα μόνο τις ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες.

2.3.6 Μοντέλο SWAT

Το μοντέλο SWAT (Soil and Water Assessment Tool) είναι ένα σύνολο επιμέρους μοντέλων (φυσικής βάσης ή εννοιολογικών).

Αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1990 από το Αμερικανικό Υπουργείο Γεωργίας (U.S Department of Agriculture) και η ανάπτυξή του συνεχίστηκε και στην παρούσα δεκαετία (Neitsch et al., 2002).

Το SWAT προσομοιώνει μια σειρά φυσικοχημικών διεργασιών στη λεκάνη απορροής. Οι διεργασίες αυτές και οι σχετικές μεταβλητές που προσομοιώνονται είναι:

- Προσομοίωση κλίματος
 - Ηλιακή ακτινοβολία
 - Θερμοκρασία αέρα
 - Θερμοκρασία νερού
 - Θερμοκρασία εδάφους
 - Ταχύτητα ανέμου
 - Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχόπτωση, χιονόπτωση)
 - Τήξη χιονιού
 - Υδρατμοί
 - Σχετική υγρασία
 - Καιρικές συνθήκες (διαδοχή υγρών και ξηρών ημερών κ.λ.π.)

- Κλιματική αλλαγή
- Προσομοίωση υδρολογικών διεργασιών
 - Παραγωγή απορροής (μέθοδοι SCS και Green and Ampt)
 - Εξατμισοδιαπνοή (μέθοδοι Penman-Monteith, Priestley-Taylor και Hargreaves)
 - Πραγματική εξατμισοδιαπνοή
 - Κίνηση νερού στο έδαφος (ακόρεστη ροή)
 - Κίνηση του νερού σε υπόγειους υδροφορείς (κορεσμένη ροή).
- Προσομοίωση παραγωγής θρεπτικών (άζωτο, φώσφορος και ενώσεις τους) και φυτοφαρμάκων.
- Προσομοίωση διακίνησης φερτών υλικών (διάβρωση, στερεοαπορροή, απόθεση φερτών).
- Προσομοίωση ανάπτυξης καλλιεργειών.
- Προσομοίωση καλλιεργητικών μεθόδων και πρακτικών.
- Προσομοίωση διακίνησης νερού και ρύπων σε υδάτινα σώματα (υδατορεύματα, λίμνες και ταμιευτήρες).

Ως χωρική κλίμακα, το μοντέλο χρησιμοποιεί τη μονάδα υδρολογικής απόκρισης που είναι μια υδρολογικά ομογενής περιοχή της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής.

Η χρονική κλίμακα του μοντέλου είναι ημερήσια αλλά τα εξαγόμενα μπορούν να δοθούν και στη μηνιαία και στην ετήσια κλίμακα.

Σε ότι αφορά τις υδρολογικές διεργασίες, τα απαιτούμενα δεδομένα περιλαμβάνουν:

- ✓ Γεωγραφικά δεδομένα
- ✓ Ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου
- ✓ Χρήσεις γης (σε ψηφιακή μορφή)
- ✓ Υδρογραφικό δίκτυο (σε ψηφιακή μορφή)
- ✓ Χρονοσειρές υδρολογικών μεγεθών (βροχόπτωση, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία)
- ✓ Διάφορα κλιματικά χαρακτηριστικά (αντίστοιχα με τα παραπάνω μεγέθη).

2.3.7 Μοντέλο ILWAS

Η ανάπτυξη του μοντέλου ILWAS (Integrated Lake -Watershed Acidification Study) άρχισε το 1977 από το Ερευνητικό Ινστιτούτο Ηλεκτρικής Ενέργειας των ΗΠΑ. Έκτοτε το μοντέλο αυτό έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία σε πολλά μέρη του κόσμου (Kaemaki,

1991). Σκοπός του μοντέλου αυτού είναι ο προσδιορισμός τόσο των ποσοτικών (παροχές στο υδατόρευμα, απορροές από κάθε εδαφικό στρώμα), όσο και των ποιοτικών χαρακτηριστικών (pH, συγκεντρώσεις ιόντων, αλκαλικότητα) της απορροής. Με τον τρόπο αυτό εκτιμάται η επίδραση ανθρωπογενών αλλαγών (π.χ ατμοσφαιρική ρύπανση κλπ) και διαχειριστικών αποφάσεων (π.χ αλλαγές στα ποσοστά φυτοκάλυψης, είδος καλλιεργειών κλπ), τόσο στην ποσότητα, όσο και στην ποιότητα της απορροής.

Το μοντέλο αναπαριστά τη διαδρομή της βροχόπτωσης μέσω των εδαφικών οριζόντων, των υδατορευμάτων και των λιμνών, χρησιμοποιώντας αρχές ισοζυγίου μάζας και εξισώσεις που αφορούν την ροή σε υδραυλικές βαθμίδες. Περιλαμβάνει δυο ξεχωριστά υπο-μοντέλα: ένα υδρολογικό και ένα χημικό. Το υδρολογικό υπο-μοντέλο προσομοιώνει τις υδρολογικές διαδικασίες της κατακράτησης στην φυτοκάλυψη, ενδορροή, εξατμισοδιαπνοή, συγκέντρωση και τήξη χιονιού και επιφανειακή και υπόγεια ροή. Το χημικό υπο-μοντέλο προσομοιώνει τις συγκεντρώσεις 16 ανιόντων και κατιόντων, του pH και της αλκαλικότητας σε κάθε ένα από τα φυσικά τμήματα μιας λεκάνης απορροής. Προκειμένου να ληφθεί υπ' όψιν η ετερογένεια μιας λεκάνης απορροής, αυτή μπορεί να διαχωριστεί σε τμήματα, τόσο κατά την οριζόντια, όσο και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Οι βασικές διαδικασίες που προσομοιώνονται από το μοντέλο ILWAS είναι συνοπτικά οι ακόλουθες:

Υδρολογικό υπο-μοντέλο

- Διαχωρισμός βροχής και χιόνος
- Δυναμική κατακράτηση στη φυτοκάλυψη
- Δυναμική εξατμισοδιαπνοή
- Πραγματική κατακράτηση στη φυτοκάλυψη και πραγματική εξάτμιση
- Υπεδάφια και υπόγεια ροή
- Ροή στην επιφάνεια του εδάφους
- Διόδευση κατά μήκος του υδατορεύματος

Χημικό υπο-μοντέλο

- Χημικές συγκεντρώσεις ιόντων ενδορροής
 - α. Ξηρή εναπόθεση στη φυτοκάλυψη
 - β. Φυλλική έκχυση
 - γ. Οξειδωση
- Χημικές διαδικασίες οργανικού στρώματος
 - α. Φυλλόπτωσηση
 - β. Απορρόφηση τροφικών συστατικών
 - γ. Ριζική αναπνοή

- Χημικές διαδικασίες εδαφικού στρώματος
 - α. Νιτροποίηση
 - β. Απορρόφηση ιόντων
 - γ. Ανταλλαγή κατιόντων
 - δ. Αποσύνθεση πετρωμάτων

Κεφάλαιο 3

Επεξεργασία δεδομένων της λεκάνης απορροής

3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

3.1.1 Γενικές πληροφορίες

Η συλλογή, η διαχείριση, η επεξεργασία, η μοντελοποίηση και τελικώς η αναπαράσταση των δεδομένων που αναφέρονται στο χώρο, αποτελούν σήμερα, χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών, απλοποιημένες διαδικασίες υποστηριζόμενες από τα αντίστοιχα λογισμικά.

Στα αρχικά στάδια της συγκεκριμένης εργασίας μας απασχόλησαν πληροφορίες τοπογραφικού-υψομετρικού χαρακτήρα (ισοϋψείς καμπύλες, περιγράμματα λιμνών, ακτογραμμές) και υδρολογικού χαρακτήρα (λεκάνες απορροής, υδρογραφικό δίκτυο, σταθμοί μετρήσεων).

Για την εισαγωγή, την κωδικοποίηση και την επεξεργασία της γεωγραφικής πληροφορίας με σκοπό της εξαγωγή συγκεκριμένης υδρολογικής πληροφορίας, έγινε συνδυαστική χρήση των λογισμικών πακέτων GIS (Geographical Information System) και CAD (Computer Aided Design), εφόσον υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των δυο λογισμικών εφαρμογών. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο η έκδοση 9.3.1 του Arcgis και σε μικρότερο βαθμό η έκδοση 2009 του Autocad. Η προσπάθεια ήταν αρκετά επίπονη επειδή δεν διατίθενται έτοιμοι ψηφιακοί χάρτες.

Τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των γεωγραφικών επιπέδων σε επίπεδο λεκάνης απορροής ήταν 21 φύλλα χάρτη (Φ.Χ) της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού για την περιοχή μελέτης σε κλίμακα 1:50000¹.

Τα ζητούμενα “τελικά” προϊόντα ορίσθηκαν να είναι:

A.1 Το εμβαδό των λεκανών απορροής.

A.2 Το εμβαδό των λιμνών.

A.3 Το μέσο υψόμετρο των λεκανών απορροής.

A.4 Τα διαγράμματα ποσοστιαίας κατανομής των υψομέτρων ανά λεκάνη απορροής.

¹ Συγκεκριμένα πρόκειται για τα φύλλα χάρτη με ονομασία: Άγναντα, Άγραφα, Αγρίνιο, Αλευράδα, Αμφιλοχία, Αστακός, Εχινάδες, Θέρμο, Καλαμπάκα, Καρδίτσα, Καρπενήσι, Καστανέα, Κλεπά, Μεσολόγγι, Μουζάκι, Μυρόφυλλο, Πέτας, Πράμαντα, Ραυτόπουλο, Φούρνα, Φραγκίστα.

Για την εξαγωγή των A.3 και A.4 αλλά και για την απεικόνιση των μορφολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης, κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία ενός υδρολογικά ορθού ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM-Digital Elevation Model).

Οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω:

3.1.2 Ψηφιοποίηση των χαρτών της ΓΥΣ

Η δημιουργία ενός κατάλληλου ψηφιακού υποβάθρου που θα περιελάμβανε την σχετιζόμενη με την περιοχή μελέτης πληροφορία που εμπεριέχεται στους χάρτες αυτούς, αποτέλεσε ένα πολύ μεγάλο στάδιο της παρούσας εργασίας.

Για να είναι δυνατή η επεξεργασία τους σε υπολογιστή, οι χάρτες έπρεπε αρχικά να μετατραπούν από αναλογική σε ψηφιακή μορφή με τη χρήση σαρωτή. Αποτέλεσμα της σάρωσης είναι οι χάρτες να έχουν ως σύστημα αναφοράς το τοπικό σύστημα του ψηφιοποιητή-σαρωτή (scanner) και για το λόγο αυτό θα έπρεπε να γίνει γεωαναφορά τους ώστε να αναφέρονται σε κάποιο γνωστό σύστημα αναφοράς. Επιλέχθηκε το ισχύον σύστημα αναφοράς της χώρας, το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του '87 (ΕΓΣΑ '87), μιας και αποτελεί το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα αναφοράς στην Ελλάδα.

Η γεωαναφορά γίνεται με κάποιο μετασχηματισμό ομοιότητας' κατά προτίμηση τον αφινικό μετασχηματισμό (Τσούλος, 1999). Ο μετασχηματισμός αυτός έχει έξι παραμέτρους (δύο μεταθέσεις, δυο στροφές, δυο κλίμακες κατά τους άξονες X και Y αντίστοιχα) και επιφέρει ομογενείς παραμορφώσεις στα γραφικά αντικείμενα που προσαρμόζεται.

Για να πραγματοποιηθεί η γεωαναφορά, εισήχθη αρχικά κάθε φύλλο χάρτη ξεχωριστά στο περιβάλλον του Autocad Raster Design που αποτελεί επέκταση του λογισμικού Autocad και χρησιμοποιείται στη διαχείριση raster αρχείων. Έχοντας ολοκληρώσει τη διαδικασία εισαγωγής, έγινε χρήση της εργαλειοθήκης Collerate και συγκεκριμένα του εργαλείου Rubbersheet που αυτοματοποιεί τη διαδικασία του αφινικού μετασχηματισμού. Η λειτουργία του εργαλείου αυτού βασίζεται στην αντιστοίχιση των συντεταγμένων των σημείων που απεικονίζονται πάνω στον χάρτη με τις πραγματικές γεωδαιτικές τους συντεταγμένες σε κάποιο σύστημα αναφοράς. Τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σημεία γνωστών συντεταγμένων και συγκεκριμένα, κορυφές του καννάβου που απεικονίζεται στα φύλλα χάρτη. Επειδή ο κάνναβος των χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν δεν ήταν σε ΕΓΣΑ, χρειάστηκε να γίνει μια μετατροπή των συντεταγμένων των επιλεγμένων σημείων από το σύστημα Hatt (φ, λ) στο σύστημα

ΕΓΣΑ (x, y) με το πρόγραμμα COORD (Συγγρός, 2002). Κριτήριο για την επιλογή των σημείων ήταν η κατανομή τους στον χάρτη και το μέγεθος του σφάλματος στον τελικό μετασχηματισμό. Το συνολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μετασχηματισμού ήταν περίπου 6m, ακρίβεια που μπορεί να θεωρηθεί πολύ ικανοποιητική για γεωαναφορά χαρτών κλίμακας 1:50000. Αυτό άλλωστε διαπιστώθηκε παρατηρώντας τα όρια των χαρτών στις συνενώσεις τους, καθώς δεν παρουσιάζουν κενά και ασυνέχειες. Γραμμικά σύμβολα και καμπύλες συνεχίζουν ομαλά από το ένα φύλλο στο γειτονικό δίχως να παρουσιάζουν αλλαγή στην διεύθυνσή τους.

Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας ήταν η δημιουργία ενός σωστά τοποθετημένου στο χώρο μωσαϊκού χαρτών το οποίο μας έδινε τη δυνατότητα να εξάγουμε ορθά γραμμικά και επιφανειακά μεγέθη.

Επόμενο βήμα της διαδικασίας ήταν η ψηφιοποίηση όλων εκείνων των στοιχείων των χαρτών που είναι απαραίτητα για την εξαγωγή των ζητούμενων και η ένταξή τους σε θεματικά επίπεδα. Αυτά είναι:

- Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής
- Η λεκάνη απορροής του ποταμού
- Οι ισοϋψείς καμπύλες
- Οι λίμνες
- Κάποια υψομετρικά σημεία

Σε πρώτη φάση εντοπίστηκε το δίκτυο των υδατορευμάτων μόνιμης ροής διαφόρων μεγεθών που συνδέονται με τον κύριο κλάδο του ποταμού Αχελώου και μαζί αποτελούν το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης. Για κάθε συμβάλλοντα κλάδο αυτού του δικτύου δημιουργήθηκε ένα αντικείμενο (object) τύπου "polyline" και όλα εντάχθηκαν σε ένα κοινό θεματικό επίπεδο (layer).

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε για την χάραξη του υδροκρίτη. Βασική αρχή για την σωστή οριοθέτηση της λεκάνης είναι η εξασφάλιση ότι τόσο το υδρογραφικό δίκτυο που ψηφιοποιήθηκε σε προηγούμενο στάδιο, όσο και τα ρέματα μη μόνιμης ροής που απεικονίζονται στους χάρτες, να βρίσκονται εξ ολοκλήρου εντός των ορίων της λεκάνης. Εξίσου βασική προϋπόθεση είναι ο υδροκρίτης να τέμνει κάθετα τις ισοϋψείς καμπύλες κατά τη μέγιστη δυνατή κλίση.

Η ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπυλών έγινε ανά 100m σε όλη την έκταση της λεκάνης, δημιουργώντας αντίστοιχα θεματικά επίπεδα στα οποία εντάχθηκαν τα αντικείμενα με κριτήριο το υψόμετρό τους.

Τέλος δημιουργήθηκαν δυο ακόμη θεματικά επίπεδα, το πρώτο περιελάμβανε αντικείμενα γραμμής κλειστού τύπου “closed polyline” που αντιπροσωπεύουν καθεμιά από τις λίμνες της περιοχής και το δεύτερο, περιελάμβανε αντικείμενα τύπου “point” τα οποία μετέφεραν την υψομετρική πληροφορία κάποιων σημείων που υπήρχαν στους χάρτες.

3.1.3 Μεταφορά και επεξεργασία των δεδομένων σε περιβάλλον Arcgis.

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας της ψηφιοποίησης, υπήρχε η δυνατότητα να προσδιοριστούν άμεσα τα εμβαδά της λεκάνης απορροής και των λιμνών μέσω της εντολής “area” του Autocad. Δυστυχώς δεν υπήρχε αντίστοιχος τρόπος για να προσδιοριστούν άμεσα και τα μέσα υψόμετρα της κάθε λεκάνης καθώς απαιτούνταν μεγάλος όγκος δουλειάς.

Εκμεταλλεούμενοι τη δυνατότητα επικοινωνίας των δυο λογισμικών πακέτων Autocad και Arcgis, αποφασίστηκε τελικώς να γίνει μεταφορά των ψηφιακών δεδομένων από το πρώτο στο δεύτερο, έτσι ώστε να αξιοποιήσουμε τα εργαλεία που προσφέρει το τελευταίο.

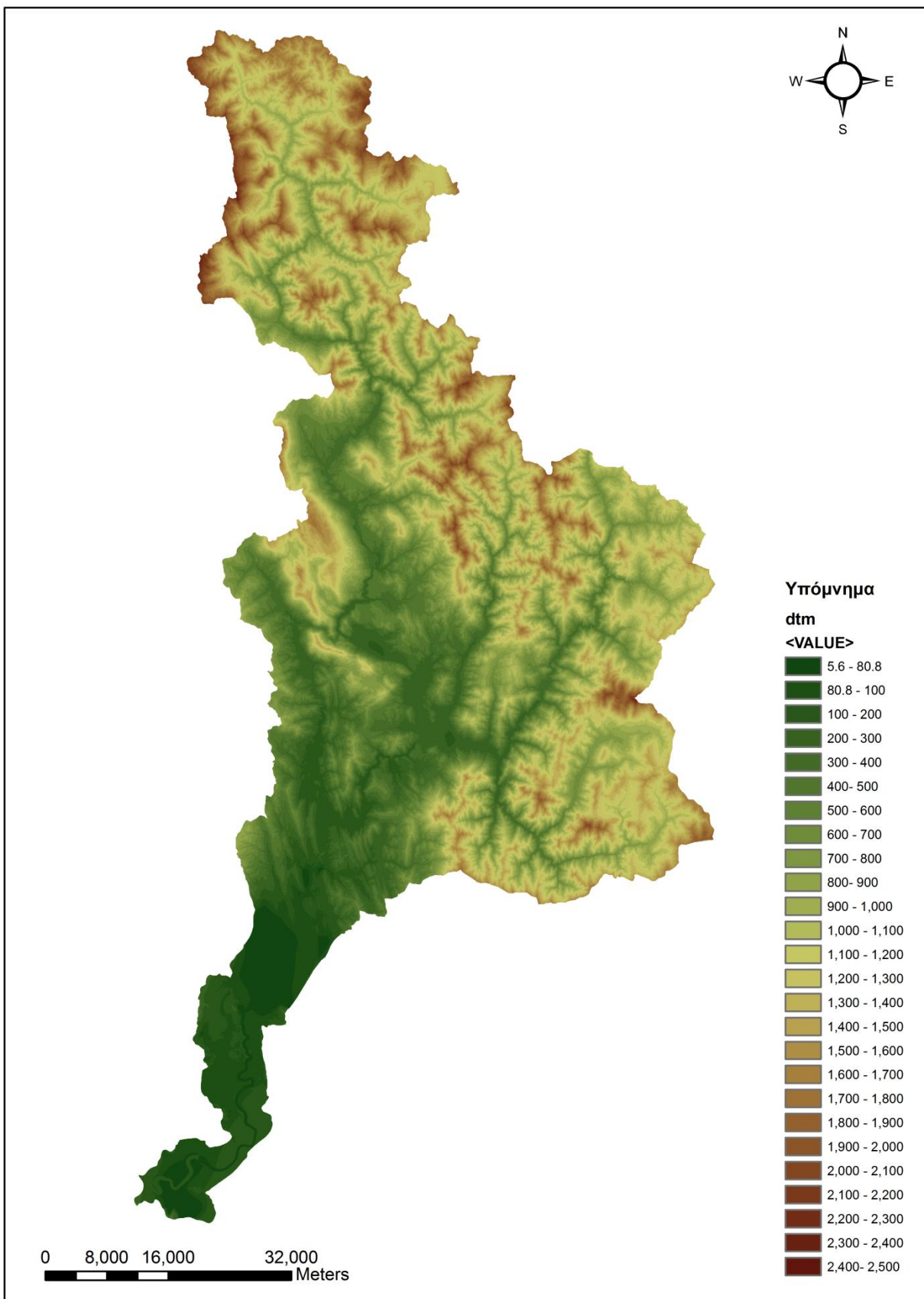
Πρώτα απ’ όλα δημιουργήθηκε μια γεωβάση στην οποία εισήχθησαν τα παραπάνω αρχεία Autocad (layer files) μετατρέποντάς τα σε feature classes. Στη συνέχεια έγινε μετατροπή των διανυσματικών αρχείων τύπου κλειστής γραμμής σε διανυσματικά αρχεία τύπου πολυγώνου με τη χρήση του ArcToolbox του ArcMap και συγκεκριμένα του εργαλείου Data Management Tools → Features → Feature to Polygon. Με τον τρόπο αυτό μπορέσαμε εύκολα πλέον να προσδιορίσουμε και τα εμβαδά Αι ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ισοϋψείς καμπύλες. Επιπλέον, κάνοντας χρήση της εργαλειοθήκης “Editor” του λογισμικού, ορίστηκε η φορά όλων των ρεμάτων από ανάντη προς κατάντη, κάτι που έχει ιδιαίτερη σημασία για την σωστή λειτουργία του εργαλείου που χρησιμοποιείται στη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους που περιγράφεται στη συνέχεια.

3.1.4 Δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους προέκυψε με τη χρήση του εργαλείου ArcToolbox, 3D Analyst Tools → Raster Interpolation → Topo to Raster. Ως στοιχεία εισόδου χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες feature classes:

1. Ισοϋψείς με στοιχεία υψομέτρου, που χρειάστηκε να γενικεύσουμε τη μορφή τους με απλοποίηση.
2. Υψομετρικά σημεία
3. Υδρογραφικό δίκτυο, που αποτελεί τις γραμμές αλλαγής κλίσης
4. Όρια της υδρολογικής λεκάνης.

Μια απεικόνισή του μοντέλου που προέκυψε δίνεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της λεκάνης απορροής του Αχελώου ποταμού.

Ο προσδιορισμός του μέσου υψομέτρου των λεκανών απορροής έγινε με την αυτοματοποιημένη μέθοδο που προσφέρει το Arcgis.

Με το εργαλείο Analysis Tools → Select εξάγουμε τέσσερις διαφορετικές feature classes. Καθεμία περιέχει το πολύγωνο μιας λεκάνης και η επιλογή γίνεται συντάσσοντας μια sql statement με βάση τις διακριτές τιμές του objectid (1 έως 4). Έχοντας δημιουργήσει τις feature classes, χρησιμοποιούμε το εργαλείο Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by Mask για να εξάγουμε από το αρχικό dtm ένα νέο για κάθε υπολεκάνη απορροής. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τέσσερις φορές. Με αυτό τον τρόπο διαιρούμε το συνολικό dtm σε τόσα επιμέρους όσα οι υπολεκάνες. Για καθένα από τα dtm, από το πεδίο Properties αναζητούμε τα στατιστικά στοιχεία του υψομέτρου και συγκεκριμένα τη μέση τιμή.

3.1.5 Υπολογισμός μορφομετρικών χαρακτηριστικών κάθε λεκάνης απορροής

I. Μέγεθος Λεκάνης Απορροής

Το μέγεθος της λεκάνης απορροής έχει σημασία αφού επηρεάζει γενικά τόσο τη συνολική απορροή (water yield) στην έξοδό της, όσο και τον χρόνο συγκέντρωσης της απορροής και κατά συνέπεια και το σχήμα του υδρογραφήματος (Τσακίρης, 1995). Η παραπάνω σχέση δεν είναι βέβαια γραμμική αφού τα γεωλογικά, εδαφικά και άλλα χαρακτηριστικά της λεκάνης κατά κανόνα διαφέρουν. Η σχέση που αναφέρθηκε θα ήταν γραμμική αν τα προηγούμενα χαρακτηριστικά ήταν της ίδιας κατηγορίας και επιπλέον η κατακρήμνιση ήταν ομοιόμορφη σε ολόκληρη την επιφάνεια της λεκάνης.

Η σχέση «μεγέθους λεκάνης και απορροής» χρειάζεται επιπλέον ιδιαίτερη προσοχή, αφού το μέγεθος της λεκάνης επηρεάζει όλους τους άλλους παράγοντες τους σχετικούς με αυτήν. Πιο συγκεκριμένα, η κλίση της λεκάνης αυξάνει όσο μειώνεται το μέγεθος αυτής, ενώ η ειδική παροχή ($m^3/s/km^2$) μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους της λεκάνης. Για τους λόγους αυτούς η σχέση μεγέθους λεκάνης και απορροής δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως.

Θα πρέπει ακόμη να λαμβάνεται υπόψη ότι το μέγεθος της λεκάνης μεταβάλλεται και εξαρτάται από το σημείο της κοίτης το οποίο ορίζεται ως στόμιο της λεκάνης. Έτσι, το μέγεθος μειώνεται όσο προχωρούμε από τις εκβολές του υδατορεύματος προς τις πηγές του.

Η εκτίμηση του μεγέθους της λεκάνης απορροής του Αχελώου καθώς και των υπολεκανών αυτού, έγινε με την διαδικασία που περιγράφηκε στις προηγούμενες παραγράφους.

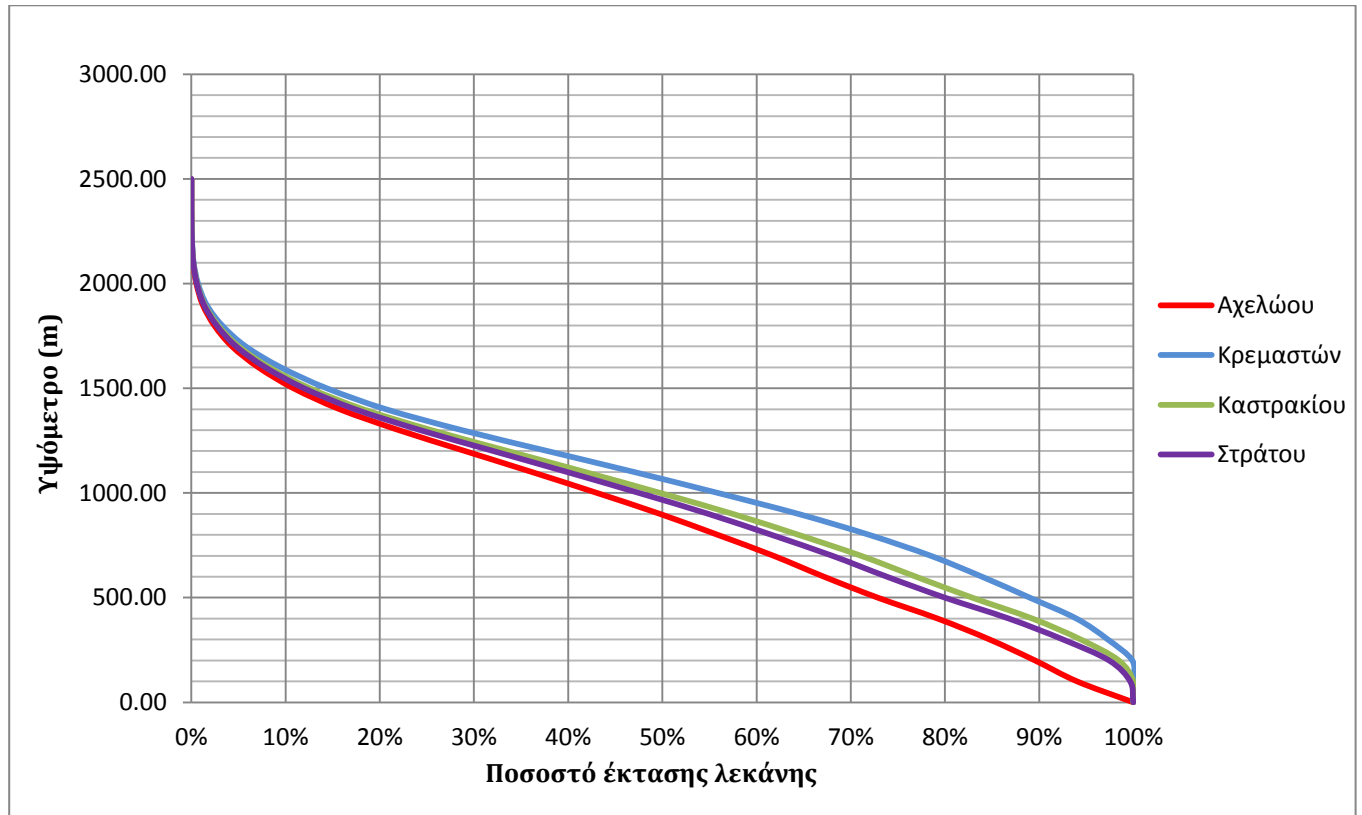
Το μέγεθος της λεκάνης απορροής του Αχελώου ποταμού συμπεριλαμβανομένων των εκτάσεων των λιμνών, υπολογίστηκε στα 4787 km². Αντίστοιχα, θεωρώντας κάθε φορά ως σημείο εξόδου του κύριου υδατορεύματος τις θέσεις των τριών εν λειτουργία φραγμάτων (Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος), η έκταση της λεκάνης ανάντη του φράγματος Κρεμαστών βρέθηκε ίση με 3572 km², ανάντη του Καστρακίου 4113km² και τέλος ανάντη του Στράτου 4338km².

II. Υψόμετρο Λεκάνης Απορροής

Το υψόμετρο της λεκάνης απορροής έχει άμεση σχέση τόσο με τα κατακρημνίσματα που δέχεται όσο και με τις θερμοκρασίες που επικρατούν σ' αυτή (Τσακίρης, 1995). Πιο συγκεκριμένα, τα κατακρημνίσματα αυξάνουν, όσο αυξάνεται το υψόμετρο της λεκάνης. Η αύξηση αυτή ωστόσο παρατηρείται έως το υψόμετρο των 2.500m περίπου ενώ, όσο ανεβαίνουμε σε υψόμετρα μεγαλύτερα από αυτό, παρατηρείται ελάττωση. Σε αντίθεση με τα κατακρημνίσματα, η θερμοκρασία μειώνεται με το υψόμετρο. Η άμεση σχέση του υψομέτρου της λεκάνης με τα κατακρημνίσματα και τη θερμοκρασία, συντελεί και στον επηρεασμό της απορροής από το υψόμετρο. Πιο συγκεκριμένα, μεγαλύτερο ύψος κατακρημνισμάτων συντελεί στην αύξηση της απορροής και χαμηλότερες ή υψηλότερες θερμοκρασίες συνεπάγονται ελάττωση ή αύξηση της εξάτμισης αντίστοιχα. Η θερμοκρασία καθορίζει επίσης και το ποσοστό των κατακρημνισμάτων που πέφτει με τη μορφή χιονιού καθώς και τη διάρκεια παραμονής του στο έδαφος. Είναι επομένως προφανές πως οι συνθήκες αυτές επηρεάζουν σημαντικά την απορροή στην έξοδο της λεκάνης.

Από τα διάφορα υψόμετρα της λεκάνης, πιο σημαντικά θεωρούνται, το μέσο, η διάμεση τιμή, το μέγιστο και το ελάχιστο. Το μέγιστο και το ελάχιστο υψόμετρο προσδιορίζονται εύκολα με τη χρήση τοπογραφικών χαρτών ή με κατ' ευθείαν μετρήσεις. Για τον προσδιορισμό της διάμεσης τιμής είναι αναγκαία η χάραξη της υψομετρικής καμπύλης της λεκάνης. Πρόκειται για την καμπύλη που χαράσσεται σε σύστημα συντεταγμένων με τεταγμένη κάθε φορά το υψόμετρο και τετμημένη το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης που βρίσκεται πάνω από το κάθε υψόμετρο. Η διάμεση τιμή του υψομέτρου λαμβάνεται τελικά από μια τέτοια καμπύλη και ισούται με την τιμή του υψομέτρου που αντιστοιχεί σε ποσοστό έκτασης λεκάνης ίσο με 50%.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι υψογραφικές καμπύλες της λεκάνης απορροής του ποταμού Αχελώου και των υπολεκανών του. Παρατηρώντας τις συγκεκριμένες καμπύλες, μπορούμε να δούμε τις διαφοροποιήσεις που προκύπτουν εξαιτίας των διαφορετικών γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών.



Σχήμα 3.2: Υψογραφικές καμπύλες για της λεκάνης απορροής του ποταμού Αχελώου και των υπολεκανών του.

Τέλος για τον προσδιορισμό του μέσου υψόμετρου μιας λεκάνης απορροής απαιτείται πρώτα η διαίρεση της λεκάνης σε υποπεριοχές και ο υπολογισμός του μέσου υψόμετρου καθεμιάς από αυτές. Στην περίπτωση μας, ως τέτοιες υποπεριοχές ελήφθησαν αυτές που περιλαμβάνονται ανάμεσα από δυο διαδοχικές ισοϋψείς καμπύλες, το μέσο υψόμετρο των οποίων προκύπτει ως ο αριθμητικός μέσος όρος του υψόμετρου των δυο καμπυλών.

Στη συνέχεια το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$Z_m = \frac{\sum (A_i Z_i)}{\sum A_i} \quad (3.1)$$

όπου:

Z_m : το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (m)

Z_i : το μέσο υψόμετρο κάθε υποπεριοχής (m)

A_i : το εμβαδόν κάθε υποπεριοχής (km^2)

Συγκεντρωτικά τα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής.

Χαρακτηριστικά Λεκάνων Απορροής	Αχελώος	Κρεμαστά	Καστράκι	Στράτος
Έκταση (km^2)	4787	3572	4113	4338
Περίμετρος (km)	569.7	426.7	448.8	454.1
Μέγιστο υψόμετρο (m)	2403.7	2403.7	2403.7	2403.7
Μέσο υψόμετρο (m)	878.9	1054	984.7	955.3
Ελάχιστο υψόμετρο (m)	5.6	180	97.7	60.9
Διάμεσο υψόμετρο (m)	880	1060	990	980

3.2 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

3.2.1 Σκοπός

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι εργασίες υποδομής, δηλαδή η συλλογή, ανάλυση και επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων, καθώς και οι σχετικές μεθοδολογίες, με σκοπό την εκτίμηση της μηνιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης στις υπολεκάνες απορροής του Αχελώου ποταμού ανάντη των φραγμάτων. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων σε μηνιαία και ετήσια βάση και αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

1. Υπολογισμός ετήσιων βροχοπτώσεων με συνάθροιση των μηνιαίων τιμών.
2. Ομαδοποίηση των σταθμών κατά περιοχές και υπολογισμός των συντελεστών συσχέτισης των ετήσιων τιμών για τα ζεύγη των σταθμών κάθε ομάδας.
3. Σχεδίαση διπλών αθροιστικών καμπυλών των ετήσιων βροχοπτώσεων για τα ζεύγη σταθμών στα οποία υπήρχε ικανοποιητικό μήκος κοινής περιόδου μετρήσεων, με στόχο τον τελικό έλεγχο ομοιογένειας των δεδομένων.
4. Συμπλήρωση των ελλειπουσών μηνιαίων τιμών και επέκταση των δειγμάτων με απλή γραμμική παλινδρόμηση.

5. Υπολογισμός των επιφανειακών υψών βροχής στις υπολεκάνες απορροής ανάντη των υδρομετρικών σταθμών-φραγμάτων με την μέθοδο Thiessen.
6. Υψομετρική αναγωγή των δειγμάτων επιφανειακής βροχόπτωσης.

Τα βήματα αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

3.2.2 Βροχομετρικοί σταθμοί και δεδομένα

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας συλλέχθηκαν μηνιαία βροχομετρικά στοιχεία 8 σταθμών της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, που ανήκουν στην δικαιοδοσία της Δ.Ε.Η, οι οποίοι βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης του Αχελώου ποταμού. Οι σταθμοί επιλέχθηκαν έτσι ώστε να καλύπτουν χωρικά την περιοχή μελέτης αλλά και με βάση τις προϋπάρχουσες εκτιμήσεις σχετικά με την αξιοπιστία τους. Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι σταθμοί αυτοί με τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά βροχομετρικών σταθμών περιοχής Αχελώου ποταμού.

Όνομασία σταθμού	Υψόμετρο (m)	Γεωγραφικό		Διαθέσιμο δείγμα	Μέση ετήσια τιμή (mm)
		Μήκος	Πλάτος		
Αν.Φραγκίστα	725.30	21° 37'	38° 57'	10/1989 - 09/2008	1344.2
Αργιθέα	992.50	21° 32'	39° 21'	10/1989 - 09/2008	1577.1
Καρόπλεσι	900.30	21° 45'	39° 10'	10/1989 - 09/2008	1436.9
Καστράκι	74.80	21° 21'	38° 44'	01/1968 -09/2008	1039.0
Κρεμαστά	397.8	21° 29'	38° 52'	01/1968 -09/2008	1143.0
Μεσοχώρα	848.80	21° 19'	39° 28'	10/1989 - 09/2008	1677.4
Προυσσός	766.70	21° 39'	38° 44'	10/1989 - 09/2008	1640.7
Φουσιανά	695.20	21° 29'	39° 10'	01/1968 -09/2008	1275.0

Να σημειωθεί πως τα δεδομένα για την χρονική περίοδο 1968-69 έως 1988-89 των σταθμών Κρεμαστά, Καστράκι και Φουσιανά, προϋπήρχαν σε παλαιότερες μελέτες για την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου της ευρύτερης περιοχής.²

Για την διερεύνηση της συσχέτισης των σημειακών βροχοπτώσεων και την πραγματοποίηση των επεξεργασιών, έγινε ομαδοποίηση των σταθμών με κριτήριο την γεωγραφική τους απόσταση και την υδροκλιματική τους ομοιογένεια. Προέκυψαν δυο ομάδες σταθμών οι οποίες δίνονται στον Πίνακα 3.3 που ακολουθεί.

² “Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας”, Φάση Β, τεύχος 18 “Επεξεργασία υδρομετεωρολογικών δεδομένων, Α. Χριστοφορίδης, Ν. Μαμάσης, (ΕΜΠ, 1995).

Πίνακας 3.3: Ομάδες βροχομετρικών σταθμών.

Ομάδα	Ονόματα σταθμών
A	Αργιθέα, Καρόπλεσι, Μεσοχώρα, Φουσιανά
B	Αν.Φραγκίστα, Καστράκι, Κρεμαστά, Προυσσός

Σε κάθε ομάδα έγινε διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των σταθμών σε μηνιαία και ετήσια βάση και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.4 και 3.5.

Πίνακας 3.4: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ σταθμών ομάδας A.

Σταθμοί	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
Φουσιανά-Μεσοχώρα	0.92	0.72	0.96	0.92	0.89	0.93	0.89	0.85	0.2	0.54	0.71	0.9	0.88
Αργιθέα-Μεσοχώρα-	0.85	0.77	0.85	0.77	0.77	0.47	0.86	0.79	0.23	0.73	0.66	0.85	0.80
Μεσοχώρα-Καρόπλεσι	0.84	0.75	0.93	0.75	0.86	0.86	0.85	0.87	0.33	0.67	0.66	0.89	0.79
Αργιθέα-Φουσιανά	0.79	0.78	0.82	0.8	0.83	0.46	0.9	0.67	0.52	0.55	0.5	0.83	0.91
Αργιθέα-Καρόπλεσι	0.91	0.84	0.87	0.83	0.82	0.6	0.91	0.88	0.69	0.75	0.75	0.84	0.92
Φουσιανά-Καρόπλεσι	0.89	0.77	0.91	0.78	0.86	0.78	0.91	0.84	0.34	0.6	0.73	0.77	0.90

Πίνακας 3.5: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ σταθμών ομάδας B.

Σταθμοί	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
Αν.Φραγκίστα-Κρεμαστά	0.89	0.80	0.71	0.93	0.81	0.78	0.71	0.82	0.44	0.77	0.48	0.74	0.43
Αν.Φραγκίστα-Καστράκι	0.62	0.72	0.58	0.94	0.78	0.77	0.60	0.46	0.56	0.68	0.46	0.53	0.44
Αν.Φραγκίστα-Προυσσός	0.85	0.74	0.68	0.90	0.86	0.67	0.76	0.78	0.52	0.73	0.75	0.60	0.44
Κρεμαστά-Καστράκι	0.72	0.81	0.91	0.95	0.93	0.91	0.83	0.42	0.71	0.79	0.69	0.69	0.76
Κρεμαστά-Προυσσός	0.87	0.87	0.93	0.96	0.91	0.85	0.85	0.87	0.62	0.87	0.79	0.8	0.83
Καστράκι-Προυσσός	0.82	0.67	0.86	0.92	0.90	0.83	0.75	0.52	0.59	0.78	0.73	0.92	0.69

Από τα δεδομένα των Πινάκων 3.4 και 3.5 προκύπτουν οι παρακάτω διαπιστώσεις για την συσχέτιση των δειγμάτων των υψών βροχής:

ΟΜΑΔΑ Α: Παρατηρείται γενικά πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των σταθμών της ομάδας. Την καλύτερη συσχέτιση με τους υπόλοιπους σταθμούς παρουσιάζει ο σταθμός Φουσιανά, εκτός από τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Χαμηλότεροι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των σταθμών παρατηρούνται τους μήνες Μάρτιο και Ιούνιο.

ΟΜΑΔΑ Β: Γενικά στην ομάδα δεν εμφανίζονται υψηλές τιμές συσχέτισης μεταξύ των σταθμών, χωρίς όμως να παρουσιάζονται προβλήματα. Τις χειρότερες συσχετίσεις με τους υπόλοιπους σταθμούς παρουσιάζει ο σταθμός Αν.Φραγκίστα και ιδιαίτερα τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Αύγουστο. Την καλύτερη συγκριτικά συσχέτιση με τους άλλους σταθμούς της ομάδας, εμφανίζει ο σταθμός Κρεμαστά.

3.2.3 Έλεγχοι ομογένειας δεδομένων

I. Μέθοδος διπλής αθροιστικής καμπύλης

Οι έλεγχοι ομογένειας των υδρολογικών σειρών (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997) είναι εμπειρικές τεχνικές εντοπισμού τεχνητών αλλαγών στις συνθήκες μέτρησης (π.χ. λόγω αντικατάστασης ή μεταφοράς του οργάνου), οι οποίες επηρεάζουν συστηματικά το αποτέλεσμα της μέτρησης. Οι εν λόγω έλεγχοι αποσκοπούν στην συνόρθωση των δεδομένων, ήτοι στην τροποποίηση των μετρήσεων με τρόπο τέτοιο ώστε να αρθούν οι συνέπειες των συστηματικών σφαλμάτων. Επιπλέον, αποτελούν μια αξιόπιστη μέθοδο αξιολόγησης της ποιότητας των δεδομένων.

Η πλέον διαδεδομένη τεχνική για έλεγχο ομογένειας βροχομετρικών δεδομένων βασίζεται στην διπλή αθροιστική καμπύλη (double mass curve), που είναι μια εύχρηστη ημιεμπειρική μέθοδος, η οποία εφαρμόζεται για τα ετήσια ύψη βροχής. Συγκεκριμένα πρόκειται για την γραφική απεικόνιση της σημειοσειράς που προκύπτει από τα αθροιστικά ύψη βροχής δυο σταθμών, αφού τα τελευταία μετατραπούν σε αθροιστικές σειρές. Στον οριζόντιο άξονα παρίσταται το αθροιστικό ύψος βροχής του βροχομετρικού σταθμού βάσης, ο οποίος θεωρείται αξιόπιστος, ενώ στον κατακόρυφο άξονα παρίστανται τα αντίστοιχα αθροιστικά ύψη του υπό έλεγχο σταθμού. Στην περίπτωση που οι μετρήσεις του τελευταίου σταθμού είναι συνεπείς, η σημειοσειρά σχηματίζει μια ευθεία που διέρχεται από την αρχή των αξόνων, διαφορετικά παρουσιάζονται άλματα ή θλάσεις οι οποίες σηματοδοτούν την έναρξη της αλλαγής των συνθηκών μέτρησης. Η διόρθωση των ανομοιογενών μετρήσεων γίνεται με διορθωτικό συντελεστή λ ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση $\lambda = \frac{\tan\omega}{\tan\varphi}$, όπου $\tan\omega$ και

ταυφ οι κλίσεις των δυο τεμνόμενων ευθειών κατά τη σύγκριση ανομοιογενούς δείγματος με άλλο ομογενές.

Η μέθοδος είναι εφαρμόσιμη όταν ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης για τα ετήσια δείγματα των δύο σταθμών είναι υψηλός ($r \geq 0.7$). Ο συντελεστής αυτός δίνεται από την εξίσωση :

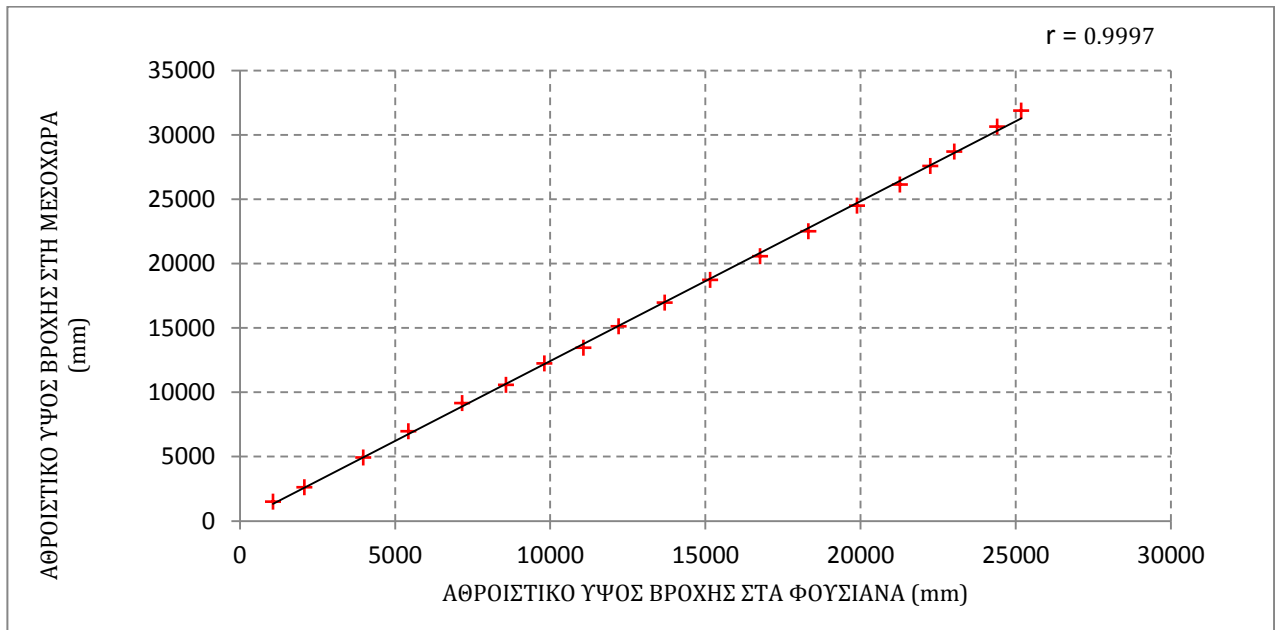
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum (y_i - \bar{y})^2 \right]}} \quad (3.2)$$

Όπου x και y αναφέρονται στα ετήσια βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού βάσης και του εξεταζόμενου σταθμού αντίστοιχα.

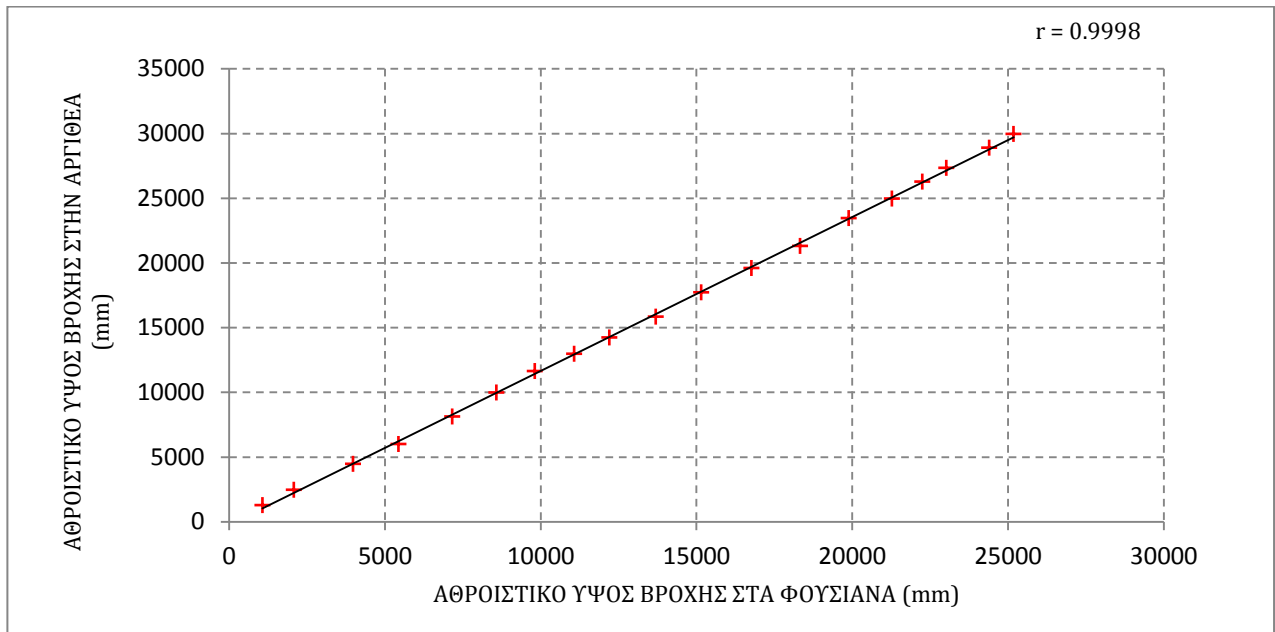
Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι η τιμή του συντελεστή r , τόσο καλύτερη η συσχέτιση που παρουσιάζουν τα δεδομένα των εξεταζόμενων σταθμών.

II. Έλεγχος ομογένειας βροχομετρικών δεδομένων

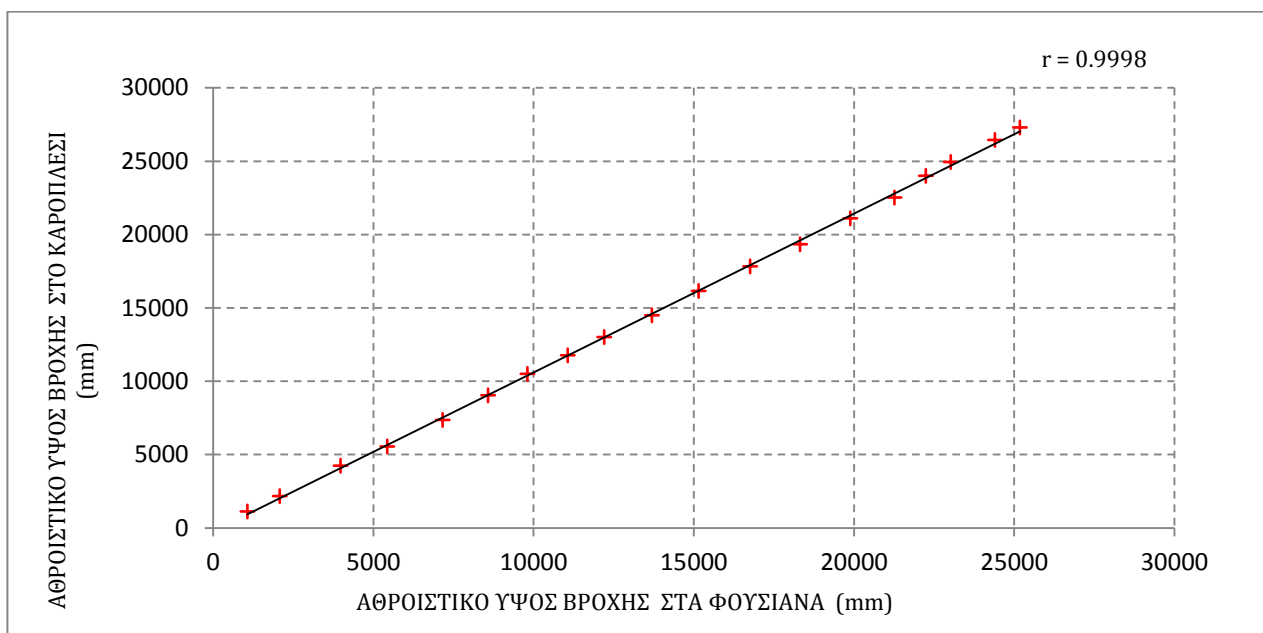
Για τους βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης σχεδιάστηκαν οι διπλές αθροιστικές καμπύλες ετήσιων βροχοπτώσεων για όλα τα ζεύγη σταθμών των δυο ομάδων και έγινε ο τελικός έλεγχος ομογένειας των δεδομένων. Ως σταθμοί βάσης επιλέχθηκαν ο σταθμός Φουσιανά για την ομάδα Α, και ο σταθμός Κρεμαστά για την Β γιατί εκτός από τον υψηλό συντελεστή συσχέτισης που είχαν με τους υπόλοιπους σταθμούς της ομάδας, ήταν οι πληρέστεροι από άποψη δεδομένων και οι πλέον αξιόπιστοι ως προς την λειτουργία τους. Στα Σχήματα 3.3 έως 3.8 παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένες από τις διπλές αθροιστικές καμπύλες που καταρτίστηκαν.



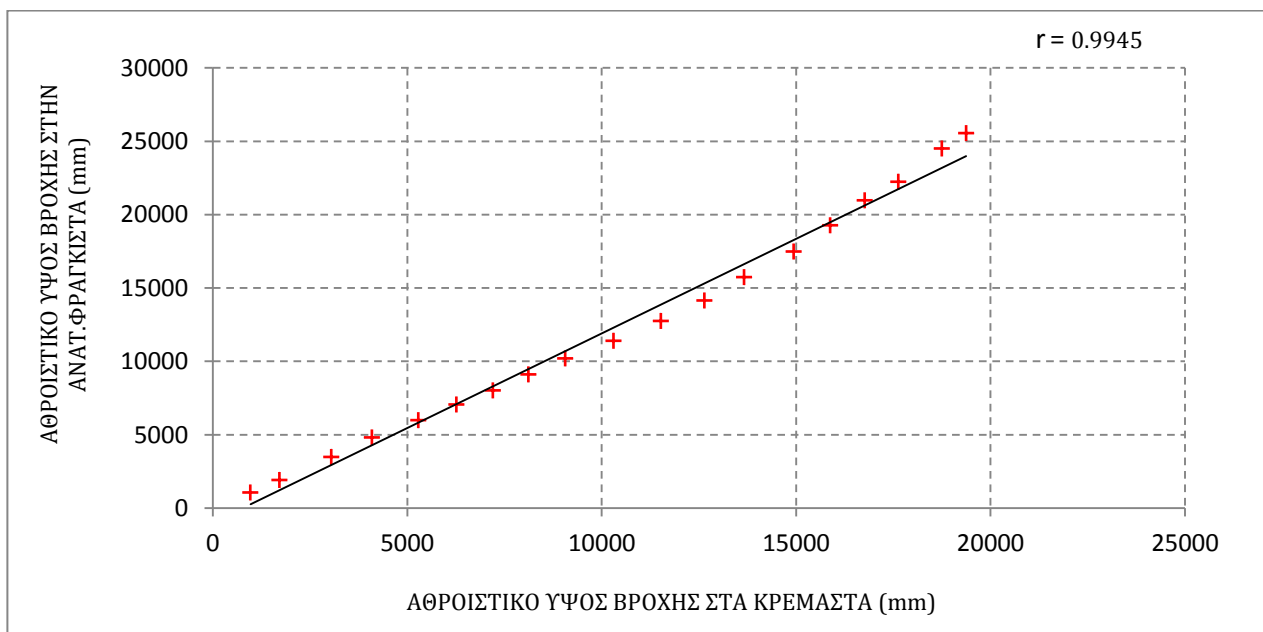
Σχήμα 3.3: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τα Φουσιανά και ελεγχόμενο σταθμό τη Μεσοχώρα για την περίοδο 1989/90 έως 2007/08.



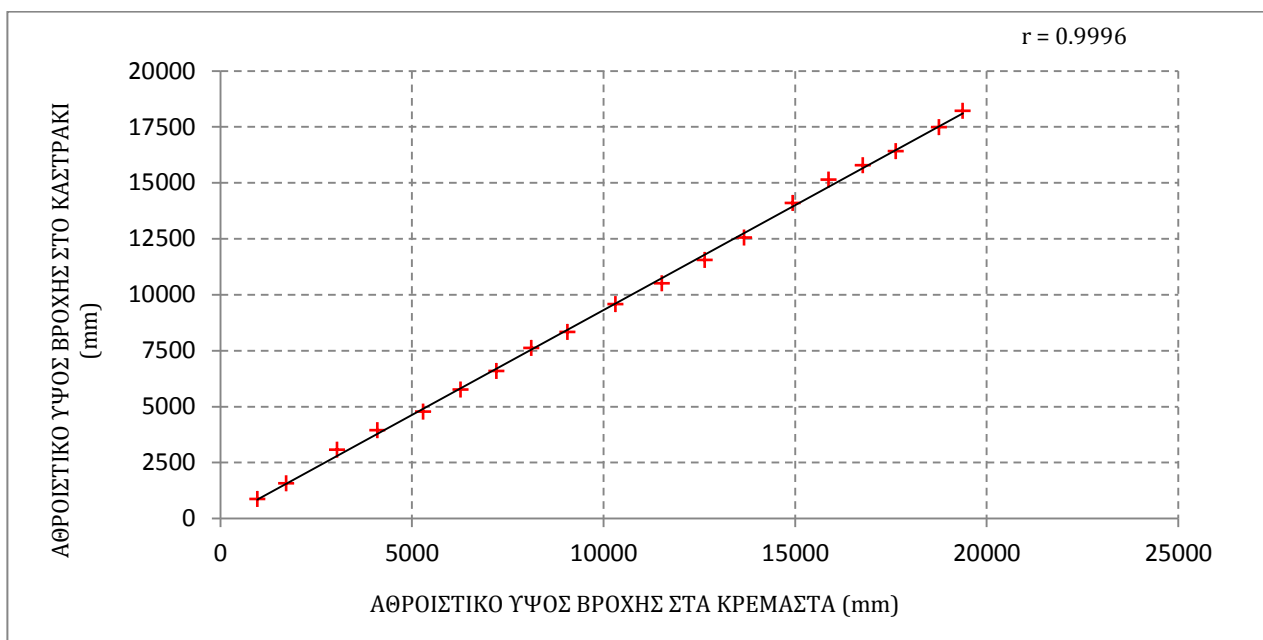
Σχήμα 3.4: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τα Φουσιανά και ελεγχόμενο σταθμό την Αργιθέα για την περίοδο 1989/90 έως 2007/08.



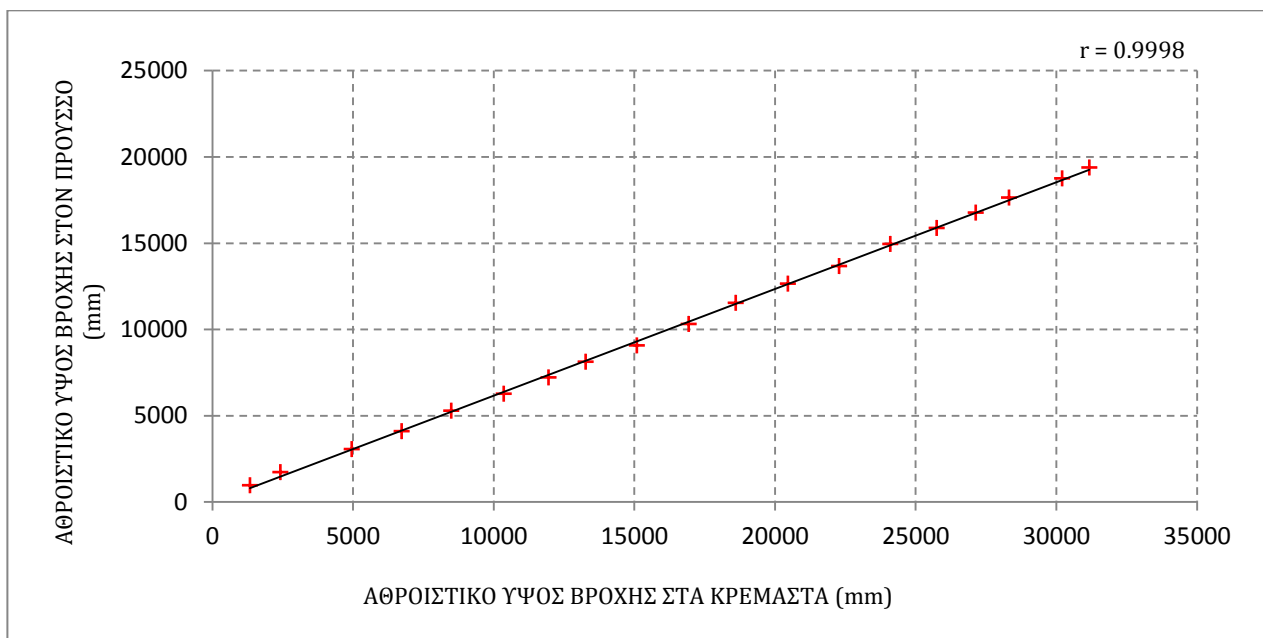
Σχήμα 3.5: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τα Φουσιανά και ελεγχόμενο σταθμό το Καρόπλεσι για την περίοδο 1989/90 έως 2007/08.



Σχήμα 3.6: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τα Κρεμαστά και ελεγχόμενο σταθμό την Αν.Φραγκίστα για την περίοδο 1989/90 έως 2007/08.



Σχήμα 3.7: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τα Κρεμαστά και ελεγχόμενο σταθμό το Καστράκι για την περίοδο 1989/90 έως 2007/08.



Σχήμα 3.8: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τα Κρεμαστά και ελεγχόμενο σταθμό τον Προυσό για την περίοδο 1989/90 έως 2007/08.

Οι τιμές των συντελεστών r που προέκυψαν επιβεβαιώνουν ότι τα δεδομένα είναι ομογενή, οπότε δεν χρειάστηκε να γίνουν διορθώσεις ώστε να αρθεί η ανομοιογένεια. Στο παράρτημα παρουσιάζονται και άλλες δοκιμές με τη χρήση διαφορετικών σταθμών ως σταθμών βάσης.

3.2.4 Συμπλήρωση ελλείψεων και επέκταση δειγμάτων

I. Μεθοδολογία γραμμικής παλινδρόμησης

Το πρόβλημα της σποραδικής έλλειψης μετρήσεων σε βροχομετρικά δείγματα είναι πολύ συχνό και οφείλεται, πρωτίστως, σε βλάβες οργάνων και αμέλειες ή κωλύματα παρατηρητών. Αντίστοιχη είναι η περίπτωση ανεπαρκούς περιόδου λειτουργίας ενός σταθμού, με αποτέλεσμα το χρονικό εύρος των παρατηρήσεων να μην καλύπτει πλήρως τον αντίστοιχο χρονικό ορίζοντα ενδιαφέροντος.

Η συμπλήρωση των ελλείψεων καθώς και η επέκταση των δειγμάτων γίνεται με βάση τα δεδομένα ενός ή περισσότερων γειτονικών βροχομετρικών σταθμών. Κατά κανόνα, και στις δυο περιπτώσεις εφαρμόζεται κοινή μεθοδολογία, που χρησιμοποιεί στατιστικές μεθόδους, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων και προσαρμόζουν κατάλληλα μαθηματικά μοντέλα, με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται κάποιο σφάλμα εκτίμησης.

Η απλούστερη στατιστική τεχνική είναι η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης. Έστω δυο μηνιαίες χρονοσειρές x_i και y_i , τα στοιχεία των οποίων προέρχονται από κοντινούς σταθμούς, και έστω n το πλήθος των ταυτόχρονων μετρήσεων. Η εκτίμηση της τιμής της προς συμπλήρωση μεταβλητής y_i , συναρτήσει της γνωστής τιμής x_i γίνεται μέσω ενός γραμμικού μοντέλου της μορφής:

$$y_i = a + b x_i \quad (3.3)$$

όπου a και b παράμετροι προσαρμογής.

Βαθμός καταλληλότητας ενός μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης είναι ο λεγόμενος συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination), που συμβολίζεται με r^2 .

Στην περίπτωση της παλινδρόμησης, η τετραγωνική ρίζα του συντελεστή προσδιορισμού, δηλαδή η ποσότητα r , είναι γνωστή στην στατιστική ως συντελεστής γραμμικής συσχέτισης, και λαμβάνει τιμές από -1 έως 1 (εξ. 3.2). Όσο πιο κοντά στα όρια του διαστήματος αυτού βρίσκεται η τιμή του r λόγω δείκτη, τόσο ισχυρότερη είναι η συσχέτιση, ενώ μηδενική τιμή του r συνεπάγεται ανυπαρξία γραμμικής συσχέτισης. Ειδικά για την ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων, θεωρείται επιθυμητή η ύπαρξη ισχυρής θετικής συσχέτισης, που συνεπάγεται η τιμή του συντελεστή r να είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στη μονάδα. Η εμφάνιση τυχόν αρνητικής συσχέτισης, έστω

και ισχυρής, αποτελεί ισχυρή ένδειξη αναξιοπιστίας των δεδομένων, καθώς κάτι τέτοιο δεν ερμηνεύεται φυσικά.

II. Συμπλήρωση σημειακών δειγμάτων βροχόπτωσης

Η συμπλήρωση των σημειακών δειγμάτων ενός σταθμού γίνεται όπως αναπτύχθηκε παραπάνω, από δείγμα γειτονικού σταθμού με στατιστικά σημαντική συσχέτιση, και με τη μεθοδολογία της γραμμικής παλινδρόμησης. Έχοντας υπολογίσει σε κάθε ομάδα σταθμών τους συντελεστές συσχέτισης των μηνιαίων και ετήσιων τιμών για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς σταθμών ανά δύο, με απλή γραμμική παλινδρόμηση έγινε συμπλήρωση και επέκταση των ελλειπουσών μηνιαίων τιμών στους σταθμούς με ελλιπή δεδομένα. Σαν κοινή περίοδος αναφοράς επιλέχθηκε το διάστημα 1989-90 έως 2007-08.

Από τα πρωτογενή δείγματα των βροχομετρικών σταθμών, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, εκείνα των σταθμών Κρεμαστά, Καστράκι και Φουσιανά καλύπτουν χρονική περίοδο 40 ετών (1968-69 έως 2007-08), ενώ για τους σταθμούς Αν.Φραγκίστα, Αργιθέα, Καρόπλεσι, Μεσοχώρα και Προυσός, τα δεδομένα περιορίζονται στα τελευταία 19 έτη (1989-90 έως 2007-08). Για την συμπλήρωση των δειγμάτων των σταθμών με μικρό μέγεθος (19 έτη), χρησιμοποιήθηκαν ως σταθμοί βάσης οι σταθμοί Φουσιανά και Κρεμαστά για τις ομάδες Α και Β αντίστοιχα. Οι σταθμοί αυτοί επιλέχθηκαν ως σταθμοί βάσης όχι μόνο επειδή παρουσίαζαν την καλύτερη συσχέτιση με τους υπόλοιπους σταθμούς των ομάδων τους, αλλά και γιατί τα δεδομένα τους ήταν πλήρη για την περίοδο των 40 ετών. Εξαίρεση αποτελεί η έλλειψη της μηνιαίας τιμής του μήνα Αυγούστου του έτους 2006 από το δείγμα των Κρεμαστών, η συμπλήρωση της η οποία επιλέχθηκε να γίνει από την μέση μηνιαία τιμή του δείγματος.

Στους Πίνακες 3.6 έως 3.10 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης r καθώς και οι παράμετροι a και b των εξισώσεων γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των σταθμών των ομάδων. Στους πίνακες αυτούς παρουσιάζονται ακόμη οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την συμπλήρωση (σταθμοί βάσης).

Πίνακας 3.6: Παράμετροι ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης και συντελεστές συσχέτισης μεταξύ δειγμάτων μηνιαίας βροχόπτωσης σταθμών Φουσιανά, Μεσοχώρα.

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
	Μεσοχώρα (y)						Φουσιανά (x)					
b	1.199	1.021	1.316	1.268	0.983	1.313	1.085	1.244	0.150	0.625	0.343	0.913
a	6.0	70.6	0.4	11.9	39.9	15.4	20.1	-12.9	24.9	22.1	15.3	16.8
r	0.913	0.723	0.960	0.916	0.890	0.928	0.888	0.847	0.198	0.544	0.713	0.852

Πίνακας 3.7: Παράμετροι ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης και συντελεστές συσχέτισης μεταξύ δειγμάτων μηνιαίας βροχόπτωσης σταθμών Φουσιανά, Αργιθέα.

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
	Αργιθέα (y)						Φουσιανά (x)					
b	0.897	0.697	0.698	1.259	0.808	0.507	1.247	1.060	0.352	0.738	0.407	0.716
a	61.7	82.4	63.4	13.8	60.3	103.8	13.8	24.4	14.2	17.9	18.0	26.9
r	0.791	0.781	0.816	0.801	0.833	0.458	0.898	0.672	0.522	0.553	0.502	0.835

Πίνακας 3.8: Παράμετροι ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης και συντελεστές συσχέτισης μεταξύ δειγμάτων μηνιαίας βροχόπτωσης σταθμών Φουσιανά, Καρόπλεσι.

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
	Καρόπλεσι (y)						Φουσιανά (x)					
b	0.921	0.742	0.907	0.998	0.899	0.828	1.017	1.063	0.193	0.511	0.756	0.621
a	19.1	56.8	12.8	37.2	49.5	58.5	5.5	8.7	15.0	13.5	11.8	20.3
r	0.890	0.770	0.912	0.777	0.857	0.783	0.906	0.837	0.337	0.602	0.735	0.769

Πίνακας 3.9: Παράμετροι ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης και συντελεστές συσχέτισης μεταξύ δειγμάτων μηνιαίας βροχόπτωσης σταθμών Κρεμαστά, Αν.Φραγκίστα.

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
	Αν.Φραγκίστα (y)						Κρεμαστά (x)					
b	1.026	1.057	1.169	1.093	0.962	1.072	1.174	1.516	0.589	0.555	1.213	1.007
a	22.0	30.6	34.6	7.8	31.6	20.8	22.6	-2.4	16.9	12.4	23.3	17.9
r	0.895	0.803	0.707	0.934	0.812	0.780	0.710	0.816	0.441	0.769	0.480	0.743

Πίνακας 3.10: Παράμετροι ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης και συντελεστές συσχέτισης μεταξύ δειγμάτων μηνιαίας βροχόπτωσης σταθμών Κρεμαστά, Προυσσός.

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ
	Προυσσός (y)						Κρεμαστά (x)					
b	1.009	1.270	1.979	1.672	1.751	1.437	1.072	0.873	0.986	1.647	1.624	1.082
a	40.5	44.3	-45.8	8.0	1.3	26.8	21.3	23.7	24.4	13.7	13.1	13.0
r	0.870	0.867	0.935	0.964	0.913	0.847	0.850	0.870	0.616	0.871	0.792	0.796

3.2.5 Εκτίμηση επιφανειακής βροχόπτωσης

Η κατάρτιση δειγμάτων επιφανειακής βροχόπτωσης και κατ' επέκταση ο υπολογισμός του μέσου βροχομετρικού ύψους μιας λεκάνης απορροής μπορεί να επιτευχθεί με έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω τρόπους:

(i) *Αριθμητικός μέσος όρος των παρατηρήσεων των σημειακών βροχομετρικών υψών των σταθμών της λεκάνης απορροής.* Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει την ομοιόμορφη κατανομή των σταθμών στη λεκάνη απορροής και για το λόγο αυτό σπάνια χρησιμοποιείται.

(ii) *Πολύγωνα Thiessen.* Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τον παράγοντα του βάρους που αντιστοιχεί στα εμβαδά των πολυγώνων επιρροής κάθε σταθμού, όπως αυτός προκύπτει από τη χάραξη των μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους. Το μέσο βροχομετρικό ύψος της λεκάνης P_o , προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους παρατηρήσεων P_i πολλαπλασιασμένων επί των αντίστοιχων εκτάσεων επηρεασμού δια της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής. Η εξίσωση που αντιστοιχεί στα παραπάνω είναι η εξής:

$$P_o = \frac{\sum (A_i \cdot P_i)}{A} = \sum \left(\frac{A_i}{A} \cdot P_i \right) \quad (3.4)$$

(iii) *Ισοϋέτιες καμπύλες (ή ισόβροχες καμπύλες).* Η μέθοδος αυτή είναι η ακριβέστερη μέθοδος από τις τρεις που αναφέρθηκαν, προϋποθέτει όμως την ύπαρξη αρκετών σταθμών και τη γνώση της περιοχής ώστε να μην εξομαλύνονται τα χαρακτηριστικά της βροχής που προκαλούνται από τοπικά αίτια. Οι ισοϋέτιες καμπύλες χαράσσονται με τρόπο αντίστοιχο με αυτόν των ισοϋψών καμπυλών της τοπογραφίας. Με τη μέθοδο αυτή, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στη λεκάνη προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$P_o = \sum \frac{A_i}{A} \cdot \overline{P_{i-1,i}} \quad (3.5)$$

όπου:

A_i : Η επιφάνεια μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋέτιων καμπυλών

A : Η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής

$\overline{P_{i-1,i}}$: Το μέσο βροχομετρικό ύψος μεταξύ δύο ισοϋέτιων καμπυλών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι μηνιαίες τιμές επιφανειακών υψών βροχής στις υπολεκάνες απορροής ανάντη των φραγμάτων, όπως και το μέσο βροχομετρικό ύψος κάθε υπολεκάνης, υπολογίστηκαν με την μέθοδο Thiessen. Η ακρίβεια που παρέχει η μέθοδος αυτή, είναι αρκετά καλή σε σχέση με τον περιορισμένο αριθμό σταθμών που είναι διαθέσιμοι.

Για την εφαρμογή της μεθόδου σε κάθε υπολεκάνη, ο συνδυασμός των σταθμών που χρησιμοποιείτο ήταν διαφορετικός, όπως και η έκταση συμμετοχής. Τα βάρη κατά Thiessen ως ποσοστά επιρροής του κάθε σταθμού, που υπολογίστηκαν ανά λεκάνη, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.11: Ποσοστά επιρροής των βροχομετρικών σταθμών στις υπολεκάνες απορροής του Αχελώου.

Υπολεκάνη Κρεμαστών		Υπολεκάνη Καστρακίου		Υπολεκάνη Στράτου	
Σταθμός	Ποσοστό (%)	Σταθμός	Ποσοστό (%)	Σταθμός	Ποσοστό (%)
Αν.Φραγκίστα	17.36	Αν.Φραγκίστα	15.08	Αν.Φραγκίστα	14.29
Αργιθέα	7.32	Αργιθέα	6.35	Αργιθέα	6.02
Καρόπλεσι	13.41	Καρόπλεσι	11.65	Καρόπλεσι	11.04
Κρεμαστά	5.48	Καστράκι	2.61	Καστράκι	6.54
Μεσοχώρα	24.65	Κρεμαστά	12.45	Κρεμαστά	12.33
Προυσσός	12.13	Μεσοχώρα	21.41	Μεσοχώρα	20.30
Φουσιανά	19.65	Προυσσός	10.53	Προυσσός	10.59
		Φουσιανά	19.92	Φουσιανά	18.89
Σύνολο	100		100		100

3.2.6 Υψομετρική αναγωγή βροχοπτώσεων

I. Μεθοδολογία

Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι επιθυμητή η μεταφορά της βροχομετρικής πληροφορίας ενός ή περισσότερων σταθμών σε διαφορετικά υψόμετρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση της ανομοιόμορφης υψομετρικής κατανομής των βροχομετρικών σταθμών μιας λεκάνης απορροής, που συνήθως καλύπτουν μόνο τα πεδινά ή ημιορεινά τμήματα αυτής. Αυτό έχει ως συνέπεια την υποεκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης, αφού ως γνωστόν, παρατηρείται αύξηση του ύψους βροχής με την αύξηση του υψομέτρου, με τυπικές τιμές από 0.5 έως 2.0mm/m (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

Έστω Z_m το μέσο υψόμετρο της λεκάνης, Z_σ το μέσο ζυγισμένο υψόμετρο των βροχομετρικών σταθμών και h_s το επιφανειακό μέσο ετήσιο ύψος βροχής, το οποίο

προκύπτει με επιφανειακή ολοκλήρωση των αντίστοιχων σημειακών δειγμάτων. Αν ισχύει $Z_m \approx Z_\sigma$, η υψομετρική κατανομή των σταθμών είναι αντιπροσωπευτική της λεκάνης, και συνακόλουθα η βροχόπτωση που υπολογίζεται μέσω της επιφανειακής ολοκλήρωσης θεωρείται αντιπροσωπευτική της επιφανειακής βροχόπτωσης της λεκάνης. Αν όμως τα δυο υψόμετρα διαφέρουν σημαντικά, τότε απαιτείται διόρθωση του υπολογιζόμενου ύψους βροχής με βάση τον λεγόμενο *συντελεστή υψομετρικής αναγωγής*:

$$\mu = 1 + \beta \frac{Z_m - Z_\sigma}{h_s} \quad (3.6)$$

όπου:

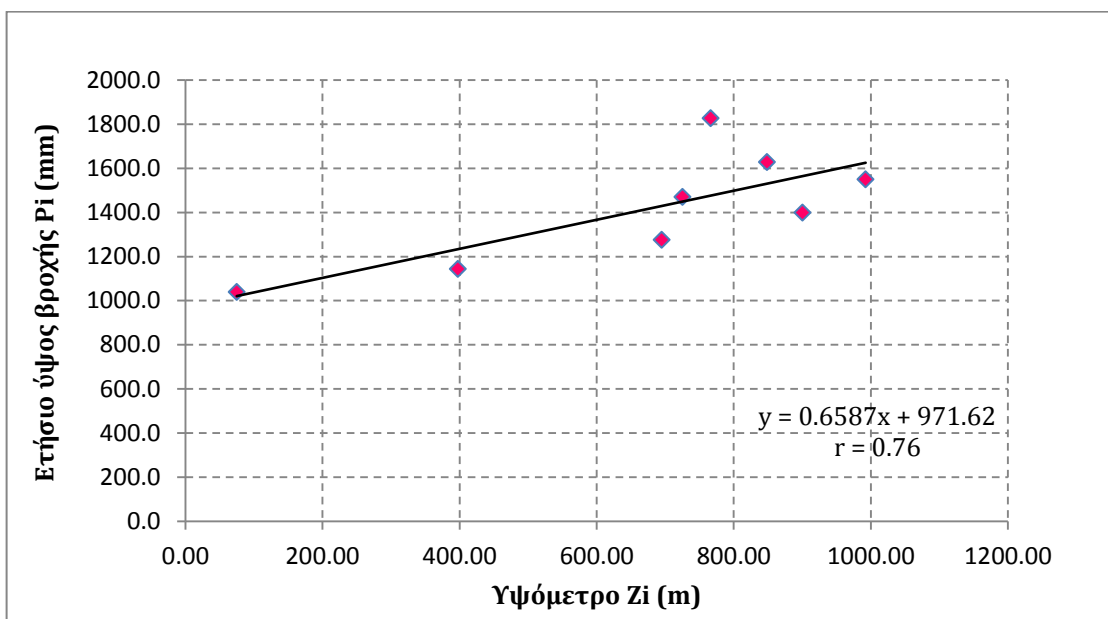
h_s : το μέσο ετήσιο ύψος βροχής στη λεκάνη απορροής (m).

Z_m : το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (υπολογίζεται από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, σε m).

Z_σ : το μέσο υψόμετρο των σταθμών (υπολογισμένο από τα επιμέρους υψόμετρα με εφαρμογή των συντελεστών Thiessen, σε m) και

β : η βροχοβαθμίδα, δηλαδή η ανά μονάδα μέτρου μεταβολή του ύψους βροχής, η οποία ταυτίζεται με την κλίση της ευθείας γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ των μέσων ετήσιων τιμών των σημειακών δειγμάτων και των αντίστοιχων υψομέτρων των βροχομετρικών σταθμών, σε mm/m.

Για τον υπολογισμό της βροχοβαθμίδας, καταρτίστηκε διάγραμμα με τετμημένη το υψόμετρο των σταθμών και τεταγμένη το μέσο ετήσιο ύψος βροχής. Στο διάγραμμα αυτό προσαρμόστηκε η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων και βρέθηκε η κλίση της ευθείας β (βροχοβαθμίδα). Τελικά, η βροχοβαθμίδα προέκυψε ίση με 0.66 mm/m ή 66mm/100m όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 3.9: Εκτίμηση βροχοβαθμίδας για την λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου.

Ο συντελεστής συσχέτισης r όπως φαίνεται Σχήμα 3.9 ισούται με 0.76. Η τιμή αυτή κρίνεται ικανοποιητική, λαμβάνοντας υπόψη ότι η λεκάνη απορροής του Αχελώου, όπως ήδη έχει αναφερθεί, είναι μια εκτεταμένη λεκάνη, η μορφολογία της οποίας είναι ιδιαίτερα ανομοιόμορφη, με αποτέλεσμα την μη ομαλή μεταβολή των κατακρημνισμάτων συναρτήσει του υψόμετρου.

Στη συνέχεια έγινε υψομετρική αναγωγή των υπολογισθεισών επιφανειακών μηνιαίων βροχοπτώσεων κατά Thiessen, χρησιμοποιώντας την εξίσωση 3.6. Δηλαδή οι υψομετρικά ανηγμένες επιφανειακές βροχοπτώσεις υπολογίστηκαν πολλαπλασιάζοντας τα αρχικά επιφανειακά δείγματα με τον συντελεστή μ .

Στον Πίνακα 3.12 παρουσιάζονται, για τις θέσεις υπολογισμού των επιφανειακών βροχοπτώσεων, όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της υψομετρικής αναγωγής.

Πίνακας 3.12: Δεδομένα υψομετρικής αναγωγής δειγμάτων επιφανειακής βροχόπτωσης.

Υπολεκάνη	Μ.Υ.Λ.Α (m)	Μ.Υ.Σ (m)	β (mm/m)	Επιφανειακή βροχόπτωση (mm)	μ	Ανηγμένη βροχόπτωση (mm)
Κρεμαστά	1054.0	779.93	0.66	1492.3	1.1212	1673.2
Καστράκι	984.65	729.72	0.66	1447.4	1.1162	1615.7
Στράτος	955.35	701.57	0.66	1431.5	1.1170	1599.0

Μ.Υ.Λ.Α: Μέσο υψόμετρο λεκάνης απορροής

Μ.Υ.Σ: Μέσο ζυγισμένο υψόμετρο σταθμών

β : Βροχοβαθμίδα (mm/m)

μ : Συντελεστής υψομετρικής αναγωγής

3.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΥΝΗΤΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ

3.3.1 Γενικά

Σύμφωνα με τους Rosenberg et al. (1983) η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (ET_p) ορίζεται ως η εξάτμιση από εκτεταμένη επιφάνεια βραχείας πράσινης φυτοκαλλιέργειας που σκιάζει πλήρως το έδαφος, παρεμβάλλει αμελητέα αντίσταση στη ροή του νερού και της παρέχεται πάντα επαρκής ποσότητα νερού.

Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής ET στη λεκάνη απορροής ενός ποταμού έχει εξαιρετικά μεγάλη σημασία στην εκτίμηση της απορροής του και αυτό γιατί η εξάτμιση και η διαπνοή είναι από τις σημαντικότερες συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου. Θα ήταν συνεπώς λάθος να μην υπολογιστεί η συμμετοχή αυτών των διεργασιών στην παραγωγή απορροής στην υδρολογική λεκάνη.

Από τη στιγμή που ο Dalton πρώτος εισήγαγε την εξίσωση μεταφοράς μάζας, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι εκτίμησης της ET .

Οι διάφορες αυτές τεχνικές εκτίμησης της ET εμπίπτουν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Υδρολογική μέθοδος ή μέθοδος εδαφικού νερού.
2. Μικρομετεωρολογικές μέθοδοι.
3. Κλιματολογικές μέθοδοι, που υποδιαιρούνται σε
 - α. εμπειρικές σχέσεις που στηρίζονται στην θερμοκρασία του αέρα (Thornthwaite (1948); Blaney and Criddle (1950)).
 - β. υπολογιστικές σχέσεις που στηρίζονται στην ηλιακή ακτινοβολία.
 - γ. συνδυαστικές υπολογιστικές σχέσεις.

Για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα στις εξεταζόμενες υπολεκάνες, χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Thornthwaite, που παρουσιάζεται παρακάτω (Ξανθόπουλος, 1990):

$$ET_p \text{ (mm/μήνα)} = 16 \cdot \left(\frac{10T_a}{J} \right)^\alpha \cdot \frac{D \cdot T}{360} \quad (3.7)$$

όπου:

T_a : μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα ($^{\circ}C$)

$$J: \text{ετήσιος δείκτης θερμότητας} = \sum_{i=1}^{12} j_i$$

$$j_i : \text{μηνιαίος δείκτης θερμότητας} = 0,09 \cdot T_{\alpha_i}^{3/2}$$

$$\alpha: \text{εκθέτης} = 0,016 \cdot J + 0,5$$

D: μέση διάρκεια των ωρών ημέρας του υπόψη μήνα:

$$\frac{D \cdot T}{360} = 0,1217 \cdot P \quad (3.8)$$

όπου:

P: ποσοστό ωρών ημέρας του συγκεκριμένου μήνα ανά έτος (από πίνακα).

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Thornthwaite ανά μήνα για το χρονικό διάστημα 1989-90 έως 2007-08, παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

3.3.2 Υπολογισμός μέσης ανηγμένης θερμοκρασίας.

Όταν γίνεται αναφορά στην θερμοκρασία αέρα, νοείται κυρίως η θερμοκρασία αυτού υπό σκιά (Τσακίρης, 1995). Η μέτρηση αυτής γίνεται με θεرمόμετρα και με θερμογράφους που τοποθετούνται εντός του μετεωρολογικού κλωβού όπου ο αέρας κυκλοφορεί ελεύθερα και τα όργανα προστατεύονται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Από την ανάγνωση των οργάνων ενός σταθμού μπορούν να υπολογισθούν οι παρακάτω τιμές της θερμοκρασίας:

1. Η απόλυτη μέγιστη (T_{\max}) και η ελάχιστη (T_{\min}) τιμή που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια ορισμένης χρονικής περιόδου (π.χ. 24ωρο, μήνας ή έτος).
2. Η μέση ημερήσια τιμή ($\overline{T_d}$) που ορίζεται από τη σχέση:

$$\overline{T_d} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T_{h_i} \quad (3.9)$$

όπου T_{h_i} είναι η ωριαία τιμή ($i=1, 2, \dots, 24$).

Αν είναι γνωστές οι τιμές T_{\max} και T_{\min} κατά τη διάρκεια του 24ώρου, η $\overline{T_d}$ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\overline{T_d} = \frac{1}{2} (T_{\min} + T_{\max}) \quad (3.10)$$

3. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία ($\overline{T_{mo}}$) που υπολογίζεται από τη μέση ημερήσια των ημερών του κάθε μήνα :

$$\overline{T_{mo}} = \frac{1}{v} \sum_{i=1}^v \overline{T_{di}} \quad (3.11)$$

όπου ν ο αριθμός των ημερών του μήνα.

4. Η μέση ετήσια θερμοκρασία ($\overline{T_E}$) που υπολογίζεται από τη μέση μηνιαία των 12 μηνών:

$$\overline{T_E} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \overline{T_{mo_i}} \quad (3.12)$$

5. Το ημερήσιο θερμομετρικό εύρος, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του 24ώρου.
6. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος, δηλαδή η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας του ψυχρότερου μήνα από τη μέση του θερμότερου μήνα του έτους.

Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, συγκεντρώθηκαν δεδομένα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για την περίοδο 1989-90 έως 2007-08 από τους βροχομετρικούς σταθμούς στις θέσεις των δύο εν λειτουργία φραγμάτων (Κρεμαστά και Καστράκι) που ανήκουν στην δικαιοδοσία της Δ.Ε.Η και διέθεταν θερμόμετρο, και από τον μετεωρολογικό σταθμό του Αγρινίου της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ). Ο πληρέστερος από τους τρεις ήταν αυτός των Κρεμαστών. Ως εκ τούτου, η μεταφορά της πληροφορίας για την θερμοκρασία στα μέσα υψόμετρα των εξεταζόμενων υπολεκανών έγινε, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της θερμοβαθμίδας, με σταθμό βάσης αυτόν των Κρεμαστών. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην παρατήρηση ότι η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου.

Η αναγωγή έγινε με εφαρμογή της εξίσωσης:

$$T_m = T_\sigma - \theta \frac{Z_m - Z_\sigma}{100} \quad (3.13)$$

όπου T_m ($^{\circ}\text{C}$) η μέση μηνιαία θερμοκρασία ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής, T_{σ} ($^{\circ}\text{C}$) η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα του σταθμού βάσης, Z_m , Z_{σ} τα αντίστοιχα υψόμετρα (m) και θ η θερμοβαθμίδα, δηλαδή ο ρυθμός μείωσης της θερμοκρασίας συναρτήσει του υψομέτρου. Η θερμοβαθμίδα συνήθως προκύπτει για κάθε περιοχή από την γραφική παράσταση των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών των σταθμών μιας περιοχής σε συνάρτηση με τα υψόμετρα των σταθμών.

Για την περιοχή της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Αχελώου δεν υπήρχε διαθέσιμος μεγάλος αριθμός μετεωρολογικών σταθμών σε διαφορετικά μεταξύ τους υψόμετρα που θα μπορούσαν να παρέχουν δεδομένα καταγραφής της μέσης θερμοκρασίας αέρα. Για το λόγο αυτό ως θερμοβαθμίδα χρησιμοποιήθηκε η τιμή -0.6°C ανά 100m αύξησης του τοπογραφικού υψομέτρου, όπως είχε προκύψει σε παλαιότερη μελέτη γειτονικής υδρολογικής λεκάνης.

Οι ανηγμένες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες στα μέσα υψόμετρα των λεκανών απορροής Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου που προέκυψαν για την περίοδο 1989-90 έως 2007-08, παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

Κεφάλαιο 4

Απορροές

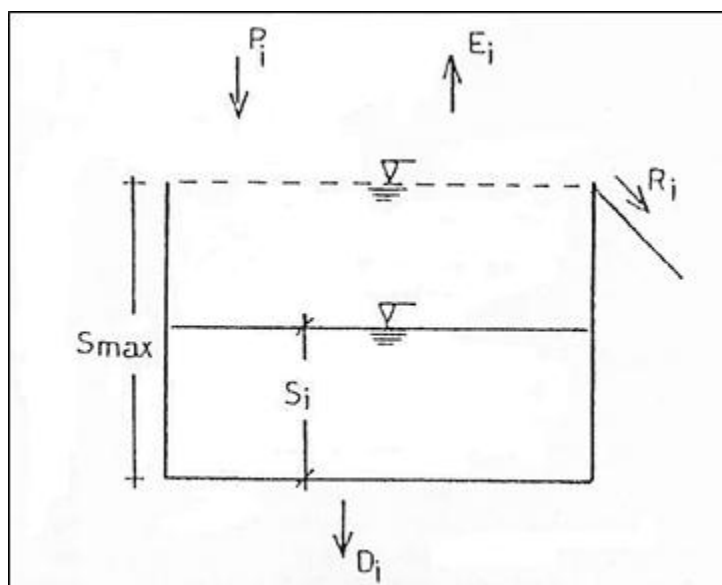
4.1 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Ο ρυθμός ροής του νερού διαμέσου της λεκάνης, είτε επιφανειακά, είτε υπεδαφίως, ή ακόμη υπογείως, αναφέρεται ως συνολικό θεωρητικό υδατικό δυναμικό της λεκάνης απορροής (Ναλμπάντης, 2003). Στις περιπτώσεις δε που η ροή του υπόγειου νερού είναι δυνατό να αγνοηθεί (Ναλμπάντης και Τσακίρης, 2006), γίνεται λόγος για το Θεωρητικό Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής. Το τελευταίο εκφράζεται από την απορροή του κύριου υδατορεύματος της λεκάνης στο στόμιο εξόδου της.

Για την εκτίμηση της επιφανειακής απορροής στις εξετασθείσες υδρολογικές υπολεκάνες του Αχελώου ποταμού, δοκιμάστηκε η καταλληλότητα στις υπόψη συνθήκες, του μοντέλου του απλού υδατικού ισοζυγίου στην ανώτερη επιφανειακή στρώση του εδάφους (ζώνη ριζοστρώματος), λόγω της απλότητας και του μικρού αριθμού των παραμέτρων (3) που χρησιμοποιούνται.

4.2 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΑΠΛΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Το μοντέλο του απλού υδατικού ισοζυγίου, οι βασικές αρχές του οποίου παρουσιάστηκαν ήδη σε προηγούμενο κεφάλαιο, βασίζεται στην υπόθεση ότι η αποθήκευση του νερού σε μια λεκάνη απορροής πραγματοποιείται στην ανώτερη ζώνη του εδάφους (ζώνη ριζοστρώματος) (Giakoumakis et al., 1991). Μια σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου δίνεται στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Σχηματική παρουσίαση του μοντέλου του απλού υδατικού ισοζυγίου

Σύμφωνα με αυτό, η ανώτερη εδαφική ζώνη μπορεί να θεωρηθεί ως μια ρηχή δεξαμενή στην οποία το μέγεθος S_i αναπαριστά την υγρασία του εδάφους για κάθε μήνα i και το S_{max} είναι μια παράμετρος που εκφράζει τη μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα της δεξαμενής. Τότε το μηνιαίο έλλειμμα εδαφικής υγρασίας στο σύνολο της έκτασης δίνεται από την διαφορά $S_{max}-S_i$, υπολογισμένο κατά μέσο όρο για την έκταση της λεκάνης απορροής.

Η τροποποιημένη εκδοχή του μοντέλου απλού υδατικού ισοζυγίου όπως προτείνεται εδώ, περιλαμβάνει τρεις παραμέτρους αντί μιας της αρχικής του μορφής (βλ. κεφ.2). Σύμφωνα με τη νέα υπόθεση, το βάθος του νερού στη δεξαμενή αυξάνεται από τη μηνιαία βροχόπτωση P_i και μειώνεται τόσο από τη μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_i όσο και από τις απώλειες βαθειάς διήθησης D_i . Για τον υπολογισμό του D_i , εισάγεται ο συντελεστής απωλειών βαθειάς διήθησης ή συντελεστής κατείσδυσης K , ως μια δεύτερη παράμετρος προσαρμογής.

Οι βασικές εξισώσεις του τροποποιημένου μοντέλου δίνονται παρακάτω. Ως πρώτο βήμα, ένα δοκιμαστικό βάθος της εδαφικής υγρασίας S_i' υπολογίζεται από τη σχέση

$$S_i' = S_{i-1} + P_i - E_i \quad (\text{mm}) \quad (4.1)$$

όπου S_{i-1} : η υγρασία του εδάφους στο τέλος του μήνα $i-1$ (mm)

P_i : η μηνιαία βροχόπτωση για τον μήνα i (mm)

E_i : η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή για τον μήνα i (mm)

Η μηνιαία απορροή (περίσσεια νερού ή υπερχειλίση «δεξαμενής») εξαρτάται από την τιμή του S_i' . Επομένως

Αν $S_i' > S_{\max}$

$$R_i = (S_i' - S_{\max}) \cdot K' \quad (4.2)$$

$$D_i = (S_i' - S_{\max}) \cdot K \quad (4.3)$$

$$S_i = S_{\max} \quad (4.4)$$

$$EA_i = P_i - \Delta S_i - R_i - D_i \quad (4.5)$$

όπου

$$\Delta S_i = S_i - S_{i-1} \text{ και } K' = 1 - K$$

D_i = απώλειες βαθειάς διήθησης για τον μήνα i (mm)

EA_i = πραγματική εξατμισοδιαπνοή για τον μήνα i (mm)

K = συντελεστής απωλειών βαθειάς διήθησης ($0 \leq K \leq 1$)

Εάν $0 \leq S_i' \leq S_{\max}$

$$R_i = 0 \quad (4.6)$$

$$S_i = S_i' \quad (4.7)$$

$$D_i = 0 \quad (4.8)$$

$$EA_i = P_i - \Delta S_i \quad (4.9)$$

Αν $S_i' < 0$

$$R_i = 0 \quad (4.10)$$

$$S_i = 0 \quad (4.11)$$

$$EA_i = P_i + S_{i-1} \quad (4.12)$$

Οι υπολογισμοί του μοντέλου ξεκινούν το μήνα Οκτώβριο με τη θεώρηση άδειας δεξαμενής ($S_i=0$) για $i=1$. Η απορροή που υπολογίζεται από τις εξισώσεις που περιγράφηκαν παραπάνω, συγκεντρώνεται στους χειμερινούς μήνες και μηδενίζεται στους υπόλοιπους εξαιτίας του γεγονότος ότι το μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψη την υπόγεια αποθήκευση. Με σκοπό να αντιμετωπιστεί αυτό, προτείνεται η ακόλουθη εξίσωση:

$$Q_i = a \cdot R_i + (1-a) \cdot Q_{i-1} \quad (4.13)$$

όπου το μέγεθος Q_i αποτελεί μια δεύτερη, περισσότερο ακριβή, προσέγγιση της απορροής R_i και το a είναι η τρίτη παράμετρος του τροποποιημένου μοντέλου ($0 < a \leq 1$). Με την παράμετρο a , αίρεται το παραπάνω πρόβλημα και η απορροή αποκτά «μνήμη» ώστε να επιμερίζεται και στους υπόλοιπους μήνες του έτους. Με τιμή του a κοντά στο 0, η απορροή «εξαπλώνεται» σε όλους τους μήνες του έτους, ενώ με τιμή του a κοντά στο 1, υπάρχει άμεση απόκριση και η απορροή τείνει να συγκεντρώνεται στους χειμερινούς μήνες μόνο.

Μια καλή εκτίμηση της παραμέτρου S_{\max} (mm), μπορεί να γίνει μέσω της εξίσωσης της Υπηρεσίας Προστασίας του Εδάφους του αμερικανικού Υπουργείου Γεωργίας, Soil Conservation Service (S.C.S, 1972):

$$S_{\max} = 25.4 ([1000/CN] - 10) \quad (4.14)$$

όπου η παράμετρος CN (Curve Number-αριθμός καμπύλης απορροής) παίρνει τιμές από 0-100 και εξαρτάται από:

- τη διηθητικότητα και τη διαπερατότητα του εδάφους (υδρολογικός τύπος εδάφους)
- τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας στη λεκάνη απορροής
- τις χρήσεις γης

Η ποιότητα κάθε προσομοίωσης που πραγματοποιείται ελέγχεται μέσω του κριτηρίου R^2 που δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση (Clarke, 1973):

$$R^2 = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n (y_o - \bar{y}_o)^2 - \sum_{i=1}^n (y_c - y_o)^2 \right\}}{\sum_{i=1}^n (y_o - \bar{y}_o)^2} \quad (4.15)$$

όπου :

y_o : η μετρημένη μηνιαία απορροή (mm)

\bar{y}_o : η μέση τιμή των μηνιαίων μετρημένων απορροών (mm)

y_c : η προσομοιωμένη μηνιαία απορροή (mm)

n : το πλήθος των παρατηρήσεων

Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι η τιμή του R^2 που υπολογίζεται, τόσο καλύτερη είναι η ποιότητα της προσομοίωσης. Το παραπάνω κριτήριο είναι γνωστό στη βιβλιογραφία και ως NTD (Nash and Sutcliffe), 1970).

Για την εκτίμηση του αριθμού καμπύλης απορροής (εξίσωση 4.14) ισχύουν τα παρακάτω (Τσακίρης, 1995):

Κατηγορίες εδαφών από υδρολογική άποψη

A: Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και υψηλή διαπερατότητα (π.χ. αμμώδη και χαλικώδη).

B: Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα που αποτελούνται από μέσης ή ελαφριάς σύστασης εδάφη (π.χ. αμμώδης πηλός).

C: Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα (π.χ. αργιλοπηλός).

D: Εδάφη με πολύ μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη με υψηλή στάθμη υπόγειου νερού ή με αδιαπέραστο στρώμα (π.χ. πλαστικές άργιλοι).

Κατηγορίες αρχικής κατάστασης υγρασίας του εδάφους

(με βάση το συνολικό ύψος βροχής των τελευταίων 5 ημερών)

- I. Ξηρές συνθήκες (βροχή < 13mm για τη χειμερινή ή < 35mm για την περίοδο βλάστησης για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).
- II. Μέσες συνθήκες (βροχή μεταξύ 13 και 28mm για τη χειμερινή ή μεταξύ 35 και 53mm για την περίοδο βλάστησης για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).
- III. Υγρές συνθήκες (βροχή > 28mm για τη χειμερινή ή > 53mm για την περίοδο βλάστησης για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Η S.C.S πινακοποίησε τους αριθμούς CN για μια ποικιλία συνθηκών με τις υποθέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Επειδή οι κατηγορίες χρήσης γης και φυτοκάλυψης που περιέχονται στον συγκεκριμένο πίνακα δεν είναι τόσο αντιπροσωπευτικές για τις ελληνικές συνθήκες και επειδή από την εμπειρία από τη χρήση της μεθόδου προέκυψαν πολλές αδυναμίες στη διαδικασία, προτείνεται αντί του συγκεκριμένου πίνακα που αρχικά προτάθηκε από την S.C.S, να χρησιμοποιείται ένας αντίστοιχος πίνακας, αυτός του Wanielista (1978), που στηρίζεται στις ίδιες υποθέσεις (κατάσταση αρχικής υγρασίας II και αρχικές απώλειες $0.20 \cdot S_{max}$).

4.3 ΕΦΑΡΜΟΦΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το τροποποιημένο μοντέλο εφαρμόστηκε στις υπολεκάνες απορροής του Αχελώου ποταμού (Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου), ανάντη των θέσεων των αντίστοιχων φραγμάτων.

Χρησιμοποιήθηκαν μηνιαίες μετρήσεις απορροής μιας περιόδου 19 διαδοχικών υδρολογικών ετών (1989-2008), προερχόμενες από υδρομετρικούς σταθμούς της ΔΕΗ στις θέσεις των εν λόγω φραγμάτων. Ανάμεσα σ' αυτές, τα δεδομένα από τα 10 πρώτα έτη χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμονόμηση του μοντέλου (1989-1999) και τα δεδομένα από τα ακόλουθα 9 έτη (1999-2008) για την επαλήθευση του μοντέλου. Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο Medbasin (Τίγκας, 2003; Tigkas and Tsakiris, 2004).

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή τα δεδομένα που είχαμε στη διάθεσή μας ήταν σε μηνιαίο και όχι σε ημερήσιο βήμα. Έτσι, ο προσδιορισμός του συνδυασμού των παραμέτρων για τον οποίο το μοντέλο λειτουργεί ικανοποιητικά, έγινε μέσω της τεχνικής trial-and-error. Η καταλληλότητα του μοντέλου ελέγχθηκε μέσω του κριτηρίου R^2 που αναφέρθηκε προηγουμένως (εξίσωση 4.15).

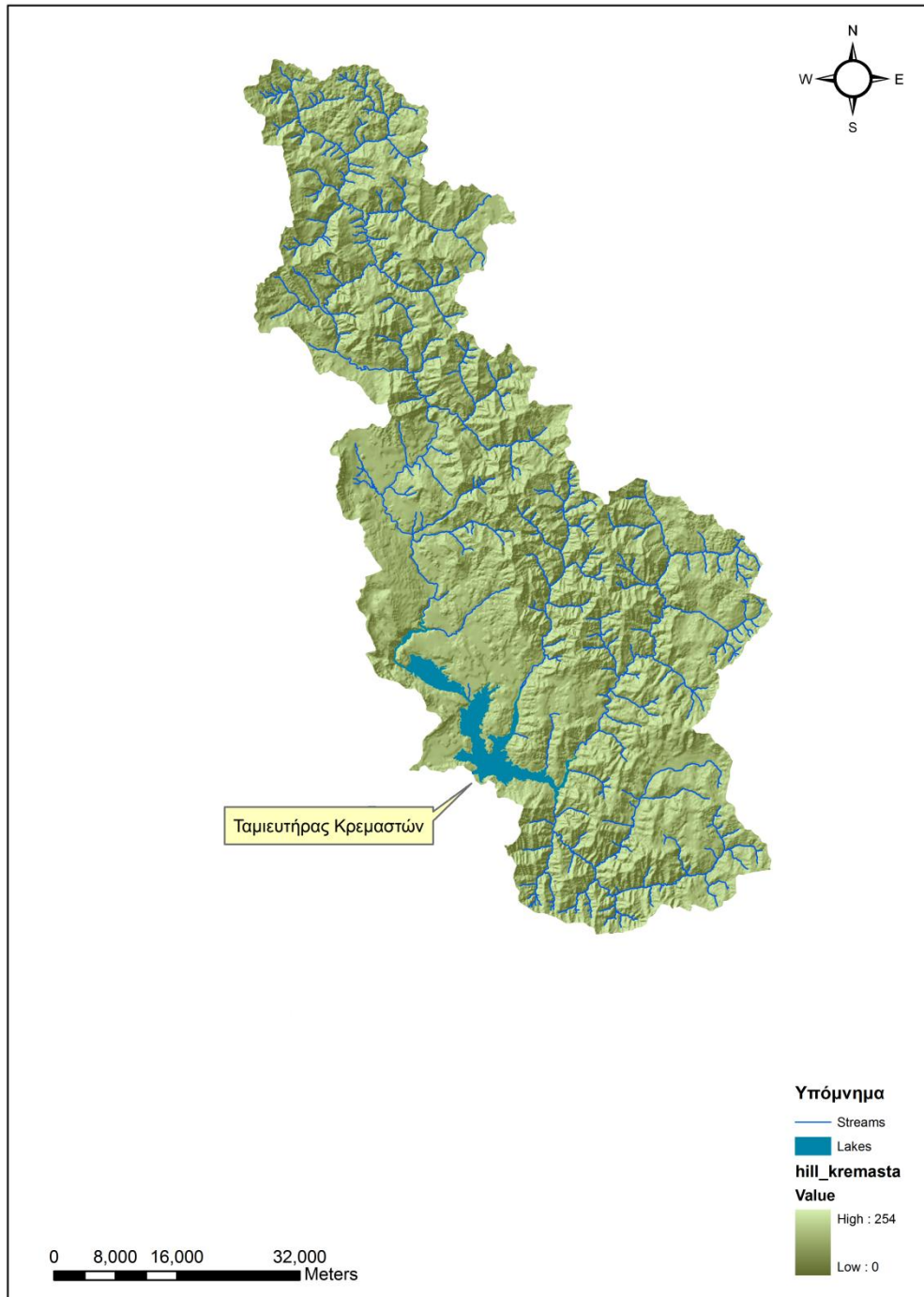
Για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου οι τιμές της βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, η έκταση της λεκάνης απορροής και οι συντελεστές S_{max} , K και a .

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να διευκρινιστεί πως για τον προσδιορισμό του μεγέθους της έκτασης της λεκάνης απορροής που χρησιμοποιήθηκε εδώ, ακολουθήθηκε μια σημαντική αρχή σύμφωνα με την οποία, στην περίπτωση που ένα σημαντικό μέρος της λεκάνης καλύπτεται από νερά (π.χ. λίμνες, ταμιευτήρες) ενδιαφέρον παρουσιάζει το καθαρό μέγεθος της λεκάνης που προκύπτει με την αφαίρεση από τη συνολική έκταση της έκτασης κατάκλυσης (Murphy et al., 1977). Εφόσον λοιπόν και στις τρεις υπολεκάνες συναντώνται λίμνες, η έκταση των οποίων καταλαμβάνει σημαντικό ποσοστό επί της συνολικής έκτασης της κάθε λεκάνης, κρίθηκε αναγκαίο να αφαιρεθεί από τη συνολική η επιφάνεια κατάκλυσης, έτσι ώστε το μοντέλο να εφαρμόζεται κάθε φορά έχοντας ως δεδομένο την έκταση στην οποία ουσιαστικά δημιουργείται απορροή.

Ως στοιχεία εξόδου λαμβάνονται αρχεία που περιλαμβάνουν τις μηνιαίες τιμές απορροής (σε mm, m^3 ή m^3/s) και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (σε mm).

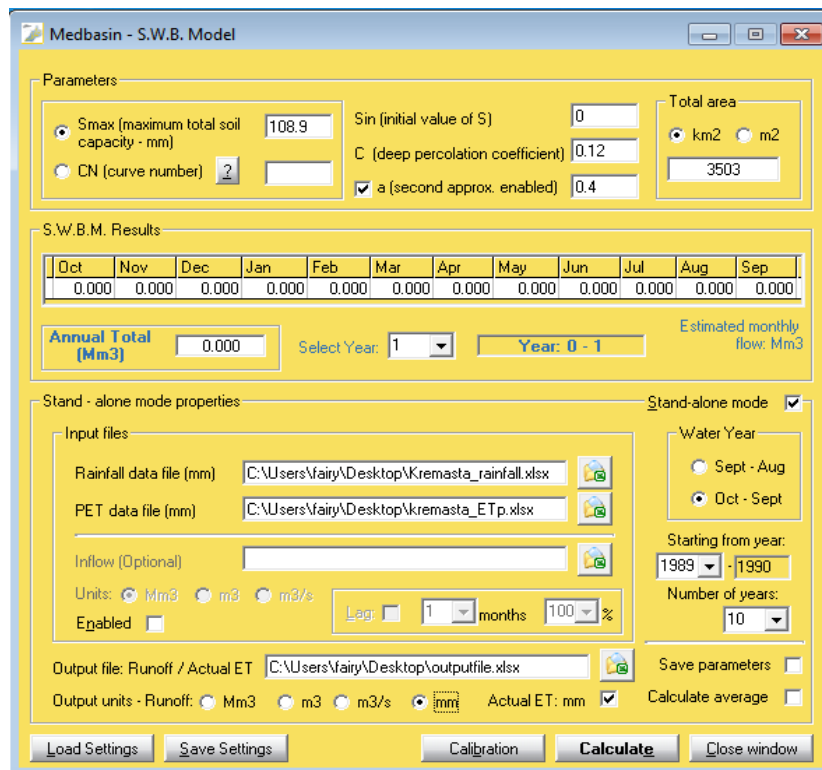
4.3.1 Υπολεκάνη Κρεμαστών.

Η υπολεκάνη των Κρεμαστών αποτελεί το βορειότερο τμήμα της λεκάνης του Αχελώου και η συνολική της έκταση ανέρχεται σε 3573km² ανάντη της θέσης του φράγματος (3503km² εξαιρούμενης της έκτασης της τεχνητής λίμνης), (Σχήμα 4.2). Η μέση ετήσια ανηγμένη επιφανειακή βροχόπτωση υπολογίστηκε ίση με 1673mm.



Σχήμα 4.2: Λεκάνη απορροής του Αχελώου ανάντη του φράγματος Κρεμαστών

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο πίνακας εισόδου των στοιχείων κατά την εφαρμογή του μοντέλου του απλού υδατικού ισοζυγίου στο περιβάλλον του Medbasin.



Σχήμα 4.3: Πίνακας εισόδου δεδομένων στο περιβάλλον του Medbasin

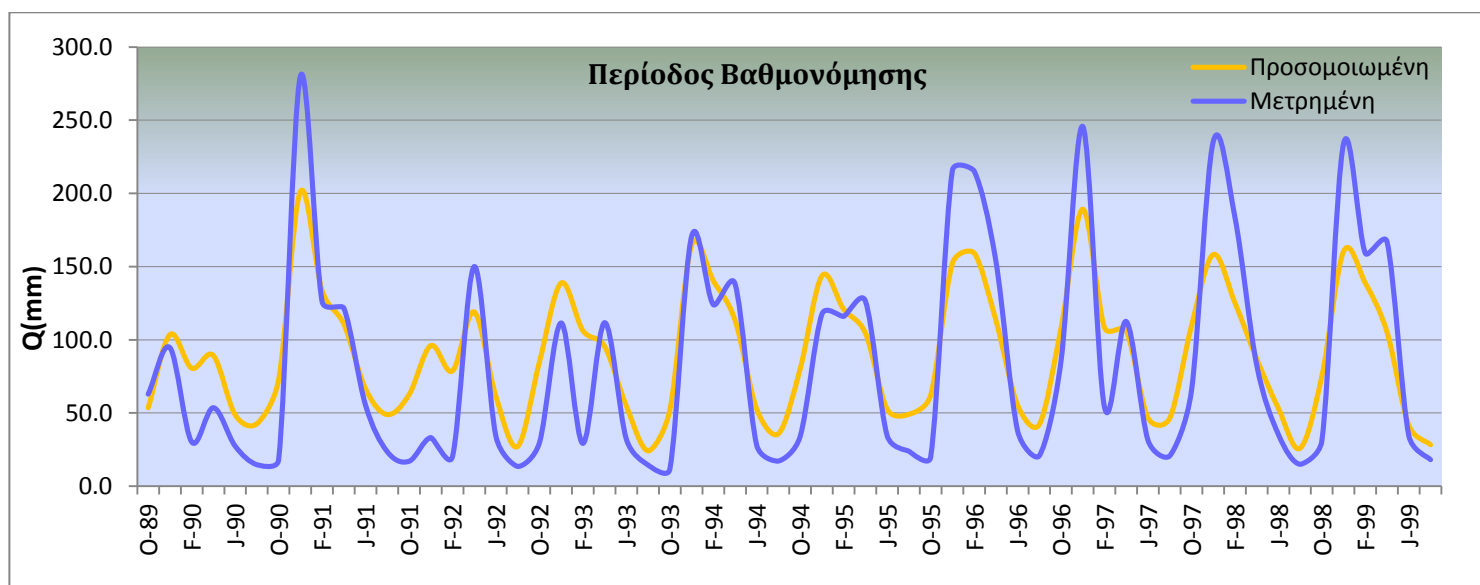
Κατά την βαθμονόμηση του μοντέλου ουσιαστικά εφαρμόζεται μια μέθοδος βελτιστοποίησης με αντικειμενικό σκοπό την βέλτιστη τιμή του R^2 . Μέσω της τεχνικής trial and error, πραγματοποιήθηκαν τρεξίματα του μοντέλου εισάγοντας κάθε φορά ως δεδομένα διαφορετικές τιμές των παραμέτρων. Σε κάθε επανάληψη της διαδικασίας, η καταλληλότητα προσαρμογής των εκάστοτε παραμέτρων ελέγχθηκε με βάση την τιμή του R^2 . Αρνητική τιμή του R^2 σημαίνει ότι η συμπεριφορά του μοντέλου είναι χειρότερη από την απλή θεώρηση της μέσης τιμής της μηνιαίας απορροής και προφανώς το μοντέλο δεν μπορεί να γίνει αποδεκτό. Αντίθετα, όταν η τιμή του R^2 προκύπτει κοντά στη μονάδα, σημαίνει ότι οι τιμές των παραμέτρων που επιλέχθηκαν προσαρμόζονται σε ικανοποιητικό βαθμό στο μοντέλο, στις συνθήκες της λεκάνης και στη διαδικασία μετατροπής της βροχής σε απορροή. Ο βέλτιστος συνδυασμός των παραμέτρων για τον οποίο προέκυψε η μέγιστη τιμή του R^2 δίνεται στον Πίνακα 4.2. Αυτή βρέθηκε ίση με $R^2_{\text{calibration}}=0.69$.

Πίνακας 4.2: Βαθμονόμηση μοντέλου: Βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων

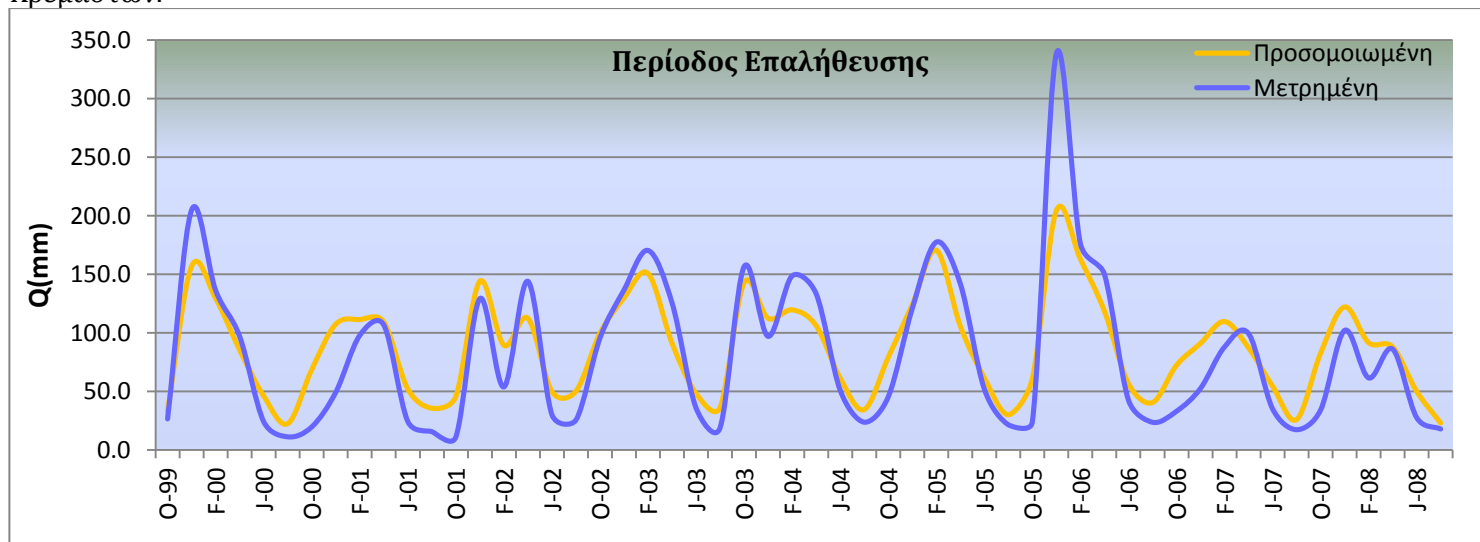
Parameter	Value
S_{\max}	108.9mm
K	0.64
a	0.6

Με τις τιμές των παραμέτρων που οριστικοποιήθηκαν στο στάδιο της βαθμονόμησης, έγινε τρέξιμο του μοντέλου για το υπόλοιπο της χρονικής περιόδου των διατιθέμενων απορροών. Η τιμή του R^2 που λαμβάνεται από αυτό το στάδιο είναι αυτή που ουσιαστικά επαληθεύει ή όχι την καταλληλότητα του μοντέλου. Εφόσον η τιμή αυτή είναι συγκρίσιμη – αν και γενικά, μικρότερη – με αυτή που προέκυψε από την διαδικασία της βαθμονόμησης, τότε το μοντέλο μπορεί να γίνει αποδεκτό ως προς την καταλληλότητά του, διαφορετικά απορρίπτεται. Παρατηρήθηκε ότι η τιμή του R^2 παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητη. ($R^2_{\text{validation}}=0.71$).

Τα μηνιαία υδρογραφήματα βάσει των μετρημένων και εκτιμημένων τιμών της απορροής παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.4 και 4.5 που ακολουθούν παρακάτω.



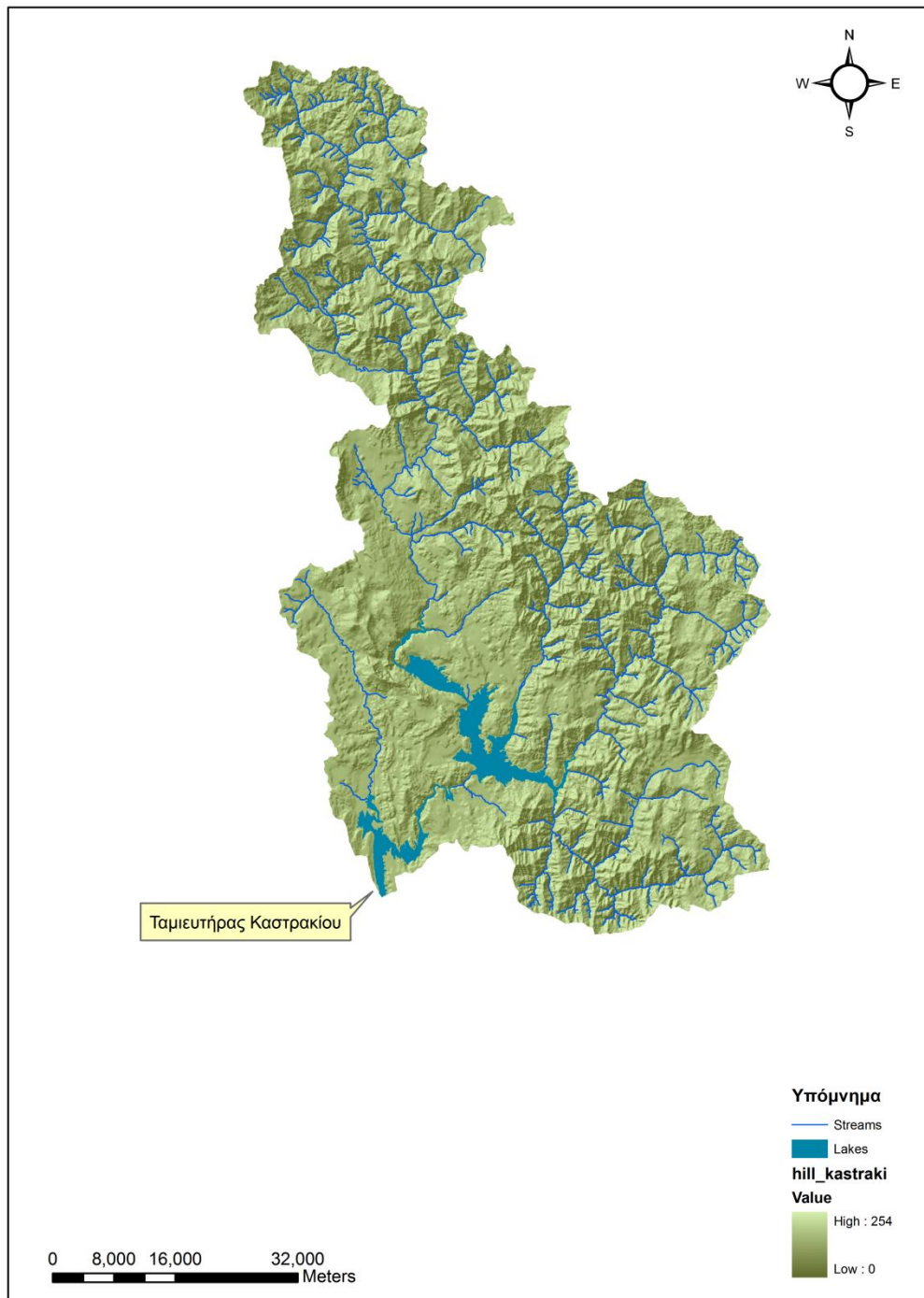
Σχήμα 4.4: Μεταβολή της μηνιαίας απορροής κατά τη φάση βαθμονόμησης του μοντέλου στην υπολεκάνη Κρεμαστών.



Σχήμα 4.5: Μεταβολή της μηνιαίας απορροής κατά τη φάση επαλήθευσης του μοντέλου στην υπολεκάνη Κρεμαστών.

4.3.2 Υπολεκάνη Καστρακίου.

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε και για την υπολεκάνη Καστρακίου. Πρόκειται για την λεκάνη ανάντη του φράγματος Καστρακίου με έκταση 4114km² (4017,3km² χωρίς να προσμετράται η έκταση των λιμνών), (Σχήμα 4.6). Η ενδιάμεση έκταση μεταξύ φράγματος Κρεμαστών και Καστρακίου ανέρχεται σε 540.9km². Η μέση ετήσια ανηγμένη επιφανειακή βροχόπτωση υπολογίστηκε ίση με 1616mm.



Σχήμα 4.6: Λεκάνη απορροής του Αχελώου ανάντη του φράγματος Καστρακίου.

Αρχικά έγινε βαθμονόμηση του μοντέλου για την ίδια χρονική περίοδο με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση της υπολεκάνης των Κρεμαστών (1989/90-1998/99) και στη συνέχεια έχοντας προσδιορίσει τις τιμές των παραμέτρων που μεγιστοποιούν την τιμή του R^2 , πραγματοποιήθηκε η επαλήθευση του μοντέλου αξιοποιώντας τα δεδομένα των μετρημένων απορροών της περιόδου 1999/2000-2007/08. Οι μόνες διαφορές σε σχέση με την προηγούμενη εφαρμογή είναι προφανώς τα δεδομένα εισόδου. Το εμβαδόν της λεκάνης είναι διαφορετικό, οι βροχοπτώσεις προκύπτουν από διαφορετικό συνδυασμό σταθμών της περιοχής και έχουν αναχθεί στο μέσο υψόμετρο της υπολεκάνης Καστρακίου και οι μετρημένες απορροές προέρχονται από τον υδρομετρικό σταθμό στη θέση του φράγματος.

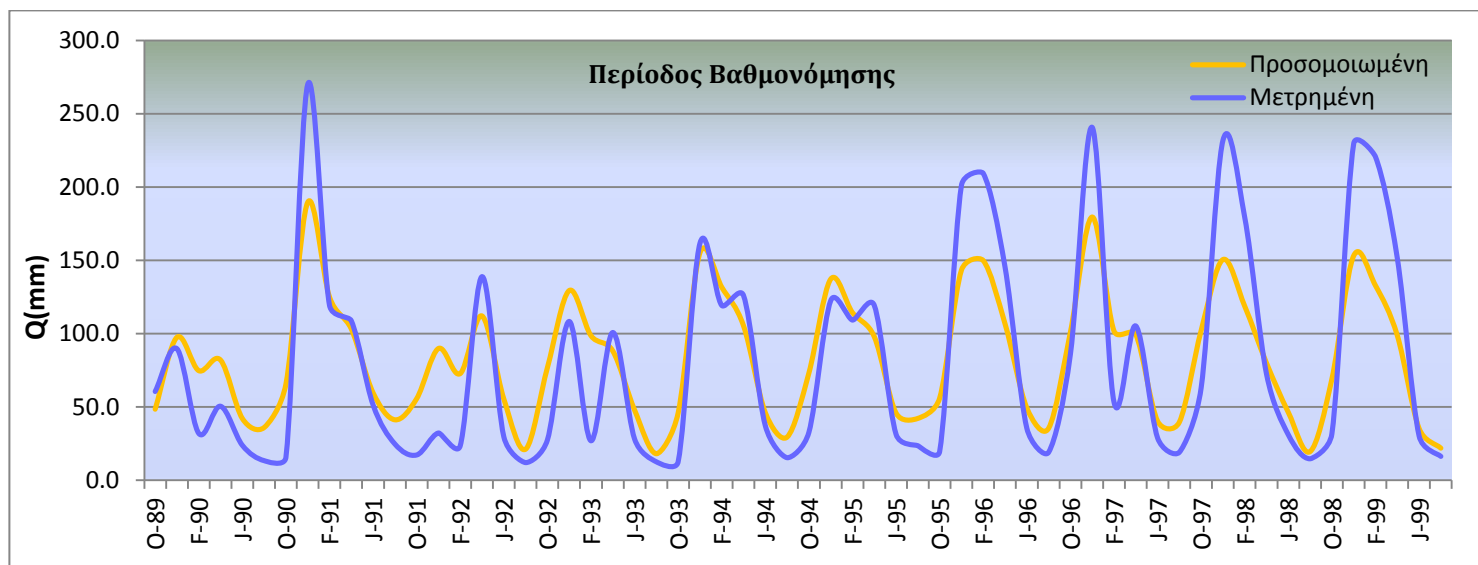
Οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.3: Βαθμονόμηση μοντέλου: Βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων

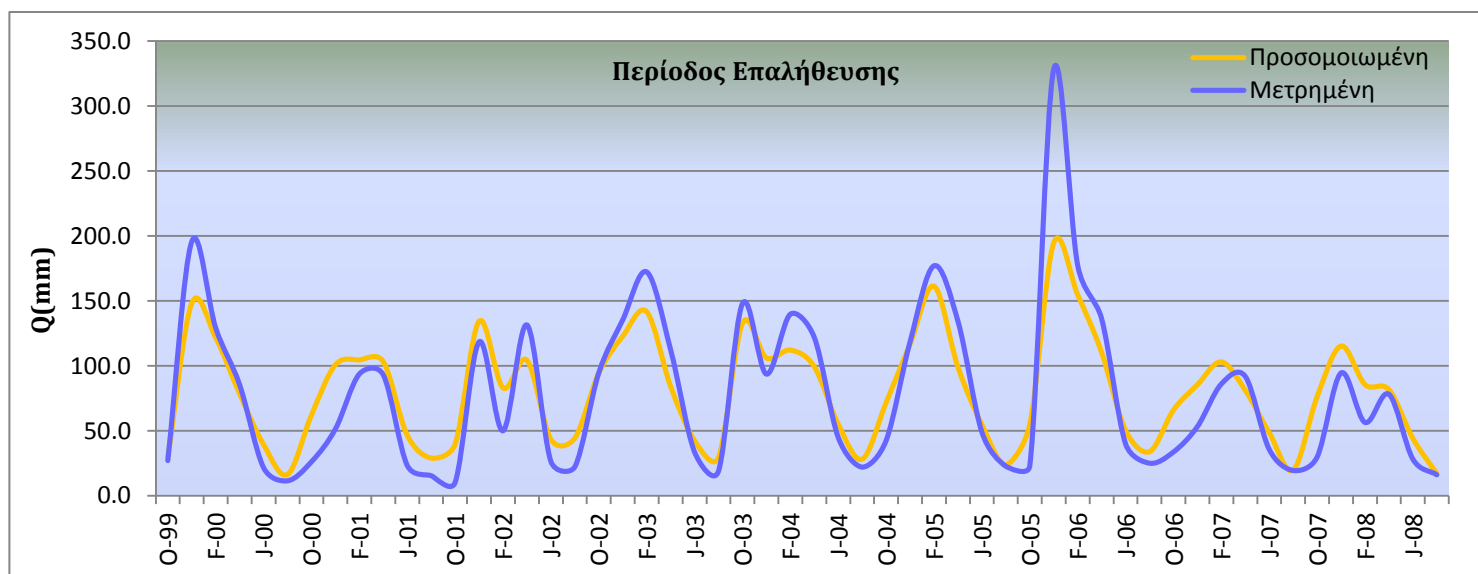
Parameter	Value
S_{max}	108.9mm
K	0.64
a	0.6

Η τιμή του R^2 που προέκυψε από την διαδικασία της βαθμονόμησης είναι ίση με $R^2_{calibration}=0.71$, ενώ από την επαλήθευση του μοντέλου είναι $R^2_{validation}=0.73$. Η ανεπαίσθητη απόκλιση μεταξύ των δυο τιμών και το γεγονός ότι και οι δυο τιμές είναι πολύ κοντά στην μονάδα καταδεικνύει την καλή προσαρμογή του μοντέλου. Παρατηρούμε ακόμη ότι οι τιμές των παραμέτρων είναι ίδιες με εκείνες που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου στην υπολεκάνη των Κρεμαστών.

Τα μηνιαία υδρογραφήματα βάσει των μετρημένων και εκτιμημένων τιμών της απορροής παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.7 και 4.8 που ακολουθούν παρακάτω.



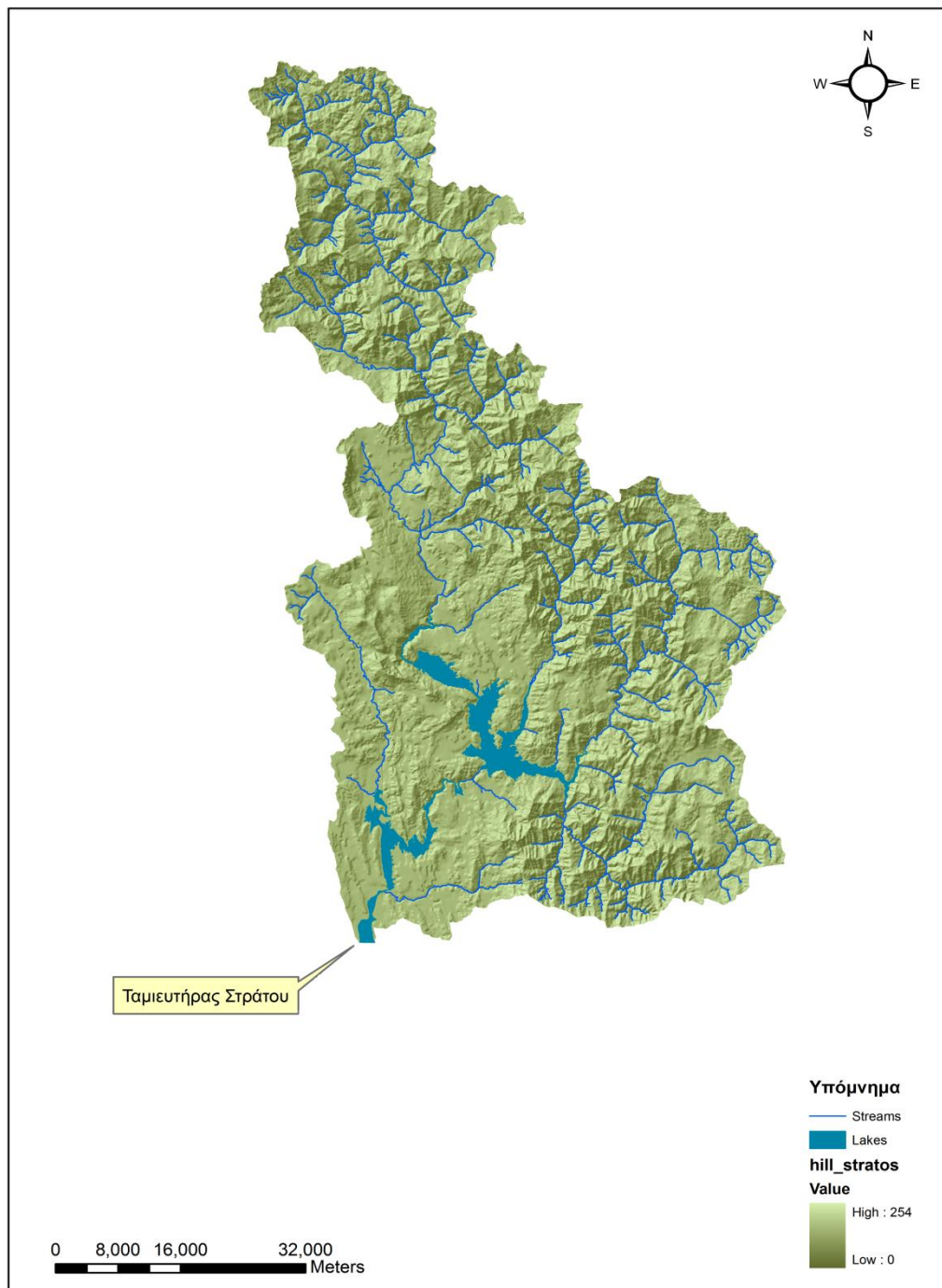
Σχήμα 4.7: Μεταβολή της μηνιαίας απορροής κατά τη φάση βαθμονόμησης του μοντέλου στην υπολεκάνη Καστρακίου.



Σχήμα 4.8: Μεταβολή της μηνιαίας απορροής κατά τη φάση επαλήθευσης του μοντέλου στην υπολεκάνη Καστρακίου.

4.3.3 Υπολεκάνη Στράτου.

Το μοντέλο του απλού υδατικού ισοζυγίου εφαρμόστηκε για ακόμη μια φορά στην συνολική περιοχή ανάντη του φράγματος Στράτου, συνολικής έκτασης 4339.1km² (4235.2km² χωρίς να προσμετράται η έκταση των λιμνών), (Σχήμα 4.9). Η έκταση της ενδιάμεσης λεκάνης μεταξύ φράγματος Καστρακίου και Στράτου, ανέρχεται σε 225.2km². Η μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση υπολογίστηκε ίση με 1599mm.



Σχήμα 4.9 Λεκάνη απορροής του Αχελώου ανάντη του φράγματος Στράτου.

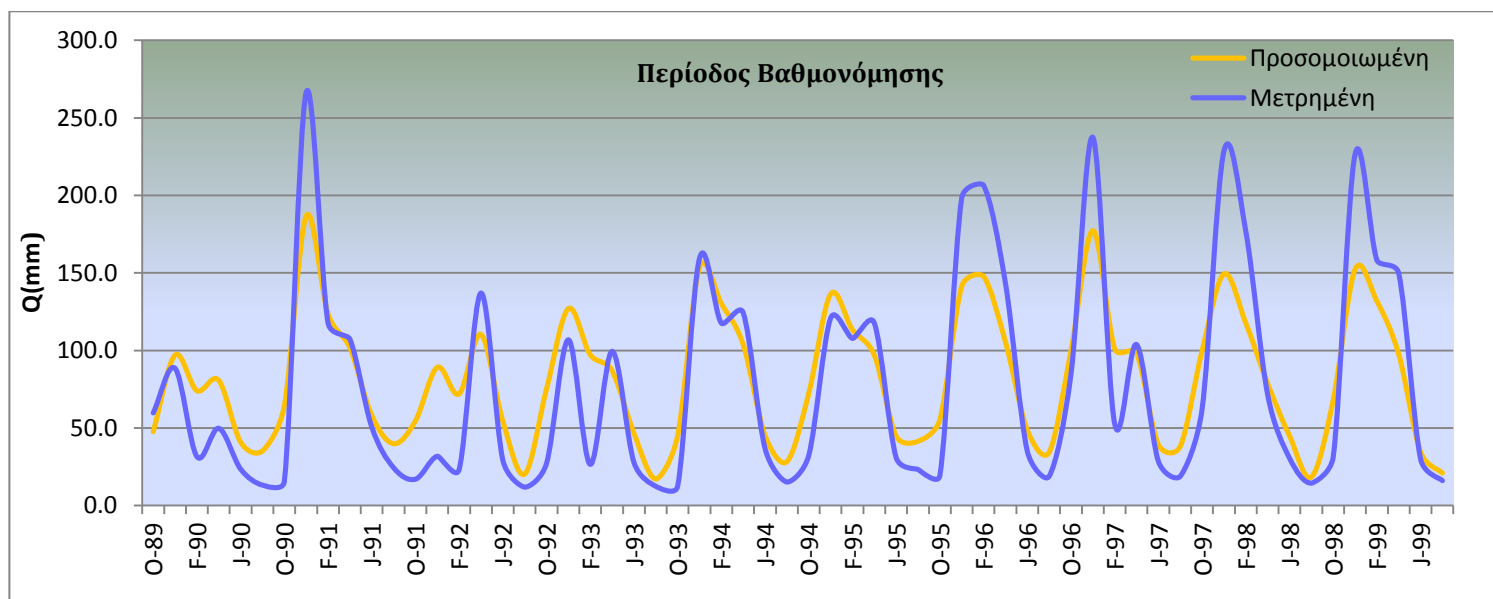
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι πανομοιότυπη με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω. Έχοντας ως δεδομένα εισόδου τα δεδομένα που αντιστοιχούν αποκλειστικά στη συγκεκριμένη λεκάνη, μέσω διαδοχικών δοκιμών και ελέγχων προσδιορίστηκαν τελικά οι τιμές των παραμέτρων για τις οποίες το μοντέλο λειτουργεί ικανοποιητικά (Πίν. 4.4). Η αντίστοιχη τιμή του R^2 που προέκυψε ήταν 0.72.

Πίνακας 4.4: Βαθμονόμηση μοντέλου: Βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων

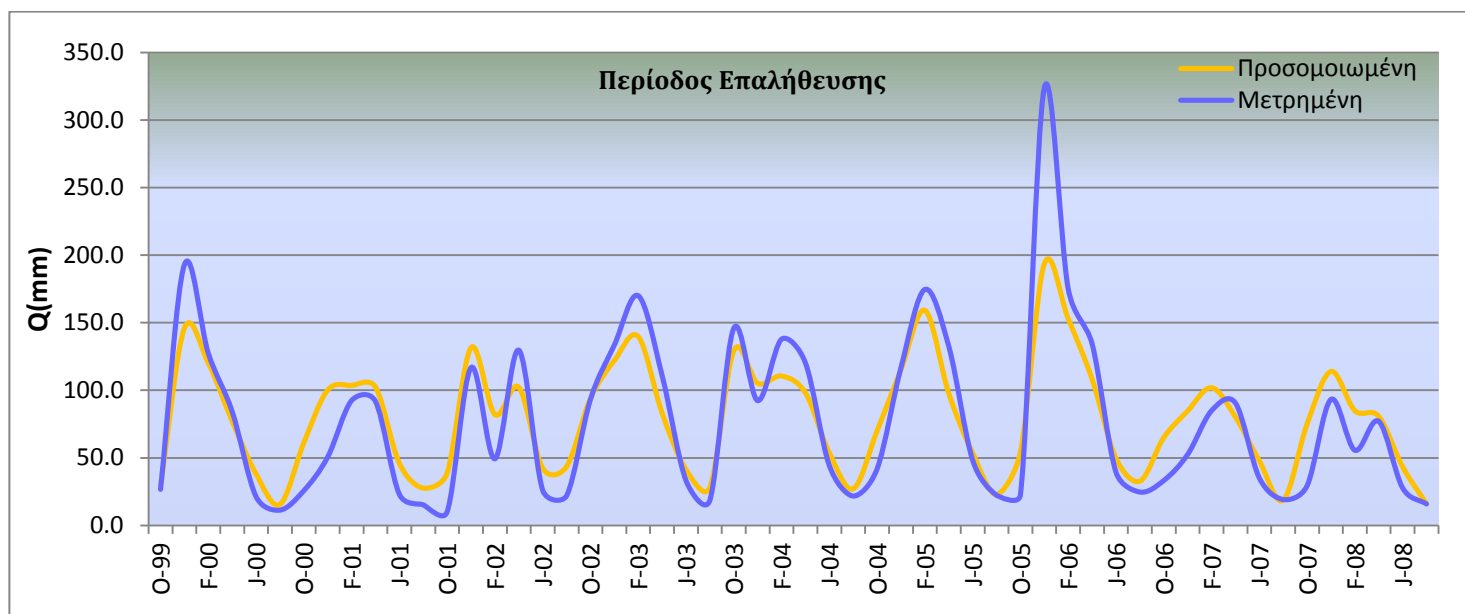
Parameter	Value
S_{max}	108.9mm
K	0.64
a	0.6

Πραγματοποιώντας ένα ακόμη τρέξιμο του μοντέλου με τις ίδιες τιμές παραμέτρων για την περίοδο επαλήθευσης, παρατηρήθηκε ότι η τιμή του R^2 προέκυψε σχεδόν ίδια ($R^2_{validation}=0.73$).

Τα μηνιαία υδρογραφήματα βάσει των μετρημένων και εκτιμημένων τιμών της απορροής παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.10 και 4.11 που ακολουθούν παρακάτω.



Σχήμα 4.10: Μεταβολή της μηνιαίας απορροής κατά τη φάση βαθμονόμησης του μοντέλου στην υπολεκάνη Καστρακίου.

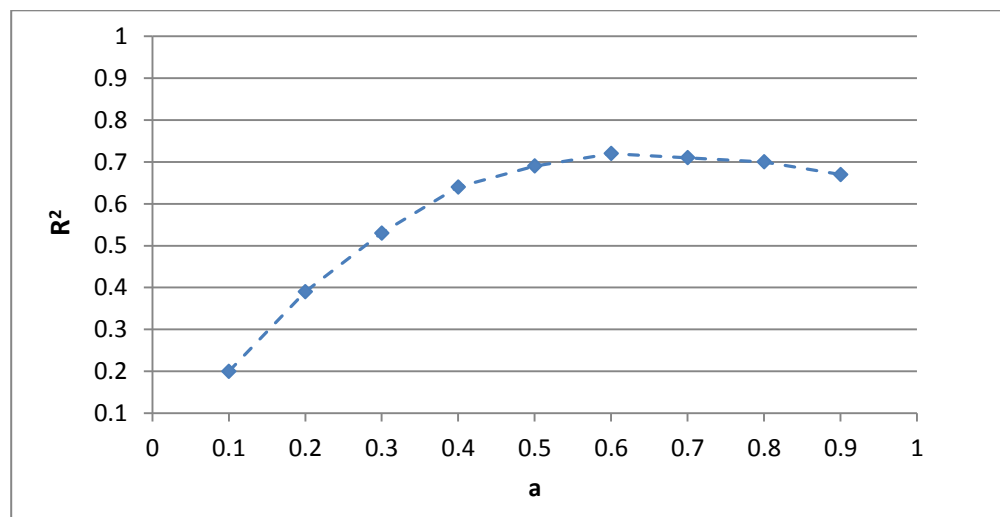
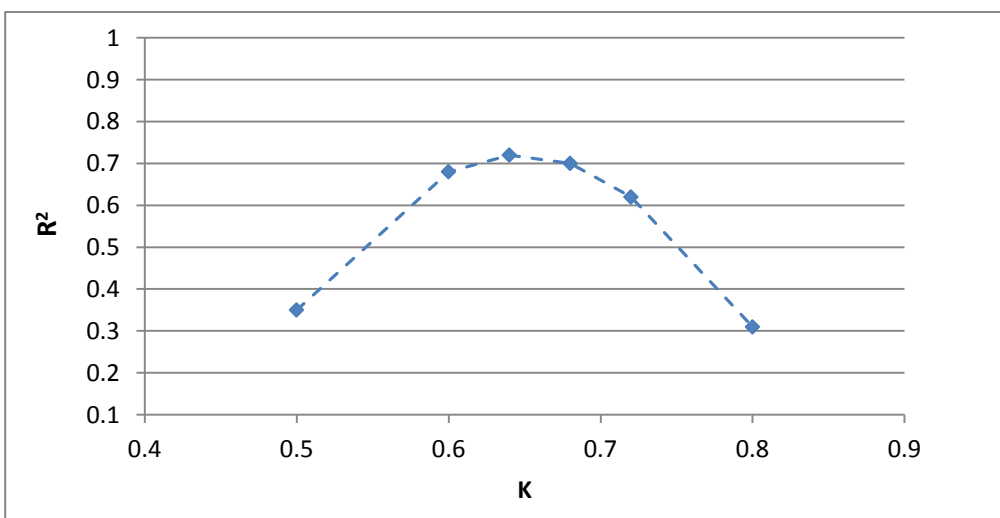
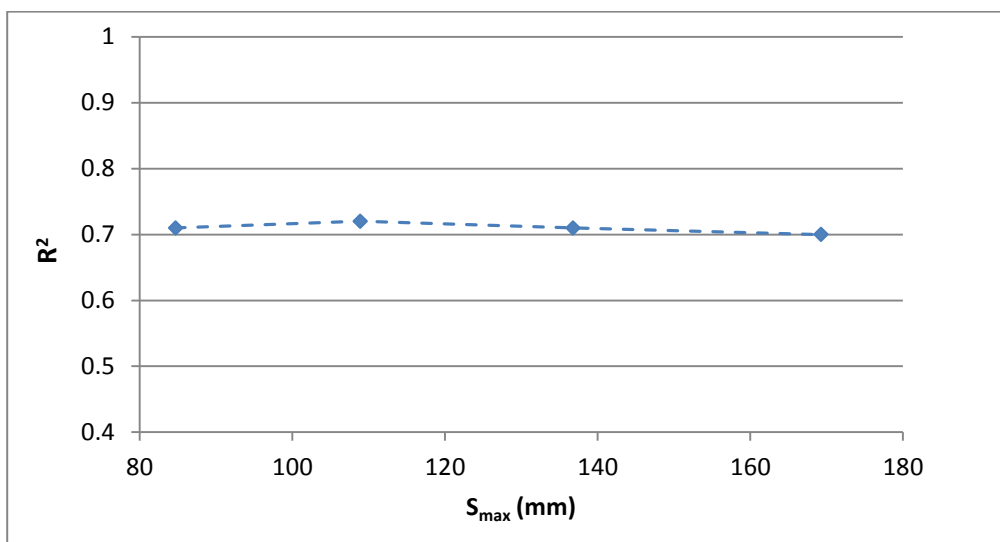


Σχήμα 4.11: Μεταβολή της μηνιαίας απορροής κατά τη φάση επαλήθευσης του μοντέλου στην υπολεκάνη Στράτου.

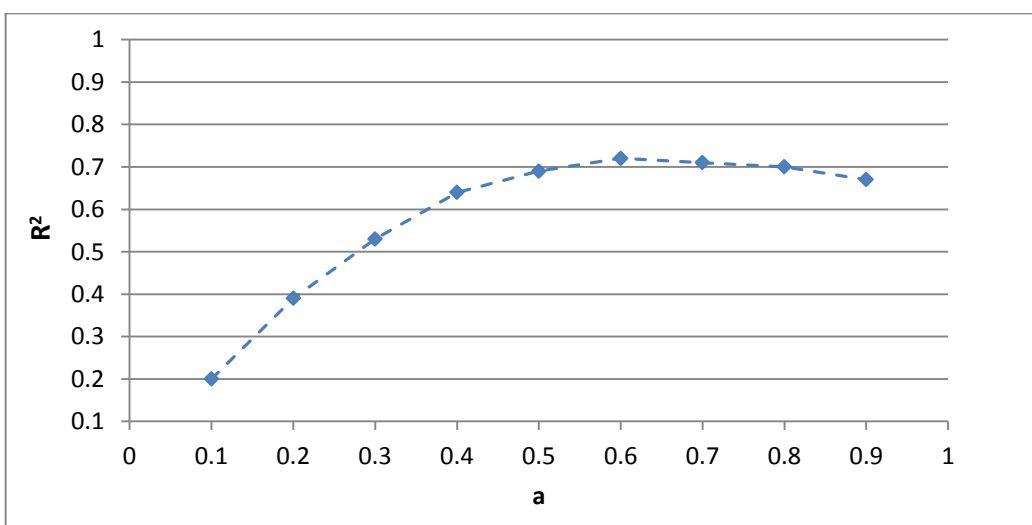
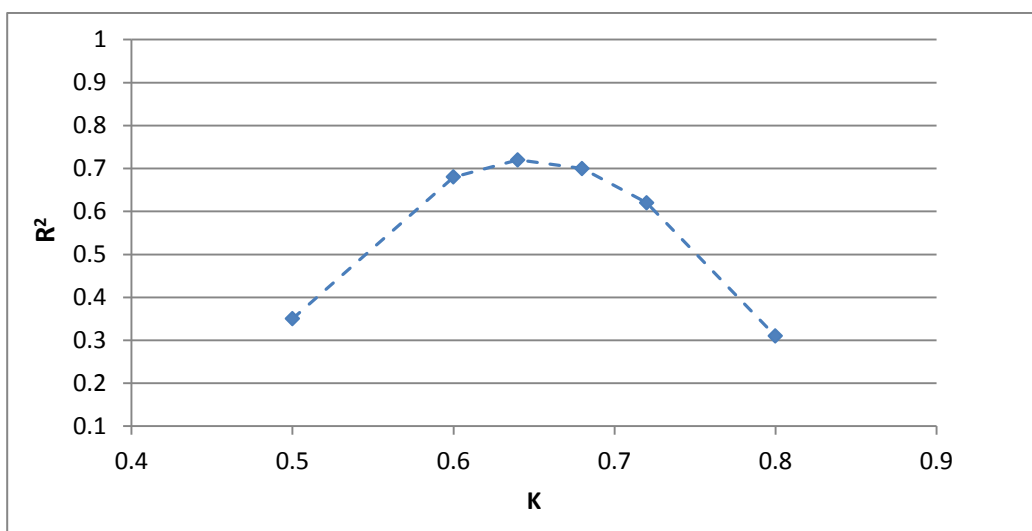
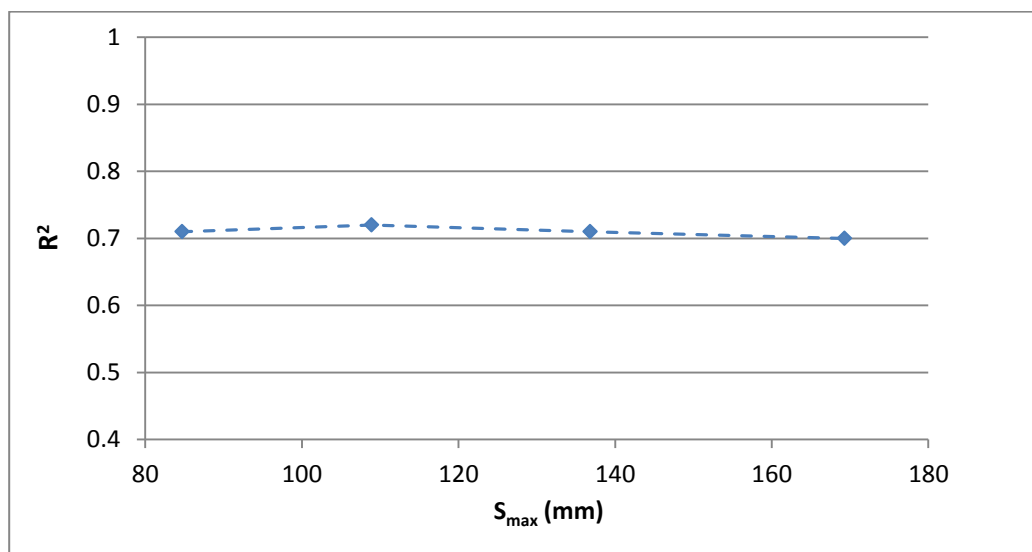
4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΑΠΛΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές προσομοιώσεις για κάθε μια από τις υπολεκάνες. Για κάθε μια από αυτές, οι δυο από τις τρεις παραμέτρους προσαρμογής του μοντέλου παρέμειναν σταθερές, ενώ η τρίτη μεταβαλλόταν. Στα παρακάτω διαγράμματα, τα αποτελέσματα δείχνουν τη μεταβολή της τιμής του κριτηρίου R^2 σε συνάρτηση με τη μεταβολή των τιμών των τριών παραμέτρων. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στα διαγράμματα αυτά, η μεταβολή των παραμέτρων K και a επηρεάζει περισσότερο τα αποτελέσματα του μοντέλου. Αντιθέτως, η απόδοση του μοντέλου φαίνεται να είναι σχεδόν ανεπηρέαστη στις μεταβολές της παραμέτρου S_{max} .

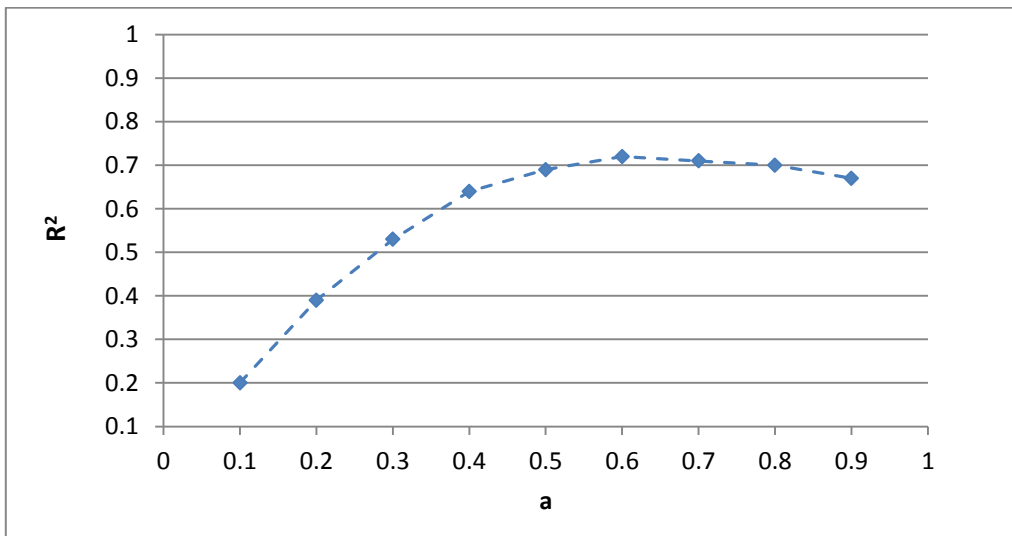
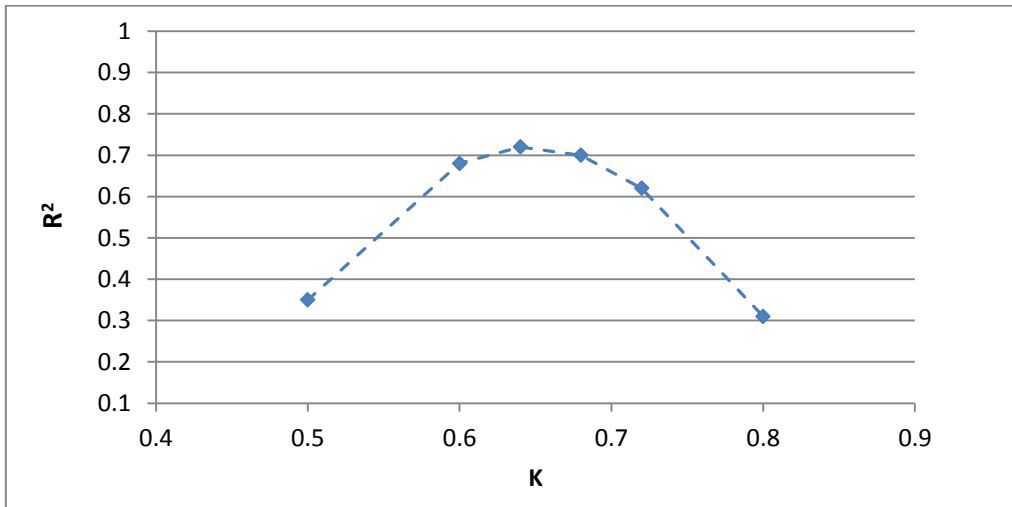
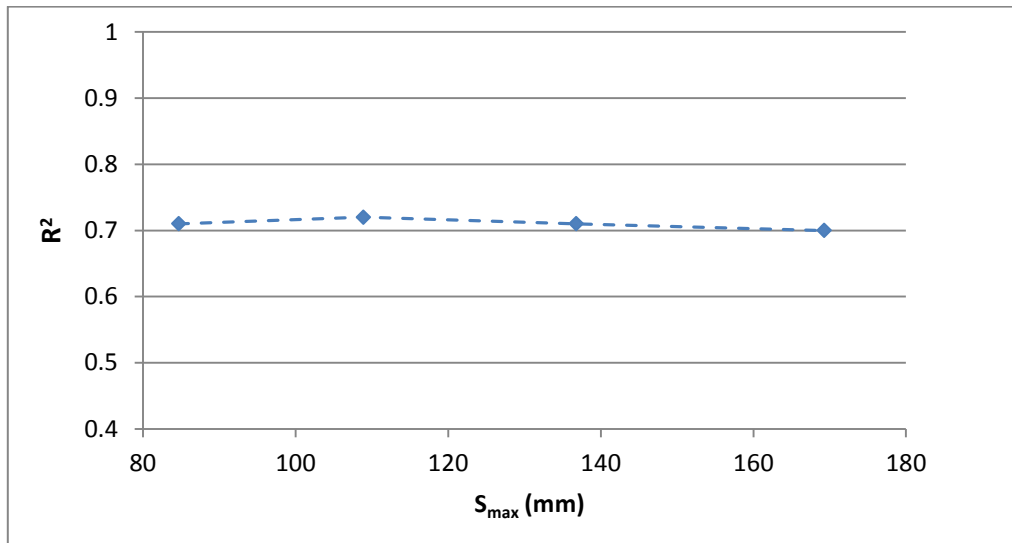
Υπολογίστηκε επίσης μια σταθμισμένη τιμή του CN για κάθε υπολεκάνη απορροής με βάση τα κριτήρια που τέθηκαν παραπάνω (υδρολογικός τύπος εδάφους, χρήσεις γης, αρχική κατάσταση υγρασίας) χρησιμοποιώντας τον πίνακα τιμών CN του Wanielista (1978). Οι τιμές του CN που υπολογίστηκαν ήταν περίπου ίδιες και ίσες με 69 και στις τρεις υπολεκάνες. Αντικαθιστώντας την τελευταία στην εξίσωση 4.14, η τιμή του S_{max} βρέθηκε ίση με 114.1mm, που είναι πολύ κοντά στην τιμή της ίδιας παραμέτρου όπως προέκυψε από την διαδικασία της βαθμονόμησης για την κάθε υπολεκάνη. Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας των παραμέτρων του μοντέλου.



Σχήμα 4.12: Μεταβολή του κριτηρίου R^2 συναρτήσει των παραμέτρων του μοντέλου (υπολεκάνη Κρεμαστών).



Σχήμα 4.13: Μεταβολή του κριτηρίου R^2 συναρτήσει των παραμέτρων του μοντέλου (υπολεκάνη Καστρακίου).



Σχήμα 4.14: Μεταβολή του κριτηρίου R^2 συναρτήσει των παραμέτρων του μοντέλου (υπολεκάνη Στράτου).

Κεφάλαιο 5

Περιοδικότητα και τάσεις στις υδρολογικές χρονοσειρές

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο πρωταρχικός σκοπός της ανάλυσης χρονοσειρών είναι να περιγράψει το ιστορικό των μετακινήσεων μέσα στον χρόνο κάποιων μεταβλητών όπως ο ρυθμός ροής ενός ποταμού σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Η παροχή ενός ποταμού και άλλες υδρολογικές ακολουθίες χαρακτηρίζονται από μεταβλητότητα και ταλαντευόμενη συμπεριφορά. Αυτό τονίζει την σημαντικότητα μελέτης των χρονοσειρών, τα χαρακτηριστικά των οποίων είναι μεγάλης σημασίας στον σχεδιασμό και την λειτουργία των συστημάτων υδατικών πόρων.

Γενικά, μια χρονοσειρά μπορεί να διαχωριστεί σε μια αιτιοκρατική συνιστώσα (deterministic component) η οποία μπορεί να προσδιοριστεί για σκοπούς πρόβλεψης, και μια στοχαστική (stochastic component). Η αιτιοκρατική συνιστώσα μπορεί να αποτελείται από τύπους μη περιοδικής συμπεριφοράς, με πιο συνηθισμένο παράδειγμα την τάση, η οποία είναι στην πραγματικότητα, μια μακρά ομαλή μετακίνηση που διαρκεί σε όλο το διάστημα των παρατηρήσεων. Οι δυο πρακτικές περιπτώσεις τάσης είναι η αυξητική τάση, στην οποία σαν γενικός κανόνας ισχύει ότι οι τιμές τείνουν να αυξάνονται με τον χρόνο και η πτωτική τάση στην οποία συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο.

Η ύπαρξη μιας αυξητικής ή πτωτικής τάσης σε μια υδρολογική χρονοσειρά μπορεί να προκληθεί είτε από κλιματικούς παράγοντες (περίπτωση κατακρημνισμάτων), (Marchand et al., 1988; Maheras and Kolyva-Mahera, 1990) ή μέσω αλλαγών στις χρήσεις γης και στα χαρακτηριστικά απορροής (περίπτωση απορροών). Επιπλέον, αν μια τάση ανιχνευτεί σε όλο το μήκος της χρονοσειράς, χαρακτηρίζεται ως μακράς διάρκειας, διαφορετικά αναφέρεται ως τοπική (Kottegoda, 1980). Για την ανίχνευση τάσης, χρησιμοποιούνται συνήθεις στατιστικές τεχνικές οι οποίες βασίζονται στην θεωρία ελέγχου υποθέσεων (Ross, 1987).

Στην συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση τάσεων χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες ιστορικές υδρολογικές χρονοσειρές από την λεκάνη απορροής του Αχελώου ποταμού. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης ανηγμένα στο μέσο υψόμετρο της κάθε υπολεκάνης για μια περίοδο 40 συνεχόμενων υδρολογικών ετών (1968-69 – 2007-08) και δεδομένα ετήσιας απορροής για μια περίοδο 19 ετών (1989-90 – 2007-08), στις

θέσεις των τριών φραγμάτων που εξετάστηκαν (Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου). Η ανάλυση τάσεων που πραγματοποιήθηκε στόχευε στον εντοπισμό, για τις συγκεκριμένες χρονοσειρές, σημαντικών και επίμονων αλλαγών διαφορετικών από τις τυχαίες, οι οποίες να επηρεάζουν την υδρολογική συμπεριφορά και συνεπώς τους υδατικούς πόρους της λεκάνης απορροής του Αχελώου. Αυτή είναι μια πολύ σημαντική πλευρά της διερεύνησης της υδρολογικής απόκρισης της εν λόγω λεκάνης απορροής, καθώς τόσο το σύστημα των τριών ταμιευτήρων, όσο και οι ανθρώπινες δραστηριότητες κατάντη αυτών για την επίτευξη της μέγιστης απόδοσης των υδροηλεκτρικών σταθμών και την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, χρειάζονται τη σχετική πληροφορία.

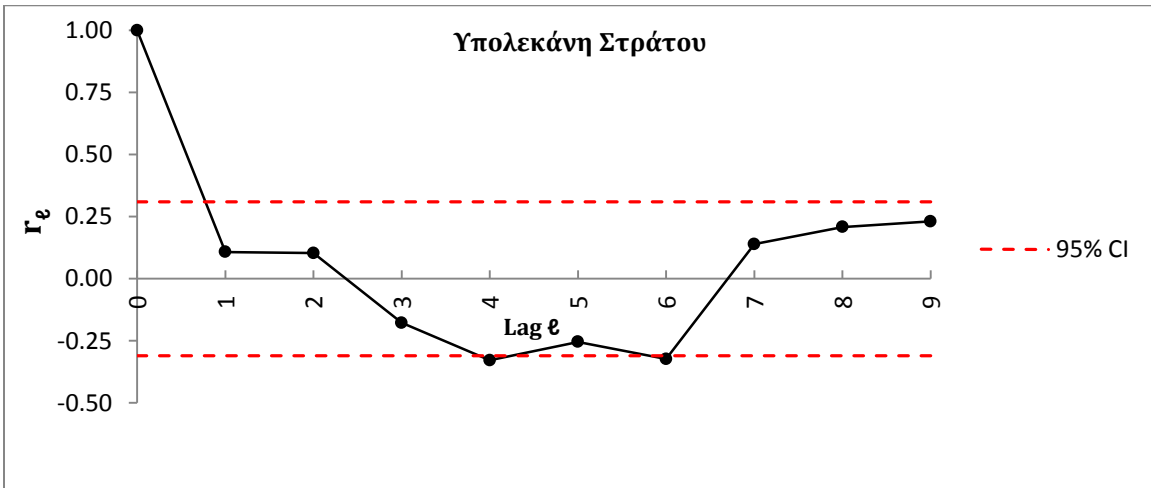
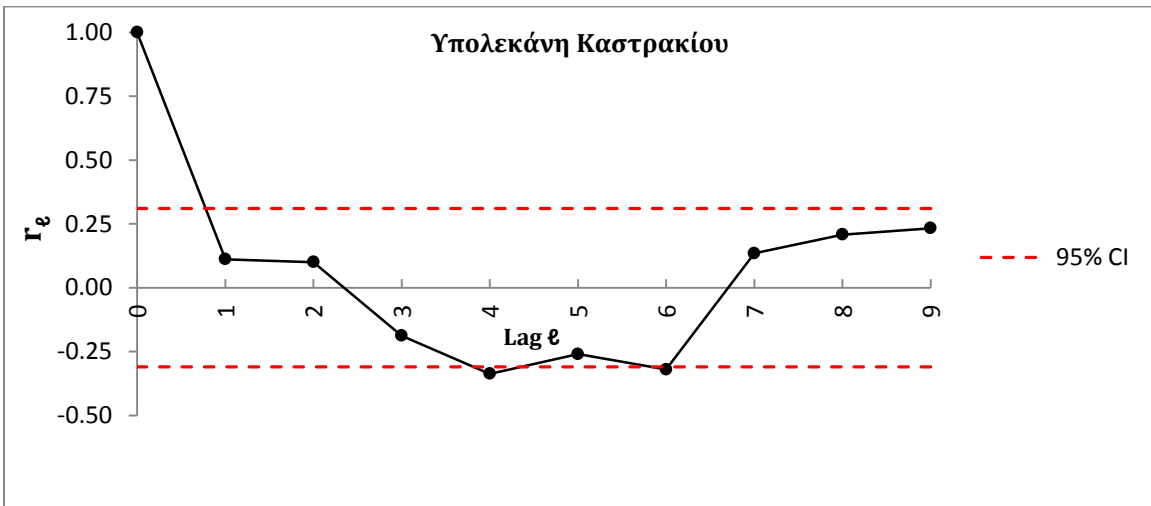
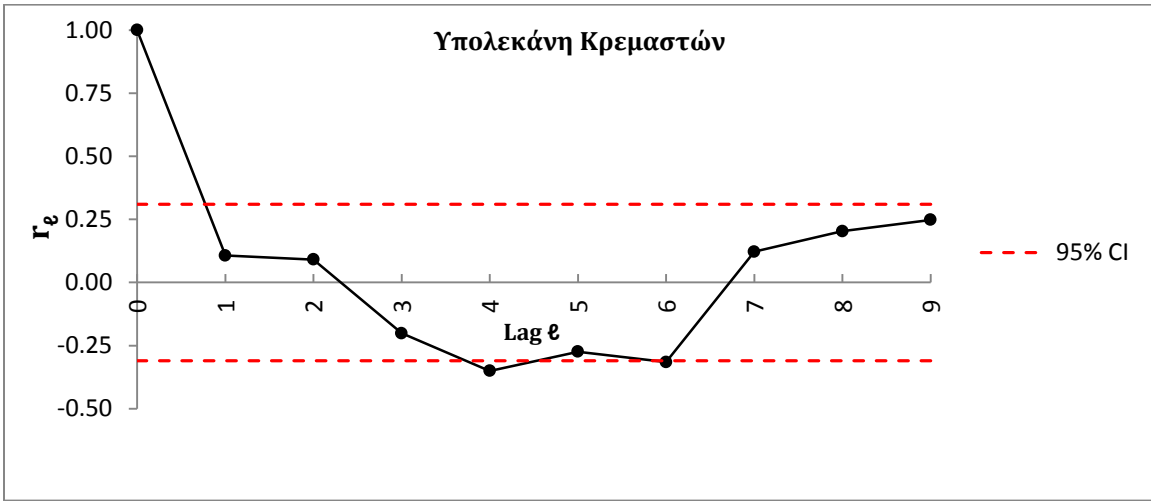
5.2 ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΤΗΤΑΣ

Πριν την πραγματοποίηση της διερεύνησης των τάσεων στις συγκεκριμένες χρονοσειρές, κρίθηκε απαραίτητο να ελεγχθεί εάν αυτές ήταν απαλλαγμένες από κάθε περιοδική συνιστώσα. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκαν serial correlograms (αυτοσυσχετογράμματα) για την κάθε υπό μελέτη χρονοσειρά. Πρόκειται για διαγράμματα που απεικονίζουν τις τιμές των συντελεστών σειριακής συσχέτισης r_ℓ ή αυτοσυσχέτισης (serial correlation coefficients) συγκρίνοντάς τες με τις τιμές lag ℓ . Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν οι τιμές των συντελεστών συσχέτισης r_ℓ , συσχετίζοντας τις σειρές $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N-\ell})$ και $(x_{1+\ell}, x_{2+\ell}, x_{3+\ell}, \dots, x_N)$ με μέσες τιμές $\bar{x}' = (N - \ell)^{-1} \sum_{i=1}^{N-\ell} x_i$ και

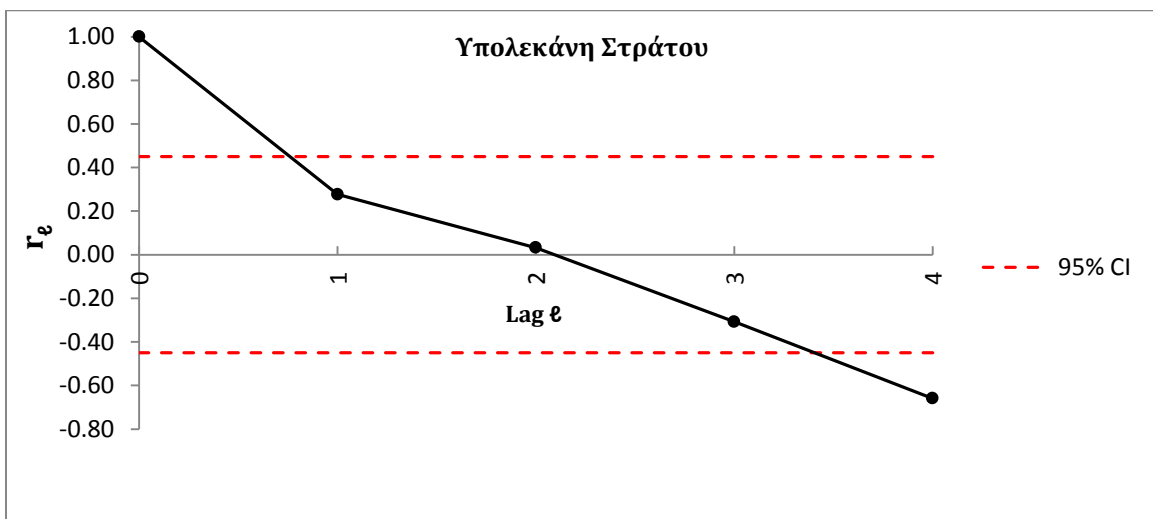
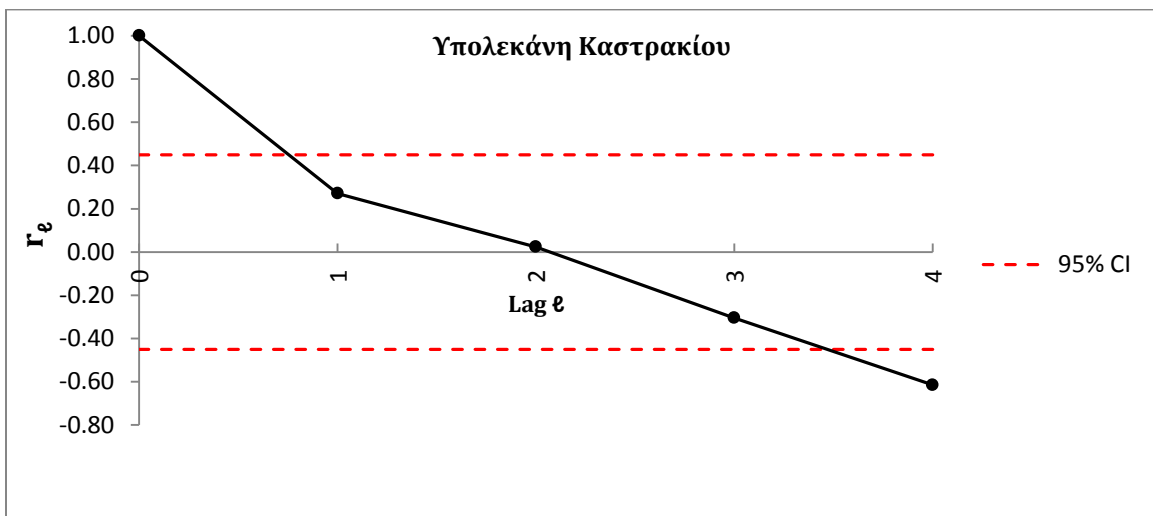
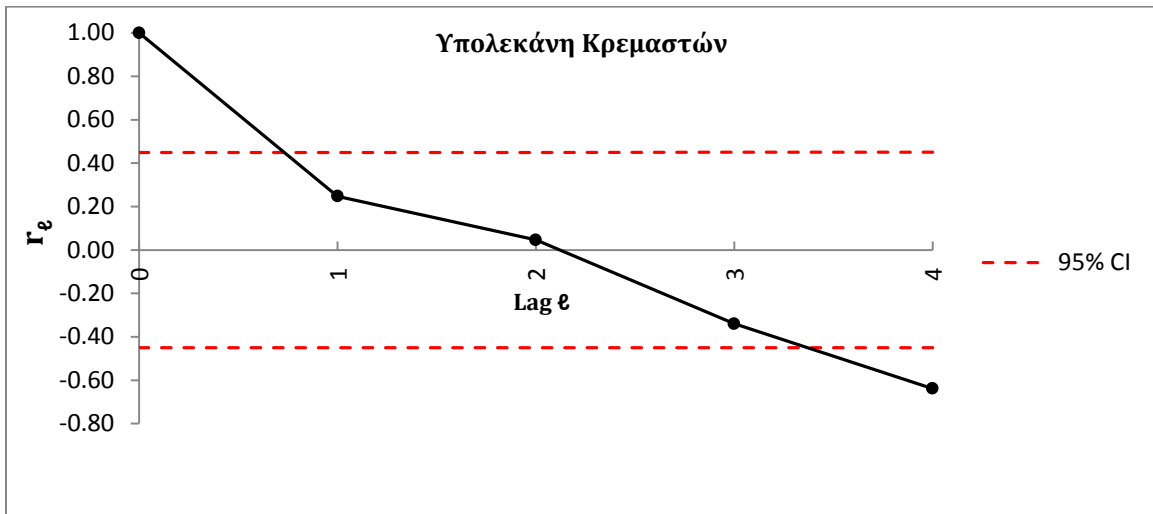
$\bar{x}'' = \sum_{i=1}^{N-\ell} x_{i+\ell}$ μέσω του τύπου:

$$r_\ell = (N - \ell)^{-1} \cdot \frac{\left[\sum_{i=1}^{N-\ell} \{ (x_i - \bar{x}') \cdot (x_{i+\ell} - \bar{x}'') \} \right]}{\left[\left\{ \sum_{i=1}^{N-\ell} (x_i - \bar{x}')^2 \right\} \left\{ \sum_{i=1}^{N-\ell} (x_{i+\ell} - \bar{x}'')^2 \right\} \right]^{1/2}} \quad (5.1)$$

εφόσον πρόκειται για δείγματα με μέγεθος < 50 (Kottegoda, 1980). Οι τιμές του ℓ ελήφθησαν μέσα από το διάστημα $0 < \ell < N/4$ όπου N το μέγεθος του δείγματος. Τα αυτοσυσχετογράμματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα για τις χρονοσειρές ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης και ετήσιας απορροής αντίστοιχα για κάθε υπολεκάνη.



Σχήμα 5.1: Ανίχνευση περιοδικότητας στις χρονοσειρές ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης με τη χρήση serial correlograms στις υπολεκάνες: (α) Κρεμαστών, (β) Καστρακίου και (γ) Στράτου του ποταμού Αχελώου ανάντη των φραγμάτων.



Σχήμα 5.2: Ανίχνευση περιοδικότητας στις χρονοσειρές ετήσιας απορροής με τη χρήση serial correlograms στις υπολεκάνες: (α) Κρεμαστών, (β) Καστρακίου και (γ) Στράτου του ποταμού Αχελώου ανάντη των φραγμάτων.

Ο έλεγχος της υπόθεσης μη ύπαρξης περιοδικότητας στα δείγματα (μηδενική υπόθεση), έγινε μέσω του ακόλουθου τεστ: $|T| \leq Z_{\alpha/2}$, για ένα επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha\%$, όπου $T=r_\ell/(1/N^{0.5})$ και $Z_{\alpha/2}$ η τυποποιημένη μεταβλητή της μοναδιαίας κανονικής κατανομής $N(0,1)$, που αντιστοιχεί σε πιθανότητα υπέρβασης $\alpha/2$. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν ήταν τα εξής:

(i) Χρονοσειρές ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης (1968-69 έως 2007-08): $N=40$, $|r| \leq Z_{\alpha/2}/N^{0.5} = (1.96 \cdot 0.158) = 0.310$, για ένα επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Όπως μπορούμε να δούμε στο Σχήμα 5.1, σχεδόν όλες οι υπολογισμένες τιμές r_ℓ ($\ell > 0$) περιλαμβάνονται στο διάστημα εμπιστοσύνης $1-\alpha = 95\%$ (± 0.310) και συνεπώς η μηδενική υπόθεση της μη ύπαρξης περιοδικότητας γίνεται δεκτή. Οι εξαιρέσεις που εμφανίζονται για $\text{lag } \ell=4$ και $\text{lag } \ell=6$ δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα, εφόσον οι αντίστοιχες τιμές του r_ℓ που προκύπτουν μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκονται οριακά εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης 95%.

(ii) Χρονοσειρές ετήσιας απορροής (1989-90 έως 2007-08): $N=19$, $|r| \leq Z_{\alpha/2}/N^{0.5} = (1.96 \cdot 0.229) = 0.450$, για ένα επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=5\%$. Αντίστοιχα, από το Σχήμα 5.2 μπορούμε να δούμε ότι μόνο για $\text{lag } \ell$ ίσον με 4 ο αντίστοιχος συντελεστής r_ℓ βρίσκεται καθαρά εκτός του διαστήματος εμπιστοσύνης 95%, κάτι που συνεπάγεται απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης και ύπαρξη περιοδικότητας στις χρονοσειρές των απορροών κάθε τέσσερα χρόνια.

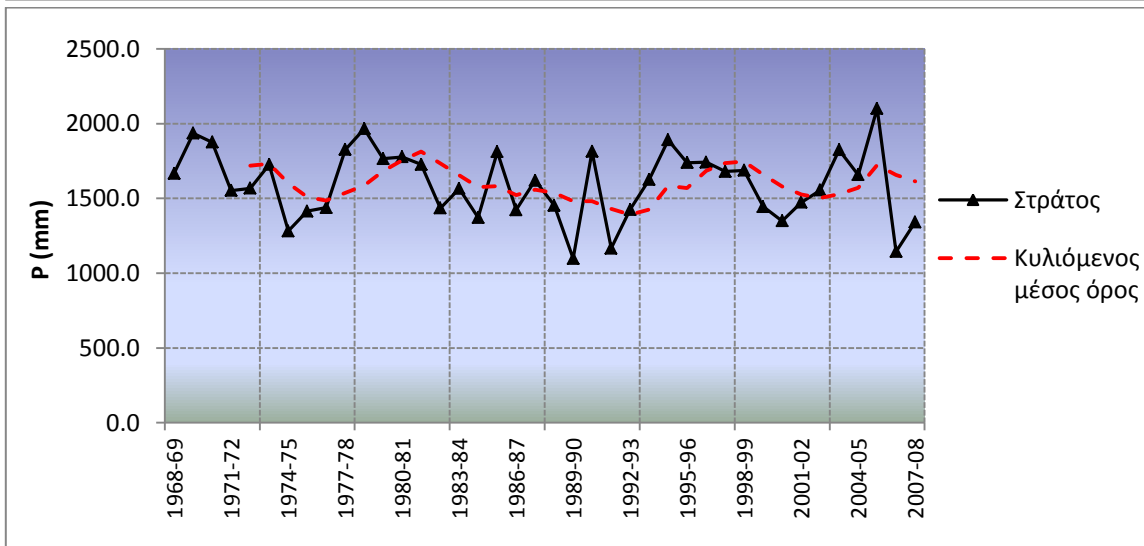
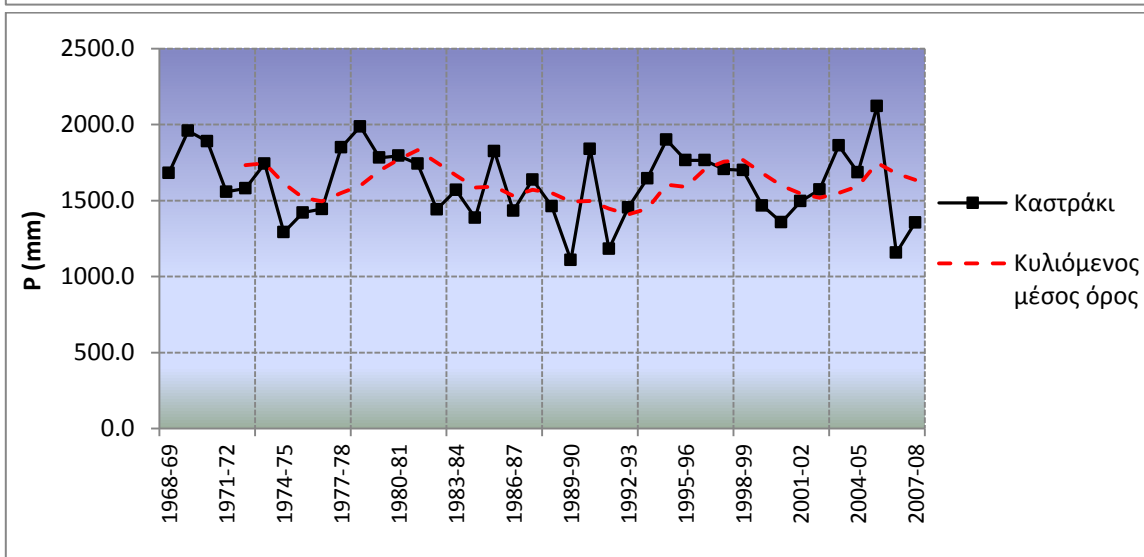
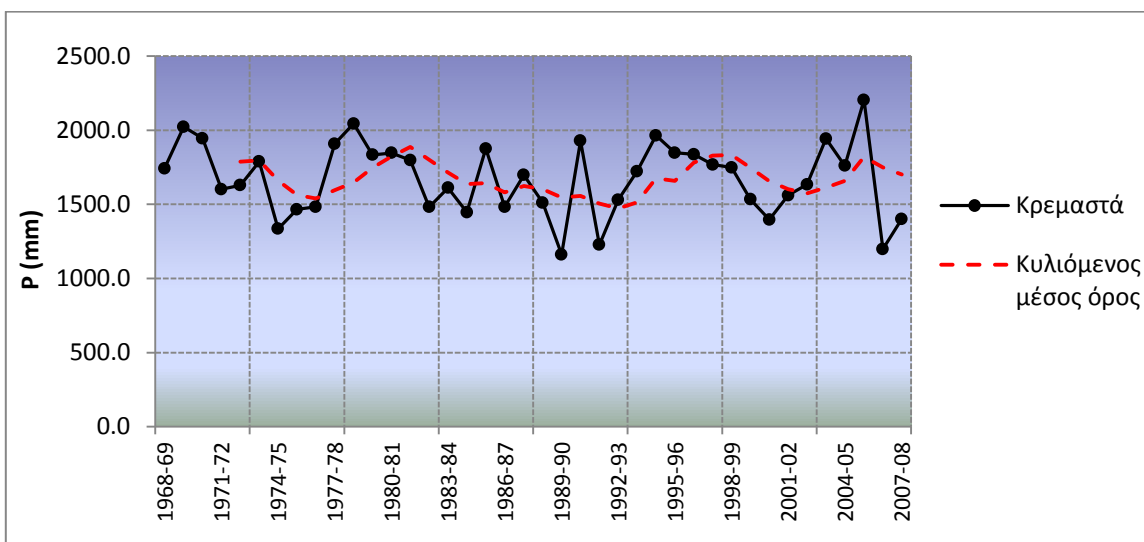
Δείχθηκε λοιπόν ότι δεν μπόρεσε να ανιχνευτεί κάποια στατιστικά σημαντική περιοδικότητα στις χρονοσειρές των βροχοπτώσεων, σε αντίθεση με τις εκείνες των απορροών οι οποίες εμφανίζουν περιοδικότητα με χρονικό βήμα τεσσάρων ετών.

5.3 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΑΣΕΩΝ

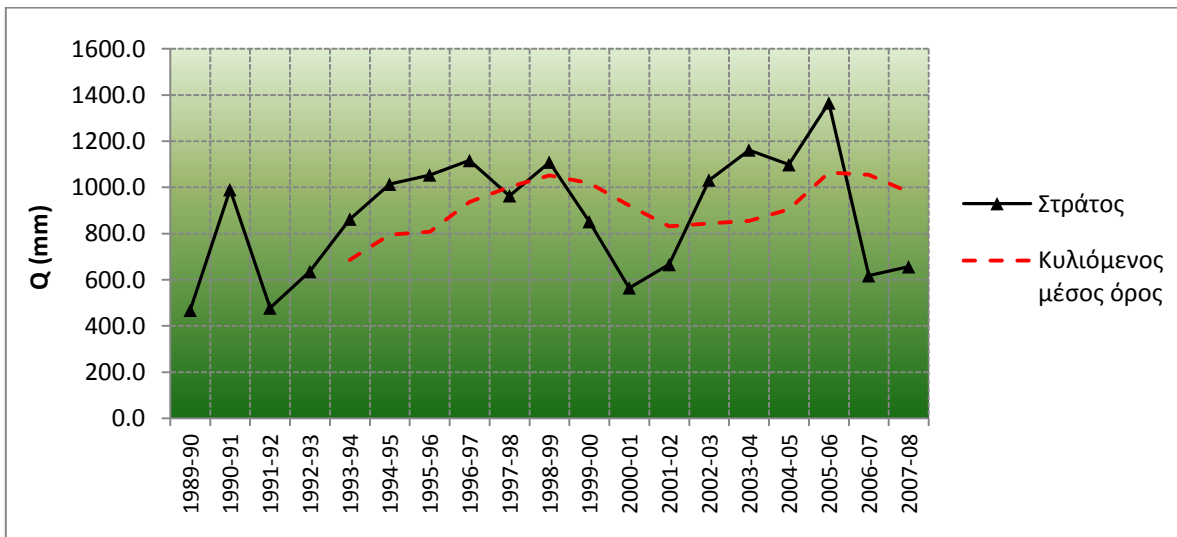
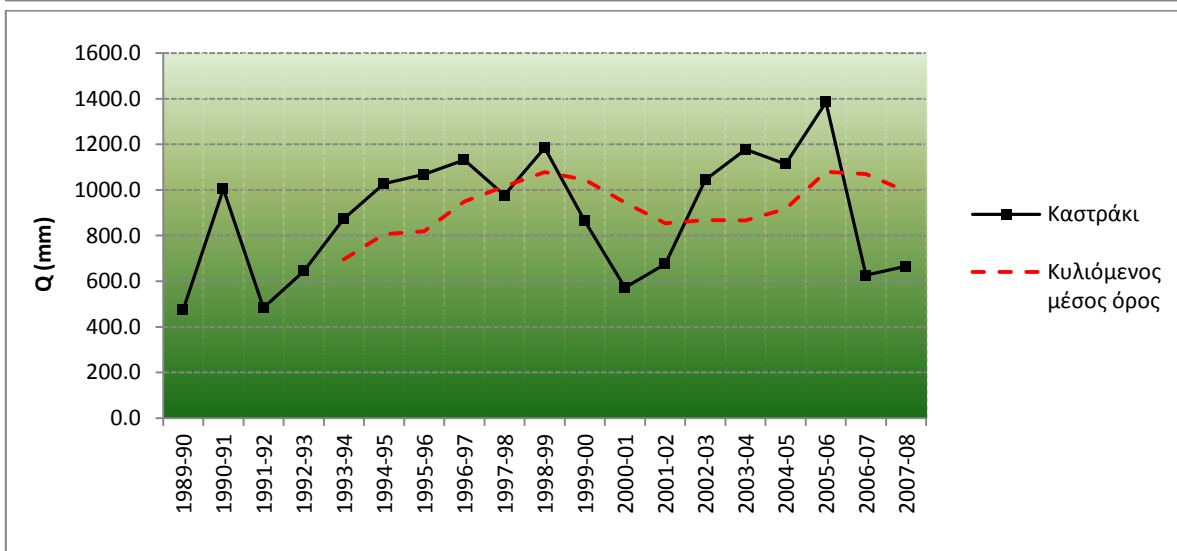
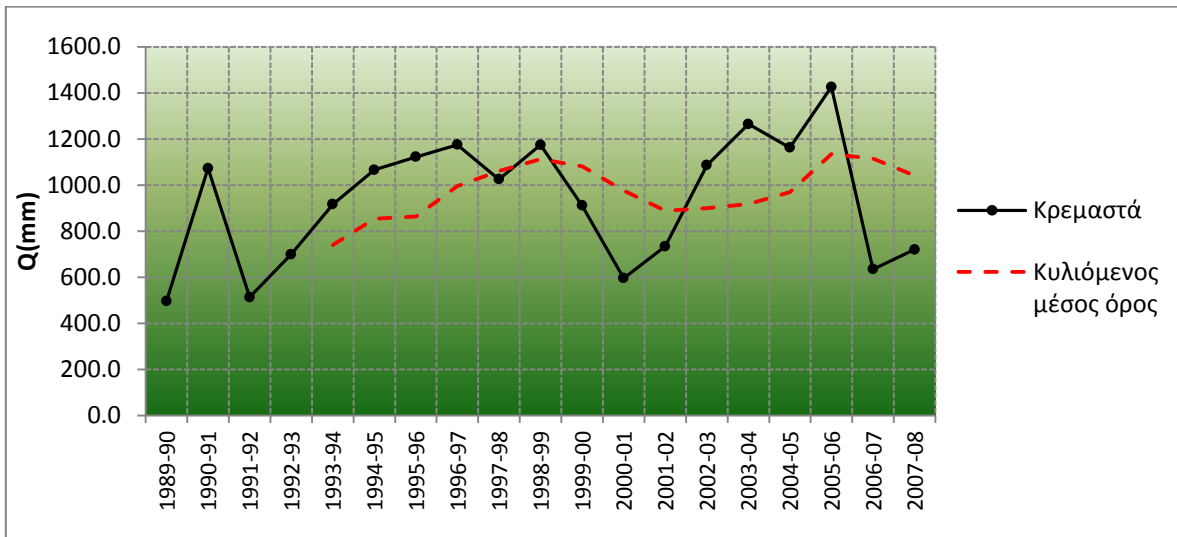
Στα Σχήματα 5.3 και 5.4 διακρίνονται ανοδικοί και καθοδικοί κλάδοι στα γραφήματα των χρονοσειρών ανηγμένης επιφανειακής βροχόπτωσης και απορροής της περιοχής. Για τον εντοπισμό των περιόδων στις οποίες εμφανίζονται ανοδικές ή καθοδικές μεταβολές έγινε παράλληλα απεικόνιση των κυλιόμενων μέσων όρων πενταετίας της βροχής ή απορροής. Στις περισσότερες από τις χρονοσειρές διακρίνουμε ανοδική μεταβολή στις υποπεριόδους 1976-77 έως 1981-82, 1992-93 έως 1998-99 και 2001-02 έως 2005-06 και καθοδική στις υποπεριόδους 1972-73 μέχρι 1976-77, 1981-82 μέχρι 1992-93, 1998-99 μέχρι 2001-02 και 2005-06 έως 2007-08.

Για τις συγκεκριμένες χρονοσειρές, αυτό που μπορεί να ελεγχθεί στατιστικά είναι εάν στο σύνολό τους εμφανίζεται ή όχι μια ενιαία (αυξητική ή πτωτική τάση). Για τα

δείγματα της ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης, καθώς και της ετήσιας απορροής στις θέσεις των τριών φραγμάτων του Αχελώου, έγιναν στατιστικοί έλεγχοι οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια. Η υπό έλεγχο στατιστική υπόθεση αφορά στην ύπαρξη ή όχι τάσης στο σύνολο της κάθε χρονοσειράς. Οι στατιστικές δοκιμές που εφαρμόστηκαν είναι η δοκιμή του Kendall, η δοκιμή της γραμμικής συσχέτισης, καθώς και αυτή της πολυωνυμικής συσχέτισης.



Σχήμα 5.3: Γραφική απεικόνιση των χρονοσειρών του ετήσιου επιφανειακού ύψους βροχής και των αντίστοιχων κυλιόμενων μέσων όρων πενταετίας στις τρεις υπολεκάνες του Αχελώου (Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος).



Σχήμα 5.4: Γραφική απεικόνιση των χρονοσειρών του ετήσιου ύψους απορροής και των αντίστοιχων κυλιόμενων μέσων όρων πενταετίας στις τρεις υπολεκάνες του Αχελώου (Κρεμαστά, Καστράκι, Στράτος).

5.3.1 Δοκιμή Kendall

Το συγκεκριμένο τεστ που επίσης αναφέρεται και ως τ-τεστ, βασίζεται στον ποσοστιαίο αριθμό διαδοχικών παρατηρήσεων οι οποίες υπερβαίνουν μια συγκεκριμένη τιμή. Για κάθε εξεταζόμενη χρονοσειρά (x_1, x_2, \dots, x_N) υπολογίζεται ο αριθμός των φορών, έστω p , σε όλα τα ζεύγη παρατηρήσεων $(x_i, x_j \text{ } j>i)$ όπου $x_j > x_i$. Τα διατεταγμένα υποσύνολα (i, j) είναι: $(i=1, j=2,3,4,\dots,N)$, $(i=2, j=3,4,\dots,N)$,..... $(i=N-1, j=N)$. Ο μέγιστος εφικτός αριθμός τέτοιων ζευγών εμφανίζεται σε μια συνεχώς αυξανόμενη σειρά. Μια τέτοια σειρά όπου οι διαδοχικές τιμές είναι καθ' όλη τη διάρκεια μεγαλύτερες από τις προηγούμενες παρουσιάζει αυξητική τάση, και ο αριθμός των φορών p δίνεται από τον τύπο $(N-1)+(N-2)+\dots+1$ ο οποίος αποτελεί άθροισμα αριθμητικής προόδου και τελικά υπολογίζεται μέσω του τύπου $p=N(N-1)/2$. Αν οι παρατηρήσεις αντιστραφούν ολοκληρωτικά, τότε $p=0$ και έτσι προκύπτει ότι για μια απαλλαγμένη από τάση χρονοσειρά $E(p)=N(N-1)/4$. Συνεπώς αν η τιμή του p είναι κοντά στο $N(N-1)/2$ ή στο 0 αυτό υποδεικνύει την παρουσία μιας αυξητικής ή πτωτικής τάσης αντίστοιχα. Το τεστ βασίζεται στο στατιστικό $\tau=4p/\{N(N-1)-1\}$ και όπως δείχθηκε παραπάνω είναι τέτοιο ώστε για μια τυχαία σειρά $E(\tau)=0$. Μπορεί ακόμη να δειχθεί ότι $\text{var}(\tau)=2(2N+5)/9N(N-1)$ και ότι η τιμή του $\tau/\{\text{var}(\tau)\}^{1/2}$ συγκλίνει σε μια κανονική κατανομή καθώς το N αυξάνεται.

Για έναν αμφίπλευρο έλεγχο και για ένα επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha\%$ με σκοπό την επαλήθευση της μηδενικής υπόθεσης “ H_0 : έστω ότι δεν υπάρχει τάση στο δείγμα”, η ακόλουθη συνθήκη θα πρέπει να ισχύει: $|T| \leq Z_{\alpha/2}$ όπου $T=\tau/\{\text{var}(\tau)\}^{1/2}$.

Για ένα επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας α ίσο με 5% η τιμή της $Z=\pm 1.96$ και συνεπώς η περιοχή μη απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης είναι $-1.96 \leq Z \leq 1.96$.

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τα δείγματα των χρονοσειρών επιφανειακής βροχόπτωσης και απορροής παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.1 και 5.2, αντίστοιχα.

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου Kendall στις χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης.

Υπολεκάνη	N (έτη)	p	τ	var(τ)	T
Κρεμαστών	40	363	-0.069	0.012	0.63
Καστρακίου	40	353	-0.095	0.012	0.86
Στράτου	40	348	-0.108	0.012	0.98

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου Kendall στις χρονοσειρές απορροής.

Υπολεκάνη	N (έτη)	p	τ	var(τ)	T
Κρεμαστών	19	106	0.240	0.028	1.43
Καστρακίου	19	107	0.251	0.028	1.50
Στράτου	19	106	0.240	0.028	1.43

Όπως προκύπτει μέσα από τους πίνακες για τις:

(i) Χρονοσειρές ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης (1968-69 έως 2007-08): η τιμή του στατιστικού T βρίσκεται μέσα στα όρια ± 1.96 , το οποίο σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση γίνεται δεκτή και δεν εμφανίζεται κάποια στατιστικά σημαντική τάση σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

(ii) Χρονοσειρές μέσης ετήσιας απορροής (1989-90 έως 2007-08): η τιμή του στατιστικού T βρίσκεται και εδώ εντός του διαστήματος ± 1.96 και συνεπώς η μηδενική υπόθεση της μη ύπαρξης τάσης στην κάθε χρονοσειρά δεν απορρίπτεται για επίπεδο σημαντικότητας 5% χρησιμοποιώντας τον αμφίπλευρο έλεγχο.

5.3.2 Έλεγχος γραμμικής συσχέτισης

Ο συγκεκριμένος τύπος ελέγχου χρησιμοποιείται συνήθως εάν θεωρείται ότι η τάση είναι περίπου γραμμική. Η καλύτερη εκτιμήτρια της κλίσης b ενός γραμμικού μοντέλου υπολογίζεται με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, χρησιμοποιώντας για κάθε χρονοσειρά όλα τα ζεύγη τιμών x_i : αριθμός έτους i , y_i : τιμή από την αντίστοιχη υδρολογική μεταβλητή, όπου $i=1, 2, \dots, N$. Υπολογίζοντας επίσης την εκτιμήτρια της μεταβλητότητας S^2_b , το στατιστικό $t=b/S_b$ ελέγχεται χρησιμοποιώντας το Student's t-test.

Εάν $|t| \leq t_{\alpha/2, N-2}$ τότε η μηδενική υπόθεση ($H_0: b=0$) γίνεται δεκτή σε ένα επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha\%$. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν ήταν:

Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου γραμμικής συσχέτισης στις χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης.

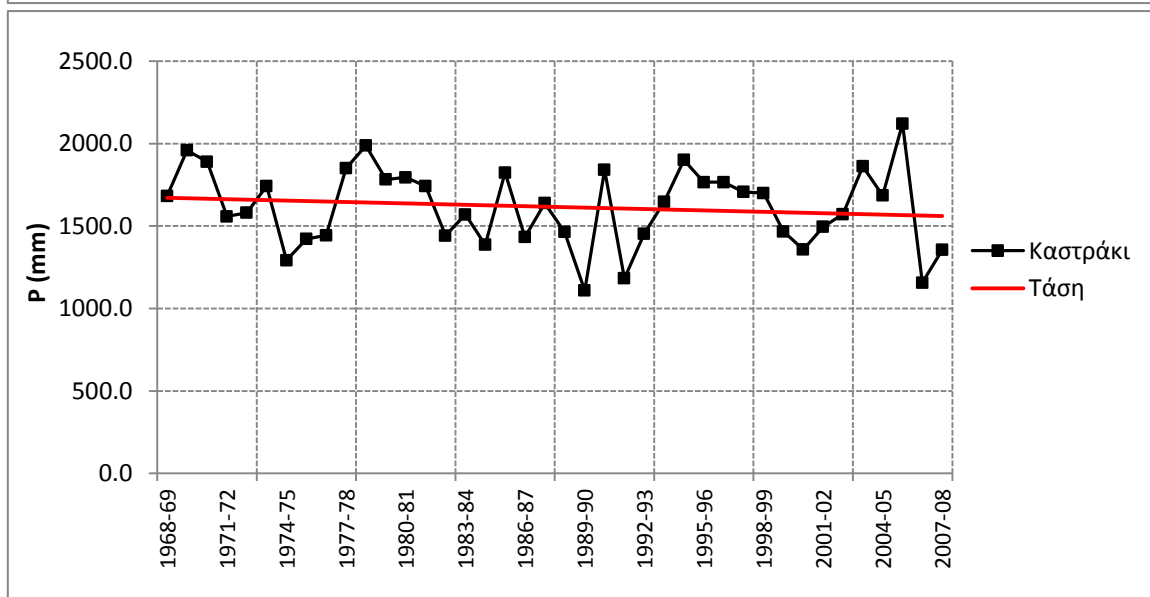
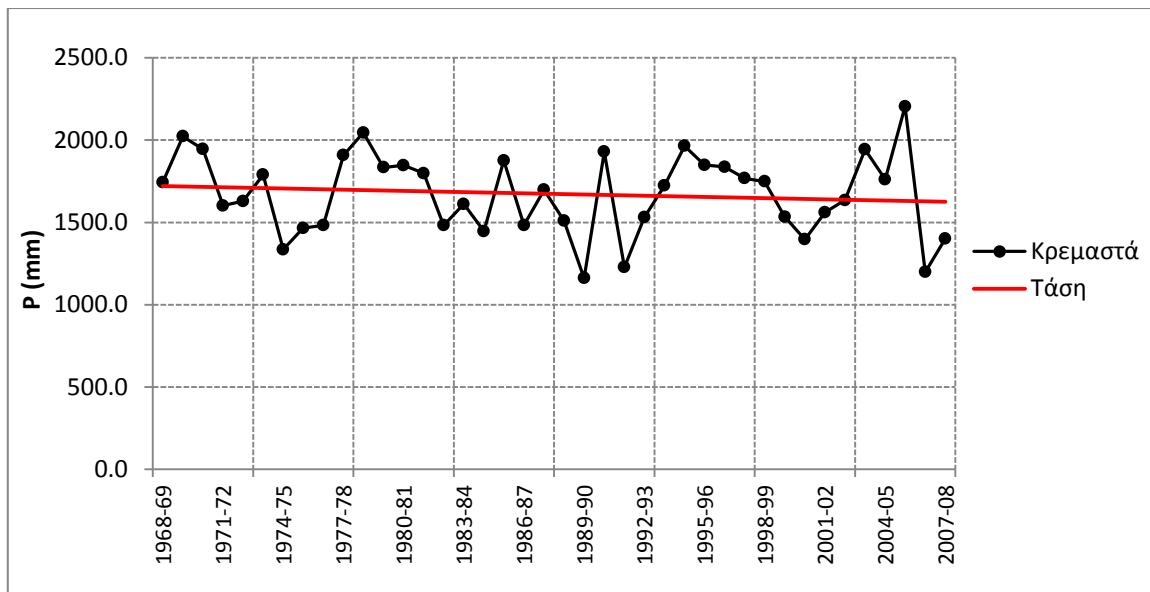
Υπολεκάνη	b	S^2_b	t	r
Κρεμαστών	-2.40	11.47	0.71	0.114
Καστρακίου	-2.85	10.71	0.87	0.140
Στράτου	-3.08	10.37	0.96	0.272

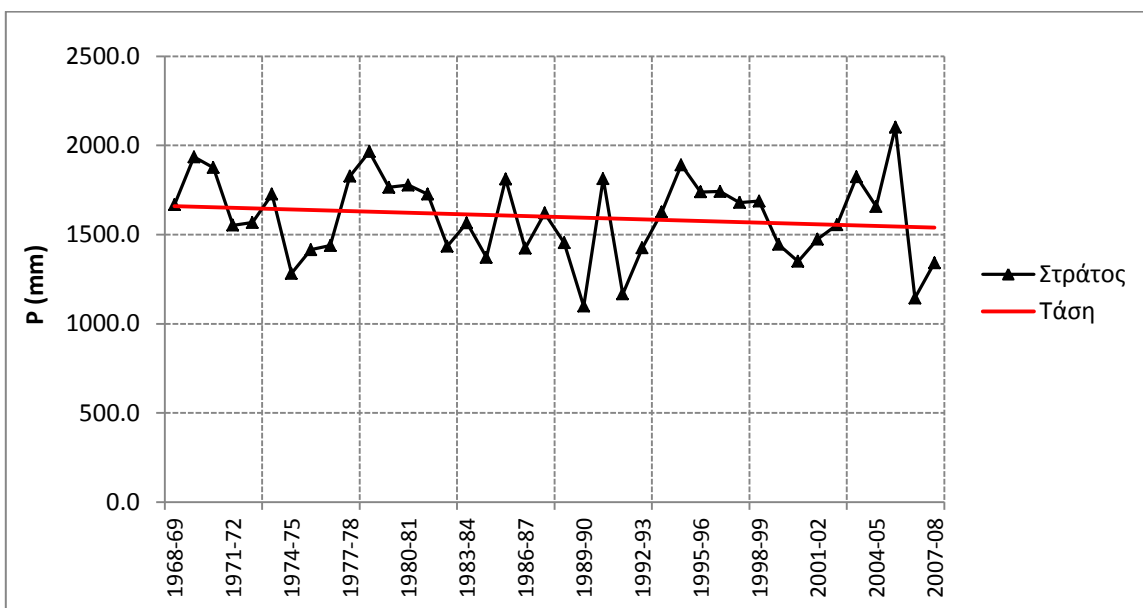
Πίνακας 5.4: Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου γραμμικής συσχέτισης στις χρονοσειρές απορροής.

Υπολεκάνη	b	S^2_b	t	r
Κρεμαστών	12.39	128.98	1.09	0.256
Καστρακίου	12.29	123.62	1.11	0.259
Στράτου	12.12	117.14	1.12	0.262

Διαπιστώνεται πως τα αποτελέσματα έρχονται σε συμφωνία με εκείνα που προκύπτουν από την δοκιμή του Kendall. Πιο συγκεκριμένα:

(i) Χρονοσειρές ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης (1968-69 έως 2007-08): για τα δείγματα της βροχόπτωσης που προέκυψαν με αναγωγή των επιφανειακών υψών βροχής στο μέσο υψόμετρο της κάθε υπολεκάνης, η δοκιμή της γραμμικής συσχέτισης δεν δίνει κάποια στατιστικά σημαντική πτωτική τάση καθώς η τιμή του στατιστικού t προκύπτει και στις τρεις περιπτώσεις μικρότερη από την οριακή τιμή $t_{\alpha/2, N-2} = 2.025$. Ωστόσο, σε αυτές τις περιπτώσεις είναι εμφανής η αρνητική κλίση του ετήσιου ύψους βροχής συναρτήσεως του χρόνου (-2.40, -2.85 και -3.08 mm/έτος αντίστοιχα). Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν αυτή την πτωτική τάση που εμφανίζεται κατά μήκος ολόκληρης της θεωρηθείσας χρονικής περιόδου.

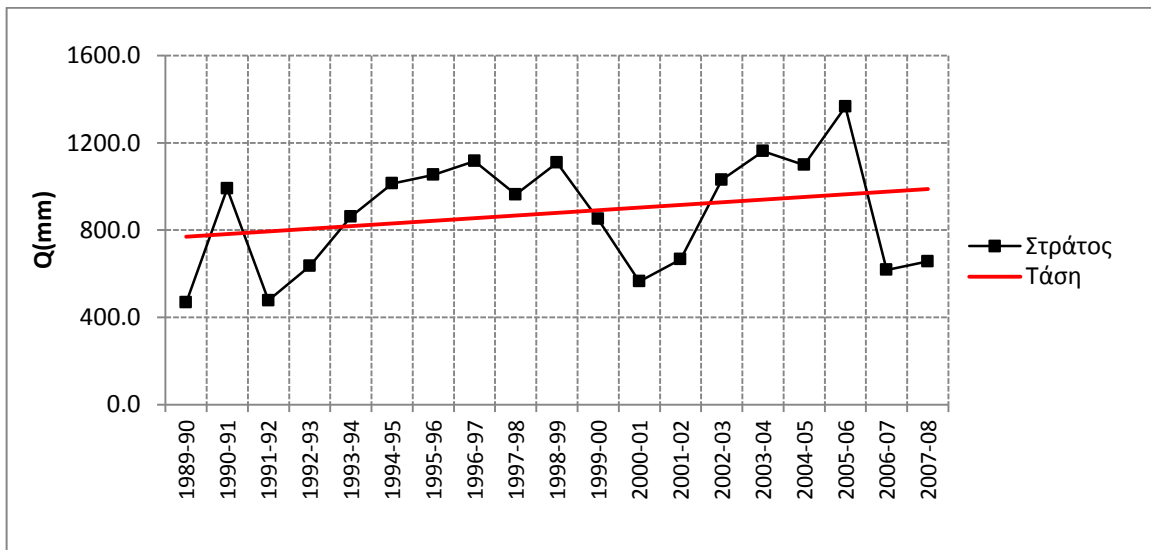
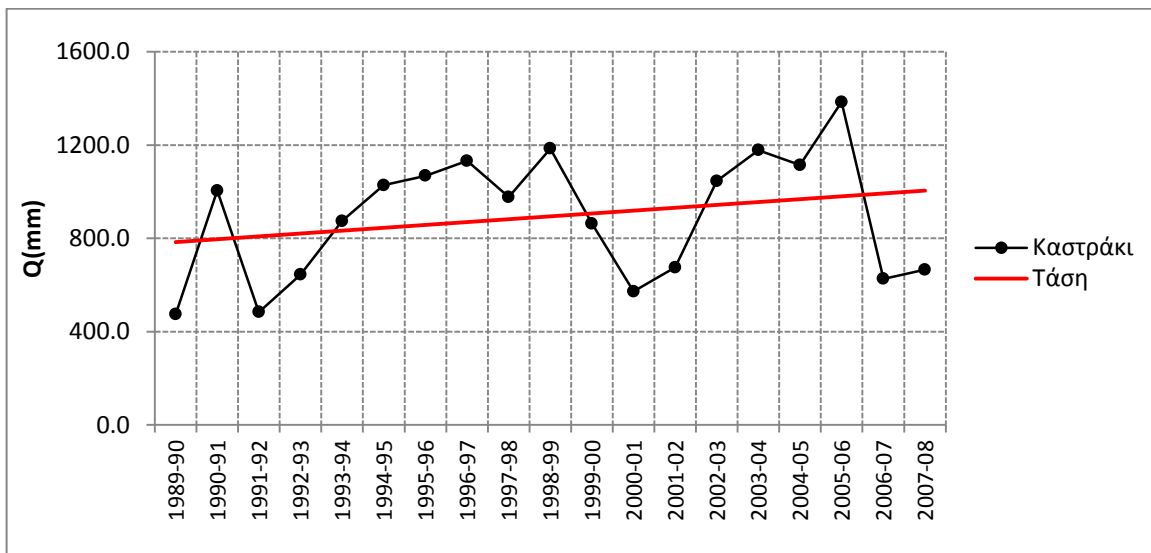
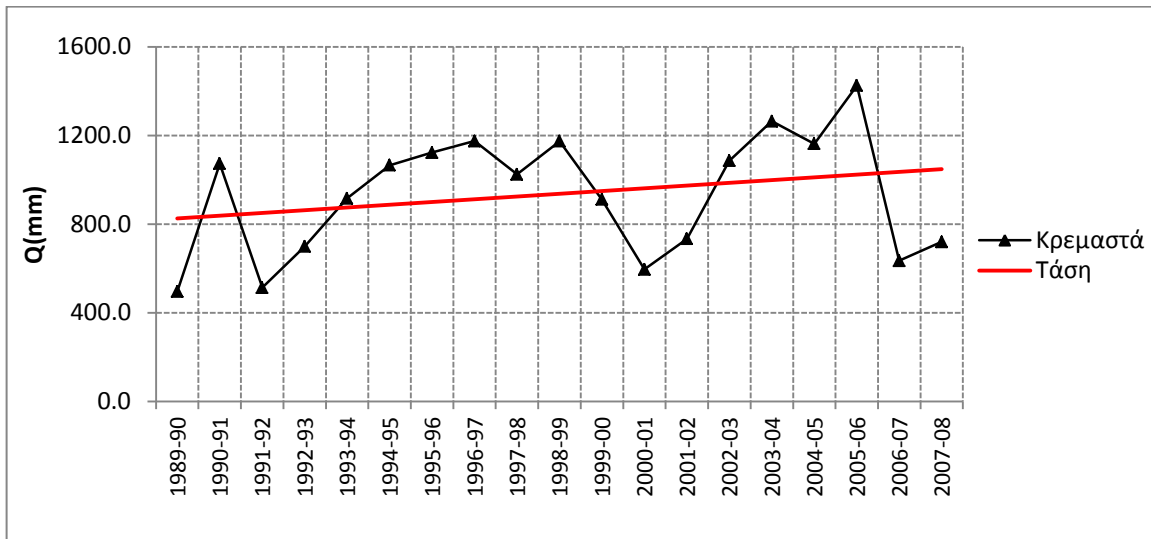




Σχήμα 5.5: Γραφική απεικόνιση των χρονοσειρών ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης για τις τρεις υπολεκάνες του Αχελώου (Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου) και των αντίστοιχων τάσεων.

(ii) Χρονοσειρές μέσης ετήσιας απορροής (1989-90 έως 2007-08): η τιμή του στατιστικού t για καθεμιά από τις χρονοσειρές προκύπτει και εδώ μικρότερη από την τιμή $t_{\alpha/2, N-2} = 2.110$ και συνεπώς η αρχική υπόθεση της μη ύπαρξης στατιστικά σημαντικής τάσης γίνεται δεκτή.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατηρείται μια θετική κλίση της ευθείας του ετήσιου ύψους απορροής συναρτήσει του χρόνου. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί ως αυξητική τάση της απορροής κατά μήκος της συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, κάτι που φαινομενικά έρχεται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των βροχοπτώσεων της περιόδου των 40 υδρολογικών ετών. Ωστόσο, αν εφαρμοστεί η γραμμική συσχέτιση στα δείγματα των επιφανειακών βροχοπτώσεων του κοινού χρονικού μήκους με τις απορροές (1989-90 έως 2007-08), η τάση βγαίνει αυξητική (βλ. Παράρτημα) όπως και για τις απορροές, κάτι που από φυσική άποψη είναι και το λογικό.



Σχήμα 5.6: Γραφική απεικόνιση των χρονοσειρών ετήσιου ύψους απορροής για τις τρεις υπολεκάνες του Αχελώου (Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτους) και των αντίστοιχων τάσεων.

5.3.3 Έλεγχος πολυωνυμικής συσχέτισης

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος στην περίπτωση των δεδομένων απορροής, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της πολυωνυμικής συσχέτισης. Με την μέθοδο αυτή, προσδιορίζεται η πολυωνυμική εξίσωση που προβλέπει την απόκριση της εξαρτημένης μεταβλητής σε σχέση με την ανεξάρτητη. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα πολυωνυμικό μοντέλο παλινδρόμησης τετάρτου βαθμού της μορφής:

$$y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3+b_4x^4 \quad (5.2)$$

όπου: b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 οι εκτιμητές ελαχίστων τετραγώνων των πολυωνυμικών συντελεστών.

Η κλίση της πολυωνυμικής καμπύλης δίνεται από την εξίσωση:

$$dy/dx= b_1+ b_2x+3b_3x^2+4 b_4x^3 \quad (5.3)$$

Για να ελεγχθεί εάν η κλίση είναι στατιστικά σημαντική σε ένα επίπεδο $\alpha=5\%$, ελέγχονται τα στατιστικά $t_i=b_i/S_{bi}$ ($i=1,2,3,4$) χρησιμοποιώντας το Student's t-test, όπου S_{bi} τα τυπικά σφάλματα των εκτιμητών των συντελεστών του πολυωνύμου. Εάν $|t_i| \leq t_{\alpha/2, N-5}$, τότε η μηδενική υπόθεση (τυχαία χρονοσειρά χωρίς ύπαρξη τάσης) γίνεται δεκτή σε ένα $\alpha\%$ επίπεδο εμπιστοσύνης.

Αρχικά υπολογίστηκαν οι εκτιμητές των ελαχίστων τετραγώνων των πολυωνυμικών συντελεστών και των μεταβλητοτήτων αυτών. Στη συνέχεια προκειμένου να ελεγχθεί εάν η κλίση του πολυωνύμου ήταν στατιστικά σημαντική σε ένα επίπεδο 5% , υπολογίστηκαν επίσης οι τιμές των στατιστικών t_i . Οι τιμές που προέκυψαν δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου πολυωνυμικής συσχέτισης στις χρονοσειρές απορροής.

	Υπολεκάνη Κρεμαστών			Υπολεκάνη Καστρακίου			Υπολεκάνη Στράτου		
	Estimators	Std Error	t-Statistic	Estimators	Std Error	t-Statistic	Estimators	Std Error	t-Statistic
b_0	187.2	429.22	0.44	175.5	421.26	0.42	161	409.3	0.39
b_1	386.1	280.87	1.37	360.9	275.66	1.31	368.2	267.86	1.37
b_2	-67.25	55.108	-1.22	-61.77	54.086	-1.14	-63.94	52.555	-1.22
b_3	4.852	4.0908	1.19	4.424	4.0149	1.10	4.604	3.9013	1.18
b_4	-0.1211	0.10158	-1.19	-0.1103	0.09969	-1.11	-0.1148	0.09687	-1.19

Επιπλέον για $\alpha=5\%$, $t_{\alpha/2, N-5}=2.145$. Επομένως $|t_i| < t_{\alpha/2, N-5}$, που σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται για $\alpha=5\%$ και $N-5=14$ βαθμούς ελευθερίας.

Καταλήγουμε επομένως στο συμπέρασμα ότι ούτε με τη χρήση του πολυωνυμικού μοντέλου, ανιχνεύεται κάποια στατιστικά σημαντική τάση στις χρονοσειρές των απορροών. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η τετάρτου βαθμού πολυωνυμική εξίσωση, επιλέχθηκε ως μια αναλυτική έκφραση που προσαρμόζεται με πολύ καλύτερο τρόπο στα δεδομένα των απορροών απ' ό,τι η γραμμική.

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.7 όπου οι ιστορικές τιμές απορροής αναπαριστώνται με ασυμπαγή σύμβολα και η πολυωνυμική καμπύλη με μια συνεχή γραμμή. Επιπλέον, δίνονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για $1-\alpha=95\%$ (διακεκομμένη γραμμή).

Σύμφωνα με την πολυωνυμική καμπύλη παλινδρόμησης, μια σαφής τοπική πτωτική τάση παρατηρείται σε δυο περιόδους: (i) 1994-95 έως 1998-99 και (ii) 2004-05 έως 2007-08, που αντιστοιχεί σε μια ποσοστιαία μείωση στις τιμές της απορροής της τάξεως του 12% και 56% αντίστοιχα. Τοπική αυξητική τάση από την άλλη, παρατηρείται στα διαστήματα μεταξύ των υδρολογικών ετών 1989-90 έως 1994-95 και 1998-99 έως 2004-05 που αντιστοιχεί με τη σειρά της σε ποσοστιαία αύξηση στην απορροή για αυτά τα έτη της τάξεως του 85% και 14% αντίστοιχα.

Για λόγους σύγκρισης, ένα πολυώνυμο 4^{ου} βαθμού προσαρμόστηκε και στα δεδομένα στην επιφανειακής βροχόπτωσης για την κοινή χρονική περίοδο (1989-90 έως 2007-08). Και σε αυτήν την περίπτωση προσδιορίστηκαν οι τιμές των εκτιμητών ελαχίστων τετραγώνων των πολυωνυμικών συντελεστών και των σφαλμάτων αυτών όπως επίσης και οι τιμές των στατιστικών t_i , προκειμένου να ελεγχθεί εάν η πολυωνυμική κλίση ήταν στατιστικά σημαντική σε ένα επίπεδο της τάξεως του 5%. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα εφαρμογής μεθόδου πολυωνυμικής συσχέτισης στις χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης.

	Υπολεκάνη Κρεμαστών			Υπολεκάνη Καστρακίου			Υπολεκάνη Στράτου		
	Estimators	Std Error	t-Statistic	Estimators	Std Error	t-Statistic	Estimators	Std Error	t-Statistic
b ₀	773	453.48	1.70	743.5	434.74	1.71	740.5	430.55	1.72
b ₁	524.4	296.75	1.77	494	284.5	1.74	481.4	281.74	1.71
b ₂	-94.2	58.22	-1.62	-87.74	55.818	-1.57	-85.12	55.28	-1.54
b ₃	6.681	4.322	1.55	6.185	4.1435	1.49	5.983	4.1035	1.46
b ₄	-0.1626	0.10732	-1.51	-0.15	0.103	-1.46	-0.1448	0.10189	-1.42

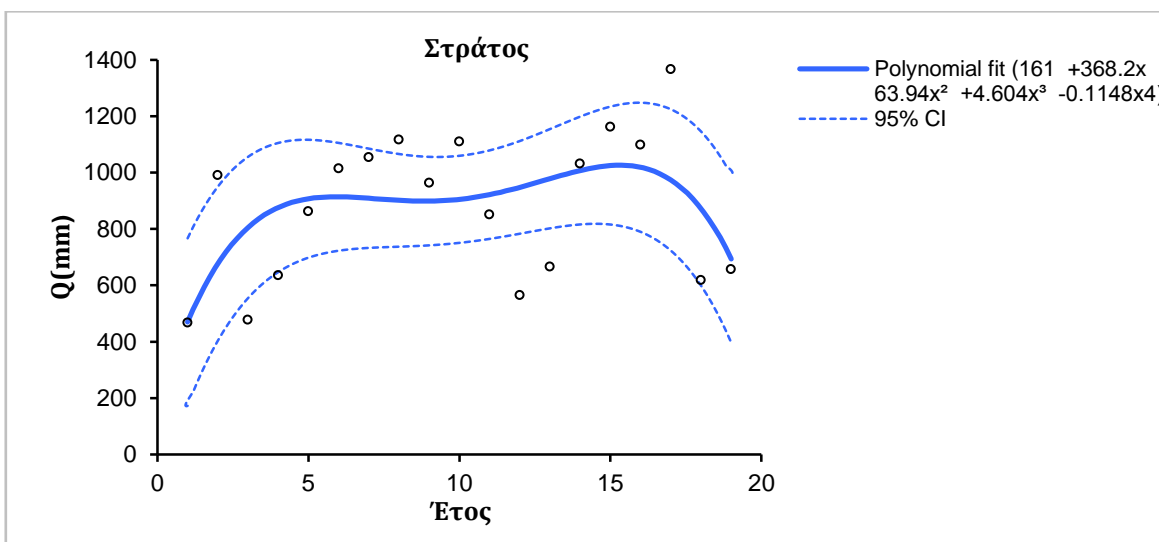
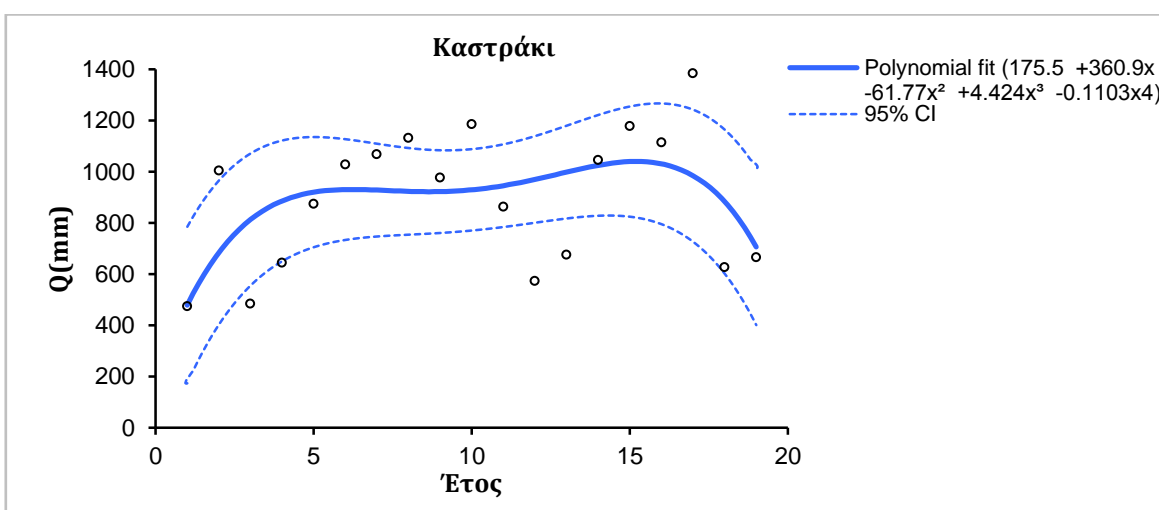
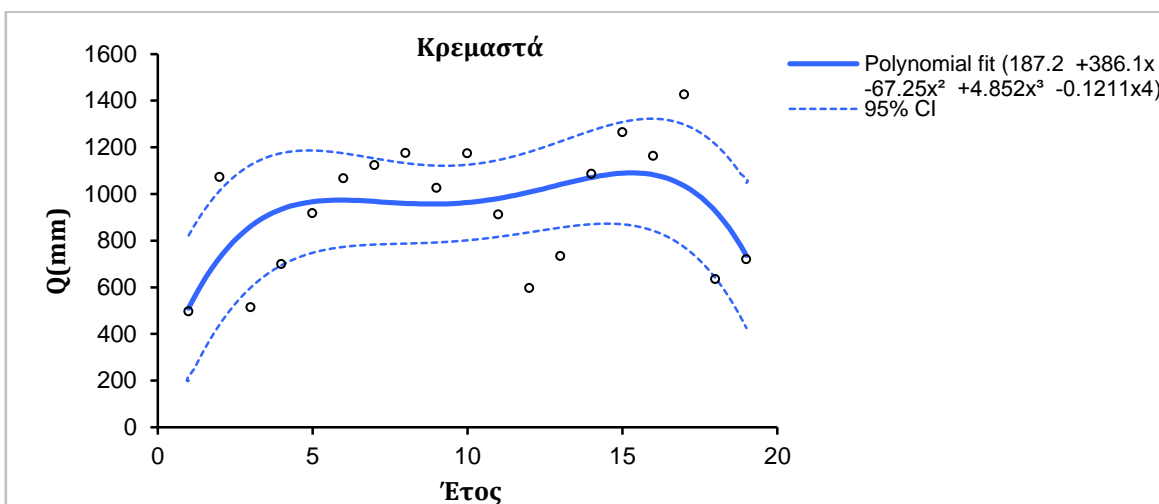
Επιπλέον για $\alpha=5\%$, $t_{\alpha/2,N-5}=2.145$. Συνεπώς $|t_i| < t_{\alpha/2,N-5}$ κάτι που σήμαινε ότι ούτε σ' αυτή την περίπτωση η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται, οπότε καμιά στατιστικά σημαντική τοπική τάση δεν ανακαλύφθηκε στις χρονοσειρές της βροχόπτωσης της κοινής χρονικής περιόδου.

Στο Σχήμα 5.8 παρουσιάζονται οι πολυωνυμικές καμπύλες που προέκυψαν για τα δεδομένα της βροχόπτωσης στην κάθε υπολεκάνη όπως επίσης και τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης για $1-\alpha=95\%$.

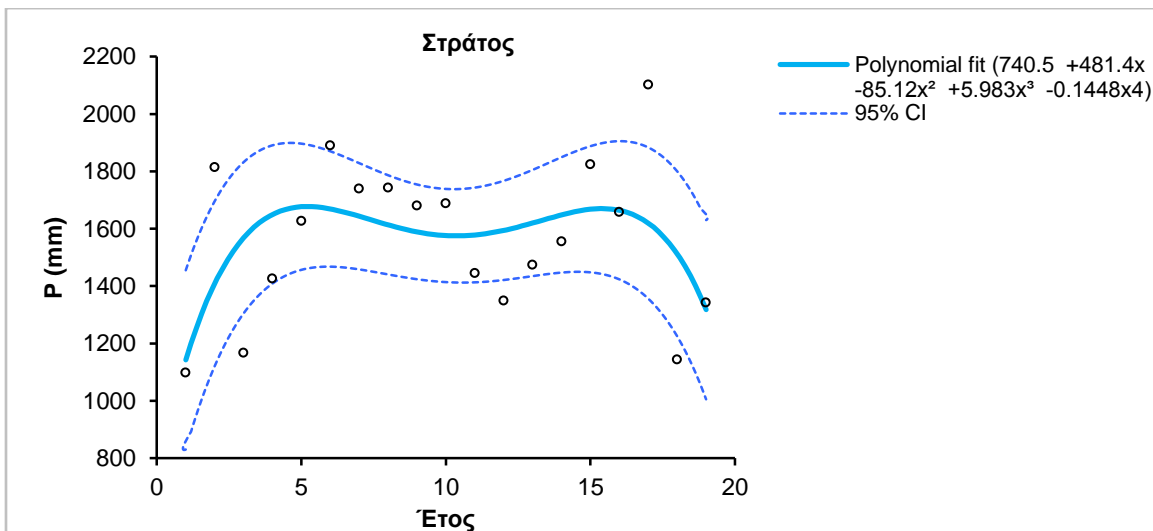
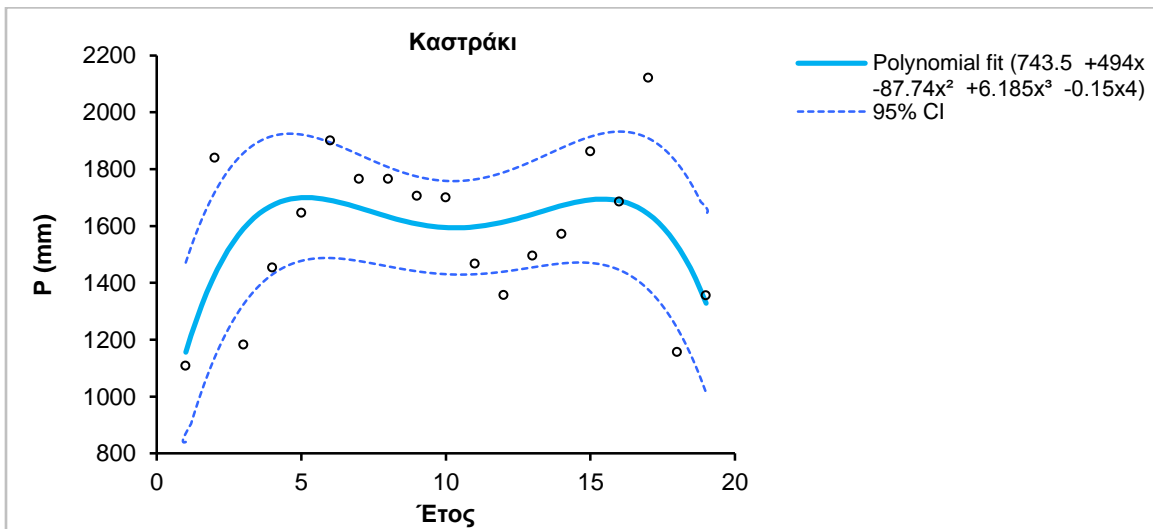
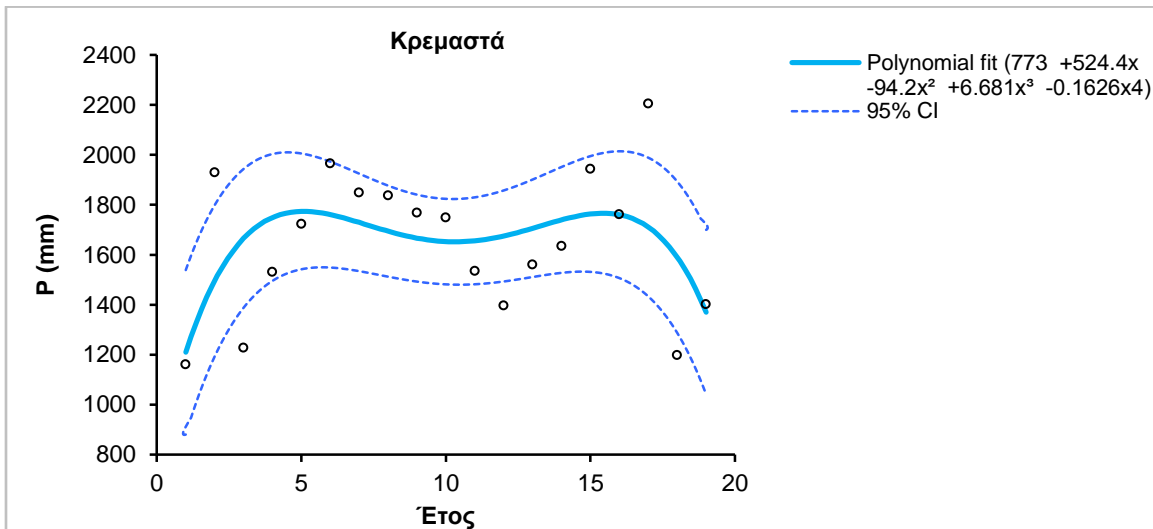
Από τα διαγράμματα αυτά φαίνεται επίσης ότι η βροχόπτωση κυμαινόταν στο χρόνο με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως η απορροή, αλλά το μέγεθος της διακύμανσης ήταν πολύ μικρότερο. Σύμφωνα με την πολυωνυμική καμπύλη, η βροχόπτωση μειωνόταν σε δυο περιόδους (1994-95 έως 1998-99 και 2004-05 έως 2007-08) που αντιστοιχούσε σε μια ποσοστιαία μείωση περίπου 6% και 23% για την πρώτη και την δεύτερη περίοδο αντίστοιχα. Επιπρόσθετα, αυξανόταν κατά τις περιόδους 1989-90 έως 1994-95 και 1998-99 έως 2004-05 αντιστοιχώντας σε μια ποσοστιαία αύξηση 61% και 8% αντίστοιχα.

Μέσω των πολυωνυμικών καμπυλών δείχθηκε ότι οι διακυμάνσεις στην μέση ετήσια απορροή είναι αρκετά μεγαλύτερες από εκείνες που αφορούν την ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση. Επομένως, για τις τρεις εξεταζόμενες υπολεκάνες, ο λόγος της προκύπτουσας αλλαγής στην ετήσια απορροή ως προς την αντίστοιχη αλλαγή στην ετήσια βροχόπτωση, βρέθηκε να είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα. Το αποτέλεσμα αυτό (magnification factor effect) έρχεται σε συμφωνία με τα βασικά συμπεράσματα που έχουν προκύψει στο παρελθόν για την λεκάνη απορροής του άνω ρου του Αχελώου από άλλους ερευνητές (Mimikou et al., 1991).

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί πως το πολυωνυμικό μοντέλο προσαρμόστηκε πολύ καλύτερα στα δεδομένα της επιφανειακής βροχόπτωσης ($r=0.51$) και της απορροής ($r=0.52$) απ' ό,τι το γραμμικό μοντέλο ($r=0.14$ και $r=0.26$ για την βροχόπτωση και την απορροή αντίστοιχα ενδεικτικά για την υπολεκάνη Καστρακίου).



Σχήμα 5.7: Ανίχνευση τάσεων στις χρονοσειρές της ετήσιας απορροής με τη χρήση του πολυωνυμικού μοντέλου συσχέτισης για την χρονική περίοδο 1989/90-2007/08.



Σχήμα 5.8: Ανίχνευση τάσεων στις χρονοσειρές επιφανειακής βροχόπτωσης με τη χρήση του πολυωνυμικού μοντέλου συσχέτισης για την χρονική περίοδο 1989/90-2007/08.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό κωδικοποιούνται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τις διεργασίες της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

1. Το επιφανειακό υδατικό δυναμικό της περιοχής ενδιαφέροντος είναι, όπως έχει αποδειχθεί και μέσα από προγενέστερες εργασίες, ιδιαίτερα αξιόλογο. Το ύψος απορροής ή αλλιώς όγκος απορροής ανά μονάδα επιφάνειας λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή του, περίπου στα 1000mm, στην περιοχή του Άνω Αχελώου, ανάντη των Κρεμαστών, κάτι που κατατάσσει την περιοχή αυτή στις υδατικά πλουσιότερες παγκοσμίως ζώνες (σε σχέση με αυτή τη συγκεκριμένη παράμετρο). Το μετρημένο ετήσιο ισοδύναμο ύψος απορροής στα Κρεμαστά ανέρχεται στα 937mm ετησίως. Η βροχόπτωση ξεκινά από μεγάλες τιμές 1677mm ανάντη της Μεσοχώρας και μειώνεται στα 1040mm στο Καστράκι. Σε γενικές γραμμές, η πορεία της απορροής ακολουθεί αρκετά καλά την πορεία της βροχόπτωσης.

2. Μέσα από την εφαρμογή μιας τροποποιημένης εκδοχής του μοντέλου του Απλού Υδατικού Ισοζυγίου, μηνιαίου χρονικού βήματος, που περιλαμβάνει τρεις παραμέτρους αντί μιας (όπως αρχικά είχε προταθεί από τον Thornthwaite), αποδείχθηκε ότι το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να αποδώσει ικανοποιητικά τον μετασχηματισμό της βροχόπτωσης σε απορροή ακόμη και σε υδρολογικές λεκάνες μεγάλου μεγέθους που χαρακτηρίζονται από έντονη μεταβλητότητα ως προς το ανάγλυφο, την υδρογεωλογία και τις χρήσεις γης, όπως οι εξετασθείσες τρεις υπολεκάνες του Αχελώου ποταμού ανάντη των θέσεων των ισάριθμων φραγμάτων.

Από τη διαθέσιμη χρονοσειρά των 19 συνεχόμενων υδρολογικών ετών των μετρημένων τιμών της απορροής, τα δέκα πρώτα χρησιμοποιήθηκαν στη φάση της βαθμονόμησης του μοντέλου (προσδιορισμός των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων) και τα υπόλοιπα εννέα για την επαλήθευση αυτού, χρησιμοποιώντας κάθε φορά τις προσδιορισθείσες τιμές των παραμέτρων στη φάση της βαθμονόμησης. Το κριτήριο καταλληλότητας R^2 παρέμενε σχεδόν αμετάβλητο από τη μία φάση στην άλλη. Στα υδρογραφήματα, τόσο των μετρημένων όσο και των προσομοιωμένων τιμών της απορροής, διακρίνονται ανοδικοί και καθοδικοί κλάδοι σε αντιστοιχία οι οποίοι, σε κάποιες περιπτώσεις, διαφοροποιούνται μονάχα στις αιχμές.

Από την ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων προσαρμογής του μοντέλου στις τρεις υπολεκάνες, αποδείχθηκε ότι τα αποτελέσματα αυτού επηρεάζονται κυρίως από τις τιμές των παραμέτρων K και a και λιγότερο έως καθόλου από την S_{max} .

3. Έγινε έλεγχος περιοδικότητας στις ιστορικές χρονοσειρές των επιφανειακών βροχοπτώσεων και απορροών στις τρεις υπολεκάνες που εξετάστηκαν με την μέθοδο των συντελεστών αυτοσυσχέτισης. Ο έλεγχος αυτός δεν έδειξε ύπαρξη περιοδικότητας στις βροχοπτώσεις παρά μόνο στις απορροές για lag ίσον 4.

Ο έλεγχος τάσεων στις ίδιες χρονοσειρές με τη δοκιμή Kendall δεν έδειξε κάποια στατιστικά σημαντική τάση. Αντίθετα, η εφαρμογή της γραμμικής συσχέτισης έδειξε μια ελαφρά αυξητική τάση, όχι όμως στατιστικά σημαντική για το κοινό χρονικό μήκος βροχοπτώσεων και απορροών (1989-90 έως 2007-08). Ωστόσο, για την πλήρη χρονοσειρά των βροχοπτώσεων της περιόδου 1968-69 έως 2007-08 βρέθηκε ελαφρά πτωτική τάση, και πάλι όμως μη στατιστικά σημαντική. Σημειωτέον ότι οι συντελεστές συσχέτισης για τις χρονοσειρές βροχοπτώσεων και απορροών του γραμμικού μοντέλου βρέθηκαν σχετικά χαμηλοί.

Με την εφαρμογή της πολυωνυμικής συσχέτισης οι συντελεστές αυτοί αυξήθηκαν αξιοσημείωτα, δείγμα της πολύ καλύτερης προσαρμογής του μοντέλου αυτού στα ιστορικά δείγματα βροχοπτώσεων και απορροών. Ωστόσο, ούτε με την πολυωνυμική συσχέτιση αναδείχθηκαν στατιστικά σημαντικές τάσεις στα δείγματα. Όμως καταδείχθηκε ότι οι τοπικές διακυμάνσεις των ετήσιων απορροών είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές των βροχοπτώσεων και συνεπώς, και για τις τρεις υπολεκάνες, ο λόγος της προκύπτουσας αλλαγής στην ετήσια απορροή εξαιτίας της αλλαγής στην ετήσια βροχόπτωση βρέθηκε μεγαλύτερος από τη μονάδα. Το φαινόμενο αυτό (magnification factor) είχε εντοπιστεί και σε παλαιότερες σχετικές μελέτες στην περιοχή της λεκάνης του Αχελώου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Ευστρατιάδης, Α., Μαμάσης, Ν. (Σύνταξη), Κουτσογιάννης, Δ. (Επιστημονικός Υπεύθυνος). (Ιανουάριος 2004). *Εκσυγχρονισμός της Εποπτείας και Διαχείρισης του Συστήματος των Υδατικών Πόρων Ύδρευσης της Αθήνας, Τεύχος 17: Υδρομετεωρολογικά Δεδομένα και Επεξεργασίες*. Αθήνα.

ΓΓΜΕ., (1983). *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας. 1:500.000*. Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ., Μαρίνος, Π., Ξανθόπουλος Θ. (Σεπτέμβριος 1995). *Ερευνητικό Έργο: Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας, Φάση Β', Τεύχος 32 Τελική Έκθεση Β' Φάσης*. Αθήνα.

Κουτσογιάννης, Δ., Ξανθόπουλος Θ. (1999). *Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ναλμπάντης, Ι. (2007). *Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις*. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ναλμπάντης, Ι., Κουτσογιάννης, Δ. (1999). *Ερευνητικό Έργο : Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας, Φάση Γ', Τεύχος 41, Τελική Έκθεση Γ' Φάσης*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ξανθοπούλου, Ν., Μαμάσης Ν., Αναστασοπούλου, Π., Αλεξοπούλου, Κ. (Σύνταξη), Κουτσογιάννης, Δ. (Επιστημονικός Υπεύθυνος), Ναλμπάντης, Ι. (Κύριος Ερευνητής). (1997). *Ερευνητικό Έργο: Αναβάθμιση και Επικαιροποίηση της υδρολογικής Πληροφορίας της Θεσσαλίας, Τεύχος 1: Επικαιροποίηση Υδρομετεωρολογικών Δεδομένων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ξανθόπουλος, Θ. (1990). *Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Συγγρός, Ι. (2002). *Έκδοση 1.6, Coords_Gr*.

Τερζόπουλος, Α. (Ιανουάριος 1995). “Αχελώος: Το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον”. Πέτρου, Ν. (επιμ.), *Γαϊόραμα (περιοδικό Experiment)*. Τεύχος 5, Αθήνα: Ειδικές Εκδόσεις Α.Ε, σσ. 107-155.

Τίγκας, Δ. (2003). *Δημιουργία Λογισμικού Εφαρμογής Μοντέλου Βροχόπτωσης - Απορροής. Μελέτη Εφαρμογής σε λεκάνες απορροής του νησιωτικού χώρου, Μεταπτυχιακή Εργασία στο Δ.Π.Μ.Σ Ε.Μ.Π « Περιβάλλον και Ανάπτυξη».* Αθήνα.

Τσακίρης, Γ. (υπεύθυνος έκδοσης), (1995). *Υδατικοί Πόροι : Ι Τεχνική Υδρολογία.* Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

Τσακίρης, Γ. (υπεύθυνος έκδοσης), (2006). *Υδραυλικά Έργα Σχεδιασμός και Διαχείριση Τόμος ΙΙ: Εγγειοβελτιωτικά Έργα.* Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.

Τσούλος, Λ. (1999). *Ψηφιακή Χαρτογραφία.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΥΠΑΝ, ΕΜΠ/Τομές Υδατικών Πόρων, ΙΓΜΕ, ΚΕΠΕ, (2003). *Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης Υδατικών Πόρων της Χώρας.* Αθήνα.

Ψιλοβίκος, Α., Χαχαμίδου, Ε. (1987). *Συμβολή στην έρευνα των Ολοκαινικών Ελληνικών Δέλτα.* Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση

Blaney, H.F. and Criddle, W.D. (1950). *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data.* USDA Soil Conservation Service Tech. Paper No 96, pp. 48.

Clarke, R.T (1973). *Mathematical Models in Hydrology Irr. and Drain.* Paper No 19, F.A.O, Rome.

Crawford, N.H. and Linsley, R.K. (1966). *Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV.* Department of Civil Engineering, Stanford University, Tech. Rep. No.39.

Giakoumakis, S., Baloutsos, G. (1997). *Investigation of trend in hydrological time series of the Evinos River basin.* Hydrological Sciences- Journal- des Sciences Hydrologiques.

- Giakoumakis, S., Dercas, N. Karantounias, G. (2005). *Validation of a simple water balance model in Pinios river basin (Peloponnese, Greece)*. EWRA 6th International Conference "Sharing a common vision for our water resources", Menton (France) 7 – 10 September .
- Giakoumakis, S., Tsakiris, G., Efremides, D. (1991). *On the rainfall – runoff modeling in a Mediterranean island environment*. Advances in Water Resources Technology, G. Tsakiris (ed), pp.137-148, Balkema, Rotterdam.
- Kaemaki, S. (1991). *Modeling the impacts of acid deposition and afforestation on catchment hydrochemistry*. PhD thesis, University of London.
- Kottegoda, N.T. (1980). *Stochastic Water Resources Technology*. Hong Kong: McMillan Press.
- Maheras, P. and Kolyva-Mahera, F. (1990). *Temporal and Spatial characteristics of annual precipitation over Balkans in the twentieth century*. J. Climatol. 10.
- Marchand, D., Sanderson, M., Howe, D. and Albauch, C. (1988). *Climate change and Great Lake levels- The impact on shipping*, *Clim. Change*. Vol. 12 (2), pp. 107-134.
- Mimikou, M., Kouvopoulos, Y., Cavadias, G. and Vayianos N. (1991). *Regional hydrological effects of climate change*. J. Hydrol. 123, pp. 119-146.
- Monteith, J.L. (1965). *Evaporation and environment*. pp. 205-234. In G.E. Fogg (ed.) *Symposium of the Society for Experimental Biology, The State and Movement of Water in Living Organisms*, Vol. 19, Academic Press, Inc., NY.
- Murphy, J., Wallance, D., Lane, L. (1977). *Geomorphic Parameters Predict Hydrograph Characteristics in the Southwest*. Water Resources Bulletin, Am. Water Res. Ass., Vol. 13 (1), pp. 25-38.
- Nash, J.E., Sutcliffe, V. (1970). *River flow forecasting through conceptual models, I. A discussion of principles*. J. Hydrol. 10, pp. 282-29.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., King, K.W. (2002). *Soil and Water Assessment Tools : theoretical documentation version 2000*, Grassland, Soil and Water Research Laboratory, ARS, pp. 91.

Penman, H.L. (1948). *Natural evaporation from open water, bare soil, and grass*. Proc. Roy. Soc. London A193:120-146.

Phanartzis, C.A. (1972). *Morphou – Tylliria Feasibility Studies. Simulation of watershed runoff in Morphou – Tylliria area*. AGL:SF/CYP.513, Technical Report.

Preissmann, A., Zaoui, J. (1979). *Le module Écoulement de surface du Système Européen (SHE)*. Proceedings of the 18th IAHR Congress, Cagliari.

Rozos, E., Efstratiadis, A., Nalbantis, I. and Koutsoyiannis, D. (2004). *Calibration of a semidistributed model for conjunctive simulation of surface and groundwater flows*. Hydrological Sciences Journal.

Rosenberg, N.J., Blad, B.L. and Verma, S.B. (1983). *Microclimate: The Biological Environment*. New York.

Ross, S. M. (1997). *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. Singapore: John Wiley and Sons.

Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C. and Morton, A.J. (1971-72). *A predictive model of rainfall interception in forests, I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine*. Agric. Meteorol., 9, pp. 367–384.

Soil Conservation Service (SCS). (1972). *National Engineering, Handbook, Section 4. Hydrology*. U.S. Dept. of Agriculture, Washington D.C.

Thornthwaite, C.W. (1948). *An Approach toward a Rational Classification of Climate*. Geographical Reviews, Vol. 38, No. 1, pp. 55-94.

Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R. (1957). *Instructions and Tables for the Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance*. Publications in Climatology, Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Climatology, Centerton, NJ, pp. 185-311.

Thornthwaite, C.W. and Mather J.R. (1955). *The Water Balance*. Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, Centerton, Vol. 8 (1), pp. 1-104.

Tigkas, D. and Tsakiris, G. (2004). *Medbasin: a Mediterranean rainfall – runoff software package*. EWRA – European Water.

Underhill, H.W., Schenkeveld, M.M., Goodwill, I.M. (1970). *Study of water resources and their exploitation for irrigation in eastern Crete. Trials of mathematical watershed model for runoff simulation*. Food and Agriculture Organization of the U.N. – Provisional document, Iraklio, Greece.

Wanielista, M.P. (1978). *Stormwater Management: Quantity and Quality*. Ann Arbor, Michigan: Ann Arbor Science Inc., pp. 412.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

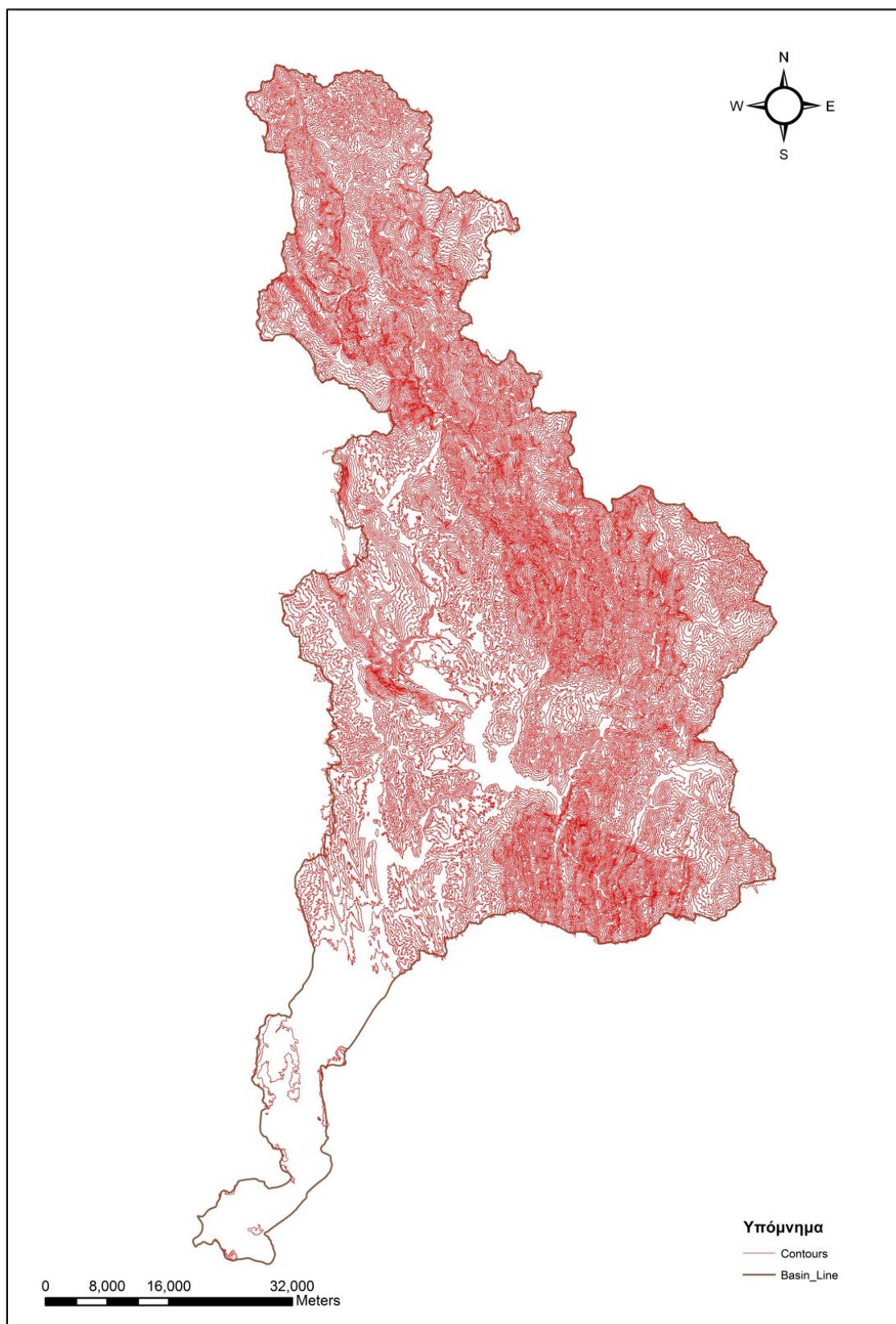
ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1. Χάρτης ισοϋψών καμπυλών όπως προέκυψε από την ψηφιοποίηση των χαρτών της Γ.Υ.Σ.....	102
Σχήμα 2. Χάρτης υδρογραφικού δικτύου όπως προέκυψε από την ψηφιοποίηση των χαρτών της Γ.Υ.Σ.....	103
Σχήμα 3. Χάρτης με τις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών.....	104
Σχήμα 4. Χάρτης σκίασης αναγλύφου της λεκάνης απορροής του Αχελώου ποταμού.	105
Σχήμα 5. Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης την Αργιθέα και ελεγχόμενο σταθμό την Μεσοχώρα.....	106
Σχήμα 6. Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης την Αργιθέα και ελεγχόμενο σταθμό το Καρόπλεσι.....	106
Σχήμα 7. Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τη Μεσοχώρα και ελεγχόμενο σταθμό το Καρόπλεσι.....	107
Σχήμα 8. Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τον Προυσσό και ελεγχόμενο σταθμό το Καστράκι.....	107
Σχήμα 9. Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τον Προυσσό και ελεγχόμενο σταθμό την Αν.Φραγκίστα.....	108
Σχήμα 10. Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης το Καστράκι και ελεγχόμενο σταθμό την Αν.Φραγκίστα.....	108
Σχήμα 11. Γραφική απεικόνιση των χρονοσειρών της ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης για τις τρεις υπολεκάνες του Αχελώου (Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου) και των αντίστοιχων τάσεων, με την εφαρμογή της γραμμικής συσχέτισης για την κοινή χρονική περίοδο (1989/90-2007/08) με τις απορροές.....	109

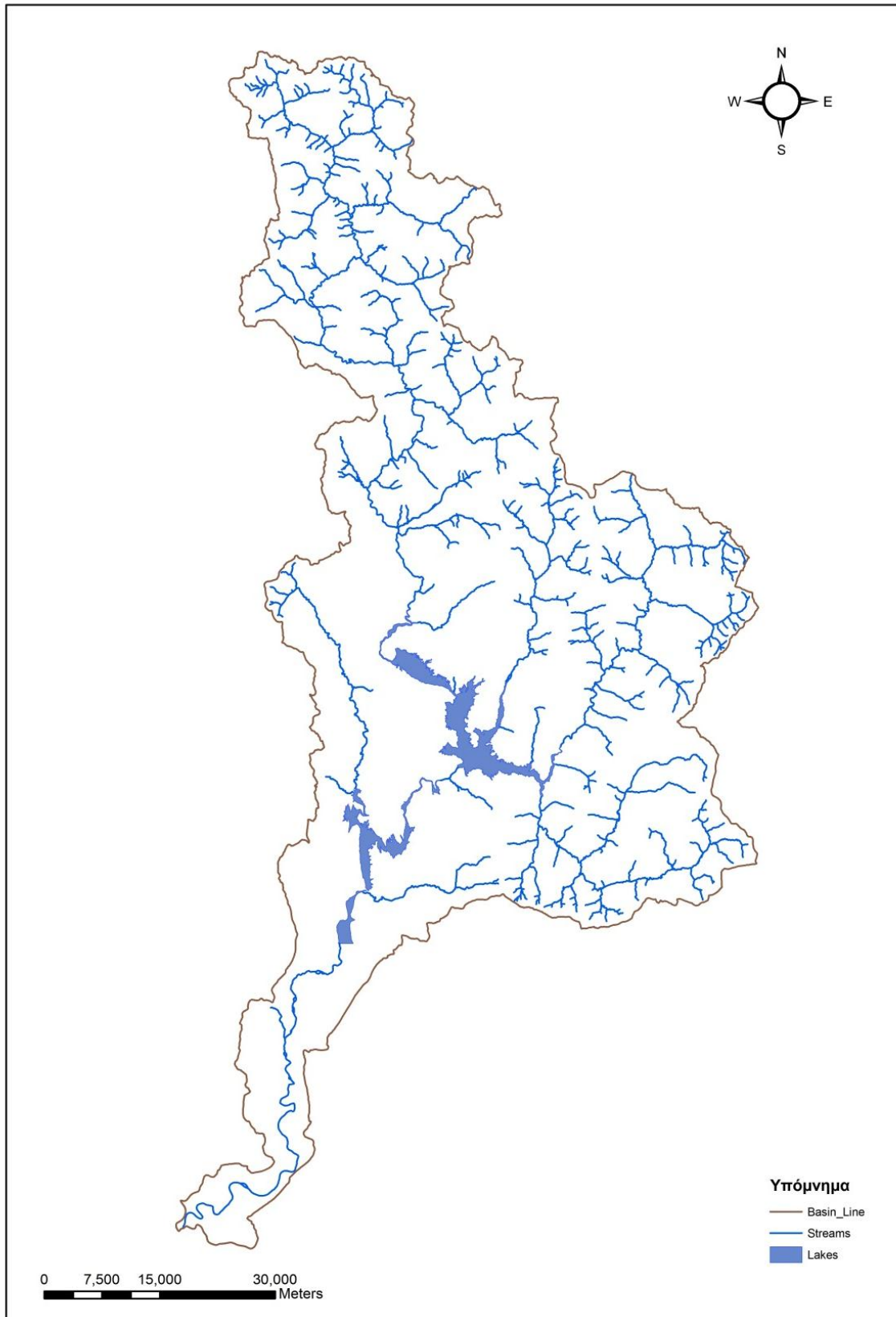
ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1. Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Ανατ.Φραγκίστα (Πηγή: ΔΕΗ).	110
Πίνακας 2. Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Αργιθέα (Πηγή: ΔΕΗ)..	110
Πίνακας 3. Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Καρόπλεσι (Πηγή: ΔΕΗ).	111
Πίνακας 4. Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Καστράκι (Πηγή: ΔΕΗ).	112
Πίνακας 5. Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Κρεμαστά (Πηγή: ΔΕΗ)..	113
Πίνακας 6. Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Μεσοχώρα (Πηγή: ΔΕΗ).	114
Πίνακας 7. Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Προυσσός (Πηγή: ΔΕΗ).	114
Πίνακας 8. Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Φουσιανά (Πηγή: ΔΕΗ).	115
Πίνακας 9. Μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχής (mm), ανηγμένα στο μ.υ της λεκάνης απορροής. (Υπολεκάνη Κρεμαστών).	116
Πίνακας 10. Μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχής (mm), ανηγμένα στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Καστρακίου).	117
Πίνακας 11. Μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχής (mm), ανηγμένα στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Στράτου).	118
Πίνακας 12. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), μετεωρολογικός σταθμός Καστράκι (Πηγή: ΔΕΗ).	119
Πίνακας 13. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), μετεωρολογικός σταθμός Κρεμαστά (Πηγή: ΔΕΗ).	119
Πίνακας 14. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), μετεωρολογικός σταθμός Αγρίνιο (Πηγή: ΕΜΥ).	120
Πίνακας 15. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), ανηγμένες στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Κρεμαστών).	121
Πίνακας 16. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), ανηγμένες στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Καστρακίου).	121
Πίνακας 17. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), ανηγμένες στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Στράτου).	122
Πίνακας 18. Μηνιαίες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm), για την υπολεκάνη Κρεμαστών όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite.	123

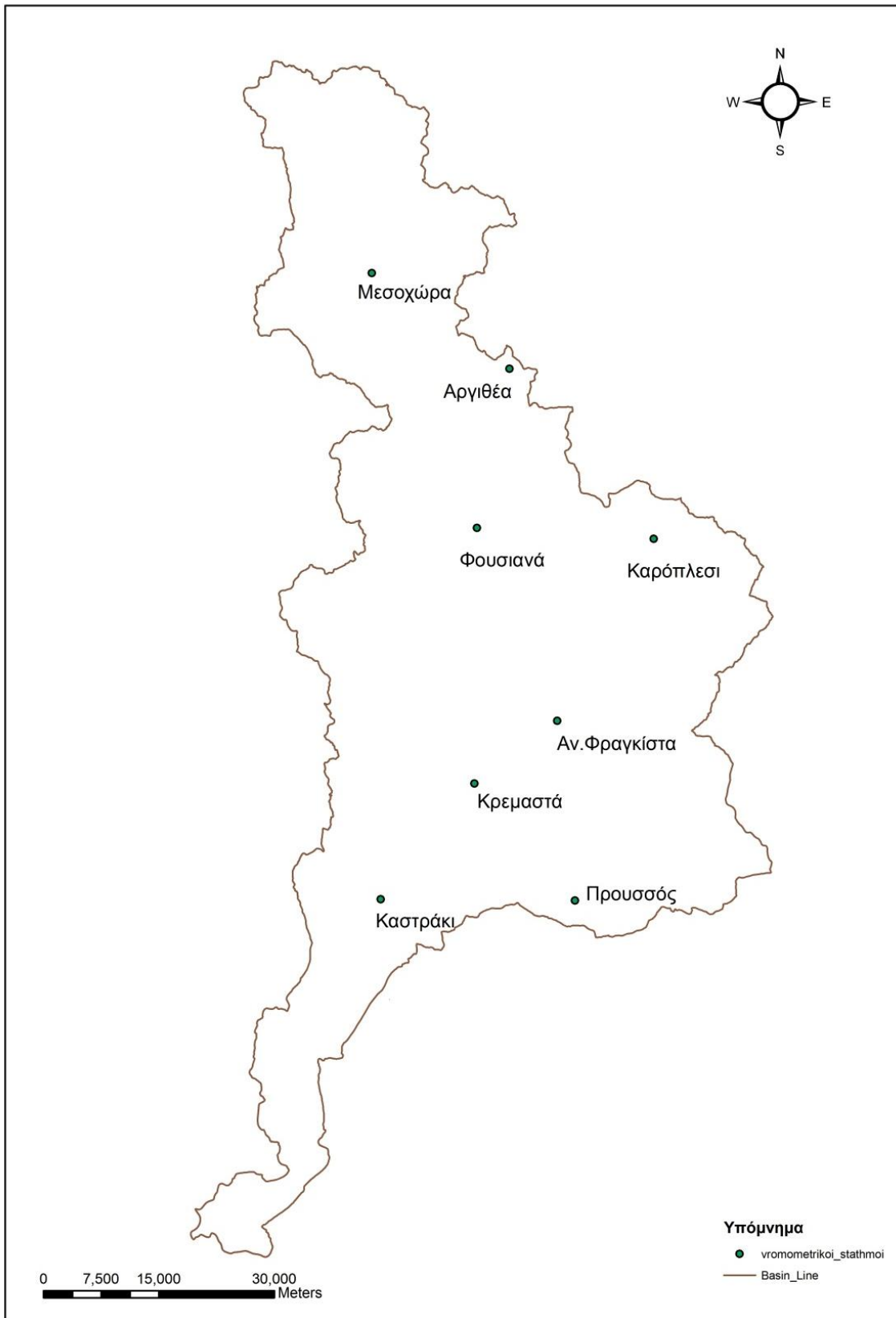
Πίνακας 19. Μηνιαίες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm), για την υπολεκάνη Καστρακίου όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite.	123
Πίνακας 20. Μηνιαίες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm), για την υπολεκάνη Στράτου όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite.....	124
Πίνακας 21. Μηνιαίες εισροές (mm), υδρομετρικός σταθμός Κρεμαστά (Πηγή: ΔΕΗ).....	125
Πίνακας 22. Μηνιαίες εισροές (mm), υδρομετρικός σταθμός Καστράκι (Πηγή: ΔΕΗ).....	125
Πίνακας 23. Μηνιαίες εισροές (mm), υδρομετρικός σταθμός Στράτος (Πηγή: ΔΕΗ).....	126



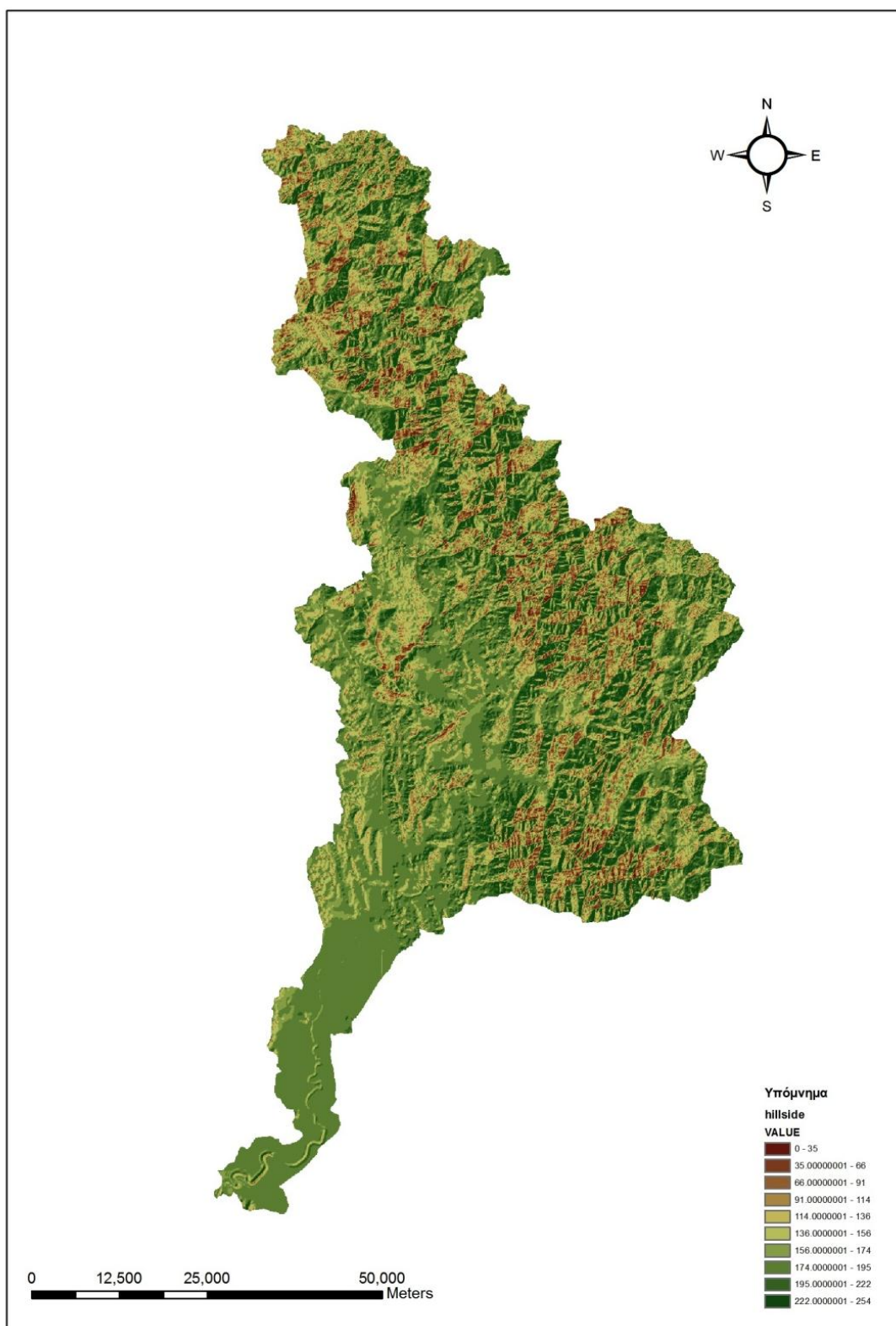
Σχήμα 1: Χάρτης ισοψών καμπυλών όπως προέκυψε από την ψηφιοποίηση των χαρτών της Γ.Υ.Σ.



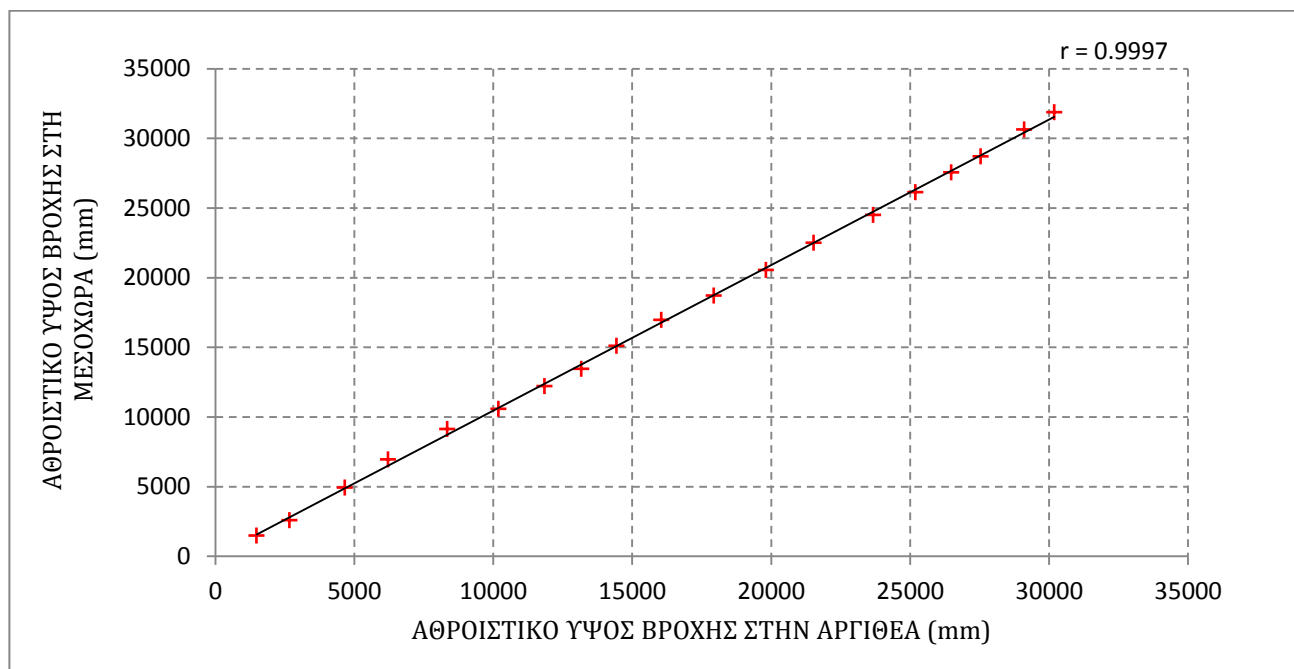
Σχήμα 2: Χάρτης υδρογραφικού δικτύου όπως προέκυψε από την ψηφιοποίηση των χαρτών της Γ.Υ.Σ.



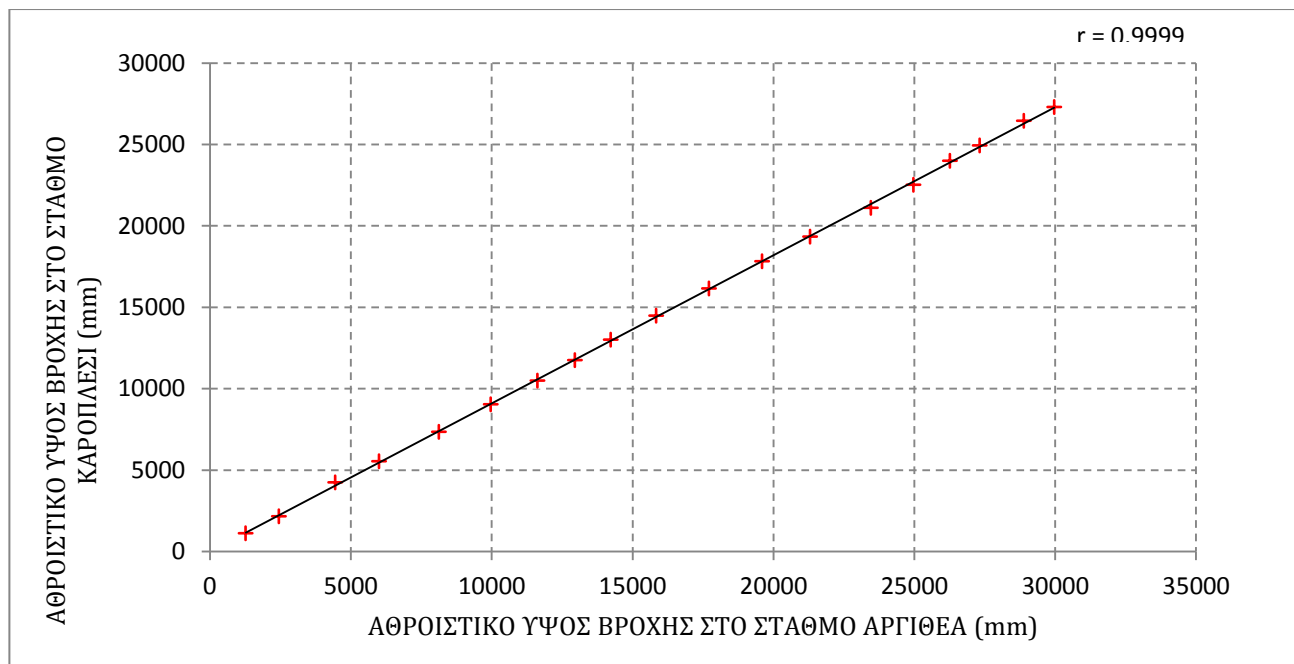
Σχήμα 3: Χάρτης με τις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών.



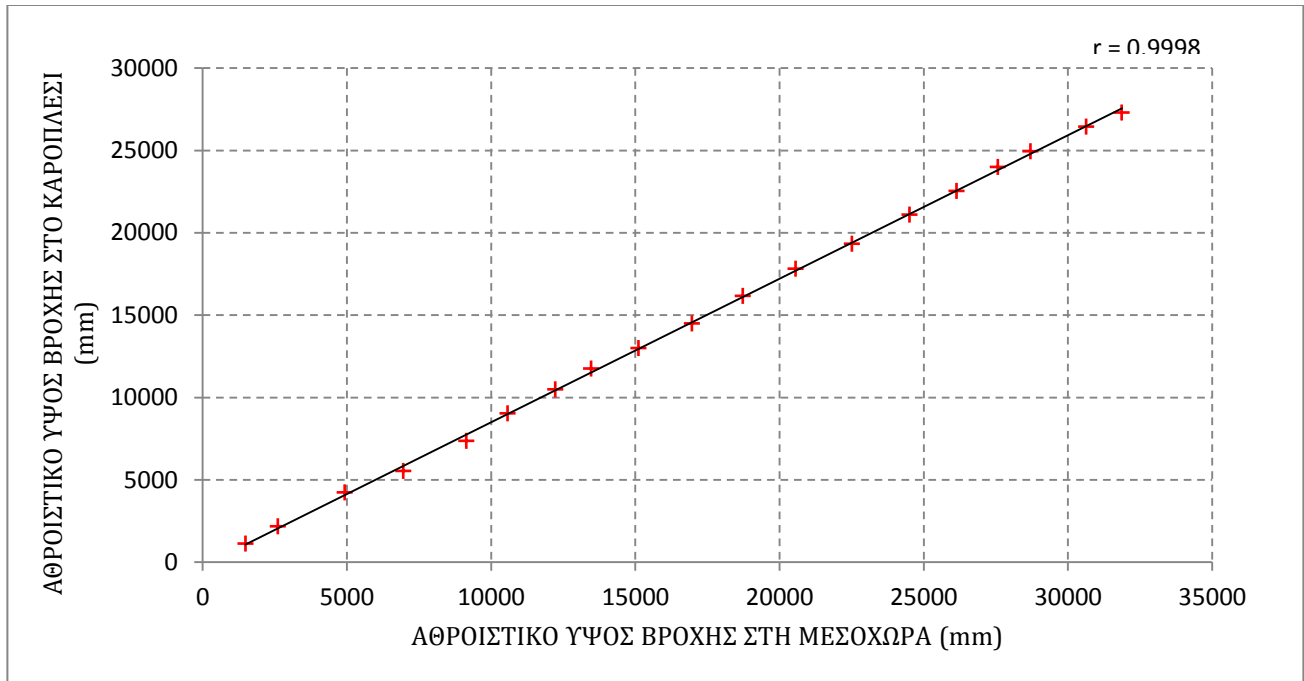
Σχήμα 4: Χάρτης σκίασης αναγλύφου της λεκάνης απορροής του Αχελώου ποταμού.



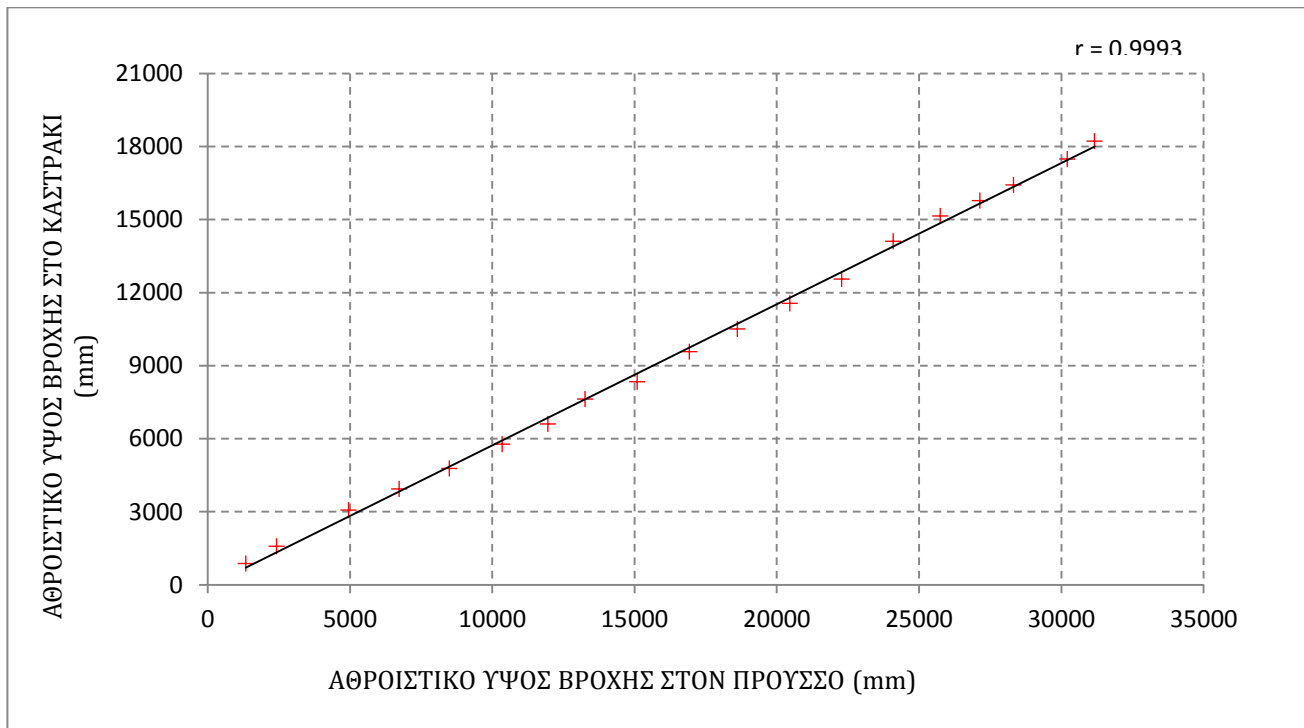
Σχήμα 5: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης την Αργιθέα και ελεγχόμενο σταθμό την Μεσοχώρα.



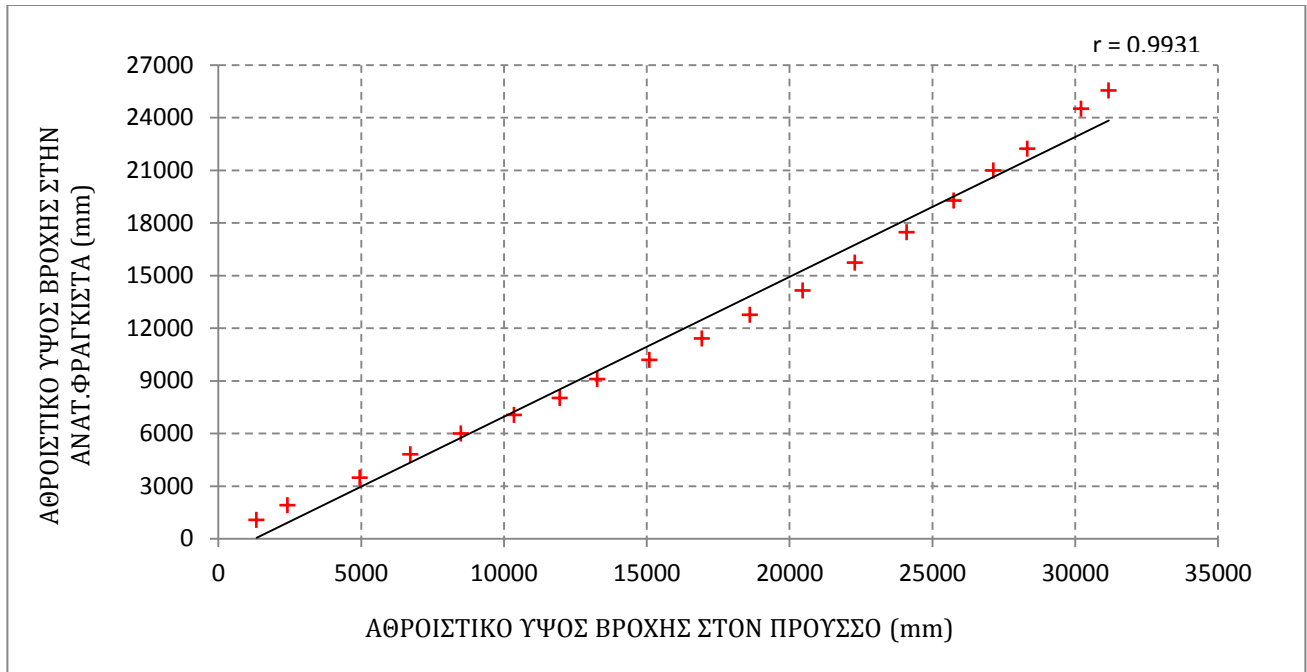
Σχήμα 6: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης την Αργιθέα και ελεγχόμενο σταθμό το Καρόπλεσι.



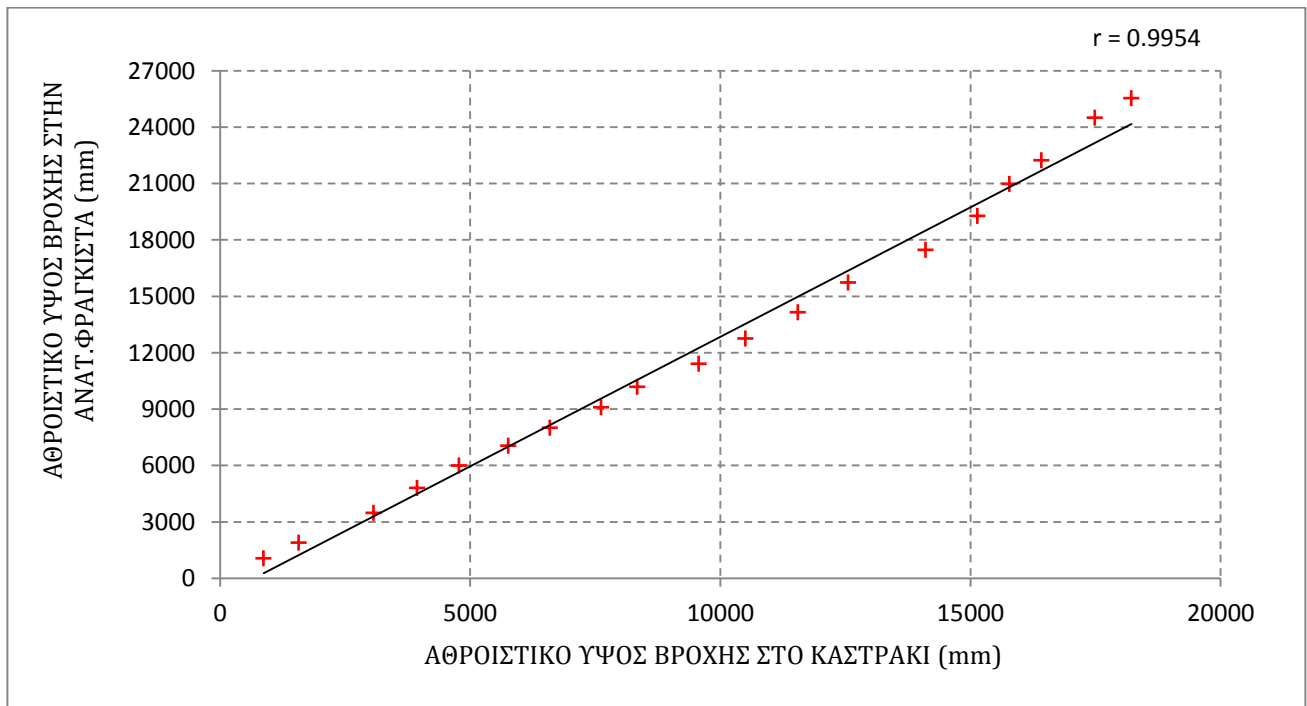
Σχήμα 7: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τη Μεσοχώρα και ελεγχόμενο σταθμό το Καρόπλεσι.



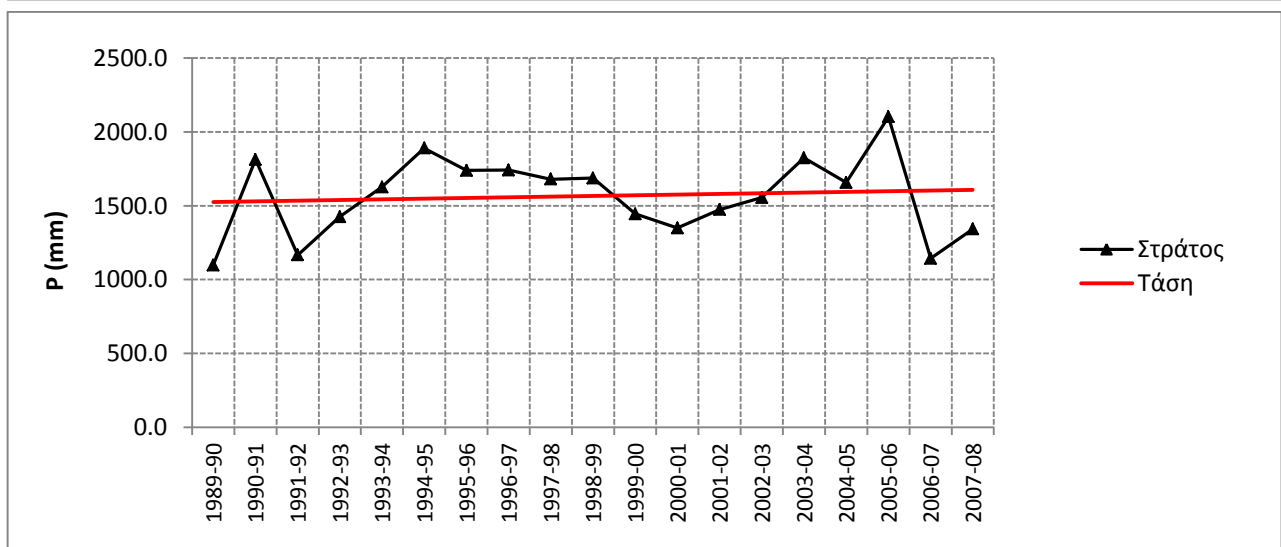
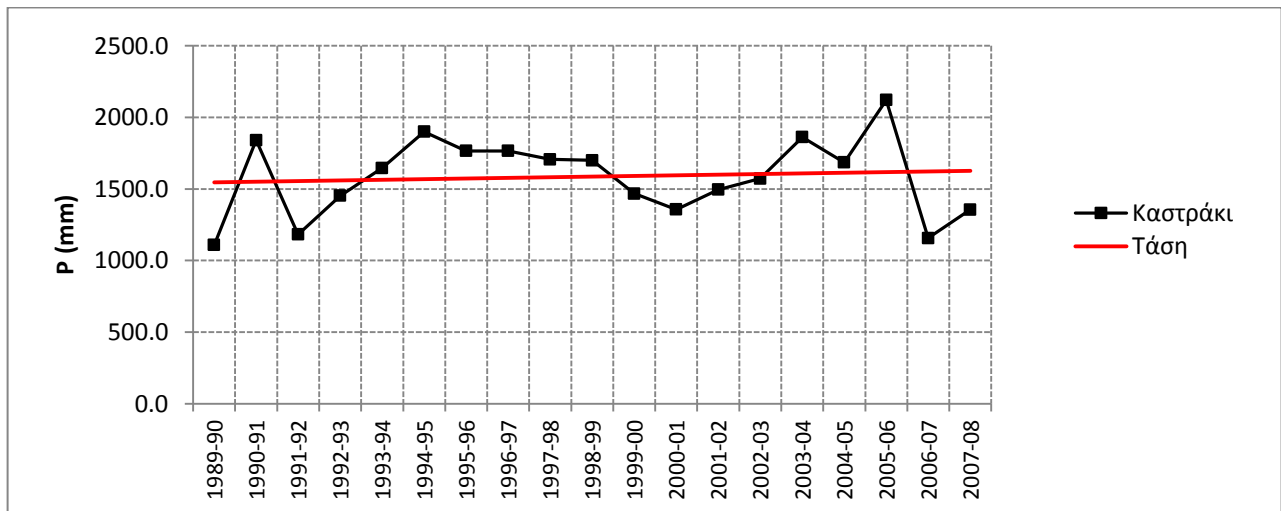
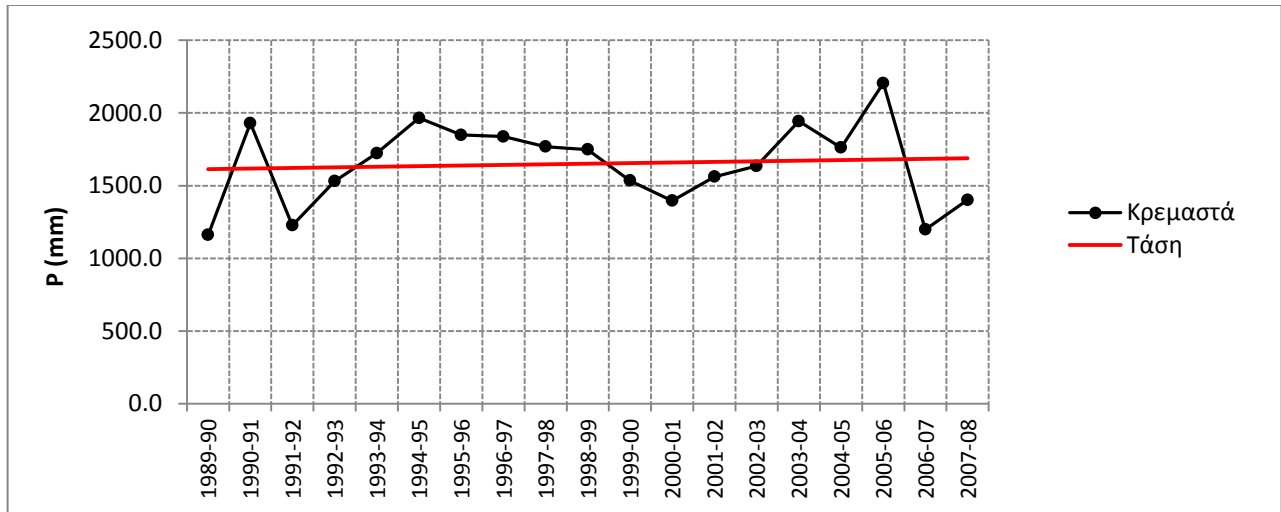
Σχήμα 8: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τον Προυσό και ελεγχόμενο σταθμό το Καστράκι.



Σχήμα 9: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης τον Προυσό και ελεγχόμενο σταθμό την Αν.Φραγκίστα.



Σχήμα 10: Διπλή αθροιστική καμπύλη με σταθμό βάσης το Καστράκι και ελεγχόμενο σταθμό την Αν.Φραγκίστα.



Σχήμα 11: Γραφική απεικόνιση των χρονοσειρών της ετήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης για τις τρεις υπολεκάνες του Αχελώου (Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτους) και των αντίστοιχων τάσεων, με την εφαρμογή της γραμμικής συσχέτισης για την κοινή χρονική περίοδο (1989/90-2007/08) με τις απορροές.

Πίνακας 1: Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Ανατ.Φραγκίστα (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1989-90	177.0	214.8	152.1	0.0	82.4	0.0	182.5	64.4	10.7	0.0	125.5	20.5	1029.9
1990-91	201.0	226.4	626.1	61.9	223.1	94.0	219.7	331.3	60.2	44.7	188.4	0.0	2276.8
1991-92	89.0	323.6	50.3	15.0	35.4	272.1	254.3	137.4	7.0	39.1	0.0	31.0	1254.2
1992-93	239.8	257.7	445.6	16.0	90.9	232.1	110.9	197.4	30.0	0.0	12.0	71.3	1703.7
1993-94	50.2	409.3	445.6	242.1	110.9	31.0	342.2	69.0	10.3	41.3	40.7	10.6	1803.2
1994-95	138.2	148.0	278.3	222.1	108.4	180.5	104.5	169.9	4.6	30.8	121.5	235.3	1742.1
1995-96	0.0	212.4	359.3	110.7	269.4	171.7	106.4	93.5	24.2	27.2	29.1	176.1	1580
1996-97	208.2	353.9	401.3	82.5	71.6	67.5	96.1	7.5	16.0	0.0	84.6	9.4	1398.6
1997-98	263.6	130.8	281.9	60.1	128.9	80.8	34.9	133.2	0.0	0.0	18.7	213.8	1346.7
1998-99	122.3	277.6	255.2	96.6	106.9	160.7	101.0	17.3	0.6	18.1	10.5	44.2	1211
1999-00	142.6	266.1	243.3	82.7	157.0	46.8	71.2	9.1	26.0	17.0	0.0	35.4	1097.2
2000-01	68.1	155.2	117.7	161.5	101.8	93.2	188.1	63.2	45.2	9.2	23.7	57.6	1084.5
2001-02	2.8	89.9	236.9	46.3	51.0	63.6	193.5	77.9	12.4	71.1	50.9	69.8	966.1
2002-03	144.4	104.6	195.0	236.9	145.6	4.7	63.4	12.8	33.7	20.2	45.6	47.3	1054.2
2003-04	362.0	65.5	42.7	210.1	83.6	78.2	47.7	57.7	13.8	52.2	8.9	159.1	1181.5
2004-05	80.2	129.9	132.4	165.1	259.1	181.5	84.0	63.4	97.7	22.6	14.3	103.5	1333.7
2005-06	49.7	185.7	351.7	165.6	301.5	143.9	148.2	12.1	55.2	44.0	45.0	74.8	1577.4
2006-07	66.8	103.2	72.7	63.3	117.5	133.2	51.6	77.7	72.1	15	14.8	43.5	831.4
2007-08	137.3	273.7	134.0	39.0	47.4	173.7	69.4	40.9	55.9	6.5	7.5	82.8	1068.1
Μ.Τ	133.9	206.8	253.8	109.3	131.2	116.3	130.0	86.1	30.3	24.2	44.3	78.2	1344.2

Πίνακας 2: Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Αργιθέα (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1989-90	186.0	159.3	219.5	10.5	60.8	22.3	154.2	112.2	11.3	13.8	71.6	55.4	1076.9
1990-91	109.6	178.4	365.1	94.6	146.5	114.6	229.5	201.6	24.2	48.7	42.1	10.3	1565.2
1991-92	146.2	259.8	26.3	8.6	89.6	57.5	276.5	100.3	31.9	19.5	2.5	38.6	1057.3
1992-93	226.4	194.9	219.3	104.3	77.4	158.0	62.2	138.2	38.7	2.7	7.6	63.7	1293.4
1993-94	62.2	269.1	235.6	261.0	289.5	65.5	136.1	94.0	16.5	25.2	31.1	29.1	1514.9
1994-95	312.1	216.0	201.7	357.9	102.9	287.5	83.0	142.9	10	135.1	115.3	184.2	2148.6
1995-96	60.9	143.4	365.7	110.0	314.6	209.7	100.0	79.3	6.9	44.7	67.2	210.9	1713.3
1996-97	193.4	278.6	247.5	416.3	42.3	233	181.6	174	36.9	5.8	47.2	22.9	1879.5
1997-98	298.8	246.4	362.3	86.8	194.2	220.3	88.5	267.9	8.1	6.4	5.5	95.9	1881.1
1998-99	104.9	386.1	292.5	86.2	314.1	117.1	121.1	29.7	2.1	72.2	18.8	66.1	1610.9
1999-00	168.7	274.8	249.6	64.7	237.7	71.8	89.7	40.7	11.3	15.7	3.6	40.6	1268.9
2000-01	260.8	113.9	109.7	185.4	165.1	114.9	208.2	57.7	18.4	19.2	38.2	38.4	1329.9
2001-02	46.2	172.1	310.6	86.9	49.2	280.5	266.1	50.7	26.9	129.9	58.6	176.2	1653.9
2002-03	131.1	134.5	287.3	477.3	146.2	199.2	115.5	91.8	43.6	63.5	100.0	58.0	1848
2003-04	546.7	133.5	166.4	330.5	160.9	204.8	189.3	134.4	21.9	92.0	8.6	132.0	2121
2004-05	182.0	215.5	204.2	216.8	274.7	105.7	101.2	101.3	34.5	54.5	11.8	51.3	1553.5
2005-06	78.6	178.4	519.7	178.0	336.0	196.0	154.7	18.4	50.5	64.8	44.5	179.3	1998.9
2006-07	193.9	151.2	73.9	83.9	246.6	130.9	73.7	74.2	56.2	13.6	13.0	69.9	1181
2007-08	135.3	334.4	119.8	55.4	97.8	219.6	99.5	14.8	52.0	1.3	16.2	122.2	1268.3
Μ.Τ	181.3	212.6	240.9	169.2	176.1	158.4	143.7	101.3	26.4	43.6	37.0	86.6	1577.1

Πίνακας 3: Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Καρόπλεσι (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1989-90	172.9	118.8	46.9	7.1	59.5	18.4	130.2	121.3	9.0	22.1	106.9	38.8	851.9
1990-91	101.8	155.1	462.1	101.3	163.1	68.7	162	144.3	11.7	61.8	74.2	2.6	1508.7
1991-92	61.4	196.3	85.5	7.5	66.0	122.2	195.2	91.2	36.7	44.1	0.0	38.3	944.4
1992-93	129.9	187.5	228.5	229	215.1	249.4	46.5	128.7	15.4	0.0	1.7	39.1	1470.8
1993-94	20.9	312.6	271.1	189.2	258.9	40.4	158.7	93.8	7.1	27.1	37.4	15.0	1432.2
1994-95	278.3	201.6	242.4	265.6	69.9	244.5	76.2	85.7	12.3	62.6	65	152.5	1756.6
1995-96	17.0	138.1	291.5	110.0	308.9	171.2	84.7	86.4	6.4	43.1	144.6	112.6	1514.5
1996-97	283.6	285.9	343.6	178.7	44.2	168.5	120.7	91	19.4	4.2	80.1	44.2	1664.1
1997-98	231.3	193.3	326.3	88.3	197.6	194.5	57.5	198.1	22.9	3.8	45.8	110.6	1670
1998-99	90.8	333.9	298.5	104.5	233.7	221.1	64.1	27.6	4.5	29.7	20.7	60.8	1489.9
1999-00	103.6	321.6	293.5	109.8	219.9	64.2	59.3	16.4	24.4	13.6	0.8	16.9	1244
2000-01	151.7	129.6	151.0	218.6	166.2	56.7	171.9	59.1	16.6	47.1	73.6	17.3	1259.4
2001-02	30.3	170.6	362.8	59.5	21.9	129.5	216.4	16.7	39.9	94.6	83.6	236.9	1462.7
2002-03	113.9	101.7	257.6	407.3	303.6	102.3	121.7	69.5	26.3	29.5	87.3	58.8	1679.5
2003-04	453.5	87.1	155.9	392.5	89.8	190.5	113.6	171	18.0	65.4	3.7	72.7	1813.7
2004-05	125	103.5	93.0	146.5	360.0	194.5	70.3	110.6	18.7	10.2	17.6	49.0	1298.9
2005-06	81.5	246.2	545.7	250.6	335.7	253.6	149.7	21.0	20.8	12.9	33.7	123.0	2074.4
2006-07	97.8	150.7	43.3	133.9	200.2	140.3	54.3	73.5	56.1	20.8	14.2	56.1	1041.2
2007-08	151.7	280.7	126	49.7	77.6	173.6	64.8	21.7	47.3	1.8	5.0	123.5	1123.4
Μ.Τ	141.9	195.5	243.4	160.5	178.5	147.6	111.5	85.7	21.8	31.3	47.2	72.0	1436.9

Πίνακας 4: Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Καστράκι (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1968-69	64.1	118.2	228.8	100.1	209.8	150.1	41.8	31.4	37.2	20.4	0.0	113.8	1115.7
1969-70	0.0	168.9	465.6	156.1	110.3	94.2	34.6	22.2	11.6	4.6	2.0	35.6	1105.7
1970-71	193.4	152.4	121.2	121.8	246.8	327.4	34.0	49.2	1.0	17.5	26.6	53.8	1345.1
1971-72	67.4	161.8	132.2	100.2	210.7	110.0	124.6	91.4	12.6	125.6	32.2	66.8	1235.5
1972-73	187.4	17.8	30.9	141.3	220.8	199.8	52.3	2.2	94.0	4.2	55.6	73.6	1079.9
1973-74	106.2	76.8	240.7	84.4	130.8	88.5	148.0	34.6	4.2	2.2	3.8	164.2	1084.4
1974-75	140.0	174.5	79.9	56.8	109.8	88.2	15.3	61.9	58.6	4.9	48.4	58.0	896.3
1975-76	168.9	157.5	163.7	97.5	89.5	55.9	112.5	43.2	97.4	71.8	12.7	7.3	1077.9
1976-77	220.9	349.8	126.9	92.3	112.3	37.5	49.2	8.6	0.0	5.6	43.5	35.0	1081.6
1977-78	11.5	173.0	132.5	173.5	157.5	81.8	195.7	21.5	21.6	0.0	0.0	99.0	1067.6
1978-79	71.0	160.0	146.8	269.2	187.0	101.4	119.0	100.0	20.3	0.0	10.5	4.0	1189.2
1979-80	122.0	273.5	157.5	211.5	52.4	115.8	67.5	77.0	22.5	0.0	20.0	11.7	1131.4
1980-81	101.0	260.3	221.5	150.4	101.8	48.4	76.0	67.5	3.5	22.5	73.0	15.8	1141.7
1981-82	233.7	144.8	313.6	23.8	159.2	124.8	91.6	36.7	25.6	1.0	5.1	15.4	1175.3
1982-83	134.4	147.3	299.4	44.8	141.3	68.5	37.4	25.6	62.8	41.8	28.2	18.2	1049.7
1983-84	80.1	240.5	226.2	194.7	172.0	94.9	135.8	26.2	0.5	0.0	30.3	50.1	1251.3
1984-85	16.0	212.4	47.3	264.1	64.2	153.4	69.9	33.5	7.5	2.1	0.3	19.5	890.2
1985-86	52.0	435.6	48.8	257.2	254.3	82.0	49.6	74.6	27.4	45.5	0.0	4.0	1331.0
1986-87	63.8	60.5	121.9	176.4	158.2	233.1	65.6	34.2	77.4	0.8	9.5	12.2	1013.6
1987-88	165.5	336.7	125.8	103.5	126.0	87.6	69.4	0.9	5.1	0.0	2.9	10.2	1033.6
1988-89	61.5	254.7	185.9	1.2	41.6	46.6	164.3	121.7	79.6	25.2	10.8	49.7	1042.8
1989-90	162.3	195.9	124.2	0.0	35.0	1.3	75.4	13.5	0.0	23.7	90.2	13.0	734.5
1990-91	64.9	111.1	310.5	38.8	138.2	54.0	102.2	97.1	3.0	101.0	0.0	46.0	1066.8
1991-92	35.5	205.0	34.0	12.0	4.0	86.7	125.5	45.0	36.0	17.6	0.0	36.2	637.5
1992-93	94.8	153.8	86.2	25.5	64.0	100.3	40.5	44.1	6.5	0.0	0.3	25.0	641.0
1993-94	12.8	220.4	272.1	165.9	113.4	9.8	110.9	97.5	0.0	18.3	13.0	2.5	1036.6
1994-95	180.2	212.8	256.1	174.7	97.2	172.6	78.5	50.6	0.0	31.9	92.3	202.0	1548.9
1995-96	0.0	128.7	210.8	64.1	174.5	137.9	86.2	48.8	57.5	0.0	47.6	46.7	1002.8
1996-97	197.8	230.8	272.3	84.4	92.0	45.9	84.2	8.8	14.6	0.0	12.9	3.5	1047.2
1997-98	122.0	131.7	282.5	43.6	151.0	33.9	13.4	58.6	1.2	0.0	9.3	85.8	933.0
1998-99	75.2	349.2	249.0	100.1	165.2	141.5	43.0	18.0	15.9	0.0	21.0	54.2	1232.3
1999-00	113.4	205.1	170.0	44.8	105.0	9.5	28.9	20.7	0.0	0.0	20.3	2.1	719.8
2000-01	108.8	153.9	157.9	182.4	62.2	58.0	159.3	118.6	14.4	0.0	4.9	6.1	1026.5
2001-02	2.6	80.7	91.6	29.6	28.5	55.2	65.7	57.3	0.0	200.0	26.0	190.4	827.6
2002-03	184.4	102.8	217.4	216.1	84.1	21.4	48.2	28.0	23.0	0.0	7.8	54.5	987.7
2003-04	146.0	37.4	157.7	162.8	35.3	73.6	101.8	28.3	11.3	10.5	16.8	58.8	840.3
2004-05	45.8	102.5	143.6	116.8	210.9	86.3	60.8	24.6	38.0	3.9	0.0	37.2	870.4
2005-06	96.0	132.0	504.8	155.0	144.9	106.5	32.2	58.0	51.3	22.4	29.0	159.5	1491.6
2006-07	42.6	117.5	60.2	43.8	120.7	98.8	62.1	67.8	62.1	0.0	0.0	30.5	706.1
2007-08	131.3	209.6	93.5	70.9	52.3	102.4	57.0	31.2	52.2	13.9	0.0	54.8	869.1
M.T	101.9	178.9	182.8	113.8	123.4	94.6	78.2	47.0	26.4	21.0	20.2	50.7	1039.0

Πίνακας 5: Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Κρεμαστά (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1968-69	56.1	121.6	284.3	104.0	251.1	172.3	45.0	43.5	39.4	10.9	3.3	53.8	1185.3
1969-70	1.1	325.9	525.3	226.2	164.3	143.8	43.7	41.4	3.5	50.5	13.0	24.8	1563.5
1970-71	195.6	125.7	125.6	115.5	229.0	316.0	61.2	105.5	13.4	44.3	13.8	109.0	1454.6
1971-72	58.6	241.5	124.7	74.5	158.7	117.8	114.7	59.5	0.0	136.1	49.5	30.3	1165.9
1972-73	292.9	46.0	31.1	149.8	275.5	196.0	78.2	6.0	27.5	32.5	19.6	39.5	1194.6
1973-74	120.0	110.5	313.2	68.3	173.0	102.7	262.4	104.1	1.8	14.4	16.1	204.2	1490.7
1974-75	193.0	140.0	92.0	54.5	81.9	118.5	25.7	55.4	79.3	11.8	30.6	19.0	901.7
1975-76	178.3	148.0	141.5	132.5	73.0	70.9	103.0	16.7	62.0	67.3	25.6	3.1	1021.9
1976-77	185.9	282.9	184.2	100.2	142.5	50.5	48.3	20.0	10.3	0.0	29.2	108.9	1162.9
1977-78	10.5	200.3	171.9	250.1	217.3	113.0	250.2	97.5	21.5	0.0	0.0	150.6	1482.9
1978-79	102.0	183.0	143.2	456.0	285.5	97.0	180.5	96.0	59.5	16.0	10.0	32.5	1661.2
1979-80	123.5	234.5	187.5	297.5	51.0	190.0	95.3	119.2	30.8	34.0	34.4	69.3	1467.0
1980-81	162.5	264.8	297.3	188.5	184.2	87.8	96.8	63.0	47.8	11.1	26.4	36.1	1466.3
1981-82	220.9	170.9	397.2	20.0	166.3	107.6	110.4	47.7	6.9	0.7	0.0	56.3	1304.9
1982-83	138.6	168.7	272.0	56.8	167.0	67.1	17.8	68.7	83.1	24.7	11.0	56.0	1131.5
1983-84	55.3	196.0	148.7	184.7	152.5	96.7	152.3	80.5	12.7	0.0	47.7	96.1	1223.2
1984-85	3.3	208.1	43.7	220.8	94.5	164.2	69.9	39.6	18.7	2.4	1.0	5.0	871.2
1985-86	48.1	423.9	38.6	256.2	266.1	86.6	94.1	61.6	40.8	65.4	0.4	16.4	1398.2
1986-87	53.8	58.3	107.6	127.5	146.2	239.2	94.9	70.0	81.7	15.2	2.4	3.7	1000.5
1987-88	174.7	322.9	204.6	79.0	158.1	95.7	74.9	5.1	14.7	0.0	0.6	11.0	1141.3
1988-89	82.7	313.4	143.8	0.0	73.4	23.8	131.0	75.2	62.2	45.2	37.2	70.7	1058.6
1989-90	118.3	147.9	113.1	2.3	32.0	3.6	79.0	40.8	7.4	2.2	47.7	24.3	618.6
1990-91	91.9	123.3	335.9	28.4	102.7	73.8	114.6	168.1	25.7	37.0	5.5	16.2	1123.1
1991-92	54.8	254.3	18.2	8.8	12.0	86.7	213.1	70.0	60.3	45.3	1.0	43.0	867.5
1992-93	113.2	223.0	120.7	10.6	57.0	167.6	37.0	122.7	3.8	0.0	13.0	17.5	886.1
1993-94	32.0	193.0	216.1	143.1	107.4	16.9	135.0	51.8	0.2	18.7	11.8	15.0	941.0
1994-95	105.1	207.2	223.0	177.1	102.8	170.7	56.1	45.7	1.0	13.7	54.1	114.3	1270.8
1995-96	10.0	120.8	227.3	66.6	190.4	151.2	99.7	27.9	30.3	3.6	27.4	65.8	1021.0
1996-97	198.6	294.7	256.3	70.2	57.5	83.0	100.6	5.2	18.8	1.3	28.4	8.0	1122.6
1997-98	254.2	123.9	269.0	47.6	124.8	36.9	24.3	108.8	6.5	0.0	12.5	204.5	1213.0
1998-99	88.2	245.1	237.7	97.2	211.2	167.6	98.0	18.0	2.4	57.1	1.7	24.4	1248.6
1999-00	130.5	246.6	231.3	72.5	126.6	47.7	34.0	16.0	15.1	7.8	0.0	13.5	941.6
2000-01	78.5	108.8	107.4	157.5	75.9	63.9	177.3	55.0	38.4	6.2	5.8	42.0	916.7
2001-02	0.5	93.5	180.5	49.4	35.9	66.3	130.3	59.6	2.0	110.2	67.2	139.0	934.4
2002-03	188.2	97.5	142.1	218.8	108.1	10.8	44.4	50.8	47.2	0.5	29.5	41.8	979.7
2003-04	302.1	53.3	130.7	221.6	55.3	91.3	104.4	103.5	18.6	45.2	0.0	68.5	1194.5
2004-05	74.1	82.7	170.6	109.8	234.2	109.9	87.9	61.7	19.2	3.8	5.6	86.3	1045.8
2005-06	13.3	169.5	405.8	143.1	199.7	140.6	85.5	8.0	22.9	29.5	17.5	95.4	1330.8
2006-07	73.3	111.3	75.2	85.2	106.1	59.7	68.1	82.1	51.9	0.0	0.0	38.1	751.0
2007-08	143.2	269.9	102.1	54.8	28.0	143.7	49.1	12.8	61.9	20.7	0.0	80.4	966.6
Μ.Τ	113.2	186.3	188.5	123.2	137.0	108.7	97.2	59.6	28.8	24.6	17.5	58.4	1143.0

Πίνακας 6: Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Μεσοχώρα (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1989-90	261.8	336.2	146.9	8.6	59.6	15.9	183.3	117.6	4.8	13.2	58.9	28.3	1235.1
1990-91	159.6	174.8	679.7	46.4	259.7	66.4	195.3	205.2	27.1	71.7	35.5	10.1	1931.5
1991-92	126.9	312.3	35.5	37.0	40.5	100.5	258.4	108.3	32.9	44.5	0.1	37.3	1134.2
1992-93	283.8	204.8	267.8	54.1	143.4	205.5	89.5	124.8	9.8	0.0	5.0	45.5	1434.0
1993-94	38.7	319.8	413.9	222.3	233.9	20.4	201.9	54.8	20.0	41.6	18.8	44.7	1630.8
1994-95	151.8	229.1	394.9	356.5	127.8	271.4	87.1	104.3	11.6	75.4	60.1	126.5	1996.5
1995-96	0.0	239.5	438.1	105.3	410.2	239.2	117.3	55.6	20.3	69.6	29.7	227.8	1952.6
1996-97	195.1	519.1	492.2	127.6	71.9	183.5	140.2	7.0	23.0	5.6	46.5	14.4	1826.1
1997-98	376.9	225.5	350.5	91.5	151.1	75.7	99.9	194.6	26.4	1.3	47.2	122.6	1763.2
1998-99	116.7	393.3	342.2	120.1	258.8	247.7	138.2	20.8	49.7	68.5	32.2	62.3	1850.5
1999-00	151.4	350.4	453.1	150.7	200.0	95.9	94.6	28.0	70.7	22.8	12.3	21.2	1651.1
2000-01	112.6	170.4	238.2	165.6	132.6	62.9	174.4	34.9	15.7	43.3	53.1	33.2	1236.9
2001-02	2.2	289.4	407.8	127.6	43.8	116.7	216.1	37.5	15.1	63.8	51.9	280.2	1652.1
2002-03	156.8	67.2	251.2	414.0	237.0	37.0	72.5	40.8	10.1	47.0	32.4	61.4	1427.4
2003-04	564.9	74.2	179.7	337.4	142.2	273.4	130.2	156.2	32.0	128.7	2.4	165.9	2187.2
2004-05	158.6	228.6	280.1	379.7	439.3	243.4	85.3	78.0	46.3	19.7	13.3	63.3	2035.6
2005-06	47.4	237.1	763.9	174.3	244.6	340.5	122.9	13.6	56.5	94.1	52.7	173.6	2321.2
2006-07	55.7	155.9	77.9	201.4	154.4	178.1	60.1	71.9	47.9	3.3	25.6	86.9	1119.1
2007-08	191.1	442.0	154.8	80.0	87.0	203.9	62.0	14.3	52.0	20.4	18.5	160.4	1486.4
Μ.Τ	165.9	261.6	335.2	168.4	180.9	156.7	133.1	77.3	30.1	43.9	31.4	92.9	1677.4

Πίνακας 7: Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Προυσός (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1989-90	280.0	187.1	120.1	0.3	43.1	30.3	89.5	53.0	20.0	6.4	118.4	14.5	962.7
1990-91	118.6	185.6	704.3	80.1	238.0	109.6	124.8	142.0	27.4	77.0	68.0	7.3	1882.7
1991-92	92.5	302.1	83.9	19.5	21.0	149.5	193.5	89.6	41.4	105.9	14.4	76.6	1189.9
1992-93	176.0	300.5	199.4	32.5	92.3	192.2	97.8	174.9	43.7	3.5	40.6	34.0	1387.4
1993-94	17.4	307.6	420.9	234.8	237.2	29.6	229.9	107.5	5.1	15.2	37.3	7.7	1650.2
1994-95	177.7	220.2	195.2	253.8	148.7	263.1	72.5	90.4	29.8	41.9	127.7	194.9	1815.9
1995-96	5.8	216.1	319.0	96.8	421.1	262.5	119.7	69.7	86.8	53.9	60.7	108.9	1821.0
1996-97	225.3	520.6	424.5	154.4	74.3	120.4	166.5	21.7	28.8	4.3	97.0	12.1	1849.9
1997-98	219.6	184.4	502.5	109.7	244.2	110.9	42.0	96.3	18.7	1.1	4.5	143.1	1677.0
1998-99	136.4	366.1	350.9	207.9	249.2	229.8	85.0	30.4	14.7	82.1	53.7	36.1	1842.3
1999-00	246.8	445.2	462.0	154.6	240.7	79.8	57.7	25.1	83.0	17.0	0.0	12.4	1824.3
2000-01	128.2	145.6	165.2	236.3	125.9	73.2	242.4	92.7	28.0	18.0	10.2	45.5	1311.2
2001-02	0.5	211.7	340.7	64.7	49.8	104.6	222.4	60.7	22.1	218.6	75.6	230.2	1601.6
2002-03	186.8	193.2	316.9	408.4	285.1	14.1	76.0	47.6	115.4	96.2	51.6	72.7	1864.0
2003-04	352.4	100.7	204.5	414.0	79.2	234.4	116.1	100.0	29.2	53.1	1.8	79.1	1764.5
2004-05	96.0	152.3	308.7	216.0	445.4	243.6	97.8	77.9	82.0	16.6	3.0	34.4	1773.7
2005-06	84.5	323.9	816.5	223.4	282.0	355.6	106.2	18.2	45.2	62.2	15.3	200.1	2533.1
2006-07	104.6	201.8	72.9	83.6	161.9	159.4	61.0	106.2	64.2	0.1	0.0	65.8	1081.5
2007-08	208.0	297.9	172.0	110.7	31.3	177.6	68.0	14.2	105.7	50.4	2.0	101.8	1339.6
Μ.Τ	150.4	255.9	325.3	163.2	182.7	154.7	119.4	74.6	46.9	48.6	41.1	77.7	1640.7

Πίνακας 8: Μηνιαία ύψη βροχής (mm), βροχομετρικός σταθμός Φουσιανά (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1968-69	93.1	119.4	259.3	188.3	303.3	132.2	41.4	21.5	32.1	40.7	9.4	88.9	1329.6
1969-70	1.1	213.8	499.9	201.0	197.0	93.7	52.8	61.7	77.9	30.8	11.2	41.2	1482.1
1970-71	148.4	132.2	104.4	286.9	265.8	326.8	19.9	21.3	2.0	60.8	22.0	97.8	1488.3
1971-72	10.3	156.4	124.2	166.8	162.4	107.4	148.4	86.5	4.8	85.4	49.7	60.2	1162.5
1972-73	192.0	37.8	45.0	130.8	287.5	218.6	104.6	36.0	44.7	40.3	13.5	51.1	1201.9
1973-74	191.1	93.0	133.6	52.5	204.5	145.5	188.0	42.5	42.7	13.8	8.3	112.8	1228.3
1974-75	177.1	149.2	115.2	40.8	86.0	98.5	62.2	53.9	75.1	78.0	33.0	8.0	977.0
1975-76	122.2	178.1	121.7	145.2	81.9	89.1	95.6	43.6	77.1	93.2	20.1	17.5	1085.3
1976-77	100.1	134.0	187.2	118.6	117.0	44.7	63.0	56.0	14.8	1.7	30.1	98.2	965.4
1977-78	8.8	260.2	151.3	158.2	270.9	112.2	228.3	78.5	20.7	0.2	0.0	112.1	1401.4
1978-79	39.8	184.2	122.3	290.1	229.3	91.1	226.2	162.5	27.7	32.9	21.5	43.1	1470.7
1979-80	124.0	177.7	194.7	212.0	26.8	206.1	112.7	133.5	27.4	4.5	18.3	25.9	1263.6
1980-81	253.9	168.3	264.2	136.3	193.0	30.3	36.6	115.5	24.4	26.9	12.6	35.1	1297.1
1981-82	207.7	151.4	363.8	44.2	129.2	103.9	100.5	110.2	60.4	3.9	19.0	38.6	1332.8
1982-83	72.1	198.1	299.1	46.6	104.2	72.1	30.2	42.4	76.1	17.9	27.1	32.5	1018.4
1983-84	60.9	172.4	160.3	119.0	173.3	91.8	134.8	42.2	8.2	8.0	48.5	103.5	1122.9
1984-85	5.7	123.4	47.5	375.9	103.5	211.4	83.4	52.5	1.0	15.7	6.2	6.4	1032.6
1985-86	58.9	365.5	51.5	283.7	308.7	80.2	77.0	87.6	61.6	37.1	3.8	42.0	1457.6
1986-87	43.0	55.1	123.3	245.1	161.1	166.5	80.7	74.5	50.0	5.7	22.6	30.1	1057.7
1987-88	199.3	318.3	197.9	104.6	169.8	120.7	97.0	9.8	18.7	3.6	65.3	18.6	1323.6
1988-89	30.6	266.3	241.4	0.0	141.3	111.4	129.6	89.8	47.2	17.3	15.0	26.9	1116.8
1989-90	241.9	127.4	84.8	4.0	34.6	7.7	109.0	81.5	5.5	12.8	60.1	11.2	780.5
1990-91	105.9	137.9	529.1	20.0	149.5	59.3	124.5	145.0	6.3	34.7	50.5	13.6	1376.3
1991-92	49.1	197.2	22.8	10.6	13.5	97.6	200.6	54.4	39.5	38.2	0.0	55.1	778.6
1992-93	125.9	171.3	189.7	19.1	81.2	118.8	58.8	109.2	39.8	0.0	9.2	54.1	977.1
1993-94	23.9	257.9	340.1	173.3	159.1	20.9	144.0	79.2	25.2	90.3	53.0	20.1	1387.0
1994-95	155.8	185.0	297.9	181.2	94.8	226.0	73.8	76.5	11.7	28.9	53.6	176.0	1561.2
1995-96	0.9	155.6	308.5	70.8	338.3	176.1	100.9	96.6	48.1	43.5	89.1	131.7	1560.1
1996-97	217.1	362.6	429.0	137.8	52.3	98.2	110.4	33.6	12.8	7.6	145.5	3.2	1610.1
1997-98	285.6	152.3	303.4	84.8	275.1	50.8	44.0	121.8	0.3	1.8	46.1	96.6	1462.6
1998-99	71.0	397.1	284.3	136.0	233.6	169.8	87.2	22.6	11.0	26.8	16.6	28.0	1484.0
1999-00	101.1	220.0	326.9	94.4	156.9	58.0	63.9	21.4	45.5	29.5	3.7	15.2	1136.5
2000-01	126.6	158.2	128.5	157.8	101.1	58.2	182.6	82.5	25.6	32.3	115.1	88.3	1256.8
2001-02	0.4	99.6	274.2	61.5	27.6	67.1	179.0	51.9	43.1	120.5	84.8	223.7	1233.4
2002-03	198.4	101.1	260.1	325.5	169.5	13.6	70.2	59.3	93.9	21.6	41.7	62.0	1416.9
2003-04	397.4	60.5	163.6	227.7	89.6	178.4	134.2	152.7	38.6	45.3	4.9	237.6	1730.5
2004-05	97.1	193.1	229.9	252.2	321.8	95.3	59.8	59.1	81.1	28.0	9.9	30.4	1457.7
2005-06	81.0	167.9	472.2	193.6	266.7	228.6	112.2	18.8	47.8	74.1	72.6	162.6	1898.1
2006-07	49.5	204.6	61.3	101.5	121.4	168.1	71.4	95.4	43.7	7.2	6.3	80.1	1010.5
2007-08	204.5	202.6	125.7	93.9	37.7	152.2	52.9	15.1	43.1	18.7	26.4	94.1	1066.9
Μ.Τ	116.8	180.2	216.0	142.3	161.0	117.5	102.3	70.0	36.4	32.0	33.7	66.9	1275.0

Πίνακας 9: Μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχής (mm), ανηγμένα στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Κρεμαστών).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1968-69	281.5	341.8	509.1	377.0	504.1	366.8	240.2	217.1	216.0	216.3	198.6	263.3	1742.5
1969-70	199.3	478.5	796.0	441.0	400.6	329.3	247.6	245.3	219.1	225.5	203.8	226.3	2022.8
1970-71	368.8	351.1	322.7	454.7	471.2	556.6	231.6	243.2	200.2	237.6	208.6	288.2	1945.0
1971-72	226.0	411.0	336.0	348.1	376.8	327.7	341.3	270.9	197.3	281.4	236.5	238.8	1602.3
1972-73	433.0	263.3	234.5	355.3	504.9	434.4	296.8	211.7	216.3	223.7	207.8	237.1	1629.3
1973-74	371.0	321.6	436.3	261.3	409.0	346.8	426.0	258.0	208.6	204.8	204.0	330.9	1789.0
1974-75	387.4	366.9	313.5	246.5	296.2	322.0	247.1	245.6	239.3	234.3	220.9	205.7	1335.7
1975-76	344.8	387.3	342.6	358.1	289.8	295.9	300.2	221.7	235.0	260.9	213.3	205.2	1465.5
1976-77	332.4	413.8	409.3	324.1	341.7	257.8	256.4	232.1	203.0	194.1	219.0	288.4	1482.7
1977-78	207.9	457.0	378.3	420.3	469.3	328.9	449.2	281.2	207.8	193.4	193.2	311.2	1908.0
1978-79	261.5	404.7	343.9	609.3	473.2	308.1	420.7	341.3	220.3	214.4	206.6	230.1	2044.8
1979-80	326.5	421.0	416.2	481.0	246.1	423.6	309.0	330.2	212.3	207.3	216.6	233.8	1834.2
1980-81	428.9	427.3	519.0	376.6	406.8	263.7	257.0	293.3	216.1	209.9	210.5	227.0	1846.6
1981-82	418.2	380.3	637.8	233.5	359.5	321.1	306.5	283.0	215.0	195.3	201.0	236.2	1798.1
1982-83	296.5	407.4	530.6	251.8	344.4	283.0	221.9	242.9	240.6	210.4	209.4	232.7	1482.1
1983-84	259.3	402.7	373.0	362.2	380.8	308.5	346.5	247.7	201.8	197.0	235.2	286.7	1612.0
1984-85	203.2	378.2	242.5	567.2	312.5	416.4	278.9	237.9	201.4	201.5	196.2	199.7	1446.0
1985-86	255.4	607.7	242.7	515.3	513.9	296.5	283.9	272.6	224.8	233.7	194.9	223.7	1875.7
1986-87	246.6	278.5	326.8	429.3	370.5	417.5	286.8	266.6	232.8	201.3	203.6	212.5	1483.4
1987-88	396.0	539.9	426.9	304.3	381.1	327.4	290.3	192.5	205.3	194.9	220.3	208.7	1698.2
1988-89	248.4	505.0	426.8	192.1	326.7	291.3	334.6	279.9	226.6	217.3	216.5	234.9	1510.7
1989-90	400.9	384.4	303.3	185.6	236.1	194.3	323.1	270.2	189.8	191.5	265.5	205.9	1161.2
1990-91	317.0	353.5	753.6	238.7	380.1	260.1	351.5	378.0	207.3	236.3	253.8	188.9	1929.4
1991-92	270.4	448.7	227.4	199.1	218.2	315.5	409.7	276.4	213.5	228.8	182.9	225.9	1227.1
1992-93	378.7	397.8	439.0	243.6	296.8	372.7	258.4	322.7	206.7	181.5	192.4	230.1	1530.8
1993-94	215.0	490.9	543.6	392.5	379.6	210.1	384.8	257.2	195.3	224.4	215.4	203.6	1723.1
1994-95	360.4	380.3	468.2	445.2	290.4	418.6	263.1	286.5	192.9	234.6	262.9	351.3	1964.9
1995-96	189.0	369.2	528.8	278.1	521.2	382.7	286.7	257.1	213.1	227.1	243.9	340.8	1848.4
1996-97	398.1	579.5	585.9	330.7	242.5	315.9	309.0	218.3	201.6	185.3	263.1	196.2	1836.8
1997-98	469.1	362.2	521.8	264.6	371.7	281.2	240.8	339.7	193.7	182.6	212.6	317.6	1768.2
1998-99	286.0	534.9	482.4	304.8	405.2	378.5	282.7	204.0	198.0	228.5	204.6	228.1	1748.5
1999-00	326.1	487.4	525.4	293.1	371.3	250.2	252.5	202.6	226.7	200.7	185.0	202.7	1534.2
2000-01	304.6	330.2	339.5	360.9	304.9	252.4	369.8	243.0	206.7	209.7	234.9	229.3	1396.5
2001-02	189.5	353.6	499.0	257.3	220.5	288.1	385.5	230.4	205.3	287.3	247.5	386.2	1560.9
2002-03	341.4	287.7	429.5	539.1	389.8	224.1	259.9	229.4	230.9	220.5	231.8	239.6	1634.4
2003-04	621.2	259.0	329.8	484.4	284.5	370.9	296.5	310.0	207.3	255.0	185.3	328.8	1943.1
2004-05	298.7	350.4	392.3	420.4	532.6	360.5	261.7	257.8	241.2	202.7	192.5	239.6	1761.0
2005-06	244.7	399.2	755.5	372.2	460.7	433.9	307.9	196.8	227.0	241.9	226.5	327.7	2204.5
2006-07	259.9	339.3	248.9	300.3	333.5	331.9	242.5	263.5	236.0	189.5	193.8	248.3	1198.0
2007-08	355.3	490.2	319.1	252.9	240.8	359.9	245.5	200.9	238.2	198.3	194.0	295.5	1401.3
M.T	318.0	403.6	431.4	351.8	366.5	330.6	302.6	259.0	214.3	217.0	215.1	252.7	1673.2

Πίνακας 10: Μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχής (mm), ανηγμένα στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Καστρακίου).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1968-69	264.3	323.9	488.6	354.6	482.4	350.7	225.5	204.5	203.7	201.6	184.1	249.5	1682.7
1969-70	184.4	462.3	769.3	421.4	380.2	313.4	232.0	229.7	204.3	211.9	189.5	211.7	1959.3
1970-71	355.8	333.5	307.2	426.3	452.1	536.7	218.5	232.4	186.2	223.1	194.7	274.1	1889.8
1971-72	214.0	395.4	319.6	326.6	360.7	310.8	323.9	255.9	183.0	271.8	222.7	224.4	1557.8
1972-73	420.2	244.9	219.3	338.7	484.8	415.0	279.3	196.6	204.9	209.2	195.0	223.5	1580.6
1973-74	350.8	303.7	424.3	247.1	389.0	326.8	410.6	245.3	193.8	190.6	190.0	321.8	1742.9
1974-75	371.2	349.4	295.9	232.1	280.0	305.0	229.9	231.9	228.8	217.9	207.6	193.0	1291.8
1975-76	332.2	368.1	327.4	339.1	273.1	277.7	285.5	207.4	224.8	247.5	199.3	190.4	1421.6
1976-77	322.8	405.3	389.5	306.2	325.1	241.2	240.7	216.1	188.7	179.9	205.7	273.8	1444.1
1977-78	193.1	435.4	360.7	404.5	447.3	310.8	432.1	265.7	194.4	179.1	178.9	298.8	1850.2
1978-79	249.1	386.2	328.2	590.8	455.5	291.5	400.0	322.3	208.4	199.6	192.3	214.9	1987.8
1979-80	311.0	407.1	396.7	463.4	231.0	402.6	291.9	312.9	199.3	194.0	203.0	220.6	1782.5
1980-81	406.0	414.2	498.1	360.6	386.8	249.1	244.8	275.9	203.3	195.7	198.3	212.5	1794.5
1981-82	403.4	362.7	614.2	217.4	344.1	304.5	291.1	264.8	200.9	181.0	186.4	222.2	1741.8
1982-83	284.9	387.5	509.3	236.7	329.8	266.0	207.1	229.3	230.3	197.4	195.4	219.0	1441.9
1983-84	244.4	387.2	357.0	348.4	363.1	291.6	331.2	234.4	187.6	182.5	221.3	271.8	1569.9
1984-85	188.5	364.7	227.7	538.4	294.4	395.5	263.0	223.2	187.7	186.9	181.8	185.7	1386.7
1985-86	239.7	593.4	227.7	493.2	493.4	279.8	268.4	257.1	212.0	221.5	180.6	208.0	1824.0
1986-87	232.4	260.7	310.0	405.5	353.0	403.0	271.6	251.2	223.1	187.3	189.1	197.2	1433.0
1987-88	378.5	522.7	406.6	287.3	362.4	308.6	273.6	179.1	191.3	180.6	204.5	194.1	1638.6
1988-89	235.7	488.1	404.7	178.1	305.7	270.4	319.8	265.8	216.2	204.5	202.8	222.7	1463.7
1989-90	379.6	365.2	288.9	172.7	220.6	180.4	302.9	251.6	176.8	178.6	249.5	192.6	1108.7
1990-91	298.3	334.5	714.7	222.3	357.0	245.9	331.5	359.1	193.5	222.9	233.5	178.1	1840.3
1991-92	252.6	431.4	211.6	185.4	202.1	296.9	392.4	259.3	203.3	214.9	170.1	213.2	1182.4
1992-93	354.9	382.7	409.4	224.8	277.3	353.7	241.2	305.1	192.3	168.8	179.6	214.5	1453.4
1993-94	201.4	465.5	516.7	372.4	356.6	195.8	362.8	243.4	181.5	210.5	201.0	189.8	1646.6
1994-95	341.4	368.2	450.2	421.2	276.5	398.8	248.2	267.0	179.1	217.6	247.6	335.4	1900.4
1995-96	176.1	348.9	502.3	261.6	492.7	363.8	273.0	240.7	201.4	209.9	228.9	317.2	1765.6
1996-97	383.6	553.5	559.1	309.9	230.1	295.9	292.6	202.4	188.5	172.4	246.4	182.4	1766.0
1997-98	449.5	343.0	501.1	248.2	355.4	260.6	223.8	319.6	180.0	169.9	198.3	307.7	1706.2
1998-99	270.4	515.0	463.0	289.9	390.3	361.3	267.9	190.8	184.1	214.8	190.1	213.4	1700.2
1999-00	310.3	465.1	499.0	275.2	350.6	234.0	235.6	189.6	210.6	186.9	172.5	188.7	1467.3
2000-01	288.2	314.9	322.0	346.0	286.3	238.4	355.3	231.9	194.7	194.7	219.0	216.3	1357.1
2001-02	175.9	330.5	468.6	241.0	207.0	269.8	362.8	218.8	190.9	277.9	234.4	368.6	1495.4
2002-03	332.6	274.1	408.2	511.1	365.0	207.6	243.6	216.7	218.7	203.3	216.2	225.7	1572.2
2003-04	589.0	242.9	316.4	459.7	266.0	347.3	283.2	293.4	194.1	237.7	172.7	310.3	1861.9
2004-05	280.3	330.0	375.3	395.0	506.4	337.7	248.5	242.1	225.4	188.4	179.0	227.8	1685.3
2005-06	229.6	379.1	725.2	355.0	438.0	408.1	289.2	184.8	212.8	226.2	212.1	311.9	2121.2
2006-07	245.1	323.3	236.5	282.6	315.6	311.4	230.7	250.8	223.0	176.0	179.7	232.8	1156.6
2007-08	340.0	468.9	302.2	239.6	224.9	341.9	231.2	187.9	225.4	185.9	180.4	278.1	1355.6
M.T	302.0	385.8	411.3	333.2	347.8	312.5	286.4	243.9	201.2	203.0	200.9	238.4	1615.7

Πίνακας 11: Μηνιαία επιφανειακά ύψη βροχής (mm), ανηγμένα στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Στράτου).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
1968-69	262.1	321.7	485.1	349.9	477.8	349.1	224.1	203.7	203.2	200.2	182.7	249.9	1667.1
1969-70	183.0	457.6	765.0	417.4	375.6	311.1	229.9	227.2	202.3	209.9	188.0	210.5	1935.1
1970-71	355.6	332.3	306.1	418.9	450.2	534.7	217.3	231.6	184.8	221.0	194.0	271.4	1875.4
1971-72	214.5	392.8	318.2	322.9	361.1	308.9	321.6	255.1	182.1	272.9	221.2	223.9	1552.5
1972-73	417.5	241.8	217.4	337.1	480.9	412.4	276.0	194.6	206.5	207.1	195.5	223.4	1567.8
1973-74	346.5	300.7	425.1	246.7	384.8	323.0	406.5	243.2	192.1	189.1	188.5	322.2	1726.0
1974-75	368.0	348.4	293.1	231.2	279.2	302.6	227.0	231.0	228.3	215.0	207.3	193.6	1282.3
1975-76	332.1	365.6	327.2	335.5	271.7	274.6	284.5	206.7	225.9	246.7	197.9	188.9	1414.8
1976-77	325.3	410.3	385.3	303.6	323.1	239.1	238.9	213.6	187.1	178.9	205.2	270.3	1438.1
1977-78	191.9	430.7	358.0	402.4	441.9	307.7	428.7	261.9	193.6	177.9	177.7	297.2	1827.0
1978-79	248.5	383.2	327.3	586.0	452.0	290.0	394.2	318.7	207.2	197.5	190.9	212.3	1965.4
1979-80	309.4	408.3	393.4	460.5	229.9	397.2	288.7	309.2	198.3	192.5	201.8	218.5	1765.3
1980-81	399.1	414.9	494.1	358.9	381.7	247.4	244.5	273.1	201.6	194.7	199.5	210.6	1777.5
1981-82	402.6	360.2	609.6	215.4	343.3	303.4	289.1	261.1	199.7	179.7	185.0	220.0	1726.7
1982-83	285.4	383.8	507.4	235.1	329.0	264.0	206.2	227.3	230.0	197.3	194.6	217.1	1434.7
1983-84	243.9	387.7	357.9	349.1	361.6	289.8	329.4	232.3	186.2	181.1	219.8	268.9	1565.3
1984-85	187.6	365.3	226.3	532.6	291.2	391.6	261.1	221.5	186.6	185.4	180.5	185.0	1372.2
1985-86	238.1	594.0	226.2	490.0	490.3	277.9	265.7	255.5	210.7	220.9	179.3	205.6	1811.9
1986-87	231.7	258.6	308.4	401.6	351.4	403.1	269.3	248.4	223.7	185.9	187.7	195.5	1422.8
1987-88	375.8	521.7	401.8	285.8	359.2	305.6	271.2	178.0	189.9	179.3	202.1	192.6	1620.5
1988-89	235.1	485.4	401.4	176.9	300.6	266.7	319.6	265.9	217.0	203.7	201.3	222.0	1453.2
1989-90	376.8	364.1	288.3	171.7	218.9	179.3	299.2	247.6	175.7	178.4	249.2	191.3	1098.0
1990-91	294.6	331.4	704.2	220.9	354.1	244.3	327.8	354.1	191.8	224.1	229.8	178.8	1813.4
1991-92	249.7	428.5	210.6	184.4	200.0	294.4	387.4	256.6	202.8	213.3	169.3	212.2	1166.6
1992-93	349.9	380.1	401.4	222.4	274.3	349.4	239.1	300.7	190.8	168.0	178.5	212.7	1425.0
1993-94	199.7	461.1	512.6	369.9	352.7	194.3	358.5	243.6	180.1	208.5	199.4	188.1	1626.1
1994-95	340.6	368.1	447.5	416.8	275.5	395.6	247.2	264.0	178.0	215.9	247.5	335.9	1890.2
1995-96	175.1	345.9	495.8	259.5	485.7	360.8	271.6	238.7	202.0	207.3	227.4	311.6	1739.0
1996-97	382.1	546.8	553.0	306.5	230.6	291.6	290.3	200.4	187.6	171.5	242.8	181.1	1741.9
1997-98	441.7	340.3	498.9	246.0	353.2	257.3	221.1	314.5	178.8	169.0	196.5	305.1	1680.0
1998-99	268.7	514.0	460.5	288.6	387.4	358.5	264.7	189.9	183.3	212.4	189.4	212.8	1687.6
1999-00	308.9	461.2	492.0	272.0	346.7	231.0	233.1	188.8	208.2	185.3	172.3	187.2	1444.2
2000-01	286.8	314.2	321.3	345.7	283.1	237.2	353.7	233.5	193.6	192.7	215.9	213.8	1349.1
2001-02	174.8	326.3	459.0	238.3	205.8	267.0	356.7	218.5	189.1	281.5	232.1	367.3	1473.9
2002-03	332.9	273.7	406.5	504.9	359.8	205.8	241.6	215.1	217.2	201.3	213.7	224.8	1555.0
2003-04	576.1	240.7	316.3	454.1	262.4	342.1	281.9	288.5	192.7	234.3	172.4	305.4	1824.3
2004-05	276.6	326.4	372.4	389.1	500.6	333.7	247.1	239.3	223.9	186.9	177.8	226.1	1657.3
2005-06	230.1	375.6	723.1	352.9	431.9	402.1	284.6	185.7	212.2	223.9	210.4	311.9	2101.9
2006-07	243.1	321.1	235.4	278.7	313.6	308.5	229.9	249.6	222.6	174.8	178.3	230.5	1143.7
2007-08	337.7	464.3	299.9	239.0	223.7	338.1	230.1	187.5	224.8	185.2	179.0	274.9	1341.7
M.T	300.0	383.7	408.3	330.5	344.9	309.8	284.0	241.9	200.3	201.8	199.6	236.8	1599.0

Πίνακας 12: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), μετεωρολογικός σταθμός Καστράκι (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	16.5	12.4	10.0	8.4	12.0	14.8	16.0	21.2	24.5	29.3	27.4	23.1	18.0
1990-91	20.6	14.3	9.3	8.2	9.2	13.4	14.8	17.0	24.8	26.6	26.8	24.1	17.4
1991-92	19.7	14.1	6.8	8.7	7.8	11.4	14.0	19.6	24.3	26.5	29.4	23.4	17.1
1992-93	20.0	15.6											
1993-94													
1994-95													
1995-96													
1996-97				9.3	8.8	10.3	10.2	19.7	23.9	25.6	24.3	22.4	17.2
1997-98	16.9	13.8	9.2	9.5	10.9	9.2	14.8	19.0	24.8	28.0	29.0	22.4	17.3
1998-99	18.9	13.1	8.3	8.4	7.3	10.9	15.3	20.1	24.8	26.5	28.2	23.8	17.1
1999-00	20.3	12.7	11.0	5.7	8.6	10.7	16.3	20.3	25.3	27.6	28.0	22.6	17.4
2000-01	19.3	16.0	11.0	9.8	9.7	13.9	13.8	20.2	22.3	27.3	28.5	23.0	17.9
2001-02	20.3	13.1	5.7	6.4	11.0	13.4	14.2	19.7	24.7	26.8	24.8	21.3	16.8
2002-03	17.9	14.4	9.2	9.9	5.6	10.2	13.2	22.2	27.1	27.4	28.9	22.6	17.4
2003-04	18.5	14.3	9.3	7.0	8.9	11.5	14.9	17.2	23.3	26.6	26.4	23.0	16.7
2004-05	20.4	12.9	10.6	8.1	6.1	10.7	13.6	19.8	22.8	26.6	26.5	23.4	16.8
2005-06	17.5	12.0	9.1	6.2	8.5	10.8	15.4	19.0	23.3	26.5	26.9	22.4	16.5
2006-07	18.7	12.4	10.1	10.3	9.7	12.1	15.7	20.5	25.2	29.1	28.3	22.4	17.9
2007-08	18.1	12.7	8.2	8.4	9.2	12.6	14.7	19.2	25.3	26.8	29.4	22.7	17.3
Μ.Τ	18.6	13.2	9.2	8.3	8.8	11.4	14.5	19.8	24.6	27.0	27.3	22.7	17.3

Πίνακας 13: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), μετεωρολογικός σταθμός Κρεμαστά (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	15.8	11.6	8.3	6.4	9.2	12.2	13.3	18.4	22.7	27.2	25.2	22.1	16.0
1990-91	18.8	13.2	7.4	6.1	6.7	11.7	12.3	14.6	23.3	24.6	25.1	22.1	15.5
1991-92	18.5	11.8	2.6	6.1	5.9	9.0	13.5	17.3	21.9	24.6	27.9	22.7	15.2
1992-93	18.8	13.5	7.6	7.6	5.5	9.0	13.7	17.8	24.7	25.3	27.6	21.6	16.1
1993-94	17.2	10.5	8.6	7.5	7.2	10.2	14.0	19.0	22.6	25.2	25.8	22.8	15.9
1994-95	18.8	12.0	7.1	6.7	9.6	8.8	12.2	17.8	23.3	25.7	24.3	21.0	15.6
1995-96	16.4	9.1	9.6	7.4	6.8	7.1	12.0	19.1	23.1	25.7	25.8	18.9	15.1
1996-97	14.9	12.6	9.3	8.7	8.3	9.1	9.5	19.6	23.9	25.7	22.8	22.0	15.5
1997-98	15.3	12.1	7.2	7.5	9.1	7.0	14.0	17.4	24.2	27.3	28.1	21.0	15.9
1998-99	17.5	10.8	5.7	7.0	5.0	9.4	14.6	23.4	24.1	25.4	27.8	22.8	16.1
1999-00	19.1	11.9	8.7	4.0	6.9	9.0	15.2	19.4	24.7	26.8	27.2	21.7	16.2
2000-01	17.2	14.7	9.3	8.5	8.3	13.1	12.9	19.4	23.0	26.1	27.1	21.6	16.8
2001-02	19.3	10.9	4.1	6.3	10.0	11.5	13.3	18.9	24.0	26.1	24.0	19.4	15.7
2002-03	15.9	13.2	7.5	8.6	3.7	9.3	12.6	21.3	25.1	26.7	26.3	21.1	15.9
2003-04	17.1	13.3	7.9	4.9	7.6	10.0	13.0	16.0	22.0	25.0	25.2	21.3	15.3
2004-05	18.3	11.2	8.7	6.0	5.1	10.2	12.9	18.7	22.5	26.1	25.6	22.3	15.6
2005-06	16.2	11.1	7.5	5.2	6.9	9.8	15.0	18.9	21.6	25.3	25.7	21.6	15.4
2006-07	17.5	11.3	8.4	8.7	8.2	10.7	14.7	19.5	24.2	27.2	26.4	21.1	16.5
2007-08	18.7	11.2	6.1	6.8	7.3	11.4	14.0	19.2	24.1	26.8	28.2	21.5	16.3
Μ.Τ	17.4	11.9	7.5	6.8	7.2	9.9	13.3	18.7	23.4	25.9	26.1	21.5	15.8

Πίνακας 14: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), μετεωρολογικός σταθμός Αγρίνιο (Πηγή: ΕΜΥ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	15.7	12.2	9.2	5.9	9.6	13.2	15.9	20.8	25.0	27.8	26.1	22.3	17.0
1990-91	19.4	14.5	9.1	6.7	8.9	13.2	14.4	17.4	25.1	25.6	25.4	22.8	16.9
1991-92	18.6	13.0	5.1	6.6	6.9	10.2	15.2	19.8	23.9	26.0	27.9	22.5	16.3
1992-93	19.9	13.3	8.5	7.1	6.1	10.3	15.5	20.3	25.4	26.7	27.4	22.3	16.9
1993-94	19.4	12.7	10.8	9.7	9.4	12.4	16.2	21.2	24.8	27.4	28.0	25.0	18.1
1994-95	19.3	12.3	8.1	8.8	11.1	10.6	14.0	19.7	25.4	26.8	25.5	21.8	17.0
1995-96	16.1	10.5	10.9	8.8	9.0	9.3	13.8	21.5	25.7	27.0	26.6	20.6	16.7
1996-97	16.3	13.2	10.9	9.2	9.0	10.8	11.7	22.0	25.8	27.1	24.8	22.5	16.9
1997-98	16.9	14.0	9.5	8.8	10.7	9.3	16.1	20,4	26.5	28.8	28.8	22.3	17.4
1998-99	18,4	13.0	8.1	8.3	7.9	11.3	15.6	22.1	26.7	27,5	27.9	23.5	16.4
1999-00	20.0	13.8	11.5	5.8	9.1	11.3	17,4	22.3	27.0	28.1	28.0	23.1	18.2
2000-01	18.3	15.0	10.0	10.2	9.7	14,4	15.0	21.5	25.1	28.1	28.3	23.1	18.6
2001-02	19.5	12.9	7.3	6.8	11.0	12.7	15.3	20.8	26.8	27.8	25.8	21.3	17.3
2002-03	17.3	13.8	10.1	10.7	5.8	10.3	14.8	23.9	28.0	28.8	28.4	22.2	17.8
2003-04	18.8	14.0	9.4	7.2	9.2	12.0	15.9	19.0	25.0	28.1	26.9	22.9	17.4
2004-05	19.4	12.9	10.6										
2005-06													
2006-07													
2007-08													
Μ.Τ	18.3	13.1	9.3	8.1	8.8	11.3	15.0	20.7	25.5	27.5	27.3	22.6	17.3

Πίνακας 15: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), ανηγμένες στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Κρεμαστών).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	11.9	7.7	4.4	2.5	5.3	8.3	9.4	14.5	18.8	23.3	21.3	18.2	12.1
1990-91	14.9	9.3	3.5	2.2	2.8	7.8	8.4	10.7	19.4	20.7	21.2	18.2	11.6
1991-92	14.6	7.9	-1.3	2.2	2.0	5.1	9.6	13.4	18.0	20.7	24.0	18.8	11.2
1992-93	14.9	9.6	3.7	3.7	1.6	5.1	9.8	13.9	20.8	21.4	23.7	17.7	12.1
1993-94	13.2	6.5	4.6	3.6	3.3	6.2	10.0	15.0	18.6	21.2	21.8	18.8	11.9
1994-95	14.9	8.1	3.2	2.8	5.7	4.9	8.3	13.9	19.4	21.8	20.4	17.1	11.7
1995-96	12.5	5.2	5.7	3.5	2.9	3.2	8.1	15.2	19.2	21.8	21.9	15.0	11.1
1996-97	11.0	8.7	5.4	4.8	4.4	5.2	5.6	15.7	20.0	21.8	18.9	18.1	11.6
1997-98	11.4	8.2	3.3	3.6	5.2	3.1	10.1	13.5	20.3	23.4	24.2	17.1	11.9
1998-99	13.6	6.9	1.8	3.1	1.1	5.5	10.7	19.5	20.2	21.5	23.9	18.9	12.2
1999-00	15.2	8.0	4.8	0.1	3.0	5.1	11.3	15.5	20.8	22.9	23.3	17.8	12.3
2000-01	13.3	10.8	5.4	4.6	4.4	9.2	9.0	15.5	19.1	22.2	23.2	17.7	12.8
2001-02	15.4	7.0	0.2	2.4	6.1	7.6	9.4	15.0	20.1	22.2	20.1	15.5	11.7
2002-03	12.0	9.3	3.6	4.7	-0.2	5.4	8.7	17.4	21.2	22.8	22.4	17.2	12.0
2003-04	13.2	9.4	4.0	1.0	3.7	6.1	9.1	12.1	18.1	21.1	21.3	17.4	11.3
2004-05	14.4	7.3	4.8	2.1	1.2	6.3	9.0	14.8	18.6	22.2	21.7	18.4	11.7
2005-06	12.3	7.2	3.6	1.3	3.0	5.9	11.1	15.0	17.7	21.4	21.8	17.7	11.5
2006-07	13.6	7.4	4.5	4.8	4.3	6.8	10.8	15.6	20.3	23.2	22.4	17.2	12.5
2007-08	14.8	7.3	2.2	2.9	3.3	7.5	10.1	15.3	20.2	22.9	24.3	17.6	12.3
Μ.Τ	13.5	8.0	3.5	2.9	3.3	6.0	9.4	14.8	19.5	22.0	22.2	17.6	11.9

Πίνακας 16: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), ανηγμένες στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Καστρακίου).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	12.3	8.1	4.8	2.9	5.7	8.7	9.8	14.9	19.2	23.7	21.7	18.6	12.5
1990-91	15.3	9.7	3.9	2.6	3.2	8.2	8.8	11.1	19.8	21.1	21.6	18.6	12.0
1991-92	15.0	8.3	-0.9	2.6	2.4	5.5	10.0	13.8	18.4	21.1	24.4	19.2	11.6
1992-93	15.3	10.0	4.1	4.1	2.0	5.5	10.2	14.3	21.2	21.8	24.1	18.1	12.5
1993-94	13.6	6.9	5.0	4.0	3.7	6.6	10.4	15.4	19.0	21.6	22.2	19.2	12.3
1994-95	15.3	8.5	3.6	3.2	6.1	5.3	8.7	14.3	19.8	22.2	20.8	17.5	12.1
1995-96	12.9	5.6	6.1	3.9	3.3	3.6	8.5	15.6	19.6	22.2	22.3	15.4	11.6
1996-97	11.4	9.1	5.8	5.2	4.8	5.6	6.0	16.1	20.4	22.2	19.3	18.5	12.0
1997-98	11.8	8.6	3.7	4.0	5.6	3.5	10.5	13.9	20.7	23.8	24.6	17.5	12.3
1998-99	14.0	7.3	2.2	3.5	1.5	5.9	11.1	19.9	20.6	21.9	24.3	19.3	12.6
1999-00	15.6	8.4	5.2	0.5	3.4	5.5	11.7	15.9	21.2	23.3	23.7	18.2	12.7
2000-01	13.7	11.2	5.8	5.0	4.8	9.6	9.4	15.9	19.5	22.6	23.6	18.1	13.2
2001-02	15.8	7.4	0.6	2.8	6.5	8.0	9.8	15.4	20.5	22.6	20.5	15.9	12.1
2002-03	12.4	9.7	4.0	5.1	0.2	5.8	9.1	17.8	21.6	23.2	22.8	17.6	12.4
2003-04	13.6	9.8	4.4	1.4	4.1	6.5	9.5	12.5	18.5	21.5	21.7	17.8	11.8
2004-05	14.8	7.7	5.2	2.5	1.6	6.7	9.4	15.2	19.0	22.6	22.1	18.8	12.1
2005-06	12.7	7.6	4.0	1.7	3.4	6.3	11.5	15.4	18.1	21.8	22.2	18.1	11.9
2006-07	14.0	7.8	4.9	5.2	4.7	7.2	11.2	16.0	20.7	23.6	22.8	17.6	13.0
2007-08	15.2	7.7	2.6	3.3	3.7	7.9	10.5	15.7	20.6	23.3	24.7	18.0	12.8
Μ.Τ	13.9	8.4	3.9	3.3	3.7	6.4	9.8	15.2	19.9	22.4	22.6	18.0	12.3

Πίνακας 17: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες (°C), ανηγμένες στο μ.υ της λεκάνης απορροής (Υπολεκάνη Στράτου).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	12.5	8.3	5.0	3.1	5.9	8.9	10.0	15.1	19.4	23.9	21.9	18.8	12.7
1990-91	15.5	9.9	4.1	2.8	3.4	8.4	9.0	11.3	20.0	21.3	21.8	18.8	12.1
1991-92	15.2	8.5	-0.7	2.8	2.6	5.7	10.2	14.0	18.6	21.3	24.6	19.4	11.8
1992-93	15.5	10.2	4.3	4.3	2.2	5.7	10.4	14.5	21.4	22.0	24.3	18.3	12.7
1993-94	13.8	7.1	5.2	4.2	3.9	6.8	10.6	15.6	19.2	21.8	22.4	19.4	12.5
1994-95	15.5	8.7	3.8	3.4	6.3	5.5	8.9	14.5	20.0	22.4	21.0	17.7	12.3
1995-96	13.1	5.8	6.3	4.1	3.5	3.8	8.7	15.8	19.8	22.4	22.5	15.6	11.7
1996-97	11.6	9.3	6.0	5.4	5.0	5.8	6.2	16.3	20.6	22.4	19.5	18.7	12.2
1997-98	12.0	8.8	3.9	4.2	5.8	3.7	10.7	14.1	20.9	24.0	24.8	17.7	12.5
1998-99	14.2	7.5	2.4	3.7	1.7	6.1	11.3	20.1	20.8	22.1	24.5	19.5	12.8
1999-00	15.8	8.6	5.4	0.7	3.6	5.7	11.9	16.1	21.4	23.5	23.9	18.4	12.9
2000-01	13.9	11.4	6.0	5.2	5.0	9.8	9.6	16.1	19.7	22.8	23.8	18.3	13.4
2001-02	16.0	7.6	0.8	3.0	6.7	8.2	10.0	15.6	20.7	22.8	20.7	16.1	12.3
2002-03	12.6	9.9	4.2	5.3	0.4	6.0	9.3	18.0	21.8	23.4	23.0	17.8	12.6
2003-04	13.8	10.0	4.6	1.6	4.3	6.7	9.7	12.7	18.7	21.7	21.9	18.0	11.9
2004-05	15.0	7.9	5.4	2.7	1.8	6.9	9.6	15.4	19.2	22.8	22.3	19.0	12.3
2005-06	12.9	7.8	4.2	1.9	3.6	6.5	11.7	15.6	18.3	22.0	22.4	18.3	12.1
2006-07	14.2	8.0	5.1	5.4	4.9	7.4	11.4	16.2	20.9	23.8	23.0	17.8	13.1
2007-08	15.4	7.9	2.8	3.5	3.9	8.1	10.7	15.9	20.8	23.5	24.9	18.2	12.9
Μ.Τ	14.1	8.5	4.1	3.5	3.9	6.6	10.0	15.4	20.1	22.6	22.8	18.2	12.5

Πίνακας 18: Μηνιαίες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm), για την υπολεκάνη Κρεμαστών όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite.

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	44.1	20.7	9.1	4.2	12.3	28.3	36.5	74.8	108.6	147.9	121.7	86.2	694.4
1990-91	60.4	27.0	6.6	3.5	5.0	26.0	31.1	48.9	113.4	125.4	120.9	86.2	654.5
1991-92	58.7	21.5	0.0	3.5	3.1	14.3	37.5	67.0	102.2	125.4	143.8	90.2	667.3
1992-93	60.4	28.2	7.1	7.3	2.3	14.3	38.6	70.5	125.0	131.4	141.3	82.9	709.4
1993-94	51.3	16.6	9.8	7.1	6.3	19.1	40.1	78.9	107.4	130.1	126.2	90.6	683.5
1994-95	60.4	22.3	5.8	5.0	13.6	13.5	30.6	70.5	113.4	134.8	114.6	79.0	663.6
1995-96	47.3	12.0	13.1	6.8	5.3	7.4	29.6	79.9	111.8	134.8	126.5	65.8	640.2
1996-97	39.5	24.6	12.1	10.6	9.4	14.7	17.6	83.6	118.4	134.8	103.0	85.6	654.0
1997-98	41.6	22.6	6.1	7.1	11.9	7.1	40.3	67.7	120.9	148.8	145.4	79.0	698.5
1998-99	53.2	17.8	2.6	5.7	1.3	15.9	43.7	113.1	120.0	132.2	142.9	90.9	739.4
1999-00	62.1	21.9	10.3	0.0	5.5	14.3	47.2	82.1	125.0	144.4	138.0	83.6	734.3
2000-01	51.5	33.3	12.1	10.0	9.4	32.7	34.3	82.1	111.0	138.3	137.1	82.9	734.8
2001-02	63.3	18.1	0.1	4.0	14.9	25.0	36.5	78.4	119.2	138.3	112.2	68.9	679.0
2002-03	44.6	27.0	6.9	10.3	0.0	15.5	32.7	96.5	128.4	143.5	130.6	79.7	715.7
2003-04	51.0	27.4	7.9	1.1	7.4	18.4	34.8	58.1	103.0	128.8	121.7	81.0	640.7
2004-05	57.6	19.2	10.3	3.3	1.5	19.2	34.3	77.0	107.0	138.3	124.9	87.6	680.1
2005-06	46.2	18.9	6.9	1.7	5.5	17.6	46.0	78.4	99.8	131.4	125.7	82.9	660.9
2006-07	53.2	19.6	9.4	10.6	9.1	21.4	44.3	82.9	120.9	147.6	131.1	79.7	729.6
2007-08	59.8	19.2	3.4	5.2	6.5	24.6	40.3	80.6	120.0	144.4	146.3	82.3	732.7
Μ.Τ	53.0	22.0	7.3	5.6	6.9	18.4	36.6	77.4	114.5	136.9	129.2	82.4	690.1

Πίνακας 19: Μηνιαίες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm), για την υπολεκάνη Καστρακίου όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite.

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	46.3	22.3	10.3	5.3	13.6	30.3	38.7	77.8	111.9	151.6	125.0	89.0	722.3
1990-91	62.8	28.7	7.7	4.5	6.1	27.9	33.3	51.6	116.8	128.9	124.2	89.0	681.6
1991-92	61.1	23.1	0.0	4.5	4.1	16.0	39.8	69.9	105.5	128.9	147.3	93.0	693.2
1992-93	62.8	30.0	8.3	8.5	3.1	16.0	41.0	73.5	128.5	134.9	144.7	85.7	737.0
1993-94	53.6	18.0	11.1	8.3	7.5	20.9	42.4	81.9	110.8	133.7	129.5	93.4	711.1
1994-95	62.8	23.9	6.9	6.0	15.0	15.2	32.8	73.5	116.8	138.4	117.9	81.7	690.9
1995-96	49.5	13.3	14.4	8.0	6.3	8.8	31.8	83.0	115.2	138.4	129.9	68.4	667.0
1996-97	41.6	26.3	13.4	11.9	10.7	16.4	19.5	86.7	121.8	138.4	106.2	88.3	681.3
1997-98	43.7	24.3	7.2	8.2	13.3	8.5	42.6	70.6	124.3	152.5	148.9	81.7	726.0
1998-99	55.5	19.3	3.5	6.8	2.1	17.6	46.1	116.5	123.5	135.8	146.4	93.7	766.8
1999-00	64.5	23.5	11.5	0.4	6.6	16.0	49.6	85.2	128.5	148.0	141.4	86.3	761.7
2000-01	53.8	35.1	13.4	11.3	10.7	34.8	36.5	85.2	114.4	141.9	140.6	85.7	763.4
2001-02	65.7	19.7	0.5	5.0	16.4	27.0	38.7	81.5	122.6	141.9	115.5	71.5	706.0
2002-03	46.8	28.7	8.0	11.6	0.1	17.2	34.9	99.7	131.9	147.2	134.0	82.4	742.5
2003-04	53.3	29.1	9.1	1.9	8.6	20.2	37.1	60.9	106.3	132.3	125.0	83.7	667.6
2004-05	59.9	20.8	11.5	4.3	2.3	21.0	36.5	80.0	110.3	141.9	128.3	90.3	707.2
2005-06	48.4	20.4	8.0	2.5	6.6	19.3	48.4	81.5	103.1	134.9	129.1	85.7	687.9
2006-07	55.5	21.2	10.6	11.9	10.4	23.3	46.7	86.0	124.3	151.3	134.5	82.4	757.9
2007-08	62.2	20.8	4.4	6.3	7.6	26.5	42.6	83.7	123.5	148.0	149.8	85.0	760.5
Μ.Τ	55.2	23.6	8.4	6.7	8.0	20.1	38.9	80.5	117.9	140.5	132.5	85.1	717.5

Πίνακας 20: Μηνιαίες τιμές δυνητικής εξατμισοδιαπνοής (mm), για την υπολεκάνη Στράτου όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite.

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	47.2	23.0	10.8	5.7	14.2	31.2	39.7	79.1	113.4	153.2	126.5	90.2	734.2
1990-91	63.8	29.4	8.2	4.9	6.5	28.7	34.3	52.7	118.3	130.4	125.7	90.2	693.2
1991-92	62.1	23.8	0.0	4.9	4.5	16.7	40.8	71.2	106.9	130.4	148.7	94.2	704.2
1992-93	63.8	30.7	8.8	9.1	3.5	16.7	41.9	74.8	130.0	136.4	146.2	86.8	748.8
1993-94	54.5	18.7	11.6	8.8	8.0	21.6	43.4	83.2	112.2	135.2	131.0	94.6	722.9
1994-95	63.8	24.6	7.4	6.5	15.6	15.9	33.7	74.8	118.3	139.9	119.3	82.9	702.6
1995-96	50.4	13.9	15.0	8.5	6.8	9.4	32.7	84.3	116.6	139.9	131.3	69.5	678.4
1996-97	42.5	27.0	14.0	12.5	11.3	17.1	20.3	88.0	123.3	139.9	107.5	89.5	693.0
1997-98	44.6	25.0	7.6	8.8	13.9	9.1	43.6	71.9	125.8	154.1	150.4	82.9	737.7
1998-99	56.4	20.0	3.8	7.3	2.4	18.4	47.1	118.0	125.0	137.3	147.9	94.9	778.5
1999-00	65.5	24.2	12.1	0.7	7.1	16.7	50.6	86.5	130.0	149.6	142.9	87.5	773.4
2000-01	54.8	35.9	14.0	11.8	11.3	35.7	37.5	86.5	115.8	143.4	142.0	86.8	775.6
2001-02	66.7	20.3	0.8	5.4	17.0	27.8	39.7	82.8	124.1	143.4	116.9	72.6	717.6
2002-03	47.8	29.4	8.5	12.2	0.3	17.9	35.9	101.1	133.4	148.7	135.4	83.5	754.1
2003-04	54.2	29.9	9.6	2.2	9.1	20.9	38.0	62.1	107.7	133.9	126.5	84.9	679.1
2004-05	60.9	21.5	12.1	4.7	2.7	21.8	37.5	81.3	111.7	143.4	129.7	91.5	718.8
2005-06	49.4	21.1	8.5	2.8	7.1	20.1	49.5	82.8	104.5	136.4	130.5	86.8	699.5
2006-07	56.4	21.8	11.2	12.5	11.0	24.1	47.7	87.3	125.8	152.8	135.9	83.5	770.0
2007-08	63.2	21.5	4.8	6.8	8.1	27.3	43.6	85.0	125.0	149.6	151.3	86.2	772.4
Μ.Τ	56.2	24.3	8.9	7.2	8.4	20.9	39.9	81.8	119.4	142.0	134.0	86.3	729.2

Πίνακας 21: Μηνιαίες εισροές (mm), υδρομετρικός σταθμός Κρεμαστά (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	62.9	88.8	94.6	31.2	30.2	31.3	53.6	33.1	27.4	16.0	14.7	11.9	495.5
1990-91	18.0	58.8	280.0	83.2	126.1	113.5	121.6	147.3	55.3	31.7	23.5	13.7	1072.6
1991-92	17.0	75.1	33.1	23.9	20.2	44.2	150.0	64.3	33.9	24.1	13.5	13.8	513.2
1992-93	29.6	88.1	111.5	45.1	29.2	117.4	111.7	89.5	32.1	16.7	14.4	14.0	699.3
1993-94	11.6	50.3	170.5	154.4	124.0	113.0	138.3	74.4	27.8	22.3	17.2	12.8	916.6
1994-95	34.1	108.6	117.5	208.5	116.0	142.7	126.4	96.5	34.5	22.7	23.9	34.6	1066.1
1995-96	19.8	56.4	215.6	116.3	215.3	148.8	153.9	82.3	37.9	25.7	20.8	29.8	1122.5
1996-97	85.6	186.1	245.7	218.4	53.9	85.4	112.5	104.2	31.4	19.0	20.7	12.3	1175.0
1997-98	65.1	112.4	235.2	95.1	183.7	61.9	82.9	96.1	35.3	18.8	14.9	23.3	1024.7
1998-99	31.0	139.8	234.0	86.7	159.0	177.2	166.9	86.4	34.6	25.3	18.1	15.3	1174.2
1999-00	26.5	125.3	204.8	108.3	136.2	112.0	96.9	42.6	24.2	14.3	11.2	9.0	911.3
2000-01	19.6	26.2	49.2	79.7	97.8	90.9	106.7	53.8	24.3	17.6	15.6	14.4	595.8
2001-02	11.0	31.6	129.2	92.2	53.8	74.4	144.0	59.0	30.1	31.7	25.5	51.2	733.7
2002-03	95.5	66.0	136.5	232.4	170.3	89.8	125.6	76.1	35.9	20.2	18.9	18.8	1086.0
2003-04	156.4	86.5	96.9	211.9	148.6	177.2	133.3	117.1	51.0	34.8	23.7	27.0	1264.6
2004-05	45.2	74.9	120.6	116.2	177.4	268.9	142.0	92.4	52.0	30.3	21.5	21.0	1162.5
2005-06	23.9	49.4	338.3	196.0	176.3	279.2	150.0	88.7	42.7	30.2	23.6	27.1	1425.5
2006-07	33.0	58.0	52.5	67.0	87.9	95.5	99.4	46.4	35.2	23.4	17.3	19.4	634.9
2007-08	34.1	129.3	102.0	72.6	61.5	107.9	86.1	42.8	27.6	19.7	17.8	18.4	719.8
Μ.Τ	43.1	84.8	156.2	117.9	114.1	122.7	121.1	78.6	35.4	23.4	18.8	20.4	936.5

Πίνακας 22: Μηνιαίες εισροές (mm), υδρομετρικός σταθμός Καστράκι (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	60.5	81.7	89.7	33.1	32.0	30.9	50.5	30.0	23.9	17.8	13.4	10.4	473.9
1990-91	15.7	53.2	270.0	78.3	119.4	102.3	108.8	136.7	51.4	29.2	24.7	14.2	1004.0
1991-92	17.2	74.1	32.2	22.5	23.6	40.5	138.9	58.4	29.6	21.7	12.0	13.1	484.0
1992-93	27.5	84.3	108.3	39.6	26.9	107.9	100.8	79.9	28.2	15.9	12.6	12.2	644.2
1993-94	12.7	53.8	161.6	145.2	119.3	99.5	126.0	69.2	37.2	20.4	15.4	13.3	873.7
1994-95	32.8	103.9	122.5	204.0	109.3	139.4	119.3	84.7	31.3	23.4	23.6	33.4	1027.7
1995-96	19.7	53.2	201.2	110.0	209.4	143.1	145.5	75.9	35.5	23.8	19.1	31.8	1068.1
1996-97	86.0	183.7	240.7	209.5	53.4	80.3	105.3	94.2	28.9	18.7	19.1	11.9	1131.7
1997-98	63.1	103.7	231.8	93.2	179.3	58.3	72.5	83.8	31.0	24.1	14.6	21.2	976.7
1998-99	31.7	136.1	229.6	85.7	220.7	168.7	151.7	77.6	30.3	22.0	16.3	14.2	1184.7
1999-00	27.0	120.2	195.6	107.3	129.2	103.4	85.4	38.0	21.6	15.1	11.5	8.2	862.6
2000-01	26.1	27.1	51.3	78.5	93.7	83.2	93.0	47.7	23.3	17.6	15.4	15.3	572.3
2001-02	10.2	31.3	118.4	88.4	50.0	67.6	131.5	51.7	26.4	27.7	22.2	49.9	675.2
2002-03	94.6	64.4	135.3	223.0	172.3	82.5	112.4	68.9	33.6	21.5	19.0	17.7	1045.2
2003-04	147.9	81.5	93.6	199.9	139.7	164.1	121.9	105.1	44.9	30.4	22.0	26.5	1177.7
2004-05	42.4	75.5	118.5	111.3	177.0	255.4	134.4	81.2	48.9	26.4	22.7	20.2	1113.8
2005-06	22.9	50.3	328.4	200.7	177.5	264.4	136.3	81.8	39.9	29.4	25.0	27.9	1384.5
2006-07	33.6	62.3	53.2	67.4	86.0	87.9	91.9	47.5	35.6	24.6	19.4	16.9	626.3
2007-08	29.7	120.1	94.5	65.7	56.4	98.8	78.1	38.6	28.1	22.1	16.1	17.5	665.7
Μ.Τ	42.2	82.1	151.4	113.9	114.5	114.6	110.7	71.1	33.1	22.7	18.1	19.8	894.3

Πίνακας 23: Μηνιαίες εισροές (mm), υδρομετρικός σταθμός Στράτος (Πηγή: ΔΕΗ).

Υδρ.Έτος	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαιο	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσια
1989-90	59.7	80.6	88.5	32.7	31.5	30.5	49.8	29.6	23.5	17.6	13.2	10.2	467.5
1990-91	15.5	52.5	266.3	77.3	117.8	100.9	107.4	134.9	50.7	28.8	24.4	14.0	990.4
1991-92	17.0	73.1	31.8	22.2	23.3	40.0	137.0	57.6	29.2	21.4	11.9	12.9	477.4
1992-93	27.2	83.2	106.9	39.0	26.6	106.4	99.4	78.9	27.8	15.7	12.4	12.0	635.5
1993-94	12.5	53.1	159.4	143.3	117.7	98.2	124.3	68.3	36.7	20.1	15.2	13.1	861.9
1994-95	32.3	102.5	120.9	201.3	107.8	137.6	117.7	83.6	30.9	23.1	23.3	33.0	1013.8
1995-96	19.4	52.5	198.4	108.6	206.6	141.1	143.5	74.9	35.1	23.4	18.8	31.4	1053.7
1996-97	84.9	181.2	237.5	206.7	52.7	79.2	103.8	92.9	28.5	18.5	18.9	11.7	1116.4
1997-98	62.2	102.3	228.7	92.0	176.9	57.5	71.5	82.7	30.6	23.7	14.4	21.0	963.5
1998-99	31.3	134.3	226.5	84.6	158.3	166.4	149.6	76.6	29.9	21.7	16.1	14.0	1109.3
1999-00	26.7	118.5	193.0	105.9	127.4	102.0	84.2	37.5	21.3	14.9	11.3	8.1	850.9
2000-01	25.7	26.7	50.7	77.5	92.4	82.1	91.8	47.1	23.0	17.3	15.2	15.1	564.6
2001-02	10.1	30.9	116.8	87.2	49.3	66.6	129.7	51.0	26.0	27.3	21.9	49.2	666.0
2002-03	93.3	63.6	133.5	220.0	170.0	81.4	110.9	67.9	33.1	21.2	18.7	17.5	1031.1
2003-04	145.9	80.4	92.3	197.2	137.8	161.9	120.3	103.7	44.3	30.0	21.7	26.2	1161.8
2004-05	41.8	74.4	116.9	109.8	174.6	252.0	132.5	80.1	48.3	26.1	22.4	19.9	1098.7
2005-06	22.6	49.6	323.9	198.0	175.1	260.8	134.5	80.7	39.4	29.0	24.7	27.5	1365.8
2006-07	33.2	61.5	52.5	66.5	84.8	86.7	90.6	46.8	35.2	24.2	19.2	16.7	617.9
2007-08	29.3	118.5	93.2	64.8	55.6	97.5	77.0	38.1	27.7	21.8	15.9	17.3	656.7
Μ.Τ	41.6	81.0	149.4	112.3	109.8	113.1	109.2	70.1	32.7	22.4	17.9	19.5	879.1