

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εφαρμογή των δεικτών υδρολογικής τροποποίησης  
στην προσομοίωση και αξιολόγηση των υδατικών  
πόρων

Λουλάκη Μαρία

Επιβλέπων: Δρ. Βασιλειάδης Λάμπρος (Ε.ΔΙ.Π)

Βόλος, Ιούνιος 2019

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος εξεταστής (επιβλέπων): Δρ. (Ε.ΔΙ.Π.) Βασιλειάδης  
Λάμπρος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

Δεύτερος εξεταστής: Δρ. Μυλόπουλος Νικήτας,  
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

Τρίτος εξεταστής: Δρ. (Ε.ΔΙ.Π.) Σπηλιωτόπουλος Μάριος,  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	5
Κατάλογος Σχημάτων .....	6
Κατάλογος Πινάκων .....	8
1. Εισαγωγή .....	9
1.1. Υδρολογική προσέγγιση- Δείκτες υδρολογικής αλλαγής (IHA) ....	10
1.2. Μοντέλο βροχής-απορροής GR4J .....	11
1.3. Σκοπός διπλωματικής εργασίας .....	12
1.4. Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας .....	13
2. Περιοχή Μελέτης .....	14
2.1. Κλιματολογικά χαρακτηριστικά της Κύπρου .....	14
2.2. Η λεκάνη απορροής της Γερμασόγειας .....	15
2.3. Δεδομένα περιοχής μελέτης .....	16
3. Λογισμικό IHA .....	18
3.1. Παράμετροι IHA (Indicators of Hydrologic Alteration) .....	19
3.2. Παράμετροι EFC (Environmental Flow Components) .....	22
3.3. Ανάλυση RVA .....	25
3.4. Καμπύλες Διάρκειας Ροής .....	26
3.5. Αποτελέσματα του προγράμματος .....	27
3.5.1. Annual Summaries Table .....	28
3.5.2. Scorecard Table .....	28
3.5.3. RVA Table .....	30
3.5.4. Box-and-Whisker Table .....	31
3.5.5. Regression Table .....	31
3.5.6. Percentile Table .....	31
3.5.7. EFC Daily Table .....	32
3.5.8. Flow Duration Curve Table .....	32
3.5.9. Message Report .....	32
4. Έλεγχος για την ύπαρξη τάσεων .....	32
4.1. Έλεγχος αναγνώρισης της τάσης .....	35
4.2. Έλεγχος αλλαγής τάσης .....	36
4.3. Έλεγχος διαφοράς στην μέση τιμή/διάμεσο δύο περιόδων .....	37
5. GR4J .....	38
5.1. Παράμετροι του μοντέλου .....	38
5.2. Τρόπος λειτουργίας του μοντέλου .....	39

5.2.1. Καθαρή βροχή- εξατμισοδιαπνοή .....	40
5.2.2. Στάθμη χώρου αποθήκευσης .....	40
5.2.3. Συντεταγμένες υδρογραφημάτων .....	41
5.2.4. Τελική προσομοιωμένη ροή .....	42
6. Εφαρμογή μεθοδολογίας και ανάλυση αποτελεσμάτων .....	44
6.1. Υπολογισμός δεικτών- Ανάλυση μιας περιόδου .....	44
6.2. Έλεγχοι (Tests) .....	45
6.2.1. Mann-Kendall Test .....	45
6.2.2. Distribution Free CUSUM Test .....	47
6.2.3. Rank-Sum Test .....	48
6.2.4. Συμπεράσματα .....	49
6.3. Υπολογισμός δεικτών- Ανάλυση δύο περιόδων .....	50
6.4. GR4J .....	56
6.4.1. Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή .....	56
6.4.2. Βελτιστοποίηση .....	57
6.4.3. Πιστοποίηση .....	60
6.5. Υπολογισμός δεικτών προσομοιωμένης ροής- Ανάλυση μιας περιόδου .....	61
7. Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	68
7.1 Συμπεράσματα .....	68
7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	70
Παράρτημα 1 .....	72
Παράρτημα 2 .....	105
Βιβλιογραφία .....	118

## Περίληψη

Οι ανθρώπινες επεμβάσεις στα ποτάμια υδατικά συστήματα, έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη του επιστημονικού κλάδου της εκτίμησης της οικολογικής παροχής. Για την εκτίμησή της έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, όπου μια από αυτές είναι οι δείκτες υδρολογικής αλλαγής (IHA). Αυτοί υπολογίζονται μέσω του λογισμικού IHA, με δεδομένα μια χρονοσειρά απορροής. Συγκρίνοντας τα στατιστικά στοιχεία που προκύπτουν για τα χρονικά διαστήματα που μελετώνται, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με το μέγεθος της μεταβολής ροϊκού καθεστώτος. Επιπλέον, το λογισμικό εξάγει τις παραμέτρους EFC, όπου δίνουν τα στατιστικά στοιχεία 5 διαφορετικών ροών, χωρισμένες σύμφωνα με τον όγκο τους. Τα ελλιπή δεδομένα απορροής μπορούν να υπολογιστούν μέσω μοντέλων βροχής-απορροής. Ένα από αυτά είναι το GR4J, όπου δέχεται δεδομένα βροχής και εξατμισοδιαπνοής, και βασίζεται σε τέσσερις παραμέτρους. Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η σύγκριση των δεικτών υδρολογικής αλλαγής μεταξύ ενιαίου διαστήματος και δύο περιόδων, καθώς και η αξιολόγηση του μοντέλου GR4J όταν χρησιμοποιείται για την παραγωγή των δεικτών.

Η περιοχή μελέτης είναι η λεκάνη του ποταμού Γερμασόγεια στην Κύπρο και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ημερήσια δεδομένα απορροής για το διάστημα 1969-1999. Αρχικά, υπολογίστηκαν οι δείκτες IHA και EFC για το ενιαίο διάστημα της τριαντακονταετίας. Στην συνέχεια, εφαρμόστηκαν τρεις έλεγχοι ώστε να επιβεβαιωθεί πως η χρονοσειρά είναι στάσιμη. Ο έλεγχος Mann-Kendall δεν ανίχνευσε κάποια τάση στην χρονοσειρά, ο έλεγχος συσσωρευτικού αθροίσματος δεν εντόπισε κάποια απότομη αλλαγή και ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε πως υπάρχει αλλαγή στην μέση τιμή δύο περιόδων, με έτος αλλαγής το 1974. Στην ανάλυση των δύο περιόδων χρησιμοποιήθηκε ως έτος αλλαγής το 1984, καθώς η ανομοιομορφία του δείγματος δεν θα έδινε αξιόπιστα αποτελέσματα. Η σύγκριση των στατιστικών των δεικτών της ανάλυσης μιας περιόδου με αυτών των δύο, έδωσε πολύ υψηλά ποσοστά συσχέτισης, ειδικά για τους δείκτες IHA. Το επόμενο στάδιο ήταν η εξαγωγή της προσομοιωμένης απορροής από το μοντέλο GR4J. Η εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε από το μοντέλο του Oudin (2010) και η βροχόπτωση πάρθηκε από τον γειτονικό σταθμό της Λεμεσού. Η απορροή ήταν για τα έτη 1984-1999, για τα οποία υπολογίστηκαν εκ νέου οι δείκτες IHA και EFC. Η σύγκρισή τους με τις τιμές της ενιαίας ανάλυσης έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα για της χαμηλές ροές, στις οποίες δόθηκε περισσότερη έμφαση. Τα

μεγάλα γεγονότα απορροής δεν αποτυπώθηκαν σωστά από το μοντέλο, καθώς στο σύνολο έδειξε να υποεκτιμάει την ροή τους.

Λέξεις - κλειδιά: Υδρολογική αλλαγή, δείκτες ΙΗΑ, δείκτες EFC, GR4J, χαμηλές απορροές

## Abstract:

The human exploitation of fluvial ecosystems has led to the development of environmental flow studies. One of the methods that have been developed for the assessment of environmental flows, is the indicators of hydrologic alteration (IHA). They are calculated through IHA software, which uses daily data of stream flows. Comparing the statistics outputs, conclusions can be drawn about the alteration of the flow regime. Another output of the software, is the EFC parameters, which represent the characteristics of 5 different flows, according to their volume. Missing data can be calculated through rainfall-runoff models, like GR4J. The inputs are precipitation and evapotranspiration, and the model is based on four parameters. The purpose of this paper is the comparison of IHAs between single-period and two-periods analysis, and the evaluation of GR4J when it is used for producing IHAs.

The study area is Yermasoyia watershed in Cyprus and the inputs to the software were daily flow data (1969-1999). First, a single period analysis was conducted. Then, three tests applied to confirm that time series data is stationary. The Mann-Kendall test didn't detect a trend, the Distribution Free CUSUM test didn't show a radical change and the Wilcoxon test detected a change between the two periods averages (change year: 1974). In two-periods analysis, the year of change was 1984, because the unevenly distribution of the years could affect the reliability of the results. The comparison of the statistics gave a high correlation percentage, especially for the IHA parameters. The next step was to estimate a flow using GR4J. The rain fall data were from a station at Lemesos, and the evapotranspiration data were calculated by using Oudin's formula. Then, the IHA and EFC parameters were re-calculated for the time period 1984-1999. The comparison of the results with the single period outputs provided satisfactory results for low flows. The model didn't correspond well regarding large run off events, because it underestimated their flow.

Key-words: Hydrological alteration, IHA parameters, EFC parameters, low flows

## Κατάλογος Σχημάτων:

- Σχήμα 2.1.: Μέση ετήσια βροχόπτωση στην Κύπρο (mm) (Πηγή: Κυπριακή Δημοκρατία, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων)
- Σχήμα 2.2.: Λεκάνη Απορροής Γερμασόγειας (Πηγή: Αθανάσιος Λουκάς, Υδρολογική προσομοίωση υδατικού ισοζυγίου, λεκάνη απορροής Γερμασόγειας, Κύπρος)
- Σχήμα 2.3: Αεροφωτογραφία του φράγματος Γερμασόγειας, Λεμεσός, Κύπρος (Πηγή: [www.depositphotos.com](http://www.depositphotos.com))
- Σχήμα 2.4: Υδρογράφημα απορροής Γερμασόγειας (1969-1999)
- Σχήμα 5.1: Το μοντέλο GR4J(Πηγή: C. Perrin et al./ Journal of Hydrology (2003))
- Σχήμα 5.2: Τεταγμένες υδρογραφημάτων για  $X4=3,8$  ημέρες (Πηγή: C. Perrin et al./ Journal of Hydrology (2003))
- Σχήμα 6.1: Οι κατηγορίες των EFC για τα υδρολογικά έτη 1969-1999
- Σχήμα 6.2: Οι καμπύλες διάρκειας ροής για τα υδρολογικά έτη 1969-1999
- Σχήμα 6.3: Οι παροχές που καταγράφηκαν για το διάστημα 1969-1999
- Σχήμα 6.4: Τα αποτελέσματα του ελέγχου Mann-Kendall
- Σχήμα 6.5: Οι τιμές της ποσότητας  $V_k$  για τα έτη 1969-1999
- Σχήμα 6.6: Οι κρίσιμες τιμές της ποσότητας  $V_k$
- Σχήμα 6.7: Τα αποτελέσματα του ελέγχου Rank-Sum
- Σχήμα 6.8: Τα διαγράμματα της 4<sup>ης</sup> κατηγορίας IHA για την σύγκριση μιας με δύο περιόδων
- Σχήμα 6.9: Διάγραμμα σύγκρισης των χαμηλών ροών (παράμετροι EFC)
- Σχήμα 6.10: Διάγραμμα σύγκρισης των διακυμάνσεων υψηλής ροής (παράμετροι EFC)
- Σχήμα 6.11: Διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης μικρών και μεγάλων πλημμύρων
- Σχήμα 6.12: Διαγράμματα συσχέτισης παραμέτρων IHA και EFC
- Σχήμα 6.13: Οι σημαντικότερες υδρολογικές αλλαγές των δεικτών IHA
- Σχήμα 6.14: Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm/day), όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο Oudin
- Σχήμα 6.15: Διάγραμμα παρατηρημένης-προσομοιωμένης ροής (mm/day), βροχόπτωσης (mm)
- Σχήμα 6.16: Οι κατηγορίες των EFC για την προσομοιωμένη ροή (1984-1999)
- Σχήμα 6.17: Οι καμπύλες διάρκειας ροής για την προσομοιωμένη ροή (1984-1999)
- Σχήμα 6.18: Σύγκριση πραγματικής-προσομοιωμένης ροής για την μηνιαία παροχή του Οκτωβρίου (παράμετρος IHA-1η κατηγορία)



Σχήμα 6.19: Σύγκριση πραγματικής-προσομοιωμένης ροής για την ελάχιστη παροχή των 30 ημερών (παράμετρος IHA, 2η κατηγορία)

Σχήμα 6.20: Διαγράμματα των ετήσιων χαμηλών και υψηλών διακυμάνσεων, σύγκριση πραγματικής-προσομοιωμένης ροής (παράμετροι IHA, 4η κατηγορία)

Σχήμα 6.21: Διαγράμματα του ρυθμού ανόδου και πτώσης, σύγκριση πραγματικής-προσομοιωμένης ροής (παράμετροι IHA, 5η κατηγορία)

Σχήμα 6.22: Διαγράμματα σύγκρισης των χαμηλών ροών- χαμηλή ροή Δεκεμβρίου (παράμετροι EFC, 1η κατηγορία)

Σχήμα 6.23: Διάγραμμα σύγκρισης της αιχμής πολύ χαμηλών ροών (παράμετρος EFC, 2η κατηγορία)

Σχήμα 6.24: Διαγράμματα σύγκρισης ρυθμών ανόδου και πτώσης (παράμετροι EFC, 2η κατηγορία)

## Κατάλογος Πινάκων:

Πίνακας 3.1 : Ομάδες Παραμέτρων ΙΗΑ

Πίνακας 3.2 : Ομάδες Παραμέτρων ΕFC

Πίνακας 3.3: Αντιστοιχία των αποτελεσμάτων με το είδος της ανάλυσης

Πίνακας 4.1: Τα επίπεδα σημαντικότητας του ελέγχου αλλαγής τάσης

Πίνακας 5.1: Ορισμός των παραμέτρων του μοντέλου GR4J

Πίνακας 6.1: Η σύγκλιση των αναλύσεων μιας με δύο περιόδων

Πίνακας 6.2: Το φάσμα τιμών των παραμέτρων του μοντέλου

Πίνακας 6.3: Οι παράμετροι μετά την βελτιστοποίηση

Πίνακας 6.4: Οι τιμές των κριτηρίων αποτελεσματικότητας

Πίνακας 6.5: Τα κριτήρια αποτελεσματικότητας της πιστοποίησης

Πίνακας 1: Η σύγκλιση των αναλύσεων της πραγματικής με την προσομοιωμένη ροή

## 1. Εισαγωγή

Οι επεμβάσεις των ανθρώπων στα ποτάμια υδατικά συστήματα είναι πολυάριθμες και ποικίλες. Η αύξηση της απορροής λόγω της αδυναμίας του εδάφους να συγκρατήσει το νερό, οι αυξημένες αρδευτικές απαιτήσεις και η άνιση κατανομή της βροχόπτωσης χωρικά και χρονικά είναι κάποιοι από τους λόγους που οδηγούν στην κατασκευή διαφόρων υδραυλικών έργων. Απόρροια των ανθρωπογενών επεμβάσεων είναι η ρυθμιζόμενη, έως έναν βαθμό, ροή των ποταμών. Αυτό έχει διάφορες επιδράσεις στα κατάντη, καθώς είναι αναμενόμενες οι αλλαγές στο υφιστάμενο υδρολογικό καθεστώς (Χριστοφίδου, 2016).

Η ανάγκη για την διατήρηση της ισορροπίας και της καλής υγείας του οικοσυστήματος, οδήγησε στην ανάπτυξη του επιστημονικού κλάδου της εκτίμησης της οικολογικής παροχής ή των περιβαλλοντικών ροών. Είναι μια έννοια για την οποία είναι δύσκολο να αποδοθεί ένας σαφής ορισμός. Το πρόβλημα για τον προσδιορισμό της έγκειται στην κατανόηση των διάφορων φυσικών και βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε ένα οικοσύστημα, καθώς και στις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Αρχικά, η οικολογική παροχή ορίστηκε ως η ελάχιστη παροχή που θα έπρεπε να ρέει στον εκάστοτε ποταμό, ώστε να διατηρηθεί η ακεραιότητα του οικοσυστήματος. Στην συνέχεια προσδιορίστηκε ως μια πιο ολιστική έννοια, λαμβάνοντας το οικοσύστημα ως μια μονάδα, με τα επιμέρους στοιχεία του να είναι αλληλένδετα (Dyson et al., 2003). Βάσει αυτής της προσέγγισης αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι προσομοίωσης ενδιαιτημάτων, ενσωματώνοντας έτσι και τις χρονικά μεταβαλλόμενες διεργασίες του οικοσυστήματος. Παράγωγα αυτών των μεθόδων είναι ορισμένοι δείκτες που συσχετίζουν τις υδραυλικές με τις βιολογικές παραμέτρους.

Όπως αναφέρει ο Γεωργαλάς (2014), ανάλογα με τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής, οι μέθοδοι χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Υδρολογικές μέθοδοι , όπου εκτιμάται η οικολογική παροχή βάσει ιστορικών υδρολογικών δεδομένων. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην λογική πως η παροχή είναι η ουσιώδης πληροφορία που επηρεάζει όλες τις ποτάμιες διεργασίες. Με την χρήση αυτών των μεθόδων, είναι εφικτή η σύγκριση μεταξύ της υπάρχουσας ροής και της

ροής που απαιτείται για την διατήρηση του οικοσυστήματος, δείχνοντας έτσι τις πιθανές αλλαγές στην περιβαλλοντική ροή. Πρόκειται για γρήγορες και οικονομικές μεθόδους, που είναι εύκολες στην εφαρμογή τους.

2. Υδραυλικές μέθοδοι, όπου η οικολογική παροχή υπολογίζεται συσχετίζοντας τα ενδαιτημάτα με την απορροή. Σταδιακά αντικαταστάθηκαν με την επόμενη κατηγορία.
3. Μέθοδοι προσομοίωσης ενδαιτημάτων, όπου συνδέουν τις μεταβολές της παροχής με τους οργανισμούς και τις ανάγκες τους. Εκεί εμπεριέχονται υδρολογικά, υδραυλικά και βιολογικά στοιχεία.
4. Ολιστικές μέθοδοι, όπου οι απαιτήσεις της ροής συνδέονται με πολλά στοιχεία του οικοσυστήματος, στοχεύοντας σε ένα γενικό καθεστώς ροής. Καθώς βασίζονται στις μετρήσεις πεδίου, στην συλλογή πολλών δεδομένων και στην χρήση διάφορων εργαλείων, απαιτούν διεπιστημονικότητα και μεγάλη εμπειρία.

### 1.1. Υδρολογική προσέγγιση- Δείκτες υδρολογικής αλλαγής (IHA)

Χρησιμοποιώντας την υδρολογική προσέγγιση, πρέπει αρχικά να προσδιοριστούν κάποια χαρακτηριστικά που θα αντιστοιχούν στις διάφορες συνθήκες του νερού. Στην συνέχεια, μέσω μιας ανάλυσης που θα χρησιμοποιεί αυτά τα χαρακτηριστικά, μπορεί να γίνει η σύγκριση των υδρολογικών καθεστώτων, πριν και μετά την ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτά τα χαρακτηριστικά ονομάζονται δείκτες, και η ανάλυσή τους είναι η μέθοδος των δεικτών υδρολογικής αλλαγής (Indicators of Hydrologic Alteration, IHA) (Richter, 1996).

Τα βασικά χαρακτηριστικά που διέπουν αυτούς τους δείκτες είναι τα ακόλουθα:

- Το μέγεθος των συνθηκών του νερού σε κάποια δεδομένη στιγμή. Πρόκειται για ένα μέγεθος που προσδιορίζει κάποια στοιχεία του οικοσυστήματος, όπως την βρεχόμενη περιοχή ή τον όγκο των ενδαιτημάτων.
- Η χρονική στιγμή που εμφανίστηκε μια συγκεκριμένη κατάσταση στις συνθήκες της ροής. Αυτό το μέγεθος σχετίζεται με την εμφάνιση των ακραίων συνθηκών ροής, και προσδιορίζει την καταλληλότητα του περιβάλλοντος για την ανάπτυξη ορισμένων ειδών.
- Η συχνότητα πραγματοποίησης ορισμένων ακραίων καταστάσεων ροής. Αυτό το μέγεθος συνδέεται με την αναπαραγωγή ή την θνησιμότητα των διαφόρων ειδών, επηρεάζοντας τον πληθυσμό τους.

- Την χρονική διάρκεια των γεγονότων της ροής. Πρόκειται για ένα μέγεθος που προσδιορίζει εάν και κατά πόσο μπορεί να ολοκληρωθεί ο κύκλος ζωής των οργανισμών, καθώς και τον βαθμό στον οποίο πραγματοποιούνται γεγονότα όπως η πλημμύρα ή η ξήρανση των περιοχών.
- Ο ρυθμός αλλαγής στις συνθήκες του νερού. Το μέγεθος αυτό συνδέεται με την ικανότητα των οργανισμών να έχουν πρόσβαση σε θρεπτικά συστατικά.

Η μέθοδος για τον εντοπισμό των υδρολογικών αλλαγών αποτελείται από τέσσερα (4) βήματα:

1. Τον προσδιορισμό των δεδομένων, που συνήθως είναι δεδομένα απορροής. Αυτά θα έχουν την μορφή χρονοσειράς και θα αντιστοιχούν στις περιόδους πριν και μετά του έτους της αλλαγής.
2. Τον υπολογισμό των τιμών των υδρολογικών χαρακτηριστικών. Υπολογίζονται οι 33 παράμετροι IHA για κάθε έτος των δεδομένων της χρονοσειράς.
3. Τον υπολογισμό των στατιστικών στοιχείων για κάθε υδρολογικό χαρακτηριστικό, όπως την μέση τιμή, την διάμεσο και άλλα.
4. Την σύγκριση των στατιστικών. Τα στατιστικά που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα, συγκρίνονται και εκφράζονται ως ένα ποσοστό απόκλισης της μιας περιόδου από την άλλη.

## 1.2. Μοντέλο βροχής-απορροής GR4J:

Για τον υπολογισμό των δεικτών υδρολογικής αλλαγής, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, απαιτείται η εισαγωγή των δεδομένων απορροής. Σε πολλές λεκάνες όμως, τα δεδομένα απορροής είναι περιορισμένα. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί κάποια μοντέλα βροχής-απορροής που καλούνται να επιλύσουν το πρόβλημα των ελλιπών δεδομένων. Σε αυτά τα μοντέλα εισάγονται δεδομένα βροχόπτωσης και παράγονται δεδομένα απορροής.

Τα προβλήματα αυτών των μοντέλων σχετίζονται με το είδος των δεδομένων, την δομή τους και τις παραμέτρους τους. Η κυριότερη δυσκολία που συναντούν οι μελετητές είναι πως αυτά τα μοντέλα περιλαμβάνουν στατιστικές αναλύσεις για την παραγωγή των αποτελεσμάτων. Το βασικό εμπόδιο βρίσκεται στις πολλές παραμέτρους στις οποίες πρέπει να βασίζεται το μοντέλο. Η χρήση πολλών παραμέτρων δυσκολεύει τον

προσδιορισμό τους και την λειτουργία του μοντέλου, χωρίς να εγγυάται απαραίτητα την καλύτερη επίδοσή του για μια δεδομένη λεκάνη. Από την άλλη, ένα μοντέλο με λίγες παραμέτρους, επηρεάζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων (Harlan et al. ,2010).

Οι αρχικές και συνοριακές συνθήκες του μοντέλου είναι αδύνατον να προσδιοριστούν με απόλυτη ακρίβεια. Σε κάθε μοντελοποίηση, οι παράμετροι είναι αλληλένδετες μεταξύ τους, οπότε μια καλή προσέγγιση για αξιόπιστα αποτελέσματα είναι η αρχική υιοθέτηση των παραμέτρων του μοντέλου και εν συνεχεία η τροποποίησή τους μέχρι να πλησιάσουν το βέλτιστο.

Το GR4J είναι ένα μοντέλο που βασίζεται σε τέσσερις παραμέτρους, και αναπτύχθηκε από τον Perrin (2003). Οι παράμετροι αυτοί είναι η μέγιστη χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου της λεκάνης, ο συντελεστής ανταλλαγής του υπόγειου νερού, η μέγιστη χωρητικότητα του χώρου διόδευσης και ο χρόνος βάσης του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Ο τρόπος λειτουργίας του μοντέλου και το εύρος των τιμών των παραμέτρων του περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.

### 1.3. Σκοπός εργασίας:

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να συνεισφέρει, έως έναν βαθμό, στην καλύτερη κατανόηση των δεικτών υδρολογικής αλλαγής και των χαρακτηριστικών τους. Παράλληλα, ερευνά την καταλληλότητα του μοντέλου GR4J, όταν χρησιμοποιείται για την παραγωγή των δεικτών. Η εργασία, μέσω της ανάλυσης της λεκάνης απορροής του ποταμού Γερμασόγεια στην Κύπρο, αποσκοπεί:

1. Στην σωστή ερμηνεία των δεικτών υδρολογικής αλλαγής που εξάγονται από το λογισμικό IHA.
2. Στην σύγκριση των δεικτών υδρολογικής αλλαγής που προκύπτουν από την ανάλυση μεταξύ δύο περιόδων.
3. Στην αξιολόγηση του μοντέλου GR4J, όταν εφαρμόζεται για την παραγωγή δεικτών υδρολογικής αλλαγής

Η γνώση των δεικτών υδρολογικής αλλαγής και η σωστή ερμηνεία των χαρακτηριστικών τους, αποτελεί βασικό μέρος για την εκτίμηση της οικολογικής παροχής. Κάτι τέτοιο μπορεί να αξιοποιηθεί σε πρακτικό επίπεδο, σε ότι αφορά τον

σχεδιασμό υδροτεχνικών έργων, αλλά και για την ολοκληρωμένη μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων.

#### 1.4. Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

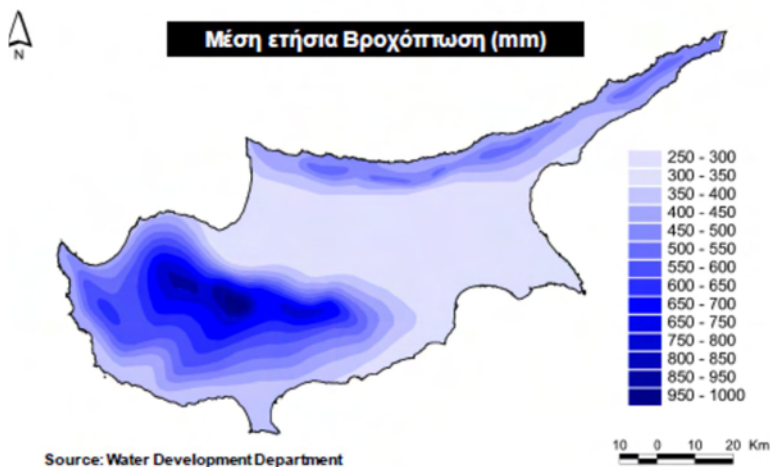
Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα κλιματολογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία της Κύπρου, καθώς και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις και την προσομοίωση της απορροής. Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται το λογισμικό IHA. Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την επεξήγηση των παραμέτρων IHA και EFC, καθώς και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων του λογισμικού. Στο Κεφάλαιο 4 εξηγούνται οι έλεγχοι που χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό της τάσης στην χρονοσειρά και την αξιολόγηση της σημαντικότητάς της. Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται εκτενώς ο τρόπος λειτουργίας του μοντέλου GR4J, καθώς και οι εξισώσεις στις οποίες βασίζονται οι υπολογισμοί του. Στο Κεφάλαιο 6 είναι η εφαρμογή των μεθόδων που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, για την λεκάνη απορροή της Γερμασόγειας, όπως και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που εξάγονται στην παρούσα εργασία. Τα γραφήματα που προέκυψαν από το λογισμικό IHA βρίσκονται στο παράρτημα 1, ενώ αυτά που προέκυψαν από την σύγκριση των δεικτών μεταξύ τους βρίσκονται στο παράρτημα 2.

## 2. Περιοχή Μελέτης

Στην συγκεκριμένη εργασία, μελετάται η λεκάνη απορροής του ποταμού Γερμασόγεια, που βρίσκεται στην νότια Κύπρο. Για τον υπολογισμό των δεικτών υδρολογικής αλλαγής (ΙΗΑ) χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα απορροής από το υδρολογικό έτος 1969-1970 έως το έτος 1998-1999.

### 2.1. Κλιματολογικά χαρακτηριστικά της Κύπρου

Η Κύπρος είναι ένα νησί με έκταση 9254 km<sup>2</sup>, στο νοτιοανατολικό άκρο της Μεσογείου. Η γεωγραφική της θέση επηρεάζει το κλίμα της, που χαρακτηρίζεται μεσογειακό. Γενικώς, μπορεί να προσδιοριστεί ως ημίξερο, με κύρια στοιχεία του τα ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, από τα μέσα του Μαΐου έως τα μέσα του Σεπτεμβρίου, και τους βροχερούς αλλά ήπιους χειμώνες, από τον Νοέμβριο έως τον Μάρτιο. Σημαντικό ρόλο στην δημιουργία τοπικών φαινομένων παίζουν οι οροσειρές του Τροόδους και του Πενταδάκτυλου (δυτικά και βόρεια του νησιού αντίστοιχα), όπως και η παρουσία της θάλασσας. Είναι φυσικό επακόλουθο λοιπόν, η κατανομή της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας να είναι ανομοιόμορφη. Η μέση ετήσια βροχόπτωση της Κύπρου είναι περίπου 480 χιλιοστά, ενώ τα ακραία φαινόμενα όπως οι καταιγίδες, σπανίζουν τους θερινούς μήνες. Άλλα στοιχεία που συνθέτουν το κλίμα της, είναι τα υψηλά ποσοστά υγρασίας την νύχτα, ανεξαρτήτως εποχής, όπως και η μεγάλη διάρκεια της ηλιοφάνειας, ακόμα και σε ορεινές περιοχές. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στο νησί:



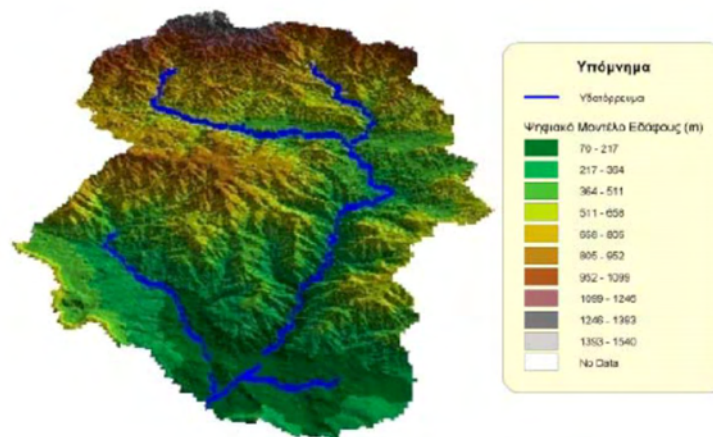
Σχήμα 2.1. Μέση ετήσια βροχόπτωση στην Κύπρο (mm) (Πηγή: Κυπριακή Δημοκρατία, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων)



## 2.2. Η λεκάνη απορροής της Γερμασόγειας

Η υδρολογική λεκάνη της Γερμασόγειας βρίσκεται στο νότιο τμήμα του νησιού και εκβάλλει στην θάλασσα περίπου 5 km ανατολικά της Λεμεσού. Η έκταση της λεκάνης είναι 153 km<sup>2</sup>, και το μέσο υψόμετρο τα 575 m. Αποτελείται κυρίως από πυριγενή πετρώματα, αλλοιωμένο βασάλτη και λάβες, ενώ τα χαμηλότερα στρώματα περιέχουν σημαντικά ποσοστά ασβεστόλιθου και ιλύος.

Το κλίμα στην περιοχή της Γερμασόγειας θεωρείται ημίξηρο, με τον ετήσιο μέσο όρο των κατακρημνίσεων στην λεκάνη τα 638 mm. Καθώς όμως η λεκάνη αποτελείται τόσο από παράκτιες όσο και από ορεινές περιοχές, το εύρος των κατακρημνίσεων είναι αρκετά μεγάλο, ξεκινώντας από 450 mm στις παράκτιες περιοχές και φτάνοντας μέχρι και 850 mm στις ορεινές. Ο μέσος ετήσιος απορροϊκός όγκος αντιστοιχεί σε 22,5 hm<sup>3</sup>. Στις εκβολές του ποταμού, οι αλλουβιακές αποθέσεις συνίστανται κυρίως από άμμο και χαλίκια, με στρώματα ιλύος να παρεμβάλλονται (Σαραϊλίδης, 2015).



Σχήμα 2.2: Λεκάνη Απορροής Γερμασόγειας (Πηγή: Αθανάσιος Λουκάς, Υδρολογική προσομοίωση υδατικού ισοζυγίου, λεκάνη απορροής Γερμασόγειας, Κύπρος)

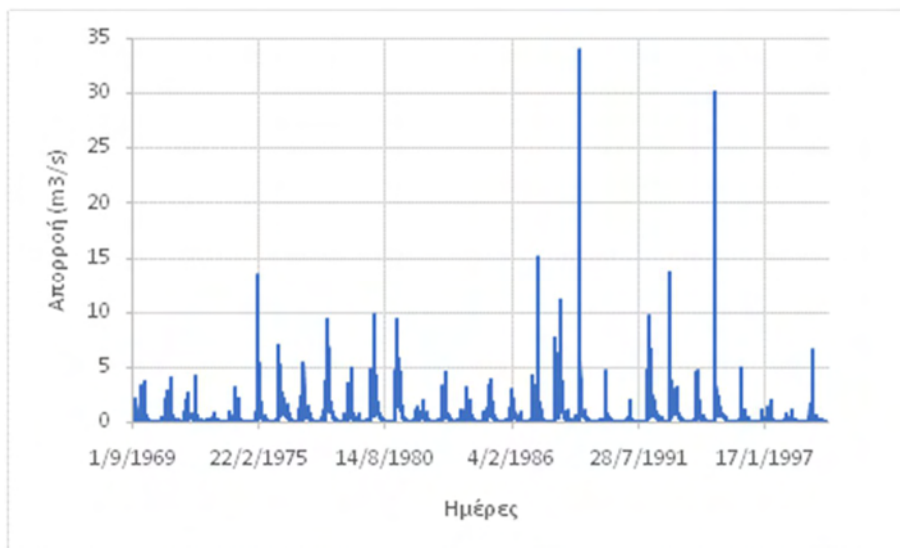
Στην λεκάνη κατασκευάστηκε το 1968 το φράγμα της Γερμασόγειας, χωρητικότητας 13,5 hm<sup>3</sup>, που βρίσκεται βοριοανατολικά της Λεμεσού. Πρόκειται για ένα χωμάτινο φράγμα με ύψος 49m, που βρίσκεται πάνω στον ποταμό Άμαθο. Ο σκοπός της κατασκευής του ήταν η άρδευση των καλλιεργιών στην περιοχή του Ακρωτηρίου. Ως επακόλουθο της κατασκευής, ήταν η δημιουργία μιας τεχνητής λίμνης όπου, από το 1982 εμπλουτίζεται τεχνητά, μετατρέποντάς την σε βιότοπο.



Σχήμα 2.3.: Αεροφωτογραφία του φράγματος Γερμασόγειας, Λεμεσός, Κύπρος (Πηγή: [www.depositphotos.com](http://www.depositphotos.com))

### 2.3 Δεδομένα περιοχής μελέτης

Για την εξαγωγή των παραμέτρων IHA και EFC, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα απορροής τριακονταετίας (1969-1999). Αυτά τα δεδομένα εισάχθηκαν για την ανάλυση ενιαίας περιόδου αλλά και για αυτήν των δύο. Το υδρογράφημα απορροής φαίνεται στο σχήμα:



Σχήμα.2.4: Υδρογράφημα απορροής Γερμασόγειας (1969-1999)

Στην συνέχεια, για τον υπολογισμό των δεικτών, προσομοιώθηκε μια απορροή. Για την προσομοίωσή της, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης από τον γειτονικό σταθμό της Λεμεσού. Ουσιαστικά, για την προσομοίωση απαιτούνταν δεδομένα εξατμισοδιαπνοής και βροχόπτωσης. Η επεξεργασία τους αναλύεται εκτενέστερα στο έκτο κεφάλαιο.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για να εκτιμηθεί η επιφανειακή βροχόπτωση σε μια λεκάνη απορροής. Αρχικά, συλλέγονται τα δεδομένα από τους βροχογράφους στην λεκάνη και στην συνέχεια ανάγονται σε επιφανειακή βροχόπτωση βάσει των μεθόδων επιφανειακής ολοκλήρωσης. Σε αυτές της μεθόδους ανήκουν η μέθοδος Thiessen, αυτή του μέσου όρου, η μέθοδος των ισοϋέτιων και άλλες. Στην συγκεκριμένη εργασία, για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης αλλά και της εξατμισοδιαπνοής, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από έναν κοντινό σταθμό στην λεκάνη, τον σταθμό της Λεμεσού. Σε άλλες περιπτώσεις, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν δεδομένα από αρκετούς σταθμούς της περιοχής, ώστε να εξαχθεί η επιφανειακή βροχόπτωση. Εδώ, εφόσον υπολογίστηκε βάσει των δεδομένων ενός σταθμού, η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αλλά και η προσομοιωμένη ροή που εξάχθηκε, θα υστερούν σε ακρίβεια.

### 3.Λογισμικό IHA

Είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από μια οργάνωση των Ηνωμένων Πολιτειών, που πρεσβεύει την προστασία του περιβάλλοντος (The Nature Conservancy). Το λογισμικό αυτό λειτουργεί βάσει μιας απλής αρχής, όπου εισάγονται ημερήσια δεδομένα και εξάγονται συνολικά 67 στατιστικές παράμετροι, οι οποίες αναλύονται παρακάτω. Ουσιαστικά, μια πληροφορία μεγάλη σε έκταση, όπως τα ημερήσια δεδομένα, συνοψίζεται σε δείκτες που ερμηνεύονται αρκετά πιο εύκολα. Για να είναι οι υπολογισμοί του πιο αξιόπιστοι, ο Richter και οι συνεργάτες του (1997), συνιστούν την εισαγωγή χρονοσειρών μεγαλύτερες των 20 ετών. Επίσης, εφίσταται η προσοχή του χρήστη για ελλιπείς χρονοσειρές, καθώς το πρόγραμμα συμπληρώνει αυτόματα τα κενά με γραμμική παρεμβολή.

Το λογισμικό αυτό συνήθως χρησιμοποιείται για την εύρεση της απόκρισης του περιβάλλοντος, σε μια υδρολογική αλλαγή, αλλά και για τον χαρακτηρισμό διάφορων καθεστώτων ροής. Κατά κανόνα έχει εφαρμοστεί σε λεκάνες απορροής στην Αμερική, καθώς και εκεί αναπτύχθηκε. Ωστόσο, έχει βρει εφαρμογή και σε Μεσογειακές λεκάνες, όπως στην λεκάνη της Καλαβρίας (Principato & Viggiani, 2009), όπου χρησιμοποιήθηκε για να προσδιορίσει τις συνθήκες ροής του ποταμού Crati.

Ξεκινώντας την ανάλυση, πρέπει να προσδιοριστεί εάν θα αναλυθούν οι τάσεις ως προς μια περίοδο ή αν θα γίνει σύγκριση μεταξύ δύο περιόδων. Για υδρολογικά συστήματα που υπόκειντο σε απότομες αλλαγές, όπως η κατασκευή ενός φράγματος, επιλέγεται η ανάλυση δύο περιόδων, πριν και μετά την κατασκευή. Έτσι, μπορούν να εντοπιστούν οι αλλαγές που έχουν γίνει στο καθεστώς τη ροής. Για συστήματα που ο ανθρώπινος παράγοντας επιδρά πάνω τους για πολύ καιρό, το πρόγραμμα μπορεί να «τρέξει» και να σχεδιάσει γραμμικές παλινδρομήσεις, που αξιολογούν τις τάσεις.

Άλλο ένα ζήτημα που πρέπει να προσδιοριστεί, είναι αν θα γίνει η ανάλυση βάσει παραμετρικής ή μη-παραμετρικής στατιστικής. Η παραμετρική ανάλυση έχει σαν προϋπόθεση την κανονική κατανομή των δεδομένων, πράγμα που συνήθως δεν συμβαίνει στα υδρολογικά δεδομένα. Επομένως, συχνά χρησιμοποιείται η μη-παραμετρική ανάλυση. Η παραμετρική ανάλυση είναι αρκετά εύχρηστη σε περιπτώσεις, όπως ο υπολογισμός της πλημμυρικής συχνότητας, ο μέσος όρος των μηνιαίων όγκων και άλλα.

Ανάλογα με τις επιλογές της ανάλυσης (μία ή δύο περίοδοι, παραμετρική ή μη), τα αποτελέσματα του προγράμματος θα διαφέρουν. Οι διαφορές τους παρουσιάζονται στην συνέχεια.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το πρόγραμμα εξάγει ως αποτέλεσμα 67 στατιστικές παραμέτρους. Με την σειρά τους χωρίζονται σε 2 υποκατηγορίες, τις παραμέτρους ΙΗΑ(Indicators of Hydrologic Alteration) και τις παραμέτρους EFC (Environmental Flow Component), με 33 και 34 παραμέτρους αντίστοιχα.

### 3.1.Παράμετροι ΙΗΑ (Indicators of Hydrologic Alteration):

Οι παράμετροι αυτοί χωρίζονται σε 5 βασικές κατηγορίες. Σε κάθε κατηγορία αντιστοιχούν συγκεκριμένα στατιστικά στοιχεία που εξάγονται από το πρόγραμμα, σε σύνολο 33. Για κάθε τέτοια κατηγορία, τα στοιχεία που προκύπτουν αντιστοιχούν σε ορισμένες επιδράσεις στο οικοσύστημα. Στον ακόλουθο πίνακα περιγράφονται οι κατηγορίες και το είδος των στατιστικών που αντιστοιχεί σε κάθε μια από αυτές. Παράλληλα, αναλύονται ποια συνθετικά στοιχεία ενός οικοσυστήματος μεταβάλλονται για κάθε μια κατηγορία παραμέτρων.

Πίνακας 3.2: Ομάδες Παραμέτρων ΙΗΑ

Ομάδα παραμέτρων ΙΗΑ	Υδρολογικές παράμετροι	Επιδράσεις στο Οικοσύστημα
1. Μεγέθη των μηνιαίων συνθηκών ροής	Μέση τιμή ή διάμεσος για κάθε μήνα  (12 παράμετροι)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διαθεσιμότητα του περιβάλλοντος για την ανάπτυξη υδρόβιων οργανισμών</li> <li>• Διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας για τα φυτά, νερού και τροφής για τα ζώα</li> <li>• Επιδράσεις στην θερμοκρασία των υδάτων, στα επίπεδα οξυγόνου και στην φωτοσύνθεση</li> </ul>

<p>2. Μεγέθη και διάρκεια ακραίων ετησίων συνθηκών ροής</p>	<p>Ετήσιος μέσος όρος ελαχίστων για :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 ημέρα</li> <li>• 3 ημέρες</li> <li>• 7 ημέρες</li> <li>• 30 ημέρες</li> <li>• 90 ημέρες</li> </ul> <p>Ετήσιος μέσος όρος μέγιστων για:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 ημέρα</li> <li>• 3 ημέρες</li> <li>• 7 ημέρες</li> <li>• 30 ημέρες</li> <li>• 90 ημέρες</li> </ul> <p>Αριθμός ημερών μηδενικής ροής</p> <p>Δείκτης βασικής ροής: Ελάχιστη ροή 7 ημερών/ μέση ετήσια ροή</p> <p>(12 παράμετροι)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δημιουργία τοποθεσιών για την ανάπτυξη φυτών</li> <li>• Δόμηση υδάτινων οικοσυστημάτων από βιοτικούς και μη παράγοντες</li> <li>• Ανακατασκευή της μορφολογίας των κοιτών στους ποταμούς</li> <li>• Καταπόνηση της χλωρίδας από την έλλειψη εδαφικής υγρασίας</li> <li>• Αφυδάτωση της πανίδας από την έλλειψη νερού</li> <li>• Μεταβολή στις ανταλλαγές θρεπτικών συστατικών μεταξύ ποταμού και παραποτάμιας περιοχής</li> <li>• Διάρκεια περιόδων περιορισμένης οξυγόνωσης σε υδάτινα περιβάλλοντα</li> <li>• Κατανομή της χλωρίδας σε υδάτινα στοιχεία (λίμνες, έλη, παράκτιες περιοχές)</li> </ul>
<p>3. Εμφάνιση ακραίων τιμών</p>	<p>Ημερομηνία εμφάνισης ετήσιων μεγίστων</p> <p>Ημερομηνία εμφάνισης ετήσιων ελαχίστων</p> <p>(2 παράμετροι)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συμβατότητα με τον κύκλο ζωής των οργανισμών</li> <li>• Πρόληψη ή αποφυγή ακραίων καταστάσεων για τους οργανισμούς</li> <li>• Πρόσβαση σε εναλλακτικά περιβάλλοντα κατά την περίοδο αναπαραγωγής</li> <li>• Εναλλαγές στην αναπαραγωγή μεταναστευτικών ειδών</li> <li>• Εξέλιξη των συμπεριφορών των ειδών αναλόγως των καταστάσεων</li> </ul>

<p>4. Συχνότητα και διάρκεια υψηλών και χαμηλών διακυμάνσεων</p>	<p>Αριθμός χαμηλών διακυμάνσεων για κάθε υδρολογικό έτος</p> <p>Αριθμός υψηλών διακυμάνσεων για κάθε υδρολογικό έτος</p> <p>Μέση τιμή ή διάμεσος της διάρκειας των χαμηλών διακυμάνσεων (σε ημέρες)</p> <p>Μέση τιμή ή διάμεσος της διάρκειας των υψηλών διακυμάνσεων (σε ημέρες)</p> <p>(4 παράμετροι)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συχνότητα και μέγεθος έλλειψης εδαφικής υγρασίας και οξυγόνου για τα φυτά</li> <li>• Διαθεσιμότητα κοίτης για την ανάπτυξη υδρόβιων οργανισμών</li> <li>• Ανταλλαγή θρεπτικών συστατικών και οργανικής ύλης μεταξύ υδάτινου όγκου και περιβάλλοντος</li> <li>• Διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών εδάφους</li> <li>• Πρόσβαση υδρόβιων πτηνών σε τροφή και χώρους αναπαραγωγής</li> <li>• Διακυμάνσεις στις μεταφορές ιζημάτων, μεταβολές στο εδαφικό υπόστρωμα</li> </ul>
<p>5. Ρυθμός και συχνότητα εναλλαγών στις συνθήκες ροής</p>	<p>Ρυθμός ανόδου: Μέση τιμή ή διάμεσος όλων των θετικών διαφορών μεταξύ συνεχόμενων ημερήσιων τιμών</p> <p>Ρυθμός πτώσης: Μέση τιμή ή διάμεσος όλων των αρνητικών διαφορών μεταξύ συνεχόμενων ημερήσιων τιμών</p> <p>Αριθμός υδρολογικών εναλλαγών</p> <p>(3 παράμετροι)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επίπεδα ξηρασίας στα φυτά</li> <li>• Εγκλωβισμός οργανισμών στις παράκτιες περιοχές</li> <li>• Επίπεδο αποξήρανσης σε οργανισμούς χαμηλής κινητικότητας της παράκτιας περιοχής</li> </ul>

### 3.2. Παράμετροι EFC (Environmental Flow Components)

Το λογισμικό, πέρα από τις παραμέτρους IHA, υπολογίζει και τις παραμέτρους EFC (Mathews & Richter, 2007). Ονομάζονται έτσι, καθώς για 5 διαφορετικά στοιχεία περιβαλλοντικής ροής (στο εξής EFC), υπολογίζει κάποιες παραμέτρους, 34 στο σύνολο. Η κατηγοριοποίησή τους σε 5 διαφορετικά είδη προέκυψε από το γεγονός ότι τα υδρογραφήματα ενός ποταμού μπορούν να χωριστούν σε 5 επαναλαμβανόμενα υδρογραφικά μοτίβα, συσχετιζόμενα μεταξύ τους. Πρόκειται για το πλήρες φάσμα όλων των συνθηκών ροής, που συνοψίζεται σε 5 είδη, απαραίτητα για την διατήρηση τις ακεραιότητας του οικοσυστήματος. Το κάθε είδος έχει σημαντική συνεισφορά στο οικοσύστημα, καθώς ευνοεί ορισμένες βασικές λειτουργίες του. Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή της κάθε κατηγορίας, καθώς και ένας συγκεντρωτικός πίνακας που περιέχει τις παραμέτρους για κάθε είδος, όπως και την επίδρασή τους στο οικοσύστημα:

**Χαμηλές ροές:** Πρόκειται για το κυρίαρχο καθεστώς ροής στους ποταμούς. Μετά την υποχώρηση της επιφανειακής απορροής από την λεκάνη, το ποτάμι επιστρέφει σε αυτή την κατάσταση. Τα επίπεδα των χαμηλών ροών διατηρούνται από την ροή των υπόγειων υδάτων. Οι εποχικές εναλλαγές τους επηρεάζουν σημαντικά την βιοποικιλότητα του ποταμού.

**Πολύ χαμηλές ροές:** Σε περιόδους ξηρασίας μειώνεται σημαντικά η ροή στα ποτάμια. Η σύνθεση του νερού, η θερμοκρασία του και τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου μπορεί να επιδράσουν αρνητικά σε κάποιους οργανισμούς, προκαλώντας την θνησιμότητά τους. Τέτοιες συνθήκες όμως, έχουν θετικό αντίκτυπο σε άλλους οργανισμούς, όπως τους θηρευτές ή την χλωρίδα στις παραποτάμιες περιοχές.

**Διακυμάνσεις υψηλής ροής:** Πρόκειται για τις ανοδικές μεταβολές στην στάθμη του ποταμού, που δεν οδηγούν όμως σε υπερχειλίση. Μια τέτοια αύξηση μεταβάλλει την υψηλή θερμοκρασία του νερού και τα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου, χαρακτηριστικά των χαμηλών ροών. Παράλληλα, μπορούν να μεταφερθούν οργανικές ύλες και τροφή, ευνοώντας τους υδάτινους οργανισμούς. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα πρόσβασης στους οργανισμούς, τόσο στα ανάντη όσο και στα κατόντη της ροής.

**Μικρές πλημμύρες:** Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν όλες οι αυξήσεις της ροής που υπερβαίνουν την κύρια κοίτη του ποταμού. Κατά την διάρκειά τους, οι υδάτινοι οργανισμοί μεταφέρονται σε μέρη δύσκολα στην πρόσβαση αλλά πλούσια σε τροφή



και θρεπτικά συστατικά, όπως παραποτάμους, στάσιμα ύδατα και ρηχές πλημμυρισμένες περιοχές.

**Μεγάλες πλημμύρες:** Πρόκειται πάλι για αυξήσεις της ροής που ξεπερνούν την κύρια κοίτη, συμβαίνουν ωστόσο σπανιότερα. Επαναπροσδιορίζουν ριζικά τόσο την βιολογική όσο και την φυσική δομή ενός ποταμού και των παράκτιων περιοχών. Μπορούν να διώξουν διάφορους οργανισμούς εξαφανίζοντας τους, αλλά και ευνοώντας κάποιους άλλους. Παίζουν επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του ποταμού, δημιουργώντας παραποτάμους αλλά και υγροβιότοπους.

Πίνακας 3.3: Ομάδες παραμέτρων EFC

Κατηγορία EFC	Υδρολογικές Παράμετροι	Επιδράσεις στο Οικοσύστημα
1. Μηνιαίες χαμηλές ροές	Μηνιαία μέση τιμή ή διάμεσος χαμηλών ροών  (12 παράμετροι)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Επαρκής παροχή περιβάλλοντος για υδάτινους οργανισμούς</li> <li>• Διατήρηση της θερμοκρασίας υδάτων, επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου, εδαφικής υγρασίας</li> <li>• Αναστολή της αναπαραγωγικής διαδικασίας ψαριών και αμφιβίων</li> <li>• Μετακινήσεις οργανισμών προς εύρεση τροφής</li> </ul>
2. Πολύ χαμηλές ροές	Συχνότητα των πολύ χαμηλών ροών κατά την διάρκεια ενός υδρολογικού έτους ή εποχής  Μέση τιμή ή διάμεσος: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάρκειας γεγονότος σε ημέρες</li> <li>• Ελάχιστη ροή κατά την διάρκεια του γεγονότος</li> <li>• Ημέρα που παρατηρήθηκε η ελάχιστη ροή</li> </ul> (4 παράμετροι)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ανάπτυξη σε ορισμένα φυτά της παραποτάμιας περιοχής</li> <li>• Εξάλειψη ειδών από τις παραποτάμιες ή την υδάτινη περιοχή</li> <li>• Συγκέντρωση αρπακτικών ζώων</li> </ul>

<p>3. Διακυμάνσεις υψηλής ροής</p>	<p>Συχνότητα εμφάνισης διακυμάνσεων υψηλής ροής κατά την διάρκεια ενός υδρολογικού έτους ή εποχής</p> <p>Μέση τιμή ή διάμεσος:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάρκειας γεγονότος σε ημέρες</li> <li>• Μέγιστη ροή κατά την διάρκεια του γεγονότος</li> <li>• Συχνότητα εμφάνισης</li> <li>• Ημέρα που παρατηρήθηκε η μέγιστη ροή</li> <li>• Ρυθμός ανόδου και πτώσης</li> </ul> <p>(6 παράμετροι)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διαμόρφωση φυσικών χαρακτηριστικών του ποταμού</li> <li>• Καθορίζει το μέγεθος των κόκκων των υλικών που βρίσκονται στο υπόστρωμα (άμμος, χαλίκι)</li> <li>• Αναχίτιση της επέκτασης της παράκτιας βλάστησης εντός του ποταμού</li> <li>• Αποκατάσταση της ποιότητας του νερού με απομάκρυνση ρύπων που συσσωρεύθηκαν από τις χαμηλές ροές</li> </ul>
<p>4. Μικρές πλημμύρες</p>	<p>Συχνότητα εμφάνισης μικρών πλημμυρών κατά την διάρκεια ενός υδρολογικού έτους ή εποχής</p> <p>Μέση τιμή ή διάμεσος:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάρκειας γεγονότος σε ημέρες</li> <li>• Μέγιστη ροή κατά την διάρκεια του γεγονότος</li> <li>• Συχνότητα εμφάνισης</li> <li>• Ημέρα που παρατηρήθηκε η μέγιστη ροή</li> <li>• Ρυθμός ανόδου και πτώσης</li> </ul> <p>(6 παράμετροι)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Νέες συνθήκες μετανάστευσης και αναπαραγωγής για τον υδάτινο πληθυσμό</li> <li>• Δημιουργία νέων φάσεων στον κύκλο της ζωής</li> <li>• Νέες ευκαιρίες για την εύρεση της τροφής των οργανισμών</li> <li>• Διατήρηση της βιοποικιλότητας της παράκτιας περιοχής μέσω παρατεταμένων πλημμυρών (διαφορετική ανεκτικότητα ανά είδος)</li> <li>• Απόθεση θρεπτικών συστατικών στις παράκτιες περιοχές</li> </ul> <p>(Ισχύουν και για μεγάλες πλημμύρες)</p>

<p>5. Μεγάλες πλημμύρες</p>	<p>Συχνότητα εμφάνισης μικρών πλημμυρών κατά την διάρκεια ενός υδρολογικού έτους ή εποχής</p> <p>Μέση τιμή ή διάμεσος:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάρκειας γεγονότος σε ημέρες</li> <li>• Μέγιστη ροή κατά την διάρκεια του γεγονότος</li> <li>• Συχνότητα εμφάνισης</li> <li>• Ημέρα που παρατηρήθηκε η μέγιστη ροή</li> <li>• Ρυθμός ανόδου και πτώσης</li> </ul> <p>(6 παράμετροι)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ των υδάτινων και παραποτάμιων ειδών</li> <li>• Διαμόρφωση φυσικών χαρακτηριστικών του ποταμού</li> <li>• Απόθεση άμμου και χαλικιών σε χώρους αναπαραγωγής</li> <li>• Μεταφορά οργανικής ύλης στο ποτάμι</li> <li>• Δημιουργία νέων στοιχείων του ποταμού, όπως παραποτάμους</li> <li>• Ευνοϊκές συνθήκες για την χλωρίδα, λόγω της υψηλής εδαφικής υγρασίας</li> </ul> <p>(Ισχύουν και για μικρές πλημμύρες)</p>
-----------------------------	--	--

### 3.3. Ανάλυση RVA

Η προσέγγιση του εύρους της μεταβλητότητας (RVA-Range of Variability Approach) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση δύο περιόδων. Χρησιμοποιεί την φυσική μεταβολή των παραμέτρων ΙΗΑ της πρώτης περιόδου, ως αναφορά, για να προσδιορίσει το κατά πόσο έχουν αλλάξει τα καθεστάτα της ροής. Η μεταβολή αυτή χρησιμοποιείται σαν βάση, για τον προσδιορισμό των αρχικών στόχων της περιβαλλοντικής ροής. Πρόκειται για μια μέθοδο που συσχετίζει την δυναμική της απορροής με τις αλλαγές στην δομή και στις επιμέρους συναρτήσεις του οικοσυστήματος. Από την άλλη, η ανάλυση RVA δίδει την ίδια βαρύτητα σε όλες τις παραμέτρους, ανεξάρτητα από την σχέση τους με τα υδρολογικά γεγονότα. Αυτή η προσέγγιση προϋποθέτει μια αναλογική σχέση μεταξύ του καθεστάτος της ροής και της οικολογικής αλλαγής, ενώ στην πραγματικότητα η απόκριση του οικοσυστήματος ενδέχεται να είναι μη- γραμμική, ασυνεχής κ.ο.κ. Ανεξάρτητως αυτών, αυτή η μέθοδος δίνει μια γενική επισκόπηση των αλλαγών που συμβαίνουν στα χαρακτηριστικά της

ροής (Principato & Viggiani, 2009).. Να σημειωθεί πως η ανάλυση RVA γίνεται μόνο για τις παραμέτρους IHA, και όχι για τις EFC.

Όταν χρησιμοποιείται μη-παραμετρική στατιστική, η ανάλυση RVA χωρίζει τα δεδομένα για κάθε παράμετρο σε τρεις κατηγορίες, βάσει εκατοστημορίων. Στην χαμηλότερη κατηγορία βρίσκονται οι τιμές μικρότερες ή ίσες του 33<sup>ο</sup> εκατοστημορίου, στην μεσαία κατηγορία οι τιμές ανάμεσα στο 33<sup>ο</sup> και το 67<sup>ο</sup>, και στην μεγαλύτερη κατηγορία είναι οι τιμές μεγαλύτερες του 67<sup>ο</sup> εκατοστημορίου. Για τον ορισμό των ορίων στην παραμετρική ανάλυση, ο χρήστης ορίζει τον αριθμό των τυπικών αναλύσεων που απέχουν από τον μέσο όρο.

Στην συνέχεια, το πρόγραμμα υπολογίζει την αναμενόμενη συχνότητα των τιμών της δεύτερης περιόδου, να πέσουν στην σε κάθε κατηγορία. Για την μη –παραμετρική ανάλυση, η πιθανότητα αυτή είναι 33%. Ύστερα, υπολογίζει την συχνότητα για την οποία οι τιμές έπεσαν όντως σε κάθε κατηγορία. Η αναμενόμενη συχνότητα είναι ίση με τον αριθμό των τιμών κάθε κατηγορίας, πολλαπλασιασμένοι με τον λόγο των ετών της δεύτερης με της πρώτης περιόδου . Για κάθε κατηγορία υπολογίζεται ο παράγοντας υδρολογικής μεταβολής (HA-Hydrologic Alteration):

$$HA = \frac{(observed\ frequency - expected\ frequency)}{expected\ frequency}$$

Όταν HA>0, η συχνότητα των τιμών της συγκεκριμένης κατηγορίας έχει αυξηθεί, από την πρώτη στην δεύτερη περίοδο. Αντίστοιχα, για HA<0, η συχνότητα έχει μειωθεί.

### 3.4 Καμπύλες Διάρκειας Ροής

Οι καμπύλες διάρκειας ροής (Flow Duration Curves-FDC), παράγονται από το πρόγραμμα τόσο για ανάλυση μιας περιόδου, όσο και για την ανάλυση δύο περιόδων, όπου για κάθε απορροή, εκτιμάται η πιθανότητα υπέρβασής της. Συνήθως υπολογίζονται για ημερήσια δεδομένα, καθώς για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, κάποιες πληροφορίες που είναι σημαντικές για την αλλαγή της ροής, μπορεί να μην ληφθούν υπόψιν (Pumo et al., 2018). Για να γίνουν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα, δίδεται η δυνατότητα υπολογισμού καμπυλών, ξεχωριστά για κάθε μήνα.

Για τον υπολογισμό τους ακολουθείται η εξής μεθοδολογία:

1. Ταξινομούνται οι μέσες ημερήσιες απορροές σε φθίνουσα σειρά, έχοντας σαν αποτέλεσμα τιμές.

2. Οι απορροές βαθμονομούνται, με την μεγαλύτερη να παίρνει την τιμή 1, και η μικρότερη την τιμή Μ.
3. Υπολογίζεται η πιθανότητα υπέρβασης (P):

$$P = 100 * \left[ \frac{M}{(n + 1)} \right]$$

### 3.5 Αποτελέσματα του προγράμματος

Οι επιλογές που πρέπει να ληφθούν πριν την έναρξη της ανάλυσης είναι δύο: το είδος της στατιστικής που θα χρησιμοποιηθεί (παραμετρική ή μη-παραμετρική), και ο αριθμός των περιόδων (μία ή δύο). Στην αρχή του κεφαλαίου, αναφέρθηκε πως ανάλογα με τις επιλογές της ανάλυσης, τα αποτελέσματα θα διαφέρουν.

Τα αποτελέσματα εξάγονται σε δύο μορφές, σε πίνακες και σε γραφήματα. Ανάλογα με το είδος της ανάλυσης που έχει επιλεγεί, διαφέρουν οι πίνακες που είναι διαθέσιμοι. Οι πίνακες των αποτελεσμάτων διατίθενται σε ένα φύλλο εργασίας, όπου κάθε σελίδα του αντιστοιχεί σε έναν πίνακα. Αυτοί οι πίνακες μπορούν να εξαχθούν στο Excel. Ο ακόλουθος πίνακας καθορίζει ποια αποτελέσματα αντιστοιχούν σε κάθε είδος ανάλυσης, ενώ στην συνέχεια επεξηγούνται τα στοιχεία που περιέχουν:

Πίνακας 4.3: Αντιστοιχία των αποτελεσμάτων με το είδος της ανάλυσης

	Δύο περιόδων Μη- παραμετρική	Μίας περιόδου Μη-παραμετρική	Δύο περιόδων Παραμετρική	Μίας περιόδου Παραμετρική
Annual Summaries	✓	✓	✓	✓
Scorecard	✓	✓	✓	✓
RVA	✓	-	✓	-
Box-and-Whisker	✓	-	✓	-
Regression	-	✓	-	✓
Percentile	✓	✓	-	-
EFC Daily	✓	✓	✓	✓

FDC	✓	✓	✓	✓
Message Report	✓	✓	✓	✓

### 3.5.1 Annual Summaries Table:

Είναι ο πίνακας των ετήσιων αθροισμάτων. Σε αυτόν τον πίνακα περιέχονται όλες οι παράμετροι IHA και EFC για κάθε έτος που συμμετέχει στην ανάλυση. Κάθε στήλη αντιστοιχεί σε μια παράμετρο, και κάθε σειρά σε ένα έτος. Εάν έχει επιλεχθεί παραμετρική στατιστική, οι τιμές του πίνακα είναι ο μέσος όρος των τιμών για κάθε έτος. Για παράδειγμα, η τιμή του πίνακα που αντιστοιχεί στον Ιούνιο του 1994, είναι ο μέσος όρος των τιμών του Ιουνίου του 1994. Για την διάρκεια των πολύ χαμηλών ροών, η τιμή του πίνακα είναι ο μέσος όρος της διάρκειάς τους, καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Εάν έχει επιλεχθεί μη-παραμετρική στατιστική, οι τιμές του πίνακα βασίζονται στην διάμεσο, αντί στον μέσο όρο.

### 3.5.2. Scorecard Table:

Πρόκειται για έναν πίνακα που περιέχει μια πληθώρα στατιστικών, για τις παραμέτρους IHA αλλά και EFC, που προκύπτουν από τον πίνακα των ετήσιων αθροισμάτων. Παρόλο που είναι διαθέσιμος τόσο για την παραμετρική όσο και για την μη-παραμετρική ανάλυση, τα περιεχόμενά του διαφέρουν ανάλογα με το είδος.

Στο πάνω μέρος του φύλλου εργασίας έχουν υπολογιστεί 8 παράμετροι:

- Παράγοντας κανονικοποίησης-Normalization factor: Με αυτόν διαιρούνται όλες οι τιμές της ροής που εξάγονται.
- Μέση ετήσια ροή- Mean annual flow
- Μη-κανονικοποιημένη μέση ροή- Non normalized mean flow
- Ετήσιος συντελεστής διακύμανσης- Annual Coefficient of Variation: Υπολογίζεται ως την τυπική απόκλιση των ημερήσιων τιμών, προς την μέση ετήσια ροή.
- Προβλεψιμότητα ροής- Flow Predictability: Η παράμετρος λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Για τον υπολογισμό της, απαιτούνται δύο στοιχεία, η σταθερότητα (C-constancy) και η πιθανότητα (M), που πρόκειται για ένα μέτρο περιοδικότητας. Για μία πολύ σταθερή ροή, η σταθερότητα έχει συμβάλει περισσότερο στον υπολογισμό της προβλεψιμότητας, ενώ για μια αρκετά μεταβλητή ροή, είναι μεγαλύτερη η συμβολή του M.
- Σταθερότητα/ προβλεψιμότητα:  $C/(C+M)$
- Ποσοστό πλημμύρων για 60 ημέρες- % of floods in 60d period: Το μεγαλύτερο ποσοστό πλημμύρων για κάθε περίοδο 60 ημερών όλης της χρονοσειράς. Ως πλημμύρα

θεωρείται οποιοδήποτε γεγονός ξεπερνάει το κατώφλι των υψηλών διακυμάνσεων ροής.

- Εποχή χωρίς πλημμύρες- Length of flood free season: Το άθροισμα των ημερών της μεγαλύτερης περιόδου όπου η ροή ήταν χαμηλότερα από το κατώφλι των υψηλών διακυμάνσεων

Αυτές οι παράμετροι υπολογίζονται τόσο για την παραμετρική όσο και για την μη-παραμετρική ανάλυση. Για την ανάλυση δύο περιόδων, υπολογίζονται ανά περίοδο.

Στην συνέχεια, για κάθε παράμετρο IHA και EFC, υπολογίζονται κάποια στατιστικά.

Ενδεικτικά, για μη-παραμετρική ανάλυση δύο περιόδων:

Στήλη 1,2: Διάμεσος για κάθε περίοδο.

Στήλη 3,4: Συντελεστής διασποράς. Βάσει εκατοστημορίων, υπολογίζεται ως  $(75^{\circ}-25^{\circ})/50^{\circ}$

Στήλη 5,6: Παράγοντας απόκλισης. Εφαρμόζεται για την εύρεση των διαφορών μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης περιόδου, σε ότι αφορά την διάμεσο και τον συντελεστή διασποράς. Ορίζεται ως η απόλυτη τιμή της διαφοράς των δύο περιόδων, προς την τιμή της πρώτης:

$$Deviation\ factor = \frac{|(Post\ impact\ value) - (Pre\ impact\ value)|}{Pre\ impact\ value}$$

Στήλη 7,8: Μέτρηση σημαντικότητας (significance count). Υπολογίζεται για τις τιμές της απόκλισης, και λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Το λογισμικό ανακατεύει την χρονοσειρά, και υπολογίζει εκ νέου την διάμεσο και τον συντελεστή διασποράς, για 1000 φορές. Η μέτρηση της σημαντικότητας είναι οι φορές που οι τιμές της απόκλισης ήταν μεγαλύτερες από τις πραγματικές. Μια τιμή κοντά στο 0 δηλώνει πως η διαφορά μεταξύ των περιόδων είναι πολύ σημαντική, ενώ μια τιμή κοντά στο 1 το αντίθετο.

Για παραμετρική ανάλυση δύο περιόδων:

Στήλη 1,2: Μέσος όρος για κάθε περίοδο

Στήλη 3,4: Οι συντελεστές απόκλισης, που ορίζονται ως η τυπική απόκλιση προς τον μέσο όρο.

Στήλη 5: Ο παράγοντας απόκλισης, που δείχνει το μέγεθος της αλλαγής στον μέσο όρο από την πρώτη στην δεύτερη περίοδο.

Στήλη 6: Το ποσοστό που εκφράζει την αλλαγή.

Στήλη 7,8: Το μέγεθος και το ποσοστό της αλλαγής στους συντελεστές απόκλισης.

Για ανάλυση σε μία περίοδο, υπάρχουν μόνο τα στοιχεία της πρώτης και τρίτης στήλης (ανεξαρτήτως στατιστικών επιλογών).

### 3.5.3. RVA Table:

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο πίνακας του εύρους της μεταβλητότητας είναι διαθέσιμος μόνο για την ανάλυση δύο περιόδων και αφορά μόνο τις παραμέτρους ΙΗΑ. Τα στατιστικά που υπολογίζονται προκύπτουν από τα στοιχεία του πρώτου πίνακα (annual summaries table). Ο πίνακας χωρίζεται σε δύο μέρη.

Για το πρώτο μέρος, στις σειρές του πίνακα βρίσκονται οι παράμετροι και στις στήλες τα ακόλουθα στατιστικά:

Στήλη 1,2: Η διάμεσος και ο συντελεστής διασποράς της πρώτης περιόδου, για μη-παραμετρική ανάλυση. Για την παραμετρική ανάλυση, στην πρώτη στήλη βρίσκεται η μέση τιμή και στην δεύτερη ο συντελεστής απόκλισης, πάλι για την πρώτη περίοδο.

Στήλη 3,4: Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή για την πρώτη περίοδο (ανεξαρτήτως στατιστικής ανάλυσης).

Στήλη 5-8: Τα στοιχεία των τεσσάρων πρώτων στηλών για την δεύτερη περίοδο.

Στήλη 9-10: Δίνονται τα όρια της χαμηλής και της υψηλής κατηγορίας RVA

Στήλη 11: Δίνεται ο παράγοντας υδρολογικής μεταβολής (HA), για την μεσαία κατηγορία RVA.

Στο δεύτερο μέρος του πίνακα είναι οι τρεις κατηγορίες RVA (μεσαία, υψηλή και χαμηλή). Για κάθε μια από αυτές και για κάθε παράμετρο, υπάρχει η αναμενόμενη συχνότητα, η παρατηρημένη συχνότητα και ο παράγοντας της μεταβολής, που υπολογίστηκε στην παράγραφο 3.3.



#### 3.5.4. Box-and-WhiskerTable:

Ο πίνακας αυτός εξάγεται για ανάλυση δύο περιόδων. Για κάθε παράμετρο (IHA και EFC) και για κάθε περίοδο υπολογίζει τα εξής:

Για μη-παραμετρική ανάλυση υπολογίζει την ελάχιστη και μέγιστη τιμή, την διάμεσο καθώς και τις τιμές που αντιστοιχούν στο 25° και 75° εκατοστημόριο. Για παραμετρική ανάλυση, υπολογίζει την μέγιστη και ελάχιστη τιμή, τον μέσο όρο και τον μέσο όρο ± την τυπική απόκλιση.

Ο πίνακας αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σχεδίαση διαγραμμάτων Box-and-Whisker.

#### 3.5.5. Regression Table

Ο πίνακας της παλινδρόμησης είναι διαθέσιμος για την ανάλυση μιας περιόδου. Περιλαμβάνει 7 στήλες με τα ακόλουθα στοιχεία, για κάθε παράμετρο IHA και EFC:  
Στήλη 1,2: Η κλίση και η τομή της γραμμής των ελαχίστων τετραγώνων με τον άξονα y.

Στήλη 3: Το τυπικό σφάλμα κάθε τιμής για τα αντίστοιχα χ στην παλινδρόμηση

Στήλη 4: Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης

Στήλη 5: Η τιμή P για την κλίση της γραμμής παλινδρόμησης

Στήλη 6: Η ποσότητα F για την γραμμή της παλινδρόμησης

Στήλη 7: Το  $R^2$

#### 3.5.6. Percentile Table:

Είναι ο πίνακας των εκατοστημορίων, που προκύπτει για την μη-παραμετρική ανάλυση. Περιλαμβάνει 6 στήλες, όπου στις πρώτες 5 είναι οι τιμές που ανήκουν στο 10°, 25°, 50°, 75° και 90° εκατοστημόριο. Στην έκτη στήλη βρίσκεται ο συντελεστής διασποράς, που υπολογίζεται ως  $(75^\circ - 25^\circ) / 50^\circ$ , όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Στην ανάλυση δύο περιόδων, οι στήλες επαναλαμβάνονται και για την δεύτερη (12 στο σύνολο).

### 3.5.7. EFC Daily Table

Αυτός ο πίνακας εξάγεται για όλες τις αναλύσεις. Περιλαμβάνει πέντε στήλες, με τα εξής περιεχόμενα:

Στήλη 1: Όλες οι ημερομηνίες της χρονοσειράς

Στήλη 2: Η ροή στις αντίστοιχες μονάδες

Στήλη 3: Η παράμετρος EFC στην οποία αντιστοιχεί η συγκεκριμένη ροή (0 για πολύ χαμηλή ροή, 1 για χαμηλή ροή, 2 για διακύμανση υψηλής ροής, 3 για μικρή πλημμύρα και 4 για μεγάλη πλημμύρα)

Στήλη 4: Η στήλη 3 ολογράφως

Στήλη 5: Εάν η ροή της συγκεκριμένης ημέρας προήλθε από κανονικά δεδομένα ή από παρεμβολή (από το πρόγραμμα).

### 3.5.8. Flow Duration Curve Table

Όπως προαναφέρθηκε, οι καμπύλες διάρκειας ροής (FDC), μπορούν να υπολογιστούν είτε ετήσια (για όλα τα δεδομένα δηλαδή), είτε μηνιαίως. Τα αποτελέσματα λοιπόν του πίνακα είναι μια στήλη με τα ετήσια δεδομένα, ταξινομημένα κατά φθίνουσα σειρά, και η πιθανότητα υπέρβασής τους. Το ίδιο γίνεται και για κάθε μήνα, με αποτέλεσμα 26 στήλες. Για ανάλυση 2 περιόδων, οι στήλες γίνονται 52.

### 3.5.9. Message Report

Σε αυτό το φύλλο εργασίας φαίνονται όποια μηνύματα ή προειδοποιήσεις δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια της ανάλυσης. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς εμπεριέχει σημαντικές πληροφορίες για πιθανά προβλήματα που μπορεί να έχουν τα αποτελέσματα.

## 4. Έλεγχος για την ύπαρξη τάσεων

Γενικά, οι χρονοσειρές μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο κατηγορίες, σε στάσιμες (ή μόνιμες) και μη. Βασικό στοιχείο μιας στάσιμης χρονοσειράς είναι πως οι στατιστικές της ιδιότητες διατηρούνται σταθερές με την πάροδο του χρόνου. Οι μη-στάσιμες χρονοσειρές χαρακτηρίζονται από έντονες τάσεις, περιοδικότητα και άλματα μεταξύ των τιμών τους. Τα περισσότερα υδατικά συστήματα σχεδιάζονται και λειτουργούν βάσει της υπόθεσης της μονιμότητας. Είναι σκόπιμος λοιπόν, ο έλεγχος για τυχόν ύπαρξη τάσεων στις χρονοσειρές, πριν την ανάλυση που έπεται στην εκάστοτε περίπτωση.

Η εύρεση των τάσεων μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους, γραφικά και στατιστικά (Kundzewicz et al., 2000).

### 1. Γραφική μέθοδος (EDA):

Ορίζεται ως αναγνωριστική ανάλυση δεδομένων (exploratory data analysis). Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί γραφήματα για την εξερεύνηση, την κατανόηση και την παρουσίαση των γραφημάτων. Πρόκειται για μια επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία τα γραφήματα σχεδιάζονται και φιλτράρονται ώστε να μπορούν να αναγνωριστούν τα σημαντικά χαρακτηριστικά των δεδομένων. Αποτελεί ένα βασικό στοιχείο των στατιστικών αναλύσεων, καθώς απεικονίζει περιληπτικά τις ιδιότητες των δεδομένων. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερα ευνοϊκό στοιχείο, επειδή τα σχήματα γίνονται ευκολότερα κατανοητά στο ανθρώπινο μάτι. Τέλος, μέσω της γραφικής μεθόδου γίνονται ευκολότερα αντιληπτά τα άλματα μεταξύ των τιμών, καθώς και η αυτοσυσχέτισή τους. Υπάρχει πληθώρα λογισμικών για την οπτικοποίηση της ανάλυσης χρονοσειρών, πράγμα που την καθιστά αρκετά εύχρηστη μέθοδο.

### 2. Στατιστικές μέθοδοι:

Οι αλλαγές που μπορούν να υπάρξουν σε μια χρονοσειρά, μπορούν να γίνουν σταδιακά (τάση), απρόοπτα (άλμα μεταξύ τιμών) ή σε πιο σύνθετες μορφές. Αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν διάφορες ιδιότητες των δεδομένων, όπως την μέση τιμή, την διάμεσο, την διασπορά και άλλα στατιστικά χαρακτηριστικά τους. Κατά την ανάλυση, ακολουθείται μια διαδικασία τριών βασικών βημάτων:

- Αναγνώριση τάσης
- Εύρεση της απότομης αλλαγής τάσης

- Διαφορές στην μέση τιμή ή την διάμεσο μεταξύ δύο περιόδων

Και για τα τρία παραπάνω βήματα, ακολουθείται μια συγκεκριμένη διαδικασία στατιστικού ελέγχου:

- Υπόθεση: Αρχικά, πρέπει να οριστεί μια μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ), και μια εναλλακτική ( $H_1$ ).
- Στατιστικός έλεγχος: Οι δύο παραπάνω υποθέσεις συγκρίνονται μεταξύ τους. Το αποτέλεσμα του ελέγχου είναι μια τιμή που προκύπτει από την χρονοσειρά που εξετάζεται.
- Επίπεδο σημαντικότητας: Μετρίεται εάν οι τιμές που προέκυψαν από τον στατιστικό έλεγχο είναι πολύ διαφορετικές από αυτές που θα προέκυπταν για την υπόθεση  $H_0$ .
- Σφάλματα και αξιοπιστία: Υπάρχουν δύο είδη σφαλμάτων. Τα σφάλματα τύπου 1 είναι αυτά που προκύπτουν όταν η υπόθεση  $H_0$  απορρίπτεται λανθασμένα. Τα σφάλματα τύπου 2 είναι αυτά που προκύπτουν όταν ισχύει η υπόθεση  $H_1$ , αλλά και η  $H_0$  είναι αποδεκτή. Πιο αξιόπιστος θεωρείται ο έλεγχος που έχει μικρά σφάλματα τύπου 2.

Ειδικότερα, υπάρχουν δύο ειδών έλεγχοι, οι παραμετρικοί και η μη-παραμετρικοί.

Στους παραμετρικούς ελέγχους γίνεται η υπόθεση πως η χρονοσειρά ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη κατανομή, συνήθως την κανονική. Είναι αρκετά χρήσιμοι, καθώς ποσοτικοποιούν την τάση ή τις αλλαγές στα δεδομένα.

Στους μη- παραμετρικούς ελέγχους, θεωρείται πως τα δεδομένα δεν ακολουθούν κάποια κατανομή. Βάσει ενός τέτοιου ελέγχου, εντοπίζεται η τάση ή οι αλλαγές, αλλά δεν ποσοτικοποιούνται.

Οι παραμετρικοί έλεγχοι είναι γενικά πιο αξιόπιστοι από τους μη- παραμετρικούς. Όσον αφορά όμως τις υδρολογικές χρονοσειρές, οι μη-παραμετρικοί έλεγχοι είναι πιο χρήσιμοι, καθώς σπάνια τα δεδομένα των χρονοσειρών ακολουθούν την κανονική κατανομή. Επίσης, τα υδρολογικά δεδομένα είναι συνήθως εξαρτώμενα μεταξύ τους, ειδικά όταν η χρονοσειρά έχει μικρό βήμα, πχ. η σημερινή ροή θα έχει αρκετά κοινά στοιχεία με την αυριανή. Για να εφαρμοστούν παραμετρικοί έλεγχοι σε υδρολογικές χρονοσειρές, θα πρέπει αφενός να μετατραπούν τα δεδομένα ώστε η κατανομή τους να προσεγγίζει την κανονική, και αφετέρου να περιοριστεί η ανάλυση σε ετήσιες χρονοσειρές, που η υπόθεση της ανεξαρτησίας των δεδομένων είναι αποδεκτή (Kundzewicz et al.,200).

Στην συνέχεια αναλύονται οι έλεγχοι που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε βήμα για την εν λόγω εργασία:

#### 4.1. Έλεγχος αναγνώρισης της τάσης

Για την αναγνώριση της τάσης χρησιμοποιήθηκε ο μη-παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall. Η υπόθεση  $H_0$  είναι πως δεν υπάρχει κάποια τάση στην χρονοσειρά, ενώ η εναλλακτική υπόθεση  $H_1$ , είναι πως υπάρχει. Η τάση αυτή μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική.

Για την αναγνώριση της τάσης, υπολογίζεται η ποσότητα  $S$ . Κάθε τιμή των δεδομένων, συγκρίνεται με την ακόλουθη. Αρχικά, η ποσότητα  $S$  ισούται με 0, ότι αληθεύει δηλαδή η  $H_0$ . Εάν η επόμενη τιμή είναι μεγαλύτερη, τότε η ποσότητα  $S$  αυξάνεται κατά 1. Εάν είναι μικρότερη, η ποσότητα  $S$  μειώνεται κατά 1. Αθροίζοντάς τες, προκύπτει η τελική τιμή του  $S$ .

Για  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , οι  $n$  τιμές της χρονοσειράς, και  $x_j$  η τιμή της  $j$  χρονικής στιγμής:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k)$$

όπου

$$\text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, & \text{για } x_j - x_k > 0 \\ 0, & \text{για } x_j - x_k = 0 \\ -1, & \text{για } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

Εάν η μηδενική υπόθεση είναι αληθής, τότε το  $S$  ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή και διακύμανση:

$$\mu = 0$$

$$\sigma = \frac{(n-1)(2n+5)}{18}$$

Τελικώς, υπολογίζεται το στατιστικό στοιχείο  $z$ :

$$z = \frac{|S|}{\sqrt{\sigma}}$$

Το  $z$  συγκρίνεται με διάφορα επίπεδα σημαντικότητας από τους πίνακες της κανονικής κατανομής. Εάν βρίσκεται μεταξύ των επιπέδων, η χρονοσειρά παρουσιάζει τάση ανάλογα με την τιμή του  $S$ . Μια πολύ υψηλή τιμή του  $S$  δηλώνει αύξουσα τάση, ενώ μια μεγάλη αρνητική τιμή δηλώνει φθίνουσα.

## 4.2. Έλεγχος αλλαγής τάσης

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος του συσσωρευτικού αθροίσματος (Distribution Free CUSUM test). Πρόκειται για έναν μη- παραμετρικό έλεγχο που μπορεί να ανιχνεύσει μια απότομη αλλαγή της τάσης των χρονοσειρών. Ο τρόπος λειτουργίας του βασίζεται στην ιδέα της βαθμολόγησης (ranking) του μέσου όρου των παρατηρήσεων.

Με  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , οι τιμές της χρονοσειράς και  $x_{median}$  τον μέσο όρο όλων των παρατηρήσεων:

$$V_k = \sum_{i=1}^k sign(x_i - x_{median})$$

όπου:

$$sign(x) = \begin{cases} 1, & \text{για } x > 0 \\ 0, & \text{για } x = 0 \\ -1, & \text{για } x < 0 \end{cases}$$

Η τιμή  $V_k$  αποτελεί το μερικό άθροισμα όλων των παρατηρήσεων. Η αρνητική τιμή της υποδηλώνει πως η τελευταία εγγραφή των δεδομένων έχει υψηλότερη μέση τιμή από την προηγούμενη, και αντίστροφα. Το έτος που εντοπίζεται η αλλαγή της τάσης, είναι αυτό που αντιστοιχεί στην μέγιστη απόλυτη τιμή του  $V_k$ .

Οι τιμές  $V_k$  ακολουθούν την κατανομή Kolmogorov-Smirnov δύο δειγμάτων ( $KS=(2/n)\max|V_k|$ ), με κρίσιμες τιμές του  $\max|V_k|$  τις ακόλουθες:

Πίνακας 5.1: Τα επίπεδα σημαντικότητας του ελέγχου αλλαγής τάσης

$\alpha=0.1$	$1.22\sqrt{n}$
$\alpha=0.05$	$1.36\sqrt{n}$
$\alpha=0.01$	$1.63\sqrt{n}$

όπου  $n$  τα έτη των παρατηρήσεων στην χρονοσειρά.

### 4.3. Έλεγχος διαφοράς στην μέση τιμή/διάμεσο δύο περιόδων

Για την πραγματοποίηση αυτού του ελέγχου, χρησιμοποιήθηκε ο έλεγχος Wilcoxon (Rank-Sum Test). Πρόκειται για έναν μη παραμετρικό βαθμολογικό έλεγχο. Η υπόθεση  $H_0$  είναι πως  $\mu_1 = \mu_2$ , ότι δηλαδή η μέση τιμή και των δύο περιόδων είναι ίδια.

Αρχικά, τα δεδομένα βαθμονομούνται από 1 ως  $N$  (για ίσες τιμές, λαμβάνεται ο μέσος όρος του βαθμού). Ο αριθμός των δεδομένων της μικρότερης περιόδου καλείται  $n$ , ενώ αυτός της μεγαλύτερης  $m$ . Προφανώς, ισχύει  $N = n + m$ .

Στην συνέχεια, υπολογίζεται η ποσότητα  $S$  ως το άθροισμα των βαθμών της μικρότερης περιόδου. Για την ποσότητα αυτή, υπολογίζεται η θεωρητική μέση τιμή και τυπική απόκλιση ως:

$$\mu = \frac{n(N + 1)}{2}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{nm(N + 1)}{12}}$$

Η ποσότητα  $S$  συγκρίνεται με την μέση της τιμή, και ανάλογα προκύπτει το στατιστικό στοιχείο  $Z_{rs}$ :

$$Z_{rs} = \begin{cases} \frac{S - 0.5 - \mu}{\sigma} & \text{για } S > \mu \\ 0 & \text{για } S = \mu \\ \frac{S + 0.5 - \mu}{\sigma} & \text{για } S < \mu \end{cases}$$

Το  $Z_{rs}$  ακολουθεί προσεγγιστικά την κανονική κατανομή. Για να εξαχθούν συμπεράσματα για την σημαντικότητά του, συγκρίνεται με τα επίπεδα σημαντικότητας που προκύπτουν από την κανονική κατανομή.

## 5. GR4J

Για την προσομοίωση της ροής χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο GR4J.

Το GR4J είναι ένα μοντέλο βροχής-απορροής 4 παραμέτρων, που αναπτύχθηκε από τον Perrin (2003). Πρόκειται για την βελτίωση του μοντέλου GR3J, που δημιουργήθηκε από τους Edijatno και Michel (1989) και βελτιώθηκε από τον Nascimento (1995) και τους Edijatno και συνεργάτες (1999). Δέχεται δεδομένα βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, ενώ εξάγει απορροές. Ουσιαστικά, με την βελτιστοποίηση των τεσσάρων παραμέτρων, προσομοιώνει γεγονότα απορροής. Η διαφορά του με αντίστοιχα μοντέλα, είναι πως λειτουργεί συνολικά, σε επίπεδο λεκάνης.

Συνήθως, τα κατανεμημένα μοντέλα βροχής-απορροής έχουν ξεχωρίσει τις διεργασίες, και κάθε μια από αυτές λειτουργεί σαν ένα ξεχωριστό μοντέλο. Στο GR4J οι φυσικές διεργασίες εξετάζονται και ερμηνεύονται σε επίπεδο λεκάνης. Αυτό το καθιστά αρκετά ευέλικτο, καθώς δεν υπάρχουν οι γνώσεις λειτουργίας όλων των διεργασιών. Για παράδειγμα, οι διεργασίες του υπεδάφους είναι δύσκολο να υπολογιστούν και να ερμηνευθούν σε επίπεδο λεκάνης (Perrin et al., 2003). Με το ολιστικό μοντέλο γίνεται προσπάθεια κατανόησης της λεκάνης στο σύνολο και όχι κάθε διεργασίας ξεχωριστά.

### 5.1. Παράμετροι του μοντέλου

Η επιλογή των παραμέτρων προς βελτιστοποίηση είναι άλλη μια ευελιξία του μοντέλου. Ο καθορισμός των βαθμών ελευθερίας του μοντέλου είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Εάν είναι πολύ λίγοι περιορίζεται η ευελιξία του, εάν από την άλλη είναι πολλοί, μπορεί να δημιουργηθούν προβλήματα στον ορισμό των παραμέτρων. Όσο πιο πολλές μαθηματικές συναρτήσεις περιέχει ένα μοντέλο, τόσο πιο πολλές παραμέτρους θα έχει. Ακολουθεί ένας πίνακας όπου ορίζονται οι παράμετροι και κάποια στατιστικά τους:

Πίνακας 6.1: Ορισμός των παραμέτρων του μοντέλου GR4J

	Ερμηνεία	Μέση Τιμή	Επίπεδο εμπιστοσύνης 80%
X1 (mm)	Η μέγιστη χωρητικότητα του αποθηκευτικού χώρου	350	100÷1200

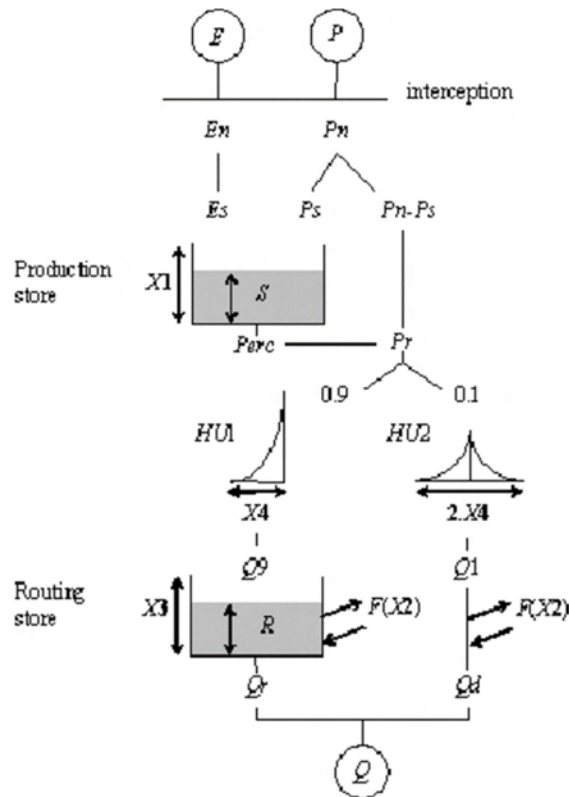


X2(mm)	Συντελεστής ανταλλαγής υπόγειου νερού	0	-5÷3
X3(mm)	Η μέγιστη χωρητικότητα του χώρου διόδευσης	90	20÷300
X4(days)	Ο χρόνος βάσης του μοναδιαίου υδρογραφήματος UH1	1.7	1.1÷2.9

### 5.2. Τρόπος λειτουργίας του μοντέλου:

Η λειτουργία του μπορεί να χωριστεί 4 βασικά στάδια, που απεικονίζονται και σχηματικά

- Στάδιο 1: Υπολογισμός καθαρής βροχής-εξατμισοδιαπνοής
- Στάδιο 2: Υπολογισμός στάθμης χώρου αποθήκευσης
- Στάδιο 3: Υπολογισμός συντεταγμένων υδρογραφημάτων
- Στάδιο 4: Υπολογισμός τελικής προσομοιωμένης ροής



Σχήμα 5.1: Το μοντέλο GR4J (Πηγή: C. Perrin et al./ Journal of Hydrology (2003))

### 5.2.1. Καθαρή βροχή-εξατμισοδιαπνοή

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στο μοντέλο εισάγονται δεδομένα βροχόπτωσης (P) και εξατμισοδιαπνοής (E). Στη συνέχεια, υπολογίζεται η καθαρή βροχόπτωση ( $P_n$ ) και η καθαρή εξατμισοδιαπνοή ( $E_n$ ) ως εξής:

- Εάν  $P \geq E$ , τότε  $P_n = P - E$  και  $E_n = 0$
- Εάν  $P < E$ , τότε  $E_n = E - P$  και  $P_n = 0$

### 5.2.2. Στάθμη Χώρου Αποθήκευσης

Σε περίπτωση που η ποσότητα  $P_n > 0$ , ένα μέρος της ( $P_s$ ) πηγαίνει στον χώρο αποθήκευσης. Αυτή η ποσότητα υπολογίζεται βάσει του τύπου:

$$P_s = \frac{x_1 \left(1 - \left(\frac{S}{x_1}\right)^2\right) \tanh\left(\frac{P_n}{x_1}\right)}{1 + \frac{S}{x_1} \tanh\left(\frac{P_n}{x_1}\right)}$$

όπου  $x_1$  η μέγιστη χωρητικότητα του χώρου αποθήκευσης και  $S$  η στάθμη της αποθήκευσης.

Στην αντίθετη περίπτωση, όταν  $E_n > 0$ , χρησιμοποιείται η ποσότητα  $E_s$  για να υπολογίσει το νερό που θα εξατμιστεί από τον χώρο αποθήκευσης. Αυτή η ποσότητα προκύπτει από τον τύπο:

$$E_s = \frac{S \left(2 - \frac{S}{x_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{x_1}\right)}{1 + \left(1 - \frac{S}{x_1}\right) \tanh\left(\frac{E_n}{x_1}\right)}$$

Βάσει των παραπάνω, η νέα στάθμη αποθήκευσης θα είναι:

$$S = S - E_s + P_s$$

Η ποσότητα του νερού που χάνεται λόγω της διήθησης από τον χώρο αποθήκευσης δίδεται από τον τύπο:

$$Perc = S \left\{ 1 - \left[ 1 + \left( \frac{4S}{9x_1} \right)^4 \right]^{-1/4} \right\}$$

Η στάθμη της αποθήκευσης υπολογίζεται ξανά ως:

$$S = S - Perc$$

Παρατηρήσεις:

1. Η παράμετρος  $X_1$  είναι πάντοτε μεγαλύτερη της στάθμης  $S$
2. Η στάθμη της αποθήκευσης  $S$  είναι πάντοτε μεγαλύτερη από τις απώλειες του νερού λόγω διήθησης
3. Οι απώλειες λόγω διήθησης δεν συνεισφέρουν σημαντικά στην ροή και χρησιμοποιούνται κυρίως για τις χαμηλές ροές.

### 5.2.3. Συντεταγμένες Υδρογραφημάτων

Για το τρίτο στάδιο, υπολογίζεται η συνολική ποσότητα του νερού που φτάνει στην διόδευση:

$$P_r = Perc + (P_n - P_s)$$

Το 90% αυτής της ποσότητας ( $P_r$ ) διοδεύεται από ένα μοναδιαίο υδρογράφημα UH1 και το υπόλοιπο 10% από το UH2. Με αυτά τα δύο υδρογραφήματα μπορεί να υπολογιστεί η χρονική υστέρηση μεταξύ της μέγιστης βροχής και την εμφάνιση της στην απορροή. Οι συντεταγμένες τους χρησιμοποιούνται για την ομοιόμορφη κατανομή της βροχής για διαδοχικά χρονικά βήματα. Η διαφορά τους είναι πως ο χρόνος βάσης του UH1 είναι  $X_4$ , ενώ του UH2 είναι  $2X_4$ .

Το κάθε υδρογράφημα έχει  $n$  και  $m$  συντεταγμένες αντίστοιχα. Αυτές οι συντεταγμένες, που συμβολίζονται ως SH1 και SH2, προκύπτουν από τα αντίστοιχα αθροιστικά υδρογραφήματα (καμπύλες  $S$ ). Οι τιμές που παίρνουν προσδιορίζονται ανάλογα με τον χρόνο, όπως φαίνεται παρακάτω:

**UH1-SH1- Χρόνο βάσης  $X_4$ :**

$$SH1(t) = 0, \quad t \leq 0$$
$$SH1(t) = \left(\frac{t}{X_4}\right)^{5/2}, \quad 0 < t < X_4$$

$$SH1(t) = 1, \quad t \geq X_4$$

**UH2-SH2- Χρόνο βάσης  $2X_4$ :**

$$SH2(t) = 0, \quad t \leq 0$$
$$SH2(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{t}{X_4}\right)^{5/2}, \quad 0 < t \leq X_4$$

$$SH2(t) = 1 - \frac{1}{2} \left( 2 - \frac{t}{X_4} \right)^{5/2}, \quad X_4 < t < 2X_4$$

$$SH2(t) = 1, \quad t \geq 2X_4$$

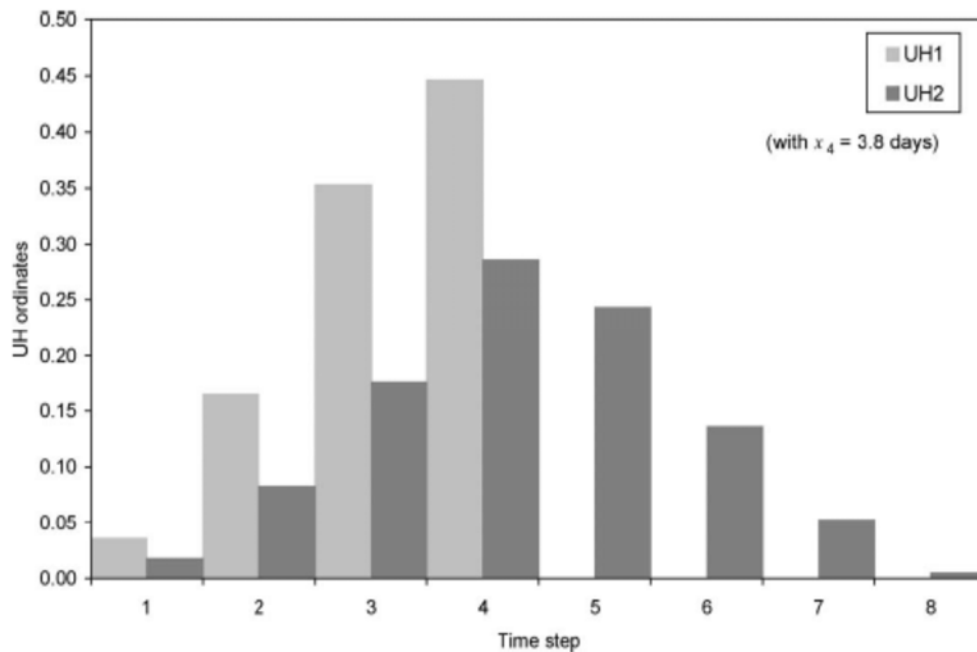
Τέλος, οι συντεταγμένες των μοναδιαίων υδρογραφημάτων UH1, UH2 υπολογίζονται ως εξής:

$$UH1(j) = SH1(j) - SH1(j - 1)$$

$$UH2(j) = SH2(j) - SH2(j - 1)$$

όπου j, ένας ακέραιος αριθμός

Ακολουθεί ένα παράδειγμα των συντεταγμένων των υδρογραφημάτων, όπως υπολογίστηκαν για  $X_4=3,8$  ημέρες:



Σχήμα 5.2: Τεταγμένες υδρογραφημάτων για  $X_4=3.8$  ημέρες (Πηγή: C. Perrin et al./ Journal of Hydrology (2003))

#### 5.2.4. Τελική Προσομοιωμένη Ροή

Μέχρι στιγμής έχουν χρησιμοποιηθεί οι παράμετροι  $X_1$  και  $X_4$ , που συμβολίζουν την μέγιστη στάθμη του αποθηκευτικού χώρου και τον χρόνο βάσης του υδρογραφήματος αντίστοιχα. Οι παράμετροι  $X_2$  και  $X_3$  χρησιμοποιούνται στο τέταρτο στάδιο. Αρχικά υπολογίζεται η ποσότητα F, η ανταλλαγή του υπόγειου νερού. Αποτελεί συνάρτηση των 2 παραμέτρων, καθώς και της στάθμης στον χώρο της διόδευσης (R):

$$F = X_2 \left( \frac{R}{X_3} \right)^{7/2}$$

Οι παροχές που προέκυψαν από τα υδρογραφήματα συμβολίζονται ως  $Q_9$  από το UH1, και  $Q_1$  από το UH2.

Επαναπροσδιορίζεται η στάθμη  $R$  στον χώρο της διόδευσης ως:

$$R = \max \left\{ R + Q_9 + F \right.$$

Η προσομοιωμένη ροή από το πρώτο μοναδιαίο υδρογράφημα  $Q_r$  προκύπτει:

$$Q_r = R \left\{ 1 - \left[ 1 + \left( \frac{R}{X_3} \right)^4 \right]^{-1/4} \right\}$$

Έτσι υπολογίζεται και η τελική στάθμη στον χώρο της διόδευσης:

$$R = R - Q_r$$

Παρατηρήσεις:

1. Η προσομοιωμένη ροή  $Q_r$  είναι πάντοτε μικρότερη της στάθμης στον χώρο της διόδευσης  $R$ .
2. Παρόλο που αρχικά, η στάθμη στον χώρο της διόδευσης μπορεί να υπερβαίνει την τιμή  $X_3$ , στο τέλος είναι πάντοτε μικρότερη της.

Με ανάλογο τρόπο προκύπτει η προσομοιωμένη ροή  $Q_d$  που αντιστοιχεί στο υδρογράφημα UH2:

$$Q_d = \max \left\{ Q_1 + F \right.$$

Αθροίζοντας τις παροχές των δύο υδρογραφημάτων, προκύπτει η τελική ροή:

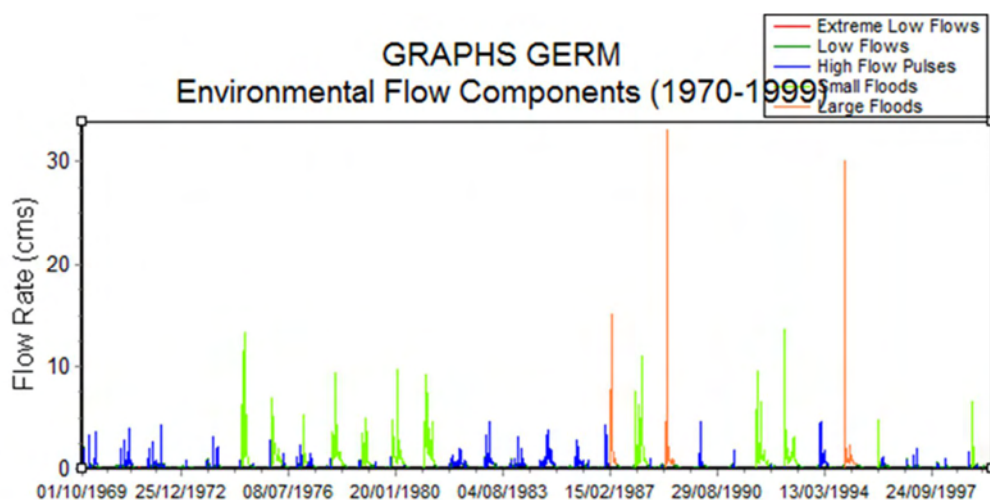
$$Q = Q_r + Q_d$$

## 6. Εφαρμογή μεθοδολογίας και ανάλυση αποτελεσμάτων

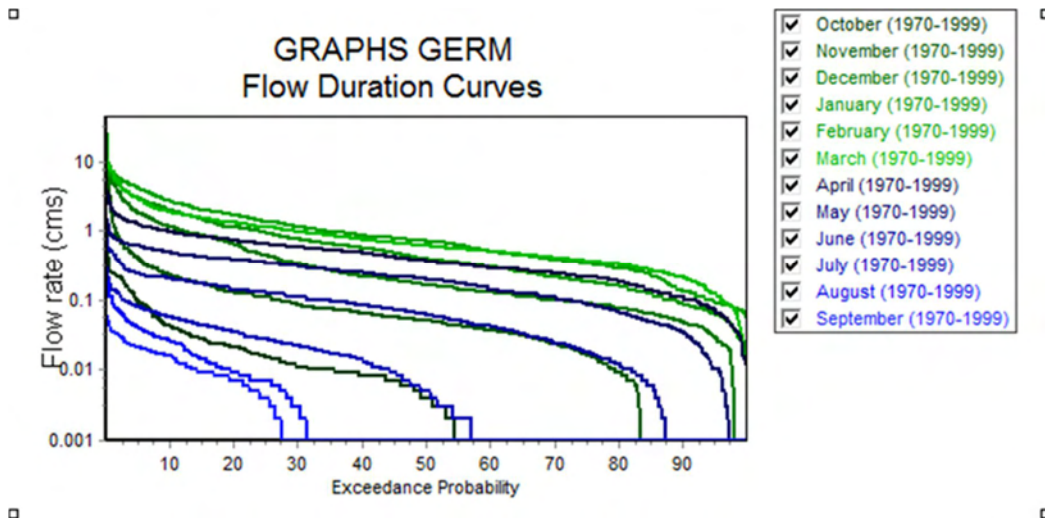
### 6.1 Υπολογισμός δεικτών- Ανάλυση μιας περιόδου

Για τον υπολογισμό των δεικτών IHA (33) και EFC (34), εισάχθηκαν τα δεδομένα στο πρόγραμμα. Ουσιαστικά, δημιουργείται ένα πρόγραμμα ανάλυσης (analysis project), το οποίο συνδέεται με την χρονοσειρά. Στην συγκεκριμένη περίπτωση τα δεδομένα είναι δύο στήλες, όπου στην πρώτη βρίσκεται η ημερομηνία (από 1/10/69 έως 30/9/99) και στην δεύτερη βρίσκεται η παροχή (σε κυβικά μέτρα το δευτερόλεπτο). Στην συνέχεια, ορίστηκε η περίοδος, της ανάλυσης, όπου αρχικά τέθηκε ως ενιαία, καθώς και το είδος της στατιστικής που θα χρησιμοποιηθεί για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, για την παραμετρική στατιστική είναι βασική προϋπόθεση να ακολουθούν τα δεδομένα την κανονική κατανομή. Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να υποθεθεί για την συγκεκριμένη χρονοσειρά, καθώς τα υδρολογικά δεδομένα συνήθως δεν είναι κανονικώς κατανεμημένα. Επιλέχθηκε επομένως η μη παραμετρική ανάλυση.

Τα αποτελέσματα του προγράμματος εξάγονται σε μορφή πινάκων, αλλά και γραφημάτων. Οι πίνακες που αντιστοιχούν στην μη-παραμετρική ανάλυση μιας περιόδου αναφέρονται στο τρίτο κεφάλαιο. Ακολούθως, παρουσιάζεται το διάγραμμα των EFC για όλη την χρονοσειρά, όπως και το διάγραμμα των FDC για κάθε μήνα.



Σχήμα 6.1: Οι κατηγορίες των EFC για τα υδρολογικά έτη 1969-1999



Σχήμα 6..2: Οι καμπύλες διάρκειας ροής για τα υδρολογικά έτη 1969-1999

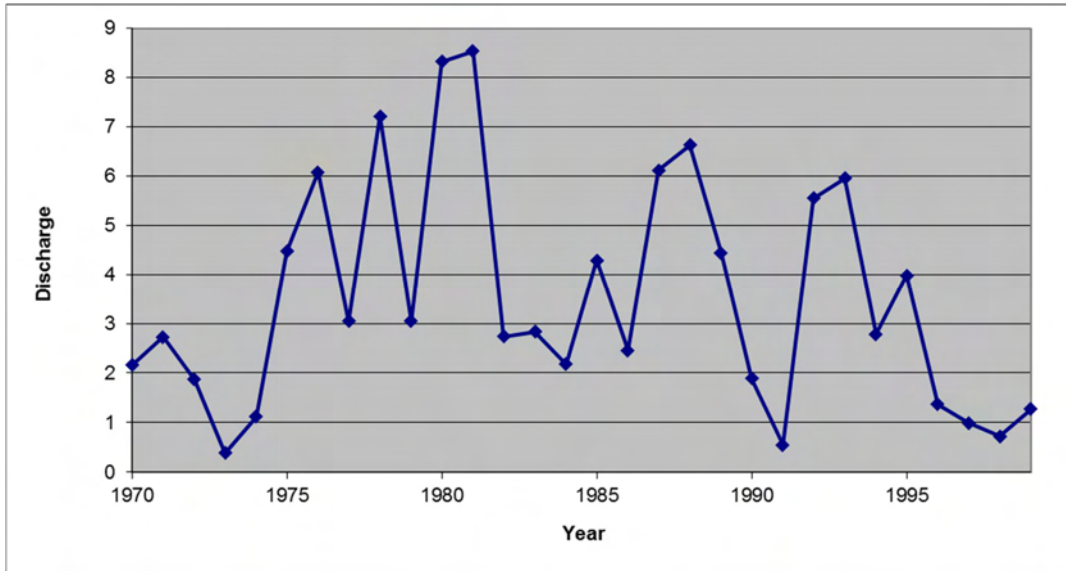
Τα διαγράμματα για των δεικτών IHA και EFC, για την ανάλυση μιας περιόδου, την ανάλυση δύο περιόδων και την ανάλυση της προσομοιωμένης ροής, καθώς και οι καμπύλες διάρκειας ροής, βρίσκονται στο παράρτημα 1.

## 6.2. Έλεγχοι (Tests)

Έχοντας υπολογίσει τις παραμέτρους για την ενιαία περίοδο, το επόμενο βήμα είναι να υπολογιστούν και για χωριστές περιόδους. Προτού επιλεγθεί ένα έτος που θα χωρίσει την χρονοσειρά, είναι σκόπιμο να επιβεβαιωθεί η υπόθεση της μονιμότητας. Όπως αναφέρθηκε στο τέταρτο κεφάλαιο, πρέπει να διεξαχθούν ορισμένοι έλεγχοι, που θα την επιβεβαιώσουν ή θα την καταρρίψουν.

### 6.2.1. Mann-Kendall Test

Αυτός ο έλεγχος έγινε για τον εντοπισμό τυχούσας τάσης στην χρονοσειρά. Αρχικά, εισάχθηκαν τα έτη της χρονοσειράς (1970-1999), όπως και το άθροισμα των διαμέσων των μηνιαίων παροχών για κάθε έτος (30 τιμές στο σύνολο):



Σχήμα 6.3: Οι παροχές που καταγράφηκαν για το διάστημα 1969-1999 (m<sup>3</sup>/s)

Στην συνέχεια, υπολογίζεται η ποσότητα  $S$  για κάθε έτος και αθροίζεται. Υπολογίζοντας και την διακύμανση βάσει των τύπων, προκύπτει το στατιστικό στοιχείο  $z$ , το οποίο θα συγκριθεί με τα επίπεδα σημαντικότητας των πινάκων της κανονικής κατανομής.

Το άθροισμα των διαμέσων των μηνιαίων παροχών, καθώς και τα αποτελέσματα του ελέγχου παρουσιάζονται παρακάτω:

One-tail		Two-tail
a = 0.005	2.576	a = 0.01
a = 0.010	2.326	
a = 0.025	1.960	a = 0.05
a = 0.050	1.645	a = 0.10
a = 0.100	1.282	

S	-42
Variance	3141.7
<b>z</b>	<b>0.749</b>

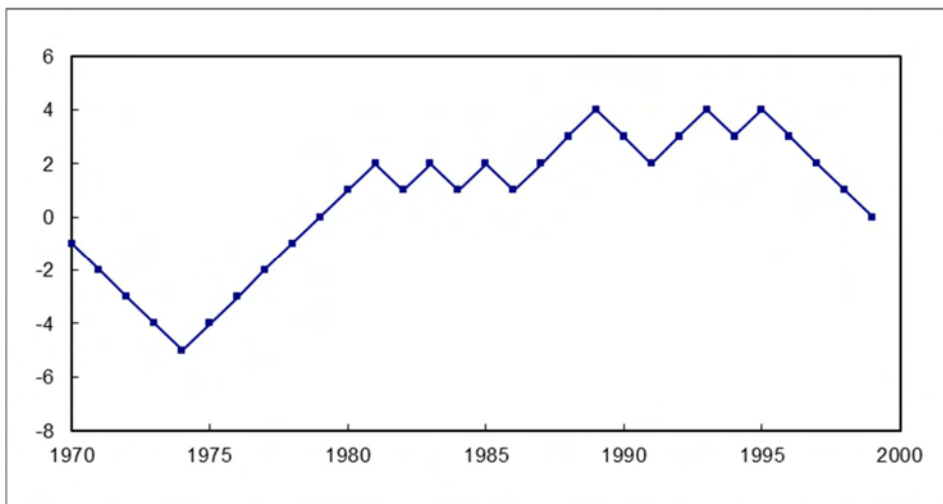
Σχήμα 6.4: Τα αποτελέσματα του ελέγχου Mann-Kendall



Παρατηρείται πως το  $z$  δεν αντιστοιχεί σε κάποιο από τα επίπεδα σημαντικότητας της κανονικής κατανομής. Σε αυτή την περίπτωση, η αρχική υπόθεση  $H_0$  είναι αληθής και δεν υπάρχει κάποια τάση στην χρονοσειρά.

### 6.2.2. Distribution-Free CUSUM Test

Αυτός ο έλεγχος χρησιμοποιήθηκε για να ανιχνευθεί εάν υπάρχει κάποια απότομη αλλαγή της τάσης. Ουσιαστικά, πρέπει να ελεγχθεί εάν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη χρονολογία όπου μεταβάλλεται η τάση, ώστε να χρησιμοποιηθεί για τον διαχωρισμό της περιόδου. Χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δεδομένα με τον έλεγχο Mann-Kendall, δηλαδή 30 έτη με το αντίστοιχο άθροισμά των διαμέσων των μηνιαίων παροχών. Η τιμή του μερικού αθροίσματος των παρατηρήσεων ( $V_k$ ) για κάθε έτος φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Σχήμα 6.5: Οι τιμές της ποσότητας  $V_k$  για τα έτη 1969-1999

Το έτος που αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη απόλυτη τιμή του  $V_k$ , είναι αυτό που αλλάζει η τάση. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η μεγαλύτερη τιμή ήταν ίση με 5, και αντιστοιχούσε στο έτος 1974. Από τον πίνακα του τετάρτου κεφαλαίου, και για μια χρονοσειρά 30 ετών, οι κρίσιμες τιμές του  $V_k$  είναι:

Two-tail	
$\alpha = 0.010$	6.682
$\alpha = 0.050$	7.449
$\alpha = 0.100$	8.928

Σχήμα 6.6: Οι κρίσιμες τιμές της ποσότητας  $V_k$

Επομένως, η αλλαγή της τάσης δεν μπορεί να θεωρηθεί σημαντική, καθώς για  $V_k=5$  δεν υπάρχει αντιστοιχία στην κατανομή.

### 6.2.3. Rank-Sum Test

Ο τελευταίος έλεγχος που χρησιμοποιήθηκε, είναι για να ελέγξει διαφορά στην διάμεσο των δύο περιόδων. Βάσει του προηγούμενου ελέγχου, το έτος αλλαγής ήταν το 1974. Παρόλο που δεν θεωρήθηκε σημαντική η αλλαγή της τάσης, χρησιμοποιήθηκε για να χωρίσει το δείγμα σε 2 περιόδους για την εφαρμογή του συγκεκριμένου ελέγχου. Η μικρότερη περίοδος ήταν η πρώτη, με  $n=5$  έτη, ενώ η δεύτερη είχε  $m=25$  έτη. Στην συνέχεια, βάσει των τύπων του τετάρτου κεφαλαίου, υπολογίστηκαν οι ποσότητες  $S$ ,  $\mu$  και  $\sigma$ . Αυτό που θα κρίνει εάν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των διαμέσων των δύο περιόδων, είναι το στοιχείο  $Z_{rs}$ , που συγκρίνεται με τα επίπεδα σημαντικότητας της κανονικής κατανομής.

Οι τιμές των στατιστικών στοιχείων και τα επίπεδα σημαντικότητας:

n	5
m	25
N	30
S	37
$\mu$	77.5
$\sigma$	18.0
$Z_{rs}$	-2.226
<b>abs(<math>Z_{rs}</math>)</b>	<b>2.226</b>

	One-tail	Two-tail
a = 0.005	2.576	a = 0.01
a = 0.010	2.326	
a = 0.025	1.960	a = 0.05
a = 0.050	1.645	a = 0.10
a = 0.100	1.282	

Σχήμα 6.7: Τα αποτελέσματα του ελέγχου Rank-Sum

Όπως φαίνεται και από τους πίνακες, η τιμή  $Z_{rs}$  αντιστοιχεί σε κάποιο επίπεδο σημαντικότητας. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί πως η διαφορά μεταξύ των διαμέσων των δύο περιόδων είναι αρκετά σημαντική.

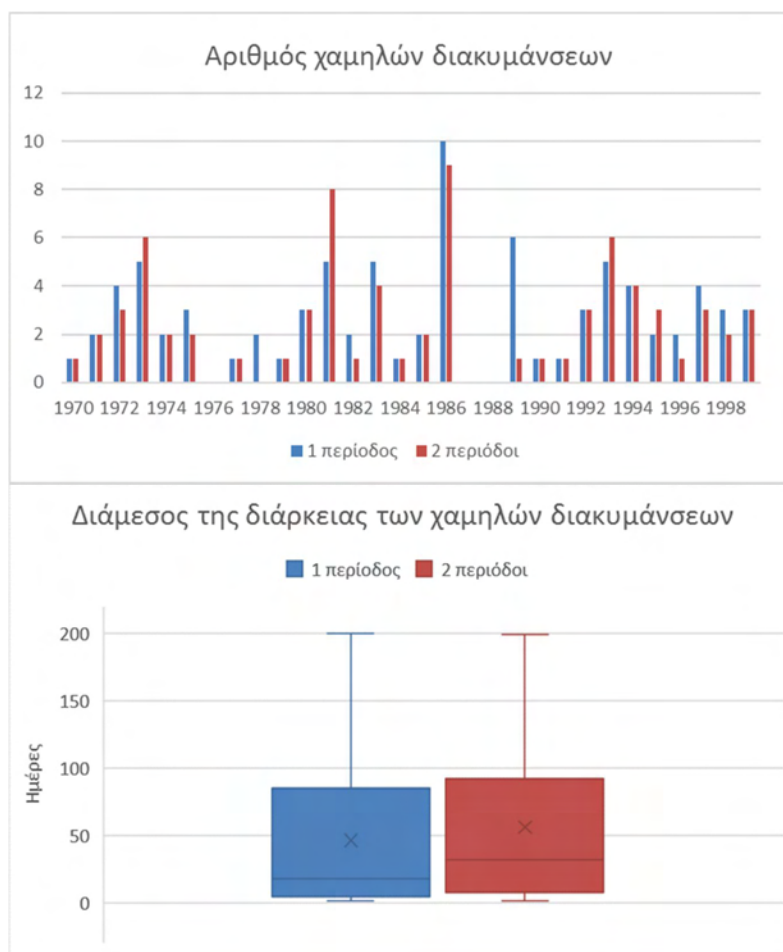
#### 6.2.4. Συμπεράσματα

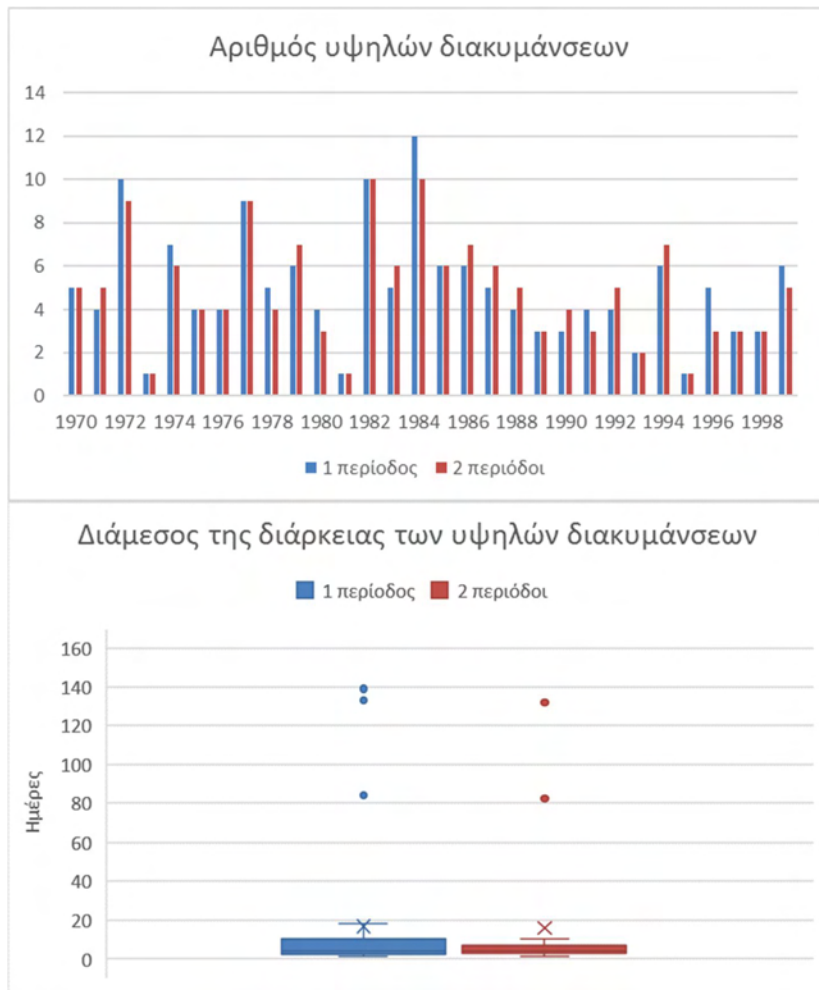
Ο έλεγχος Rank Sum έδειξε πως η διαφορά στην διάμεσο είναι σημαντική. Επομένως, ένα ασφαλές συμπέρασμα είναι πως για την ανάλυση των δύο περιόδων, το έτος που θα τις χωρίσει είναι το 1974. Παρόλα αυτά, στην συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε ο διαχωρισμός στην μέση, δηλαδή στο 1984. Επομένως, η σύγκριση μεταξύ των περιόδων θα γίνει για τα έτη 1970-1983 και 1984-1999. Ο συγκεκριμένος διαχωρισμός έγινε γιατί, παρόλο που στον τελευταίο έλεγχο διαπιστώθηκε σημαντική αλλαγή, οι προηγούμενοι έλεγχοι δεν υποδήλωσαν την ύπαρξη κάποιας τάσης ή κάποιου άλματος. Ένας άλλος λόγος, είναι πως ενδέχεται η σημαντική αλλαγή στην διάμεσο, να προέκυψε λόγω μεγάλης ανομοιότητας στα έτη. Ουσιαστικά, μια ανάλυση δύο περιόδων που η μια αποτελείται από 25 έτη και η άλλη από 5, δεν μπορεί να θεωρηθεί τόσο αξιόπιστη όσο μια που η διαφορά τους δεν θα είναι τόσο μεγάλη.

Τελικώς, τα αποτελέσματα του τρίτου ελέγχου δεν θεωρήθηκαν σημαντικά, για τους παραπάνω λόγους. Οι άλλοι δύο έλεγχοι δεν έδειξαν την ύπαρξη σημαντικών τάσεων ή αλμάτων. Συνεπώς, η χρονοσειρά διαθέτει στασιμότητα, που σημαίνει πως οι στατιστικές της ιδιότητες παραμένουν σταθερές με την πάροδο του χρόνου.

### 6.3. Υπολογισμός δεικτών-Ανάλυση δύο περιόδων

Συνήθως η ανάλυση των δύο περιόδων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου έγινε μια δραστική αλλαγή στο περιβάλλον, όπως για παράδειγμα η κατασκευή ενός φράγματος. Στην συγκεκριμένη λεκάνη, δεν συνέβη κάτι τέτοιο, καθώς το φράγμα της Γερμασόγειας κατασκευάστηκε το 1968. Η ανάλυση δύο περιόδων, έγινε για να συγκριθούν μεταξύ τους τα δύο είδη ανάλυσης, και να εντοπιστούν οι διαφορές τους. Οι παράμετροι ΙΗΑ δεν είχαν κάποια απόκλιση, πέραν από τις τέσσερις παραμέτρους τις τέταρτης κατηγορίας (αριθμός και διάμεσος τις διάρκειας των χαμηλών και υψηλών ετήσιων διακυμάνσεων για κάθε έτος). Οι διαφορές τους για την ανάλυση μιας και δύο περιόδων:

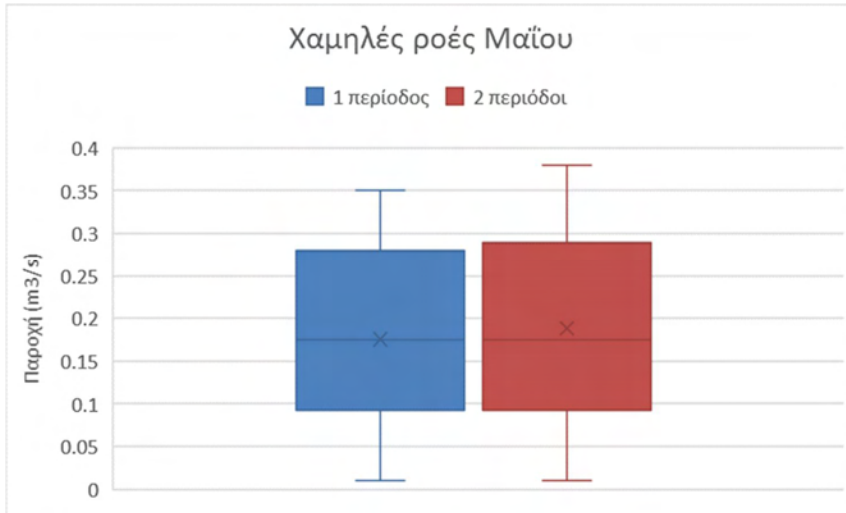




Σχήμα 6.8: Τα διαγράμματα της 4ης κατηγορίας IHA για την σύγκριση μιας με δύο περιόδων

Οι παράμετροι EFC εμφάνισαν μικρότερη σύγκλιση.

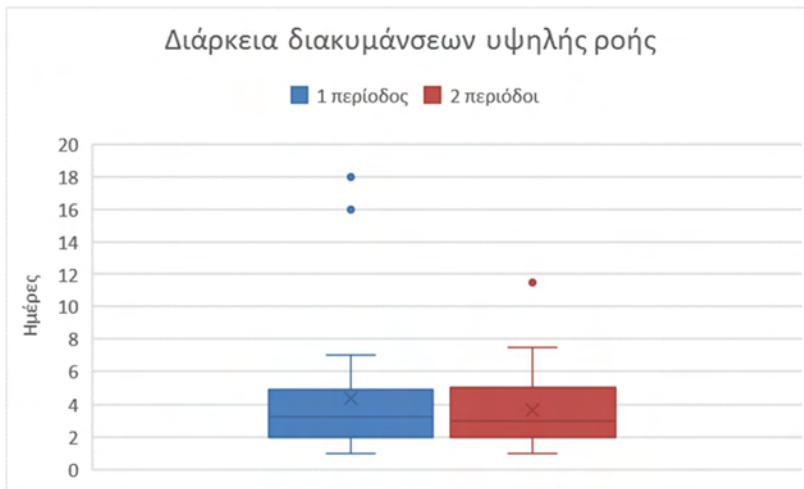
Σε ότι αφορά τις χαμηλές ροές, συνέκλιναν απόλυτα οι τιμές για τους μήνες Ιούλιος-Οκτώβριος, ενώ την μεγαλύτερη απόκλιση την είχαν οι τιμές του Μαΐου. Και πάλι όμως, η σύγκλιση ήταν αρκετά ικανοποιητική (92%).

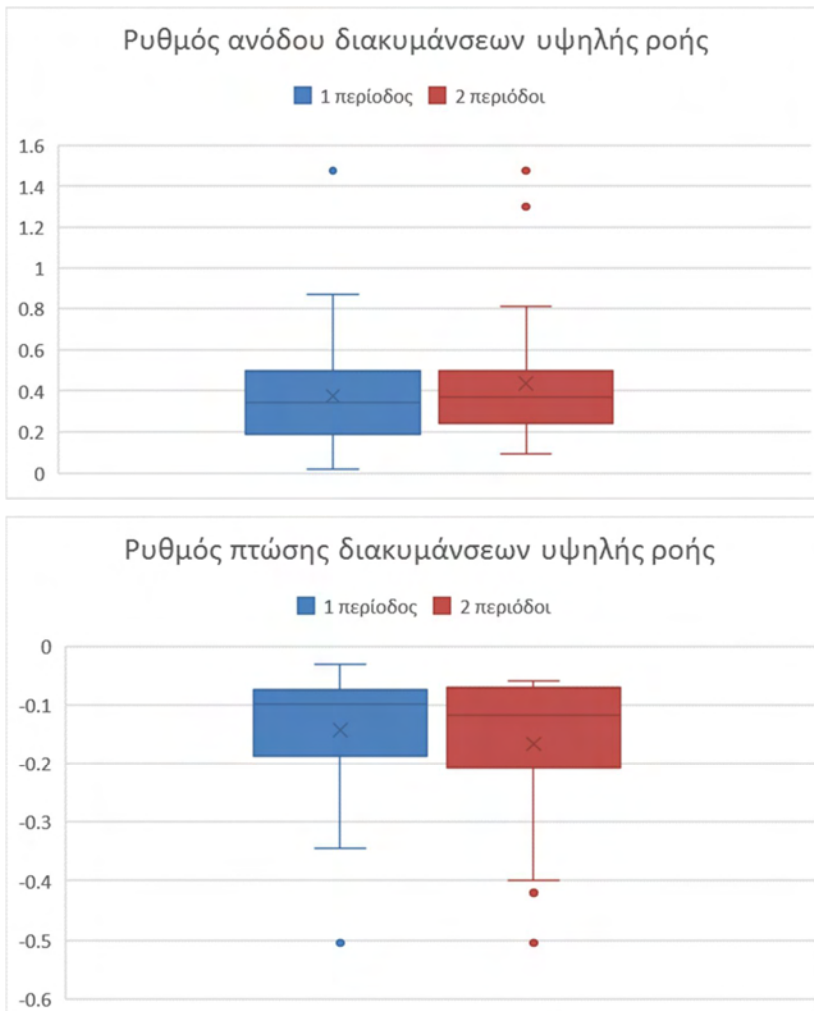


Σχήμα 6.9: Διάγραμμα σύγκρισης των χαμηλών ροών (παράμετροι EFC)

Οι παράμετροι που αντιστοιχούν στις πολύ χαμηλές ροές δεν εμφάνισαν καμία απόκλιση μεταξύ τους.

Αρκετά σημαντικές αποκλίσεις σημειώθηκαν στις διακυμάνσεις, με μεγαλύτερες αυτές για τις παραμέτρους της διάρκειας και για τον ρυθμό ανόδου και πτώσης. Να σημειωθεί πως η παράμετρος της διάρκειας εμφάνισε την μεγαλύτερη απόκλιση από όλες τις παραμέτρους, ΙΗΑ και EFC.

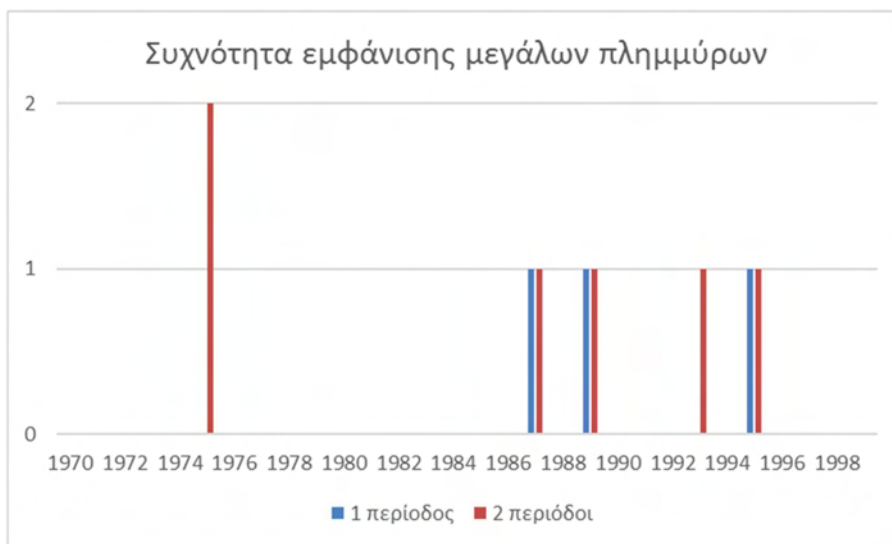
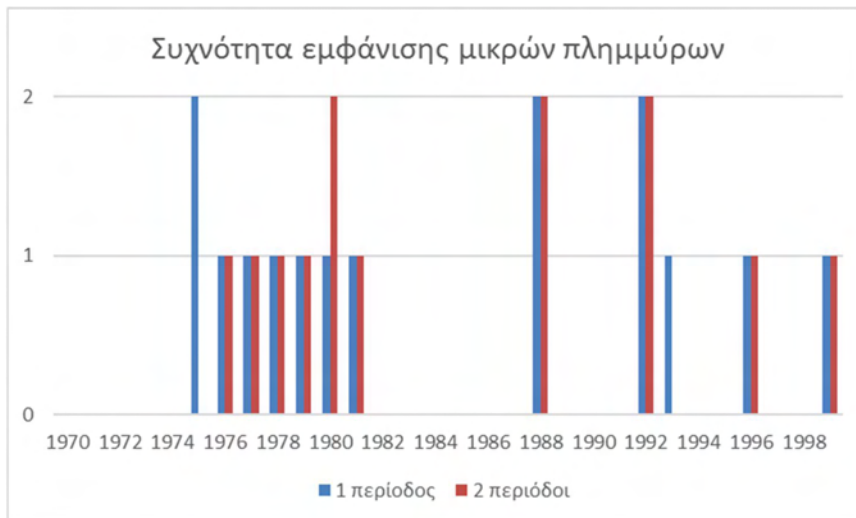




Σχήμα 6.10: Διάγραμμα σύγκρισης των διακυμάνσεων υψηλής ροής (παράμετροι EFC)

Τέλος, οι πλημμύρες εμφάνισαν αρκετές διαφορές, περί την σύγκλιση των παραμέτρων τους. Ενδεικτικά, οι μεγάλες πλημμύρες δεν είχαν αποκλίσεις, για τέσσερις παραμέτρους (αιχμή, ημέρα και διάρκειά της, και ρυθμός ανόδου), ενώ για την συχνότητα εμφάνισής τους, προέκυψε αρκετά μεγάλη απόκλιση. Η συχνότητα εμφάνισης είναι πόσες φορές ανά έτος υπήρξε ένα τέτοιο φαινόμενο.

Οι μικρές πλημμύρες δεν εμφάνισαν για καμία παράμετρο απόλυτη σύγκλιση, αλλά οι αποκλίσεις τους ήταν σχετικά μικρές. Η μεγαλύτερη παρατηρήθηκε επίσης για την συχνότητα εμφάνισής τους, δηλαδή δεν ήταν ίδια για κάθε έτος.



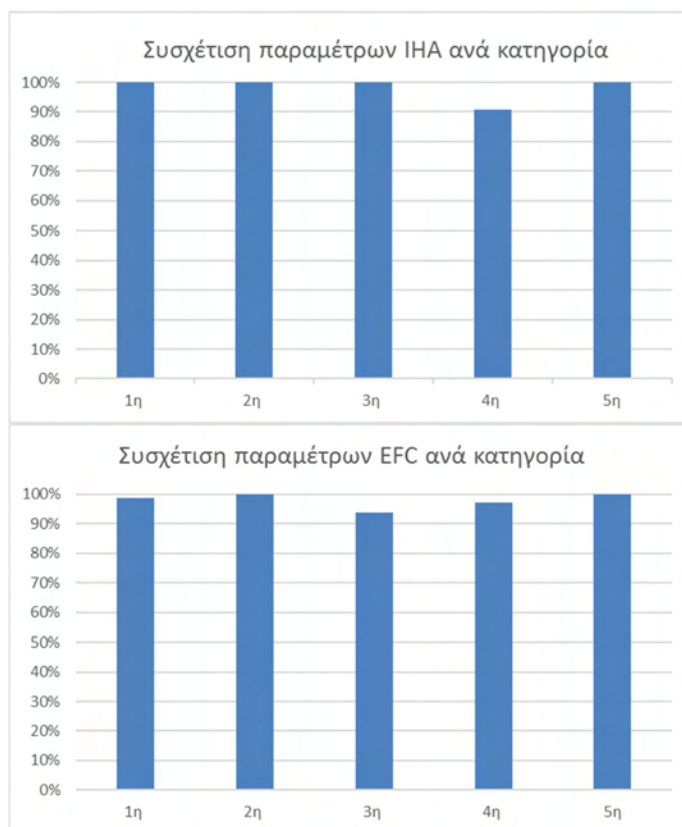
Σχήμα.6.11 Διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης μικρών και μεγάλων πλημμύρων

Συγκρίνοντας τους δείκτες έναν προς έναν, ειδικά για την κατηγορία των EFC, σημειώθηκαν ορισμένες αποκλίσεις, όχι απαραίτητα σημαντικές. Οι αποκλίσεις αυτές μειώθηκαν αρκετά, συγκρίνοντας τους δείκτες ανά κατηγορία. Ομαδοποιώντας τους καθ'αυτόν τον τρόπο, γίνεται ευκολότερα αντιληπτό ποιες κατηγορίες παραμέτρων επηρεάστηκαν και ποιες όχι, από τον διαχωρισμό της ανάλυσης σε 2 περιόδους. Ακολουθούν ο πίνακας με την συσχέτιση κάθε κατηγορίας παραμέτρων από την ενιαία ανάλυση με την αντίστοιχη από την ανάλυση δύο περιόδων, όπως και το αντίστοιχο γράφημα για τις παραμέτρους ΙΗΑ και EFC. Τα διαγράμματα σύγκρισης των δεικτών μεταξύ τους, τόσο για την ανάλυση των δύο περιόδων όσο και για την προσομοιωμένη ροή, βρίσκονται στο παράρτημα 2.



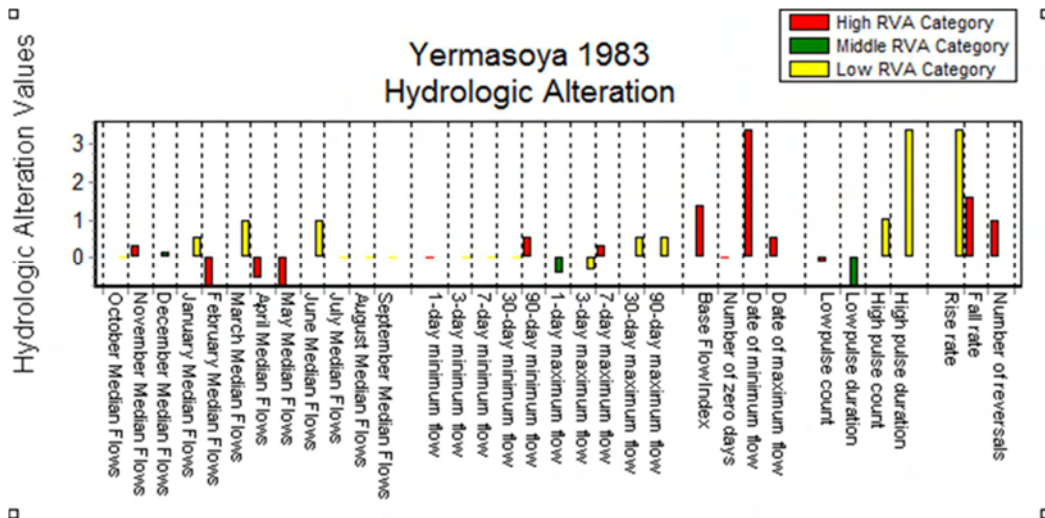
Πίνακας 7.1: Η σύγκλιση των αναλύσεων μιας με δύο περιόδων.

IHA	Rsq	EFC	Rsq
1	100%	1	98.84%
2	100%	2	100%
3	100%	3	93.96%
4	90.73%	4	97.14%
5	100%	5	99.98%



Σχήμα 6.12: Διαγράμματα συσχέτισης παραμέτρων IHA και EFC

Για την σύγκριση δύο περιόδων, το λογισμικό IHA δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να έχει καλύτερη εποπτεία της μεταβολής των παραμέτρων μέσω της ανάλυσης RVA, που χωρίζει τους δείκτες σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τα εκατοστημόρια που ανήκουν. Βάσει αυτής της ανάλυσης, υπολογίζεται η υδρολογική μεταβολή κάθε δείκτη, δηλαδή εάν η συχνότητα των τιμών για κάθε κατηγορία έχει αυξηθεί ή όχι. Ακολουθεί το διάγραμμα με τις πιο σημαντικές υδρολογικές μεταβολές που συνέβησαν:



Σχήμα 6.13: Οι σημαντικότερες υδρολογικές αλλαγές των δεικτών IHA

Το διάγραμμα με όλες τις μεταβολές, καθώς και το διάγραμμα με την μέση μηνιαία απορροή και το εύρος της μεταβλητότητας βρίσκονται στο παράρτημα 1.

#### 6.4. GR4J

Όπως αναφέρθηκε και στο πέμπτο κεφάλαιο, το GR4J είναι ένα μοντέλο βροχής-απορροής, όπου εισάγονται δεδομένα βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και εξάγονται δεδομένα απορροής. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιώσει μια απορροή που αντιστοιχεί στα έτη 1984-1999. Τελικώς, θα συγκριθούν τα αποτελέσματα της προσομοιωμένης με της πραγματικής και θα εξαχθούν συμπεράσματα περί της αξιοπιστίας του μοντέλου για την παραγωγή δεικτών (IHA και EFC).

##### 6.4.1 Δυνητική εξατμισοδιαπνοή

Τα δεδομένα που εισάγονται στο μοντέλο είναι βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Σε αυτή την εργασία, δεν υπήρχαν δεδομένα εξατμισοδιαπνοής και έπρεπε να υπολογιστούν. Ο συγκεκριμένος υπολογισμός βασίστηκε στον τύπο που προτάθηκε από Oudin et al. (2005):

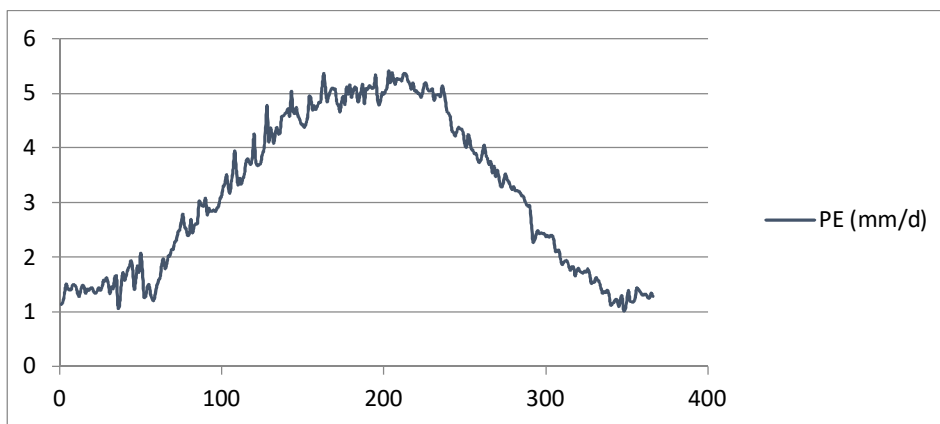
$$PE = \begin{cases} \frac{0.408R_e(T + 5)}{100}, & \text{για } (T + 5) > 0 \\ 0, & \text{για } (T + 5) \leq 0 \end{cases}$$

Όπως παρατηρείται, ο τύπος αυτός βασίζεται μόνο στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος T. Η ποσότητα  $R_e$  συμβολίζει την ηλιακή ακτινοβολία, και είναι μια

παράμετρος που για τον υπολογισμό της χρησιμοποιούνται η ιουλιανή ημερομηνία και το γεωγραφικό πλάτος.

Τα δεδομένα της θερμοκρασίας που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για τα έτη 1984-1999 και πάρθηκαν από τον σταθμό της Λεμεσού, που βρίσκεται πολύ κοντά στην περιοχή της Γερμασόγειας. Οι ελλιπείς παρατηρήσεις στην χρονοσειρά συμπληρώθηκαν με την μέθοδο του μέσου όρου. Το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του κέντρου βάρους της λεκάνης, σε μοίρες ως δεκαδικούς αριθμούς, είναι 34.786827 και 33.106934 αντίστοιχα.

Εισάγοντας την θερμοκρασία, την ημερομηνία και το γεωγραφικό πλάτος στο μοντέλο του Oudin, προκύπτει η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (σε mm/day).



Σχήμα 6.14: Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (mm/day), όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο Oudin

#### 6.4.2 Βελτιστοποίηση

Σε αυτό το στάδιο της εργασίας, πρέπει να παραχθεί η προσομοιωμένη ροή για την οποία θα υπολογιστούν οι δείκτες IHA και EFC. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα δεδομένα που χρειάζονται για την παραγωγή μιας απορροής, είναι η υετόπτωση και η εξατμισοδιαπνοή.

Τα δεδομένα της υετόπτωσης ήταν από τον σταθμό της Λεμεσού, και οι ελλιπείς παρατηρήσεις συμπληρώθηκαν με την μέθοδο του μέσου όρου. Η εξατμισοδιαπνοή είχε υπολογιστεί στο προηγούμενο βήμα, με την μέθοδο του Oudin (2010). Οι μονάδες μέτρησης είναι και στα δύο σε χιλιοστά. Τελικώς, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές από 1/10/1984 έως 1/10/1999.

Στην συνέχεια, εισάγονται από τον χρήστη η έκταση της λεκάνης, όπως και οι περίοδοι που θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή της απορροής. Εδώ, ως περίοδος προθέρμανσης (warm-up period) ορίστηκε το πρώτο έτος (365 ημέρες), ενώ οι

υπόλοιπες ημέρες (5113) θα χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση. Επομένως, η έναρξη της διαδικασίας αντιστοιχεί στις 1/10/1985, και η λήξη της στις 1/10/1999. Τέλος, η έκταση της λεκάνης είναι 153 km<sup>2</sup>.

Το τελευταίο βήμα πριν τα αποτελέσματα, είναι τα ορίσματα των παραμέτρων. Αρχικά, σε κάθε παράμετρο αντιστοιχήθηκε η μέση τιμή της (από τον πίνακα 5.1).

Έχοντας ορίσει και τις τιμές των παραμέτρων, πρέπει να ελεγχθεί εάν συγκλίνει η παραγόμενη ροή με την ήδη γνωστή (για την οποία έχουν υπολογιστεί οι δείκτες). Κάτι τέτοιο δεν συνέβη με τις αρχικές παραμέτρους, που σημαίνει πως έπρεπε να λάβουν διαφορετικές τιμές. Αυτό ανάγει το πρόβλημα σε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης.

Για την βελτιστοποίηση, πρέπει να ζητηθεί μια παράμετρος από τον πίνακα των κριτηρίων αποτελεσματικότητας να λάβει την μέγιστή της τιμή, ανάλογα με τα δεδομένα. Επειδή στην λεκάνη της Γερμασόγειας παρουσιάζονται κατά κόρον χαμηλές απορροές, ζητήθηκε η μέγιστη τιμή της ποσότητας Nash(VQ). Είναι προφανές πως, όσο πιο κοντά βρίσκεται αυτή η τιμή στο 100, τόσο καλύτερη είναι η προσομοίωση. Αυτό που μεταβάλλεται όσο ζητείται η βέλτιστη τιμή, είναι οι τέσσερις παράμετροι.

Ο πίνακας 5.1 δίδει τις τιμές των παραμέτρων για επίπεδο εμπιστοσύνης 80%. Μεταβάλλοντας λίγο τα όρια για να προσεγγισθεί το 100% του επιπέδου εμπιστοσύνης, προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας:

Πίνακας 6.2: Το φάσμα τιμών των παραμέτρων του μοντέλου

param	L.Limit	Ab. Limit	Transformed	
X1	100	1200	4,61	7,09
X2	-5	3	-2,31	1,82
X3	1	300	0,00	5,70
X4	1	5	-0,69	1,50

Καθώς το πρόβλημα που έχριζε βελτιστοποίησης ήταν μη-γραμμικό και ο όγκος των δεδομένων μεγάλος, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Multistart, από τα πρόσθετα του Excel. Πρόκειται για μια αναβαθμισμένη εκδοχή του solver, αφού έχει διαφορετικά σημεία εκκίνησης για την επίλυση. Τα όρια που τέθηκαν στον παραπάνω πίνακα, όρισαν τους περιορισμούς της επίλυσης, ώστε οι παράμετροι να λάβουν τιμές εντός του φάσματός τους. Οι τελικές τιμές των παραμέτρων και τα αποτελέσματα της επίλυσης:

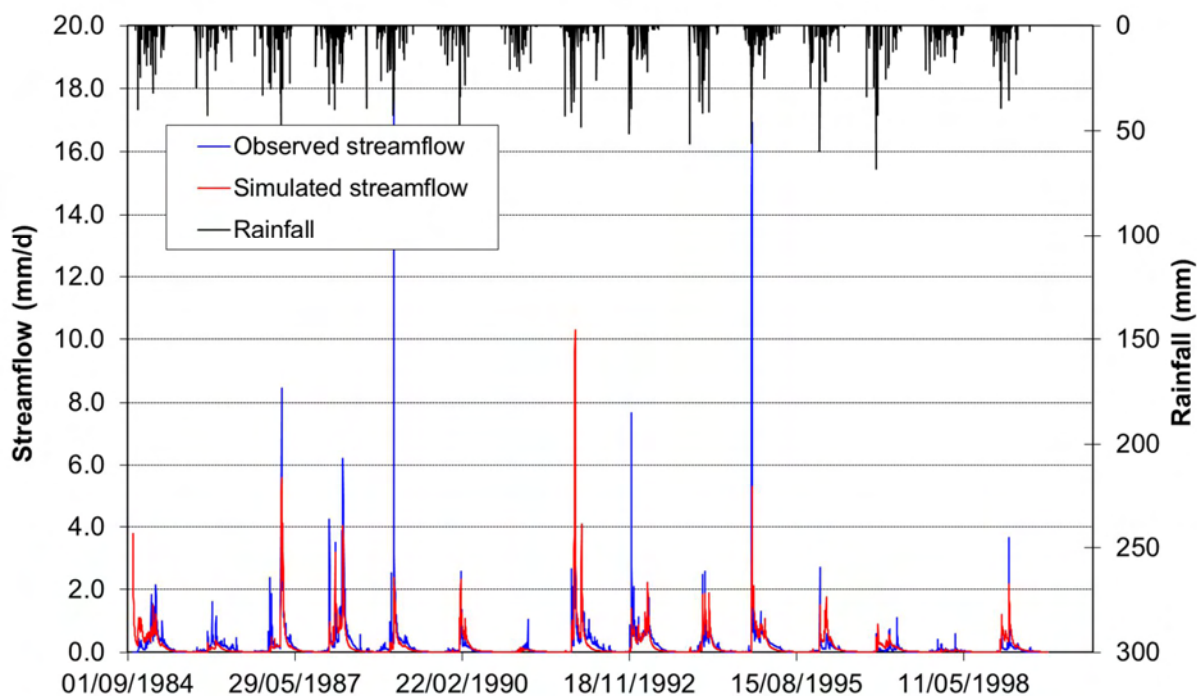
Πίνακας 6.3: Οι παράμετροι μετά την βελτιστοποίηση

Model parameters	Transformed	Real
x1: Capacity of production store (mm)	5,17	175,09
x2: Water exchange coefficient (mm)	-2,31	-4,99
x3: Capacity of routing store (mm)	4,72	112,26
x4: UH time base (days)	0,65	2,43

Πίνακας 6.4: Οι τιμές των κριτηρίων αποτελεσματικότητας

Efficiency criteria (%)	
Nash(Q)	47,1
Nash(VQ)	73,7
Nash(ln(Q))	70,0
Bias	90,1

Παρατηρείται πως η προσομοίωση είναι αρκετά ικανοποιητική (73,7%), όπως επίσης πως οι τιμές βρίσκονται εντός του επιπέδου εμπιστοσύνης 80%. Αυτό σημαίνει πως η διεύρυνση των ορίων χάριν της βελτιστοποίησης, δεν οδήγησε σε λανθασμένες τιμές των παραμέτρων. Ακολουθεί ένα διάγραμμα της παρατηρημένης και της προσομοιωμένης απορροής, καθώς και της βροχόπτωσης:



Σχήμα 6.15: Διάγραμμα παρατηρημένης-προσομοιωμένης ροής (mm/day), βροχόπτωσης (mm)

Αυτή η διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα μια προσομοιωμένη απορροή. Αυτό που πρέπει να διευκρινιστεί είναι η αξιοπιστία της, και εάν μια τέτοια προσομοίωση μπορεί να δώσει καλές προσεγγίσεις των δεικτών IHA και EFC. Για αυτόν τον λόγο, απαιτείται μια πιστοποίηση των αποτελεσμάτων, όπου με τις ίδιες τιμές των παραμέτρων, θα ελεγχθεί το κριτήριο της αποτελεσματικότητας Nash(VQ).

### 6.4.3 Πιστοποίηση

Για την πιστοποίηση, έπρεπε να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα από την προηγούμενη περίοδο, δηλαδή από 1/10/1969 έως 1/10/1984. Όμως, τα δεδομένα της θερμοκρασίας από όπου προέκυψαν και αυτά τις εξατμισοδιαπνοής, ξεκινάνε από το 1976. Το διάστημα αυτό είναι αρκετά μεγάλο, άρα οι τιμές που λείπουν δεν θα επηρεάσουν την αξιοπιστία της πιστοποίησης.

Εφαρμόστηκε η ίδια διαδικασία με την προσομοίωση. Βάσει του μοντέλου του Oudin (2010), εισάχθηκαν τα δεδομένα της θερμοκρασίας, οι ημερομηνίες τους και το γεωγραφικό πλάτος της λεκάνης. Το αποτέλεσμα ήταν μια χρονοσειρά δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, από το 1976 έως το 1984.

Αντίστοιχα με προηγουμένως, συμπληρώθηκαν οι ελλειπείς παρατηρήσεις από την χρονοσειρά της υετόπτωσης, και εισάχθηκαν τα δεδομένα στο μοντέλο GR4J. Ως περίοδος προθέρμανσης ορίστηκε το πρώτο έτος, ενώ τα υπόλοιπα θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή της απορροής. Τέλος, εισάχθηκαν οι τέσσερις παράμετροι που προέκυψαν από την βελτιστοποίηση. Να σημειωθεί πως το σημείο του ενδιαφέροντος στην συγκεκριμένη διαδικασία, δεν είναι η απορροή που θα προκύψει, αλλά τα κριτήρια της αποτελεσματικότητας, που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 6.5: Τα κριτήρια αποτελεσματικότητας της πιστοποίησης

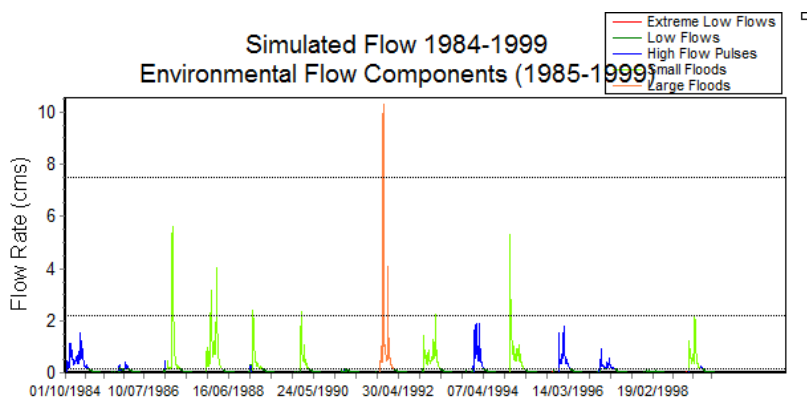
Efficiency criteria (%)				
Nash(Q)				61.5
Nash(VQ)				74.5
Nash(ln(Q))				71.6
Bias				76.8

Όπως παρατηρείται, η τιμή Nash(VQ) είναι αρκετά ικανοποιητική. Αυτό σημαίνει πως, σε ό,τι αφορά της χαμηλές απορροές τουλάχιστον, το μοντέλο GR4J είναι ιδιαίτερα αξιόπιστο για την προσομοίωση των απορροών.

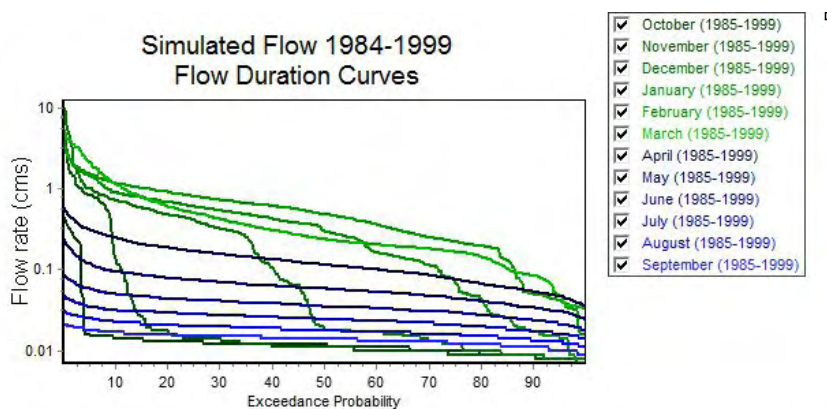
### 6.5. Υπολογισμός δεικτών προσομοιωμένης ροής- Ανάλυση μιας περιόδου

Στο προηγούμενο βήμα, το μοντέλο GR4J απέδωσε μια απορροή. Έπειτα από την βελτιστοποίηση και την πιστοποίηση, αποδείχθηκε αρκετά αξιόπιστη μέθοδος, τουλάχιστον για λεκάνες με χαμηλές απορροές. Το τελικό στάδιο, είναι ο υπολογισμός των δεικτών IHA και EFC για την προσομοιωμένη ροή, και η σύγκρισή τους με τους δείκτες της πραγματικής. Έτσι, μπορούν να εξαχθούν ολοκληρωμένα συμπεράσματα περί της αξιοπιστίας του GR4J για τον υπολογισμό των δεικτών.

Όπως και προηγουμένως, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα ανάλυσης. Τα δεδομένα που εισάχθηκαν ήταν οι παροχές που προέκυψαν από το GR4J, και οι ημερομηνίες από 1/10/1984 έως 1/10/1999. Επιπλέον, ορίστηκε ενιαία περίοδο ανάλυσης και η χρήση μη –παραμετρικής στατιστικής. Γραφικά, παρουσιάζονται ανομοιότητες στα διαγράμματα των FDC, με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις για τους μήνες Οκτώβριο-Δεκέμβριο. Επίσης, από τα διαγράμματα των EFC παρατηρείται μια σχετική αδυναμία αποτύπωσης των ακραίων γεγονότων (μεγάλες πλημμύρες και πολύ χαμηλές ροές).



Σχήμα 6.16: Οι κατηγορίες των EFC για την προσομοιωμένη ροή (1984-1999)



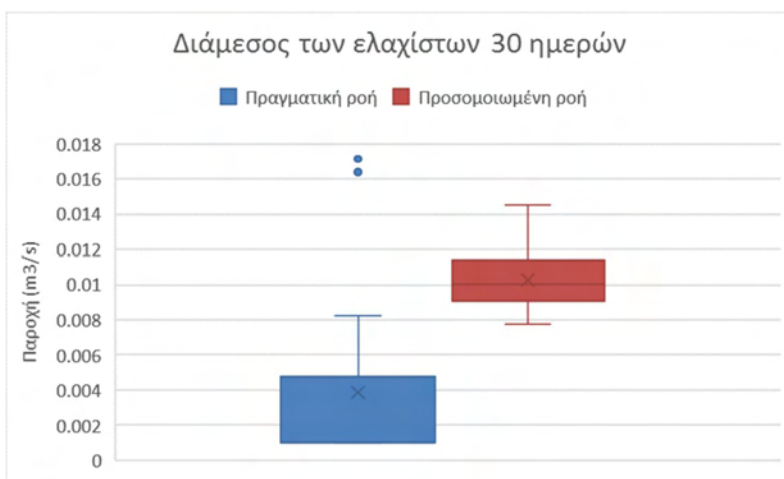
Σχήμα 6.17: Οι καμπύλες διάρκειας ροής για την προσομοιωμένη ροή (1984-1999)

Αναλύοντας περισσότερο τα αποτελέσματα των πινάκων, προέκυψαν διάφορα συμπεράσματα. Σε ότι αφορά τους δείκτες ΙΗΑ, για τις μηνιαίες παροχές, αν και η συνολική σύγκρισή τους έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, επιμέρους για κάθε μήνα υπήρχαν αρκετές διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα, από τον Νοέμβριο μέχρι τον Απρίλιο η σύγκλιση ήταν ικανοποιητική, ενώ για τους υπόλοιπους μήνες υπήρχαν μεγάλες αποκλίσεις, με μεγαλύτερη την απόκλιση του Οκτωβρίου.



Σχήμα 6.18: Σύγκριση πραγματικής-προσομοιωμένης ροής για την μηνιαία παροχή του Οκτωβρίου (παράμετρος ΙΗΑ-1η κατηγορία)

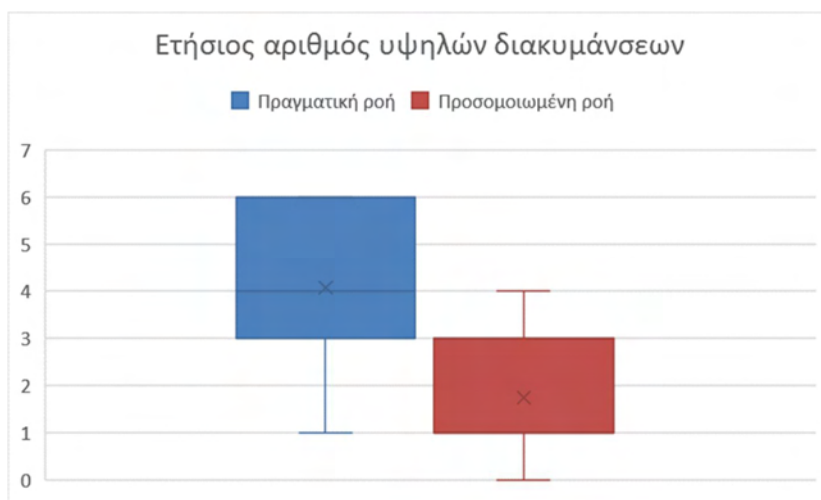
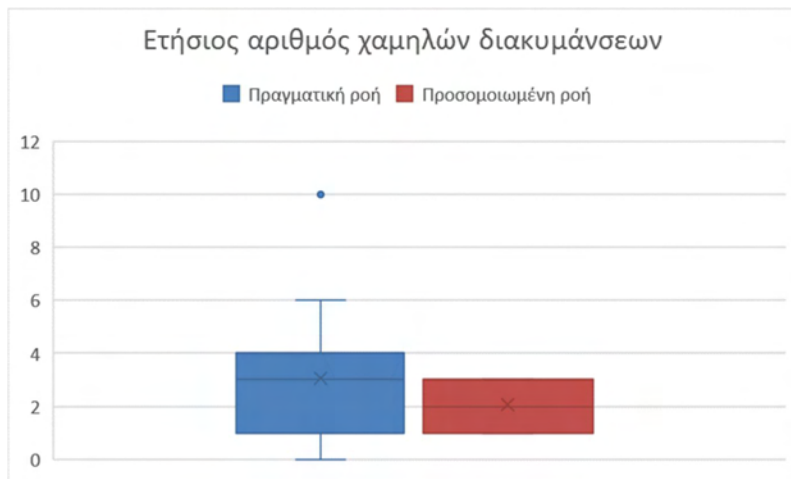
Για τα μεγέθη των ακραίων συνθηκών, η σύγκλιση πήγαινε κλιμακωτά, δηλαδή για τις ημερήσιες τιμές μικρή σύγκλιση και όσο αυξάνει το διάστημα, αυξανόταν και το ποσοστό. Εξαιρέση αποτελεί η παράμετρος του ελαχίστου των 30 ημερών, που παρουσίασε και την μικρότερη συσχέτιση από όλες τις παραμέτρους ΙΗΑ και ΕFC. Γενικά, οι προσομοιωμένες τιμές των μεγίστων δεν απείχαν από τις πραγματικές τόσο πολύ όσο οι τιμές των ελαχίστων.



Σχήμα 6.19: Σύγκριση πραγματικής-προσομοιωμένης ροής για την ελάχιστη παροχή των 30 ημερών (παράμετρος ΙΗΑ, 2η κατηγορία)

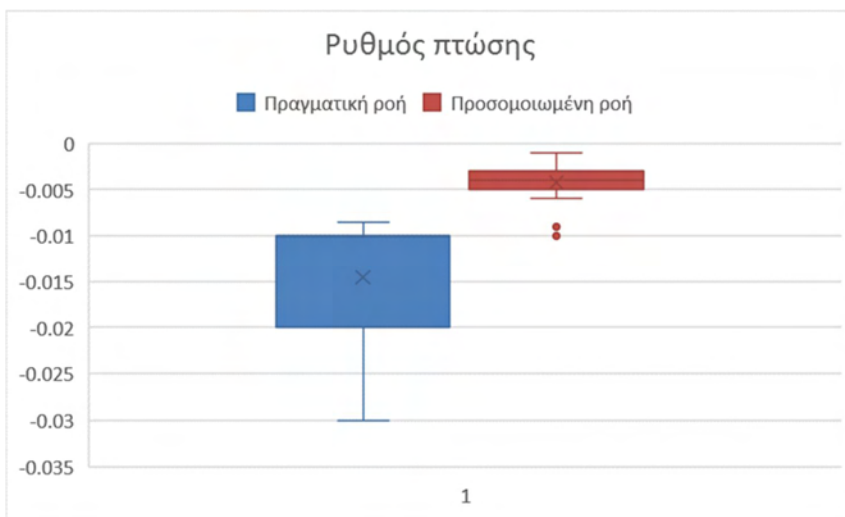
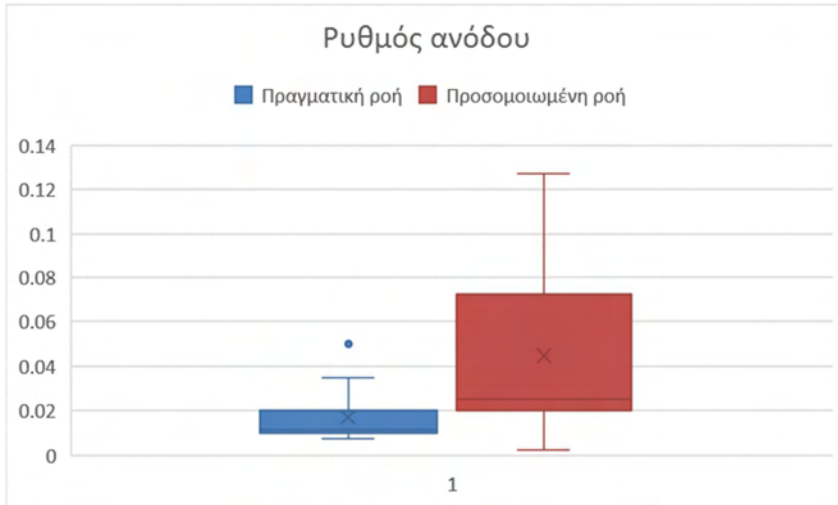


Η τέταρτη κατηγορία των παραμέτρων ΙΗΑ, οι διακυμάνσεις, ήταν αυτή που είχε εμφανίσει αποκλίσεις στην σύγκριση μιας και δύο περιόδων. Εδώ έδειξε μεγάλες αποκλίσεις στον αριθμό των διακυμάνσεων και μικρότερες στην διάρκειά τους.



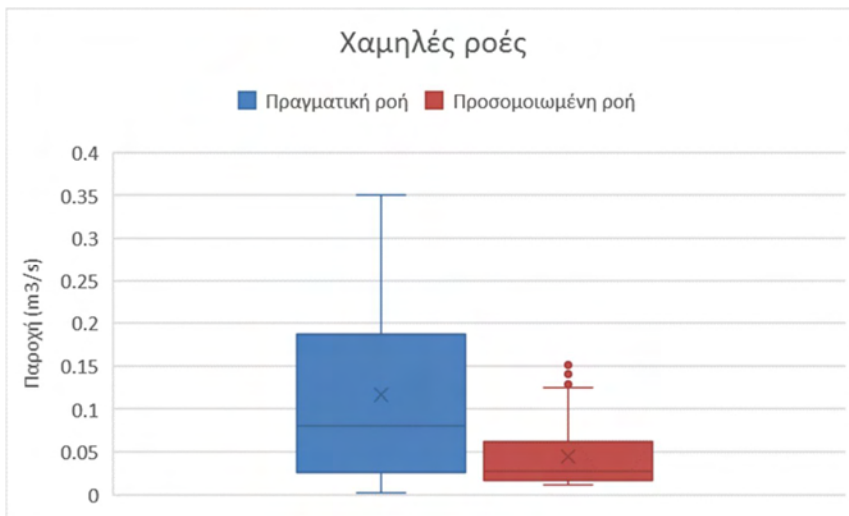
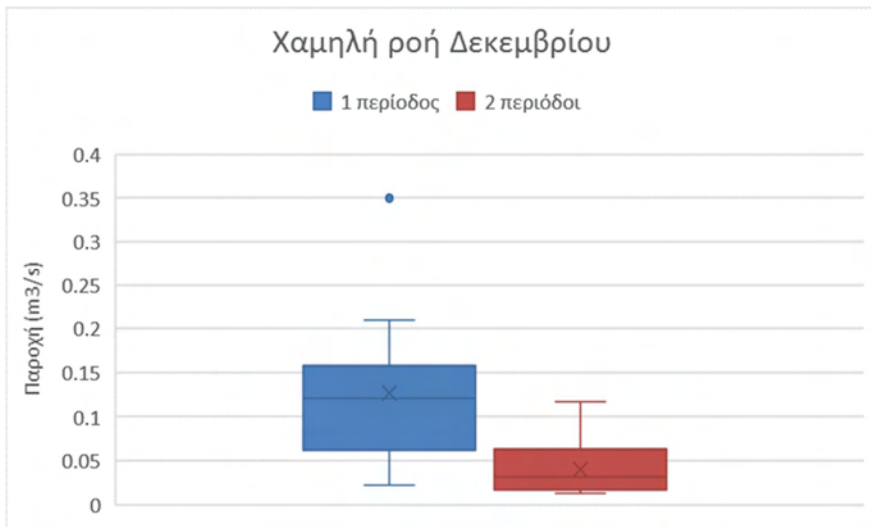
Σχήμα 6.20: Διαγράμματα των ετήσιων χαμηλών και υψηλών διακυμάνσεων, σύγκριση πραγματικής-προσομοιωμένης ροής (παράμετροι ΙΗΑ, 4η κατηγορία)

Η τελευταία κατηγορία των ΙΗΑ παραμέτρων, που αφορά τις εναλλαγές στις συνθήκες ροής, εμφάνισε την μεγαλύτερη σύγκλιση στον ρυθμό πτώσης. Παρ' όλα αυτά, στην σύγκριση που έγινε ανά κατηγορία παραμέτρων, οι τιμές της πέμπτης κατηγορίας ήταν πιο κοντά στις της πραγματικής ροής, σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες.



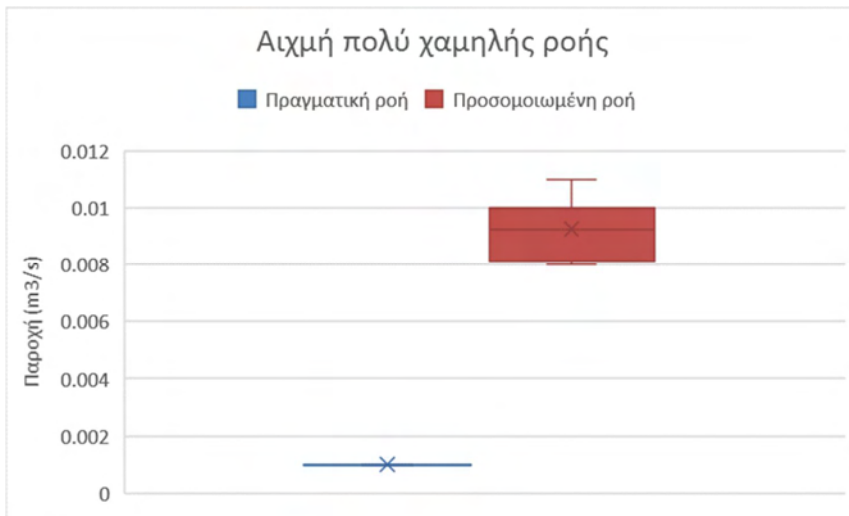
Σχήμα6.21: Διαγράμματα του ρυθμού ανόδου και πτώσης, σύγκριση πραγματικής-προσομοιωμένης ροής (παράμετροι ΙΗΑ, 5η κατηγορία)

Όπως και για την σύγκριση της ανάλυσης μιας περιόδου με αυτή των δύο, οι παράμετροι EFC εμφάνισαν μικρότερη συσχέτιση με αυτήν των παραμέτρων ΙΗΑ. Για τις χαμηλές ροές, η μικρότερη συσχέτιση ήταν για τους χειμερινούς μήνες, με χαμηλότερη αυτή του Δεκεμβρίου. Εάν εξετασθούν όμως ανά κατηγορία, δεν εμφάνισαν τόσο μικρές συσχετίσεις όσο ανά μήνα:



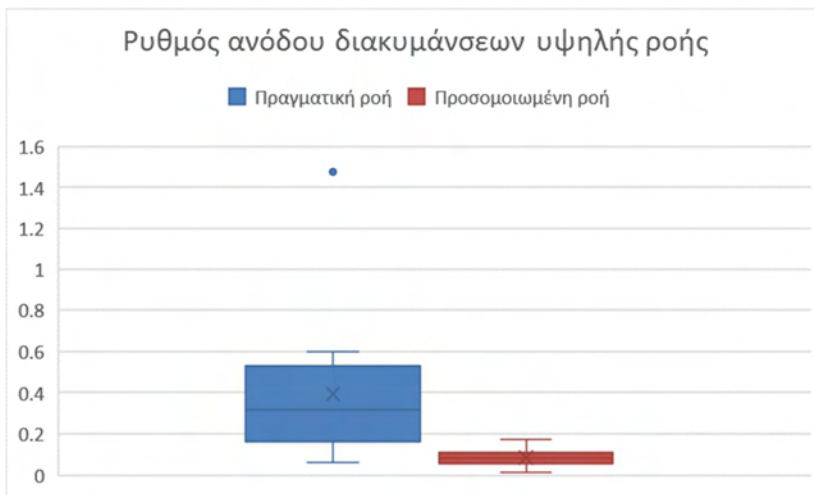
Σχήμα6.22: Διαγράμματα σύγκρισης των χαμηλών ροών- χαμηλή ροή Δεκεμβρίου (παράμετροι EFC, 1η κατηγορία)

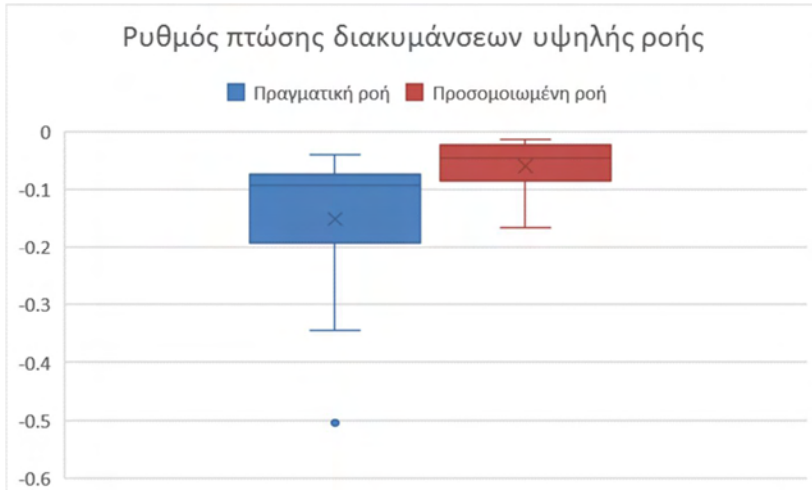
Οι πολύ χαμηλές ροές, παρόλο που μια παράμετρος τους εμφάνισε την μικρότερη συσχέτιση από όλες τις παραμέτρους EFC, συνολικά σαν κατηγορία εμφάνισαν την μεγαλύτερη. Η παράμετρος με την μικρότερη συσχέτιση ήταν αυτή της αιχμής:



Σχήμα 6.23: Διάγραμμα σύγκρισης της αιχμής πολύ χαμηλών ροών (παράμετρος EFC, 2η κατηγορία)

Σε ότι αφορά τις διακυμάνσεις, είχαν αρκετά μεγάλο εύρος τιμών για την σύγκλιση. Πιο συγκεκριμένα, εμφάνισαν μεγάλες αποκλίσεις από την πραγματική ροή στις παραμέτρους της αιχμής και του ρυθμού πτώσης, ενώ ο ρυθμός ανόδου προσέγγισε αρκετά αυτόν των πραγματικών.





Σχήμα 6.24: Διαγράμματα σύγκρισης ρυθμών ανόδου και πτώσης (παράμετροι EFC, 2η κατηγορία)

Τέλος, στις πλημμύρες προέκυψαν αρκετές ανομοιότητες. Αρχικά, οι μικρές πλημμύρες δεν είχαν την αναμενόμενη σύγκλιση, καθώς για ορισμένες παραμέτρους εμφάνισαν πολλές ομοιότητες και κατά συνέπεια υψηλό ποσοστό συσχέτισης, ενώ για άλλες εμφάνισαν πολύ χαμηλό ποσοστό. Αυτό οδήγησε σε σχετικά χαμηλή συσχέτιση, στην εξέταση των παραμέτρων ανά κατηγορία. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, συγκρίνοντας οπτικά τα διαγράμματα των EFC της πραγματικής και της προσομοιωμένης ροής, παρατηρείται αδυναμία αποτύπωσης των ακραίων φαινομένων. Αυτό επιβεβαιώθηκε και από τον έλεγχο των πινάκων, καθώς αν και οι πολύ χαμηλές ροές εμφάνισαν μεγάλη συσχέτιση, οι μεγάλες πλημμύρες όχι. Όπως και για την σύγκριση της ανάλυσης μιας περιόδου με αυτή των δύο, έτσι και εδώ, εάν ομαδοποιηθούν οι δείκτες ανά κατηγορία, εμφάνισαν αρκετά μεγαλύτερη σύγκλιση από ότι αν εξεταστούν ξεχωριστά:

Πίνακας 6.6: Η σύγκλιση των αναλύσεων της πραγματικής με την προσομοιωμένη ροή

IHA	Rsq	EFC	Rsq
1	73.97%	1	45.02%
2	28.23%	2	64.04%
3	55.04%	3	37.62%
4	5.59%	4	37.36%
5	84.53%	5	1.79%



Σχήμα 6.25: Διαγράμματα συσχέτισης παραμέτρων IHA και EFC

## 7. Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

### 7.1 Συμπεράσματα

#### Ανάλυση δύο περιόδων

Η σύγκριση της ανάλυσης μιας περιόδου με αυτή των δύο, απέδωσε αρκετές ομοιότητες. Στις παραμέτρους IHA, με εξαίρεση την 4<sup>η</sup> κατηγορία των διακυμάνσεων, η σύγκλιση ήταν απόλυτη. Για τις παραμέτρους EFC υπήρχαν κάποιες μικρές αποκλίσεις, χωρίς όμως να αμφισβητείται η αξιοπιστία της ανάλυσης. Οι διαφορές παρατηρήθηκαν κυρίως για τις ακραίες ροές, καθώς δεν υπήρχε απόλυτη ταύτιση μεταξύ των μεγάλων πλημμύρων.

#### Ανάλυση προσομοιωμένης απορροής

Για την προσομοιωμένη απορροή, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα εξατμισοδιαπνοής και βροχόπτωσης. Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος του Oudin et al (2010), που βασίζεται αποκλειστικά σε δεδομένα θερμοκρασίας. Αυτά τα δεδομένα δεν είχαν ελλείψεις, τουλάχιστον όχι για την περίοδο του ενδιαφέροντος (1984-1999). Επομένως, τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής θεωρούνται αξιόπιστα..

Συνήθως για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης λαμβάνονται δεδομένα από διάφορους σταθμούς, τα οποία στην συνέχεια ανάγονται στην βροχόπτωση ολόκληρης της λεκάνης. Για την προσομοιωμένη απορροή, δεν χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι επιφανειακής ολοκλήρωσης, καθώς τα δεδομένα λήφθηκαν μόνο από τον σταθμό της Λεμεσού, με το αντίστοιχο αντίκτυπο στην ακρίβεια της διαδικασίας. Το αποτέλεσμα ήταν μια απορροή με αρκετά ικανοποιητικά κριτήρια αποτελεσματικότητας, τόσο για την βελτιστοποίηση όσο και για την πιστοποίηση. Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην τιμή της ποσότητας Nash(VQ), καθώς αυτή περιγράφει καλύτερα της χαμηλές απορροές που έχει κατά κόρον η λεκάνη. Η αρκετά μικρότερη τιμή της ποσότητας Nash(Q), εξηγεί τις διαφορές που διαπιστώθηκαν στις μεγάλες πλημμύρες.

Στην σύγκριση μεταξύ της προσομοιωμένης απορροής με την παρατηρημένη, η πρώτη κατηγορία των παραμέτρων IHA εμφάνισε μεγάλο ποσοστό ομοιότητας. Οι τυχόν αποκλίσεις οφείλονται σε υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης του Οκτωβρίου, καθώς εκεί εντοπίστηκε η μεγαλύτερη διαφορά. Η υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης οδήγησε και στην χαμηλή σύγκλιση της δεύτερης κατηγορίας παραμέτρων, καθώς στα ελάχιστα εμφανίστηκαν τα μικρότερα ποσοστά. Η μικρότερη σύγκλιση των IHA παραμέτρων εμφανίστηκε στην κατηγορία των χαμηλών και υψηλών διακυμάνσεων. Τα αίτια της μεγάλης απόκλισης είναι πως δεν καταγράφηκε επακριβώς ο αριθμός των διακυμάνσεων που αντιστοιχούσε σε κάθε έτος, καθώς η προσομοιωμένη ροή έδειξε αδυναμία αντιστοίχισης και υποεκτίμηση των συμβάντων. Τέλος, η πέμπτη κατηγορία εμφάνισε την υψηλότερη συσχέτιση, παρόλο που υπήρξαν μεγάλες διαφορές στην συχνότητα των εναλλαγών.

Όπως και στην προηγούμενη σύγκριση, οι παράμετροι EFC εμφάνισαν μικρότερη συσχέτιση από τις παραμέτρους IHA. Γενικότερα, παρατηρήθηκε μια αδυναμία αποτύπωσης και σωστής αντιστοίχισης των ακραίων γεγονότων. Αναλυτικότερα, η πρώτη κατηγορία είναι αυτή των χαμηλών ροών που εμφάνισε την δεύτερη μεγαλύτερη συσχέτιση. Η προσομοιωμένη ροή κατέδειξε περισσότερα γεγονότα χαμηλών ροών από την πραγματική, ενώ στους μήνες με την χαμηλότερη συσχέτιση (Νοέμβριος,

Δεκέμβριος και Σεπτέμβριος) υποεκτίμησε την απορροή. Η κατηγορία των πολύ χαμηλών ροών εμφάνισε την μεγαλύτερη σύγκλιση αλλά η παράμετρος της αιχμής την μικρότερη συνολικά. Αυτό συνέβη διότι η προσομοιωμένη ροή έδωσε πολύ μεγαλύτερες τιμές από την πραγματική. Στην τρίτη κατηγορία, η μικρότερη σύγκλιση εντοπίστηκε για τον δείκτη της αιχμής, καθώς δεν αντιστοιχήθηκαν απόλυτα τα φαινόμενα των υψηλών διακυμάνσεων, δημιουργώντας έτσι κενές παρατηρήσεις και μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές της απορροής. Η κατηγορία των μικρών πλημμύρων εμφάνισε περίπου ίδια συσχέτιση με αυτή των διακυμάνσεων. Τα φαινόμενα των μικρών πλημμύρων ήταν ίδια και για τις δύο χρονοσειρές, όμως δεν είχαν καταταξιωθεί με τον ίδιο τρόπο. Επίσης, η ανάλυση έδειξε πως η προσομοιωμένη απορροή είχε εκτιμήσει μικρότερες ποσότητες νερού, με αποτέλεσμα η αιχμή για κάθε τέτοιο φαινόμενο να έχει μεγάλες αποκλίσεις. Η τελευταία κατηγορία ήταν οι μεγάλες πλημμύρες, όπου ενώ στην πραγματική ροή υπήρχαν τρία τέτοια γεγονότα, στην προσομοιωμένη καταγράφηκε ένα και με αρκετά μικρότερη απορροή από τα υπόλοιπα. Η κατηγορία των μεγάλων πλημμύρων εμφάνισε την μικρότερη συσχέτιση από όλες, κάτι που ήταν αναμενόμενο λαμβάνοντας υπόψιν την αδυναμία καταγραφής των ακραίων φαινομένων.

## 7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώθηκε στις χαμηλές ροές. Για μικρές απορροές το μοντέλο φάνηκε αρκετά αξιόπιστο, πράγμα που είναι λογικό καθώς η αντικειμενική συνάρτηση στόχευε στην μεγαλύτερη τιμή του Nash(VQ). Επιπλέον έρευνες θα μπορούσαν να γίνουν για να ελεγχθεί εάν θα δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σε μια ανάλυση μεγαλύτερων ροών, στοχεύοντας δηλαδή στην βέλτιστη τιμή του Nash(Q).

Γενικότερα, θα μπορούσαν να διερευνηθούν οι τιμές των δεικτών βάσει άλλων αρχικών συνθηκών. Τέτοια παραδείγματα θα μπορούσαν να είναι το κατά πόσο μεταβάλλονται οι δείκτες IHA εάν επιβληθούν επιπλέον περιορισμοί στις παραμέτρους του μοντέλου, εάν αλλάξει η στοχαστική συνάρτηση, ή εάν αλλάξει το είδος της βελτιστοποίησης.

Ένα άλλο σημείο εστίασης, είναι η σημαντικότητα των αποκλίσεων της πραγματικής ροής και της προσομοιωμένης. Σε αυτή την εργασία, τα φαινόμενα των μικρών πλημμυρών ήταν ίδια σε αριθμό και για τις δύο απορροές, αλλά η κατανομή τους κατά την διάρκεια των ετών ήταν διαφορετική. Μια άλλη έρευνα που θα μπορούσε να



διεξαχθεί είναι η αξιολόγηση τέτοιου είδους αποκλίσεων, και το κατά πόσο μπορούν να επηρεάσουν τους δείκτες.

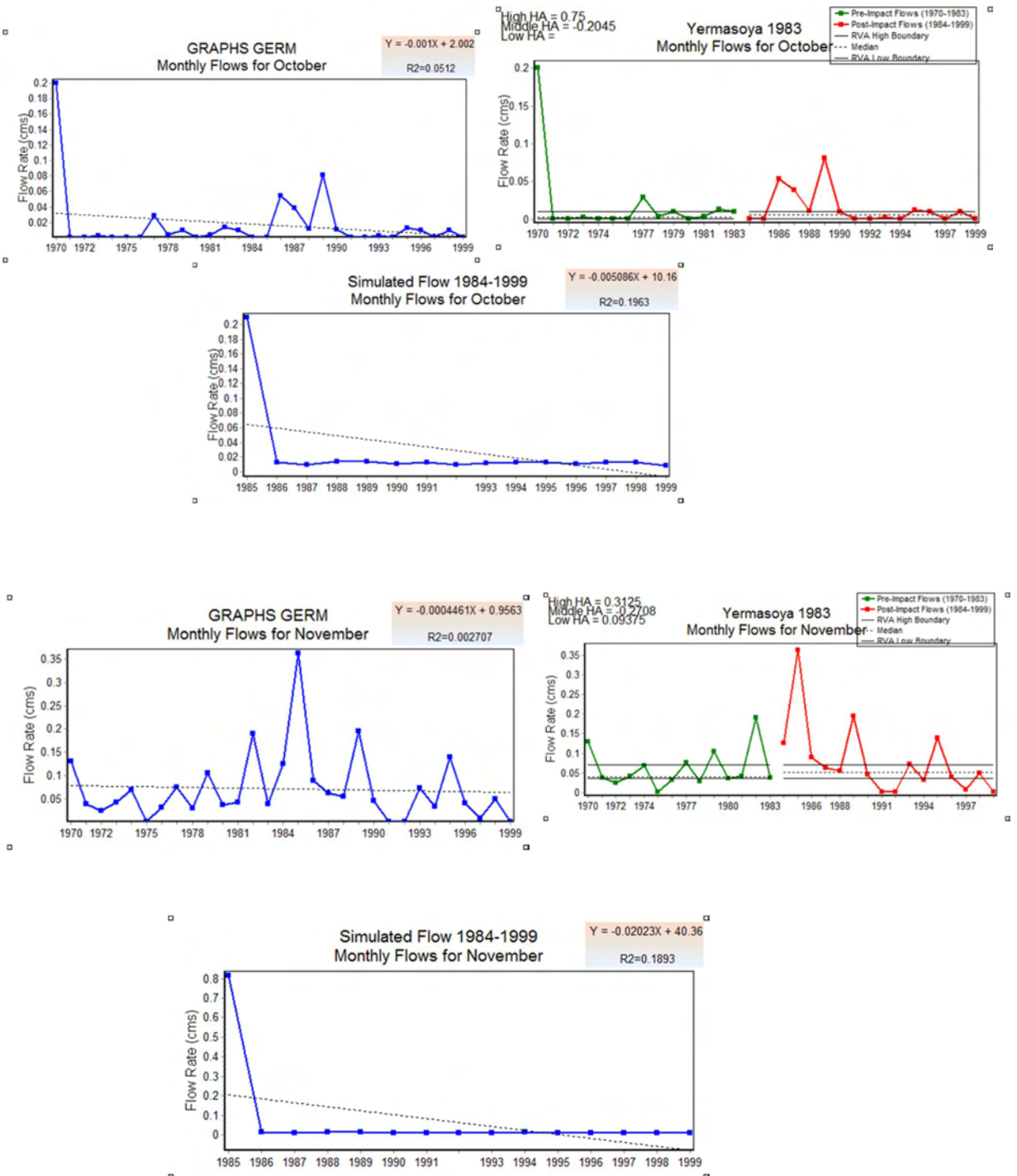
Τέλος, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην επέκταση των χρονοσειρών, και στην απόκριση του μοντέλου και των δεικτών σε αυτό. Αυτό εξυπηρετεί τον εκάστοτε μελετητή, σε περιπτώσεις ελλιπών δεδομένων, να γνωρίζει την αξιοπιστία του μοντέλου για την εκτίμηση των δεικτών και να γίνει ένα απαραίτητο εργαλείο στο στάδιο του σχεδιασμού.

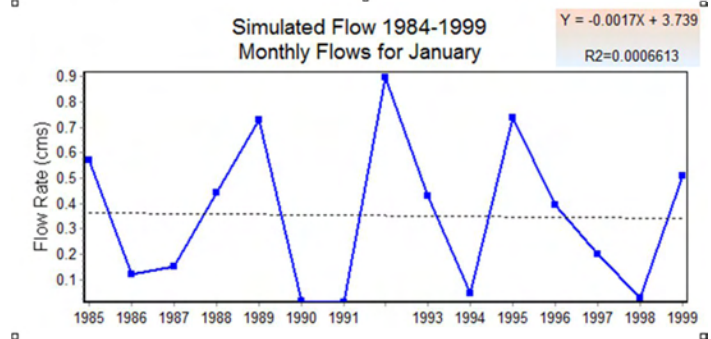
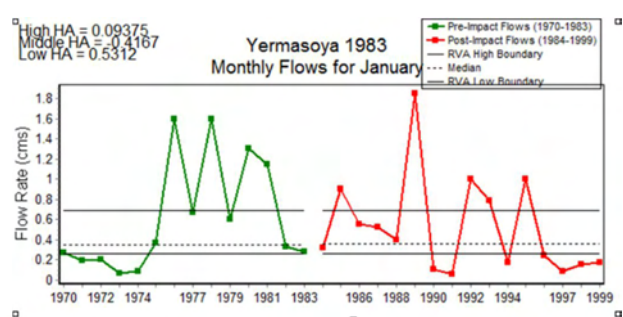
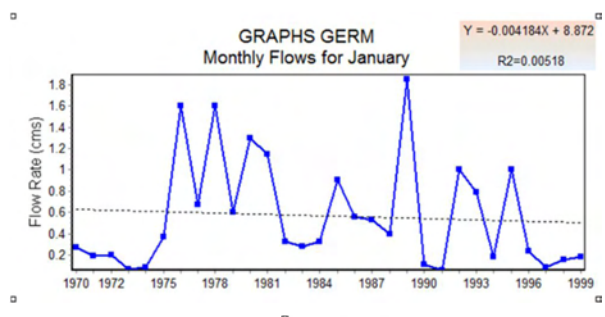
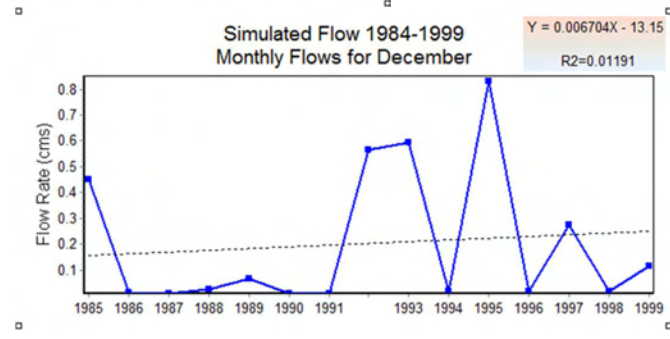
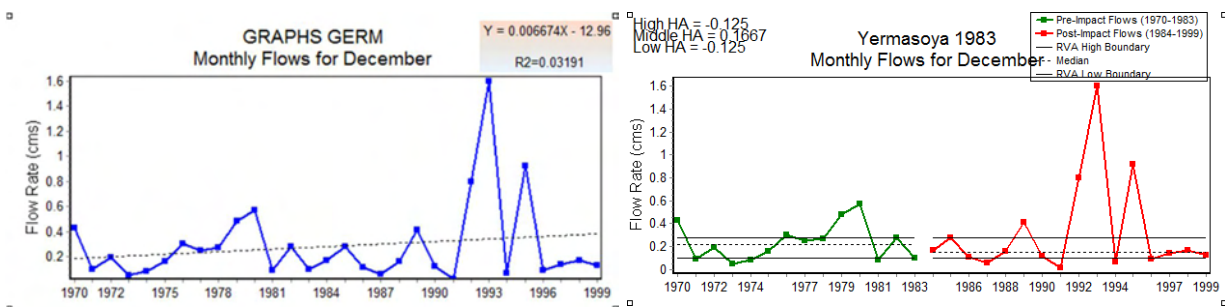
# Παράρτημα 1

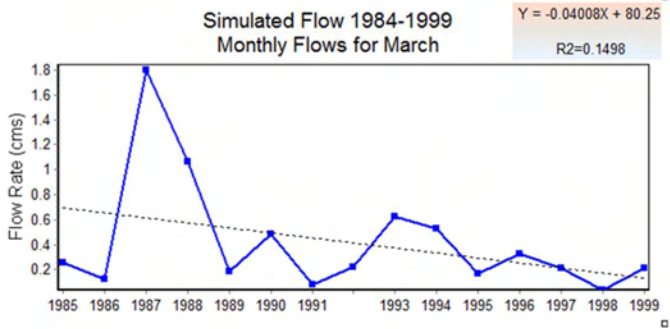
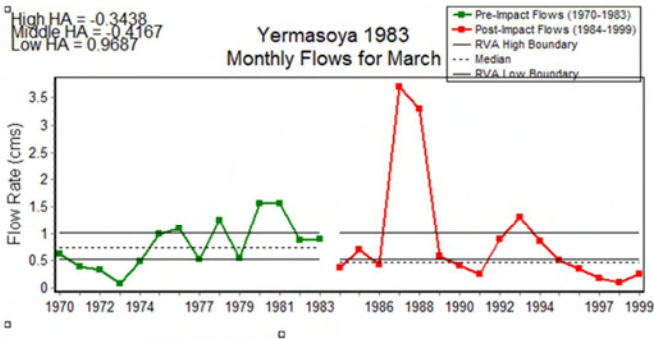
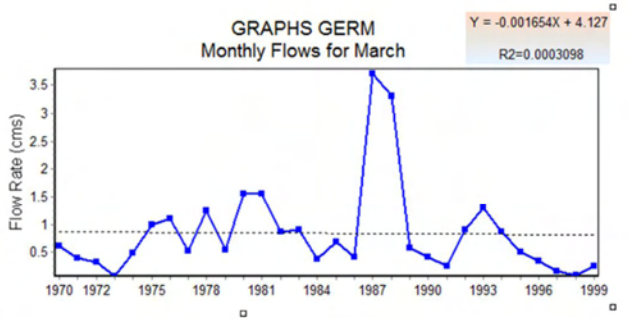
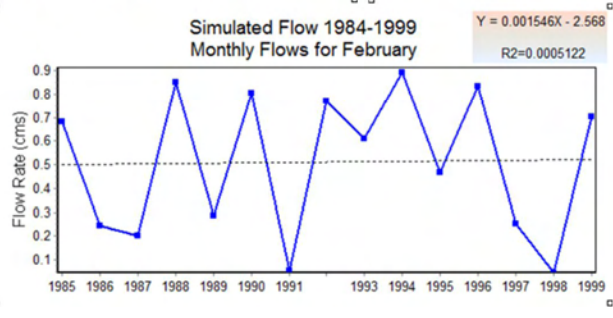
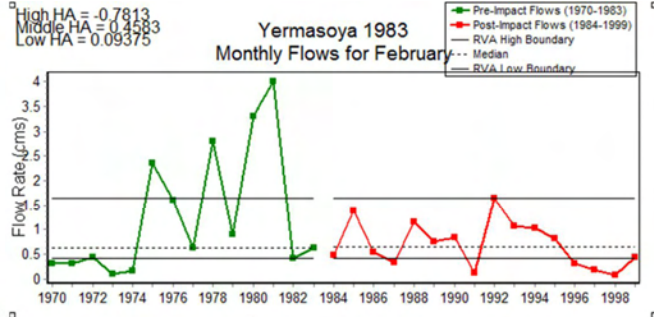
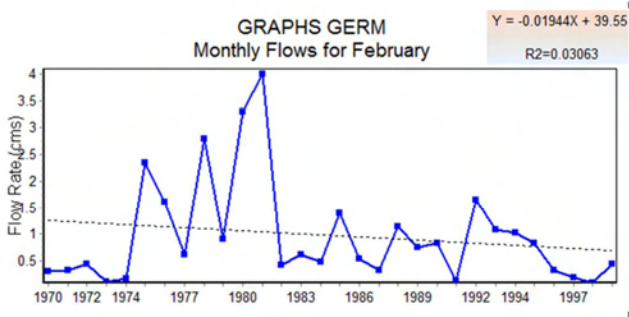
Γραφήματα που προέκυψαν από το λογισμικό IHA:

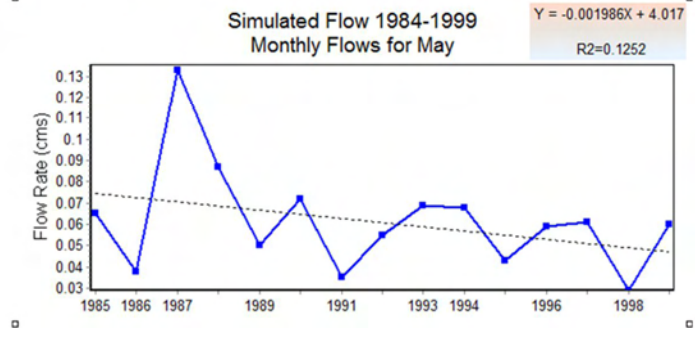
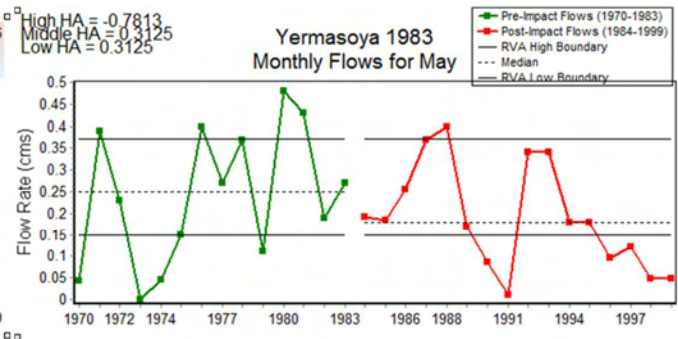
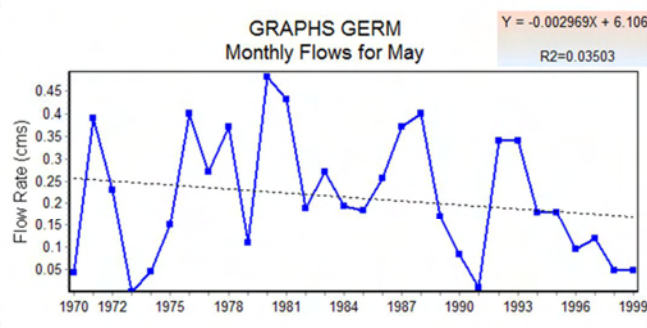
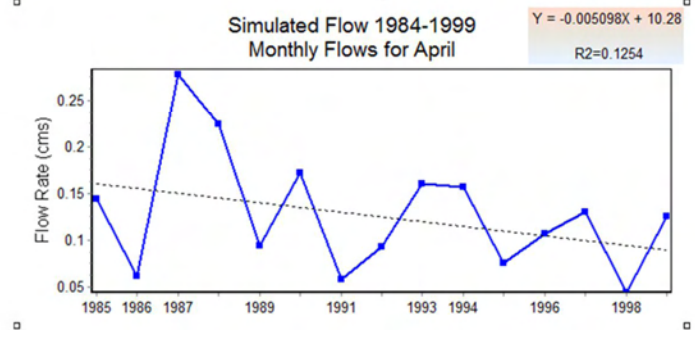
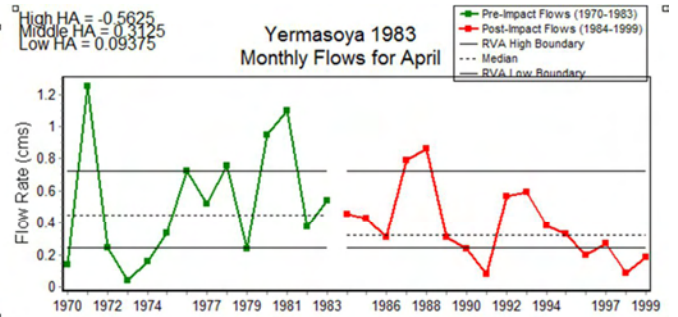
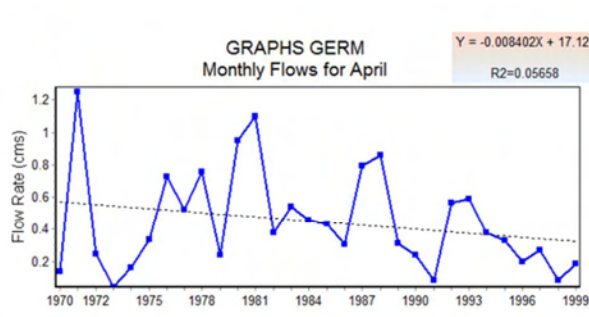
Σημείωση: Τα γραφήματα με τίτλο GRAPHSGERM αντιστοιχούν στην ανάλυση μιας περιόδου και τα γραφήματα με τίτλο Yermasoya 1983 αντιστοιχούν στην ανάλυση δύο περιόδων.

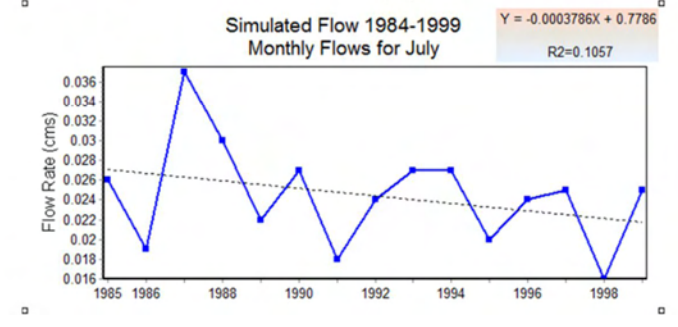
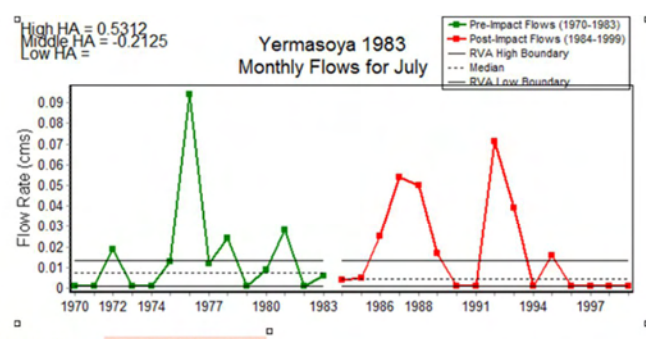
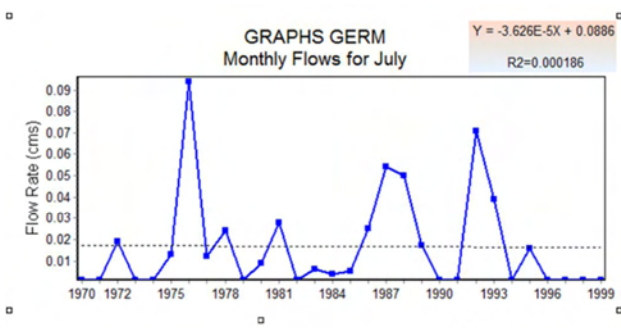
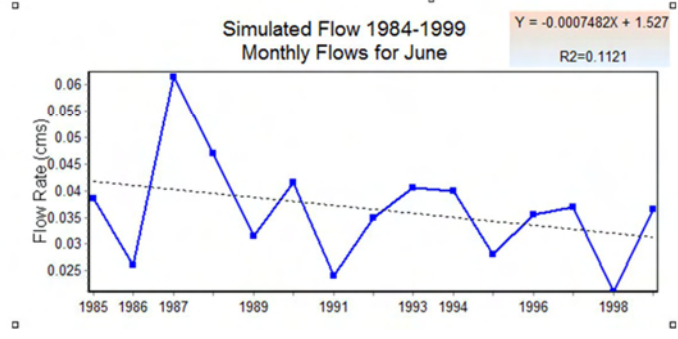
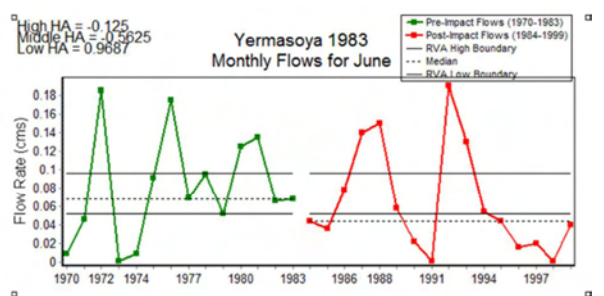
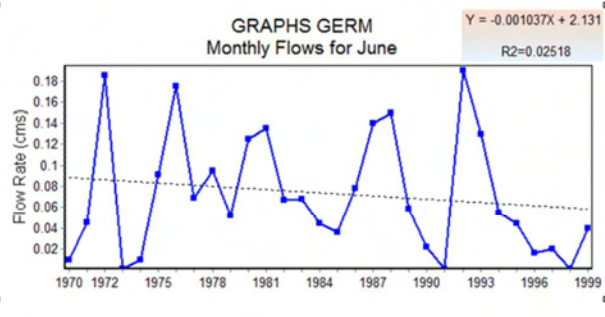
Δείκτες IHA:

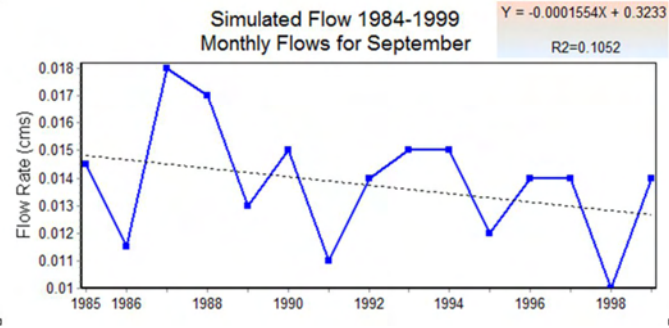
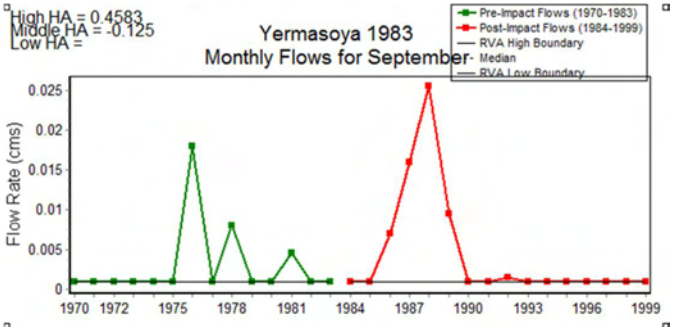
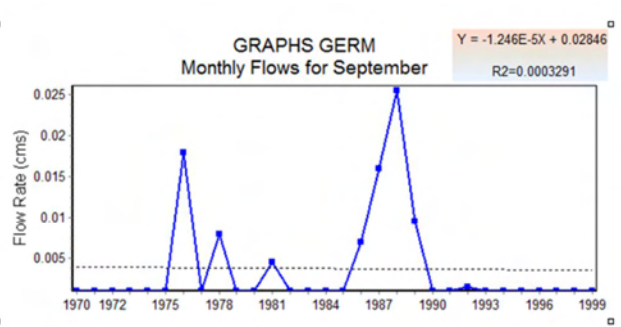
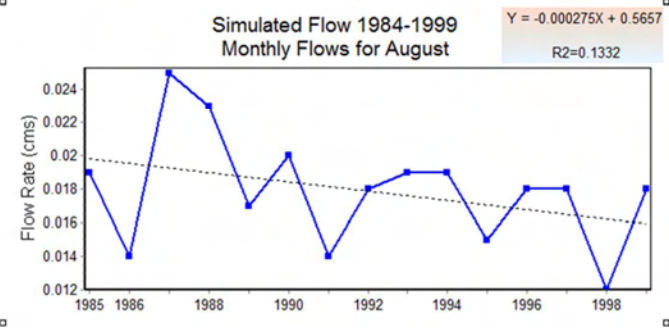
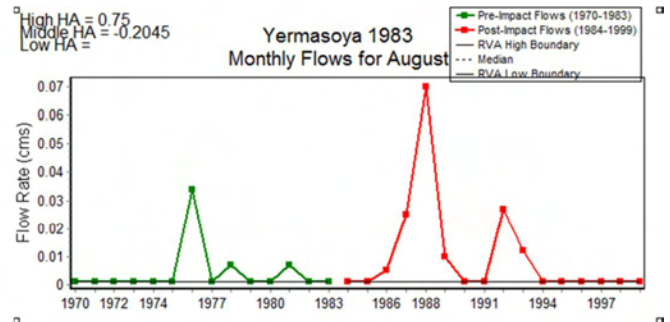
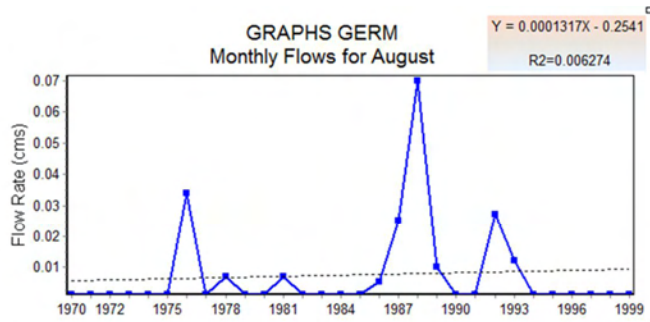


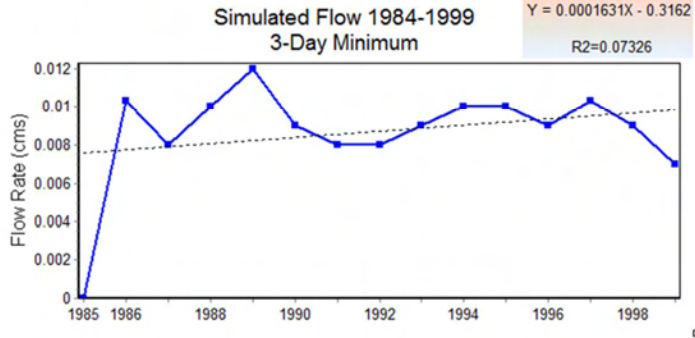
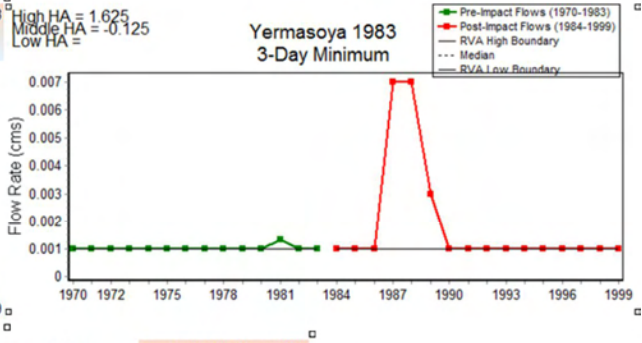
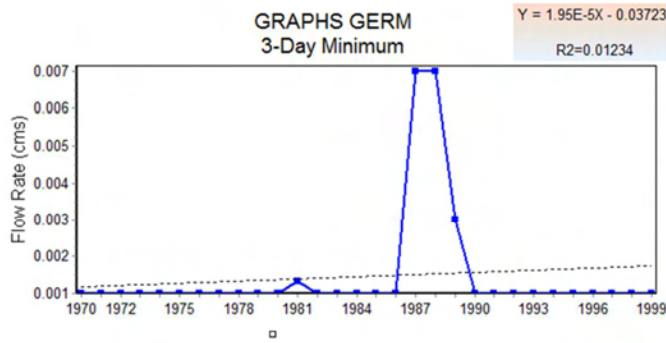
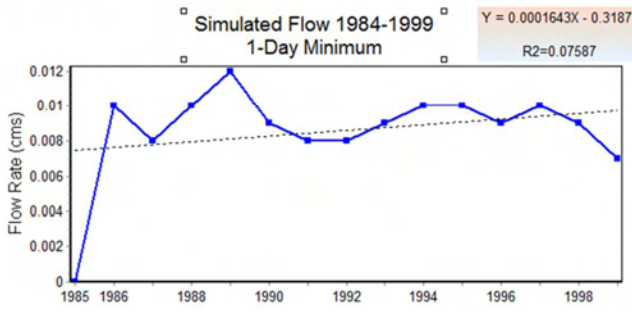
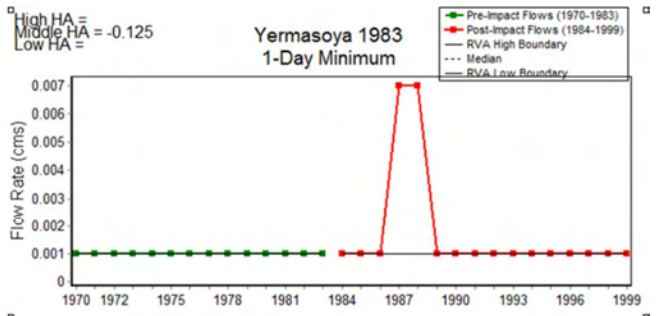
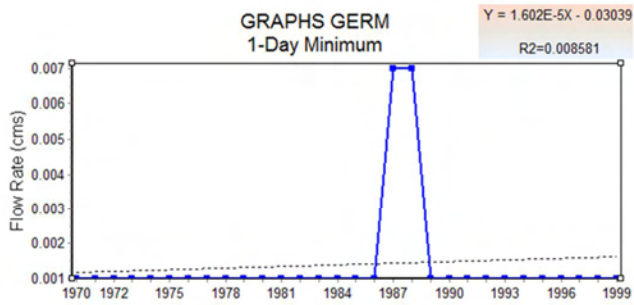




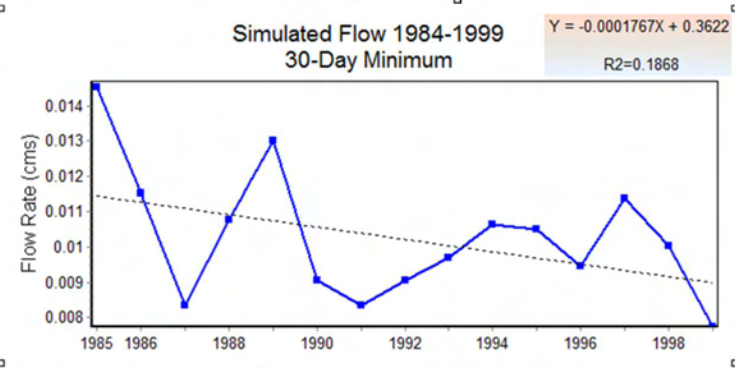
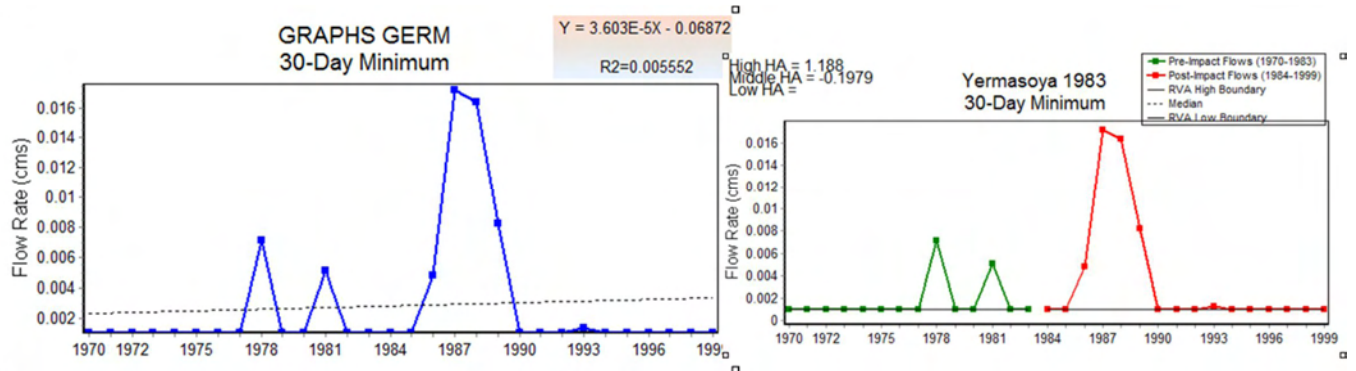
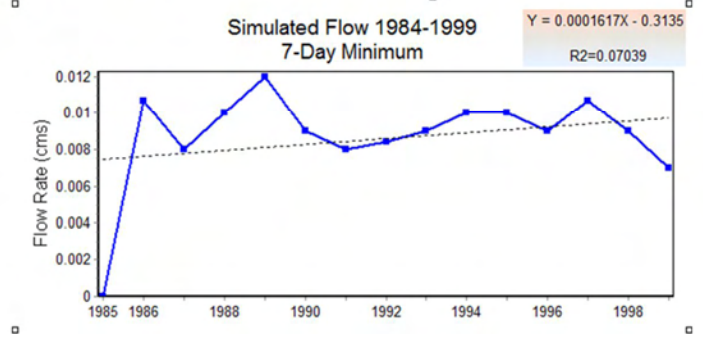
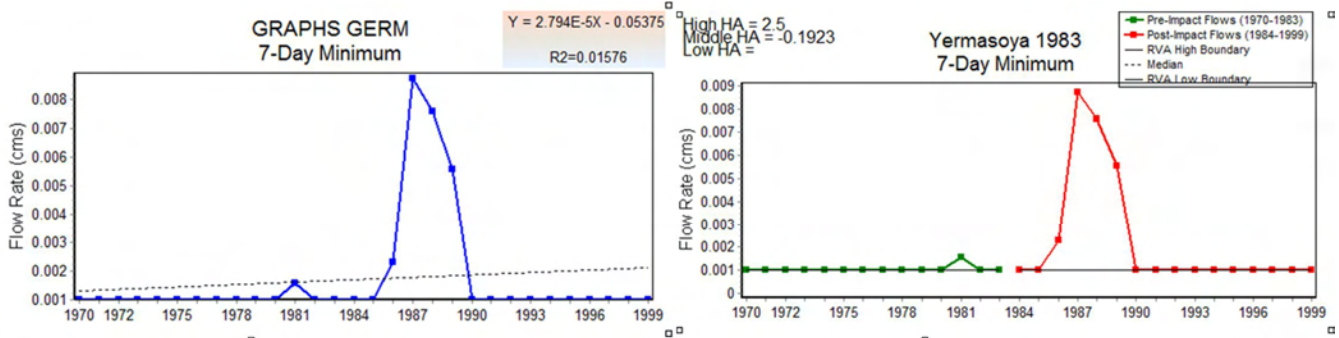


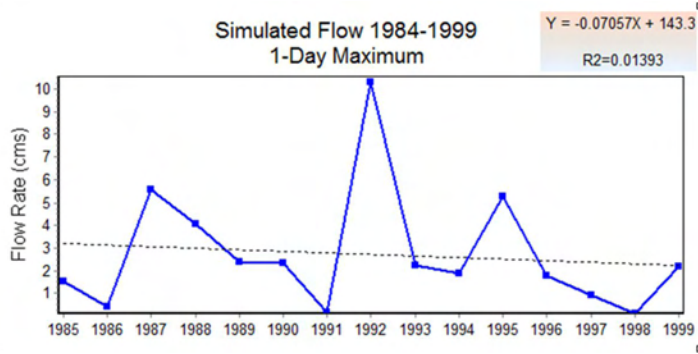
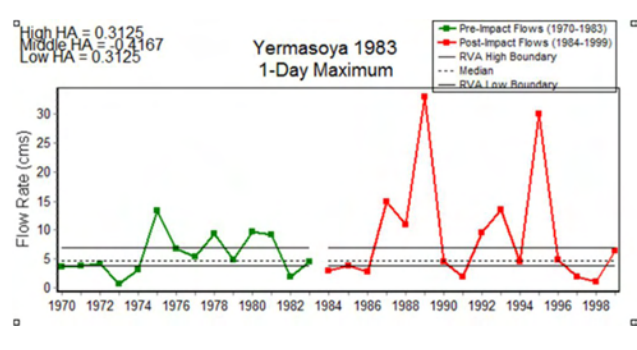
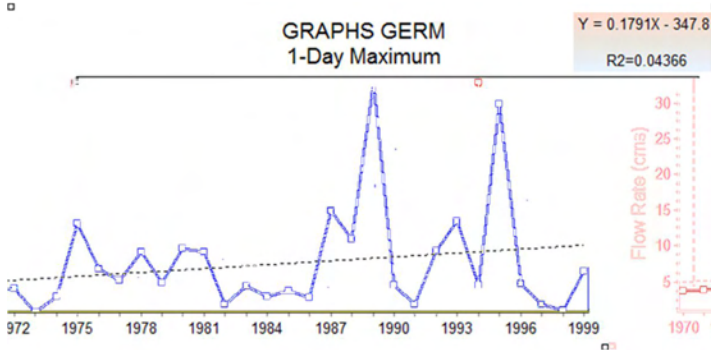
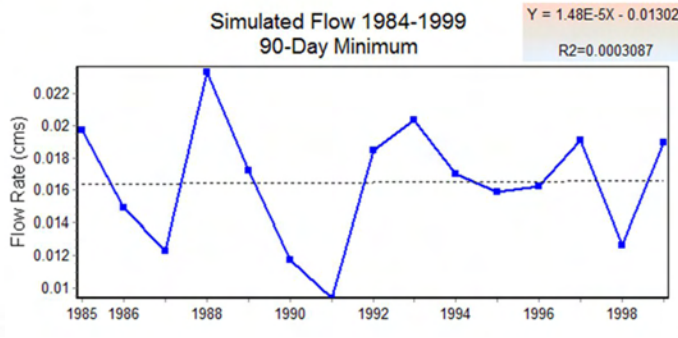
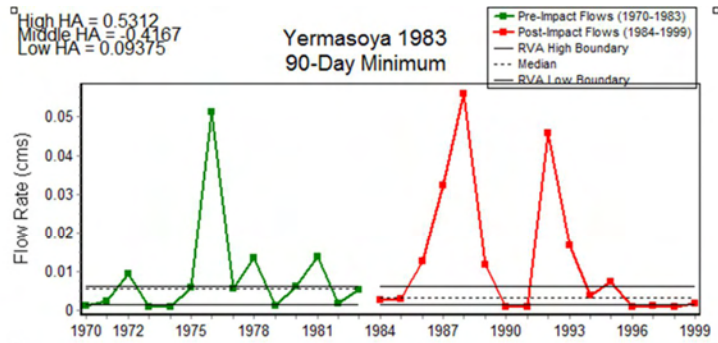
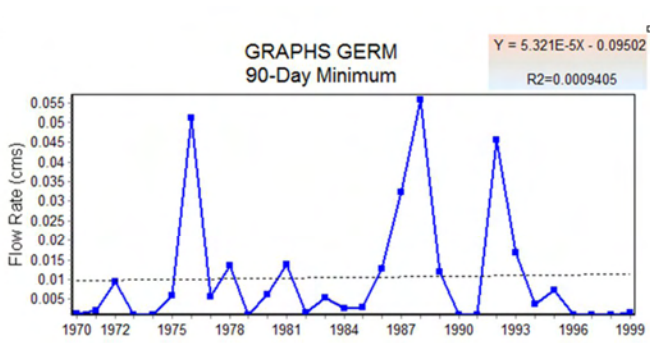


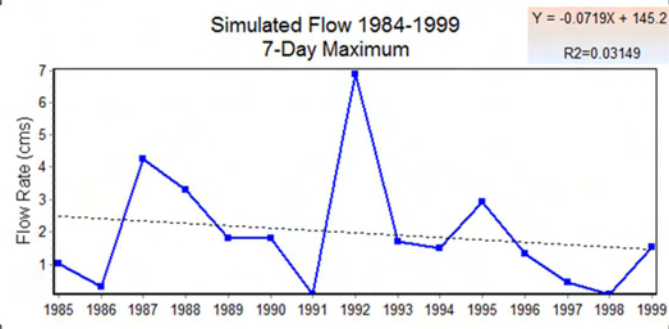
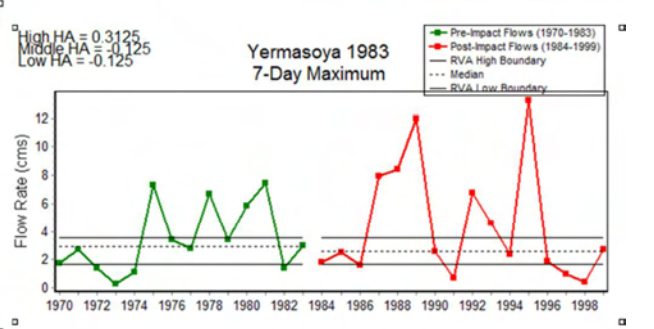
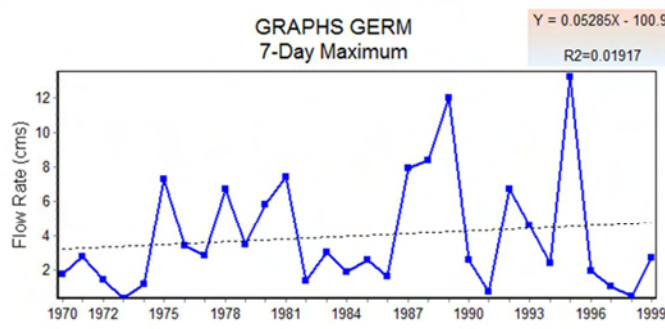
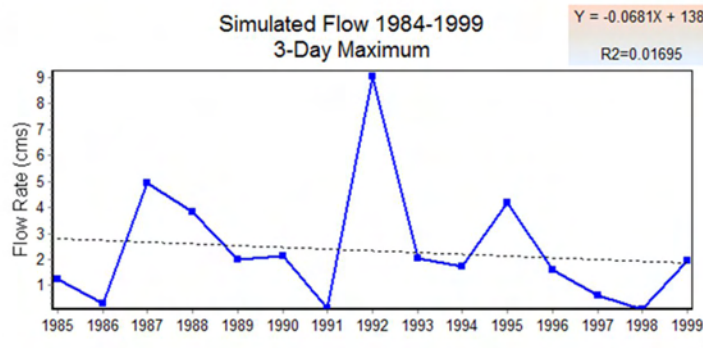
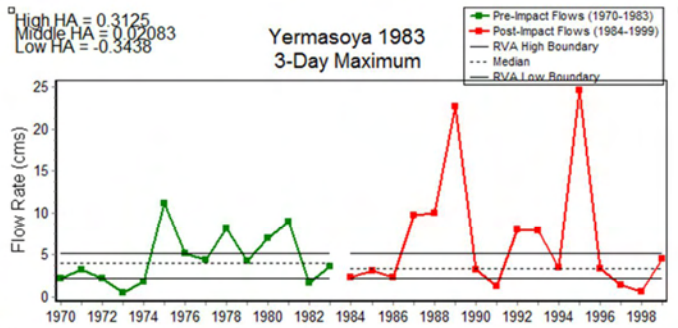
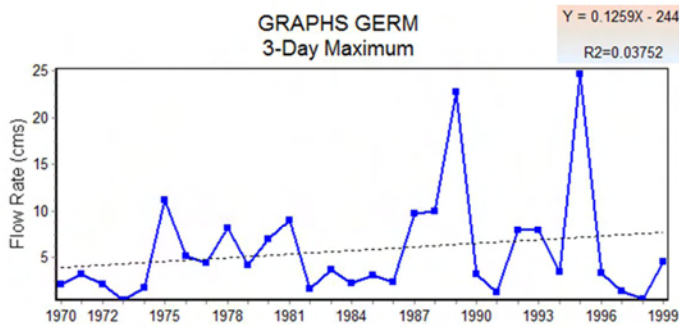


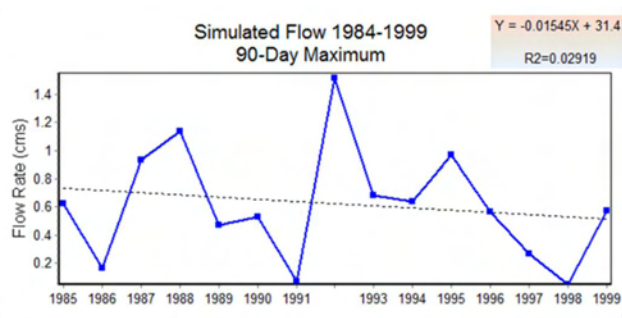
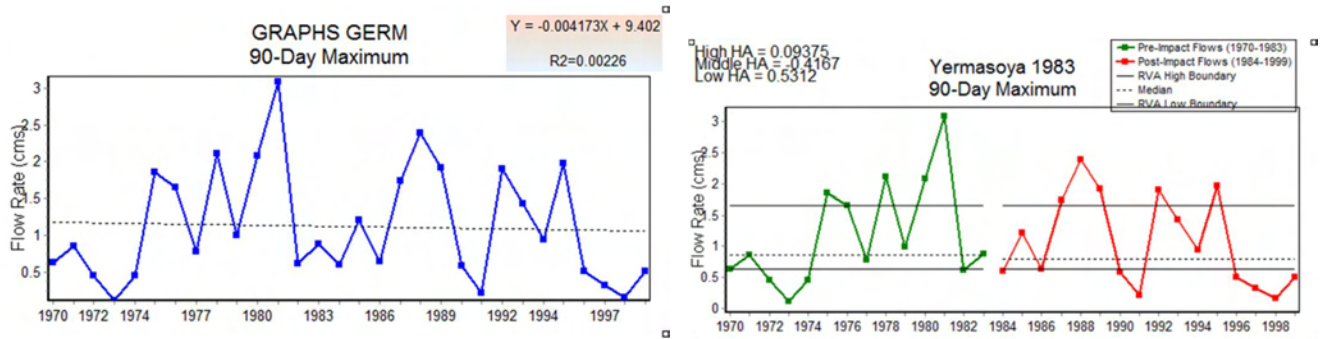
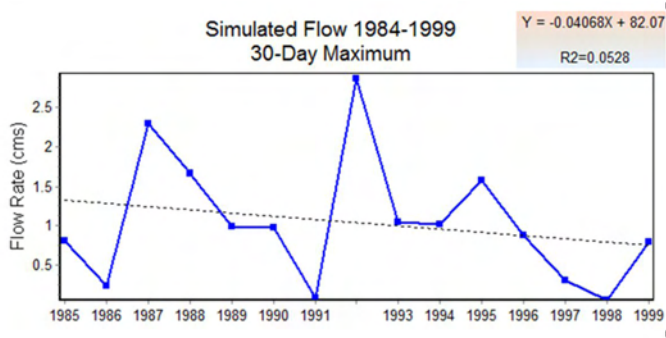
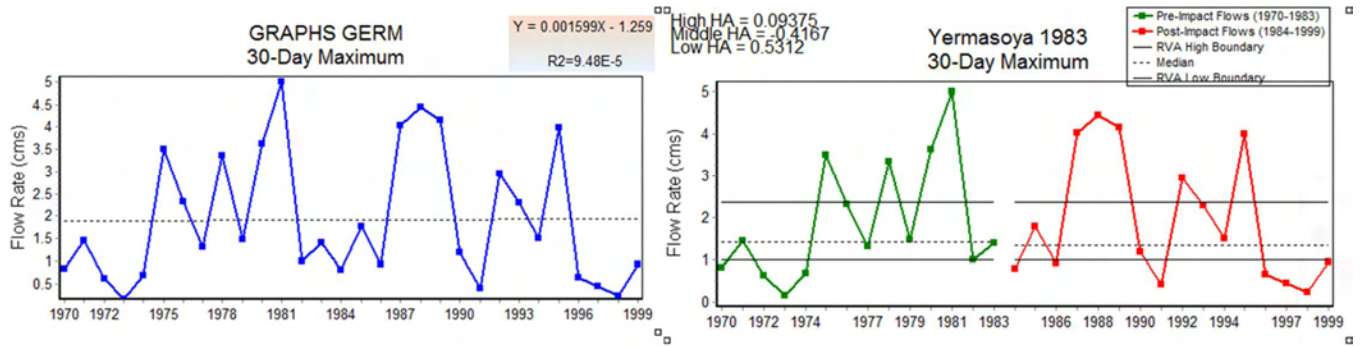


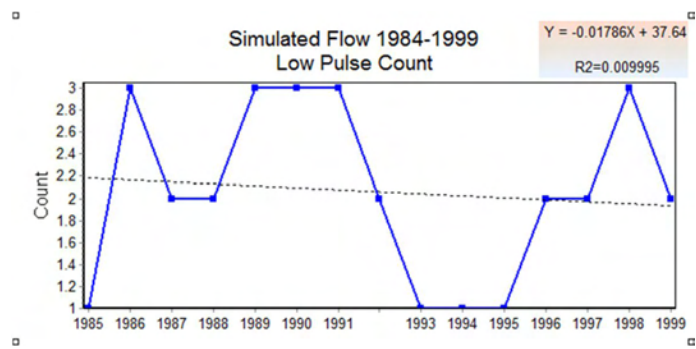
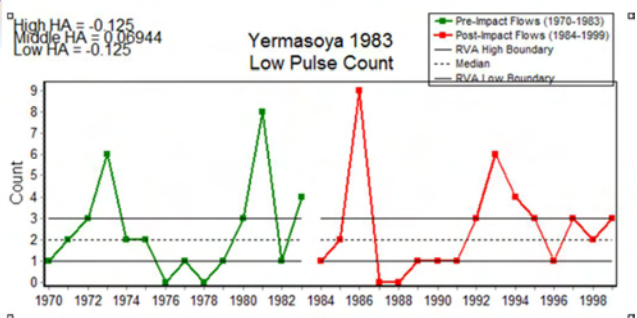
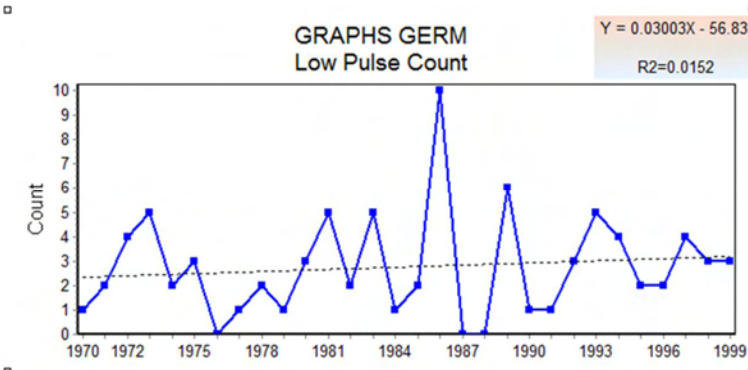
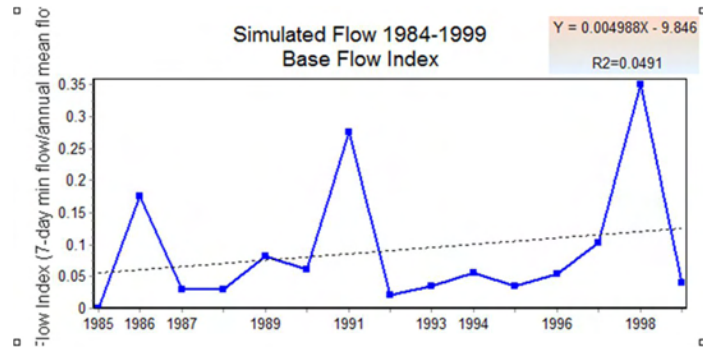
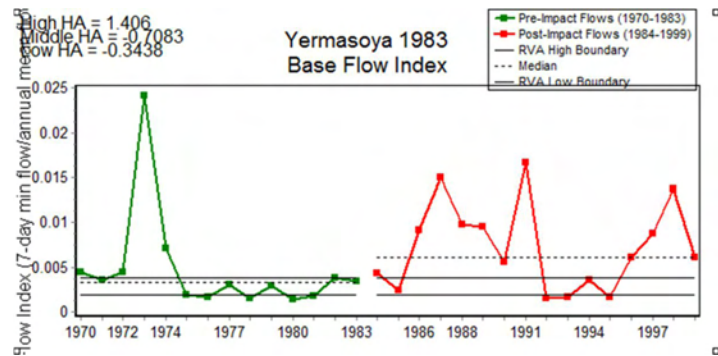
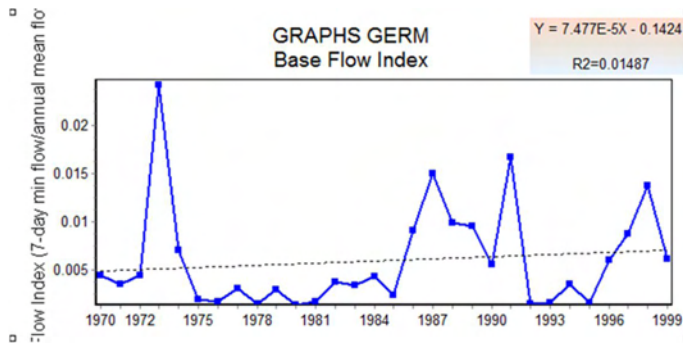


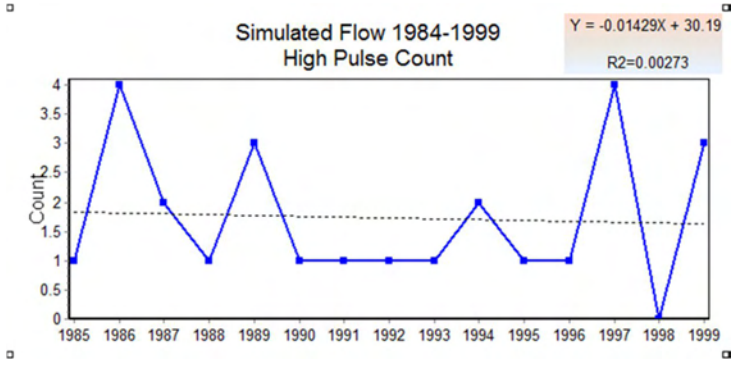
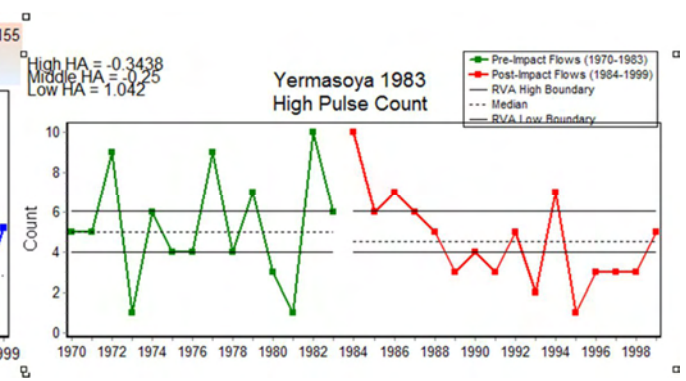
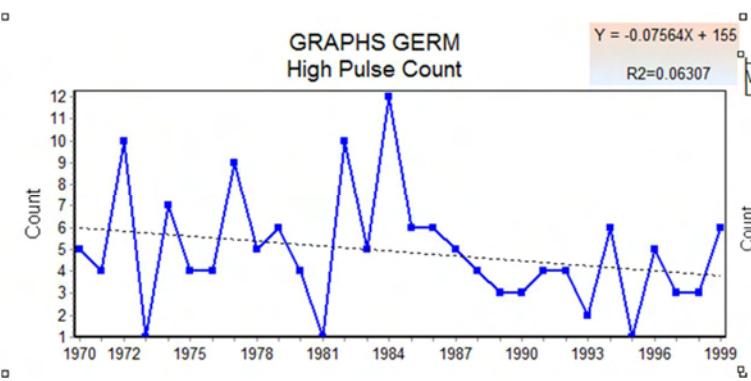
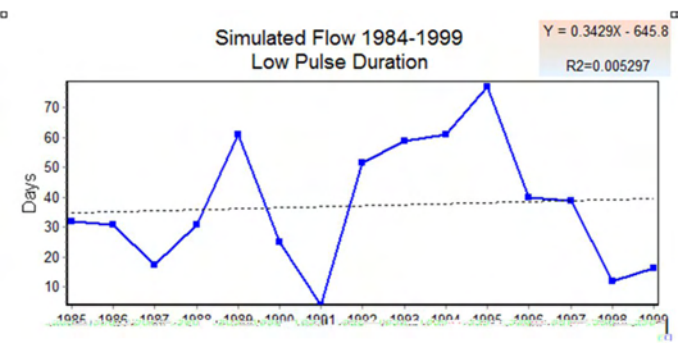
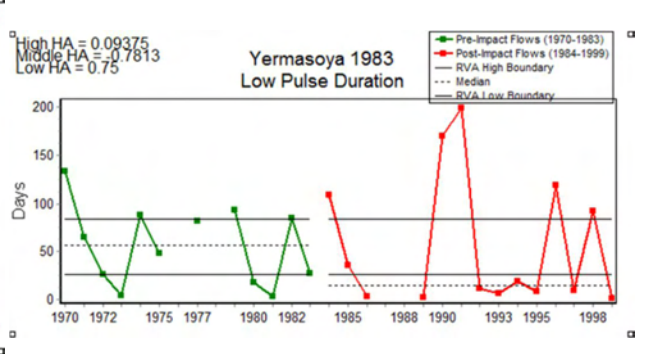
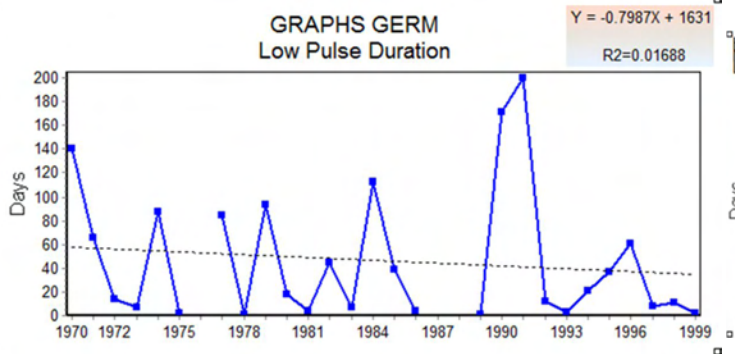


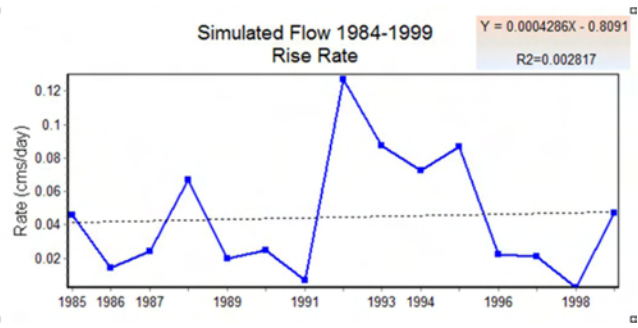
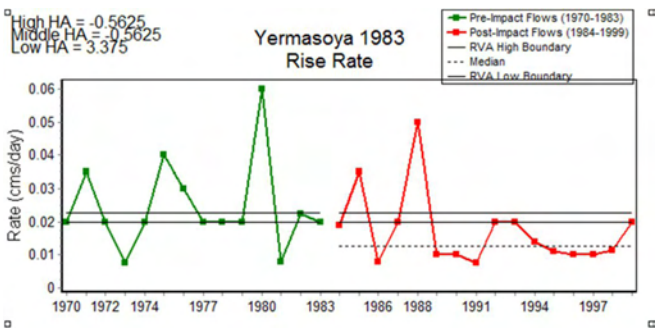
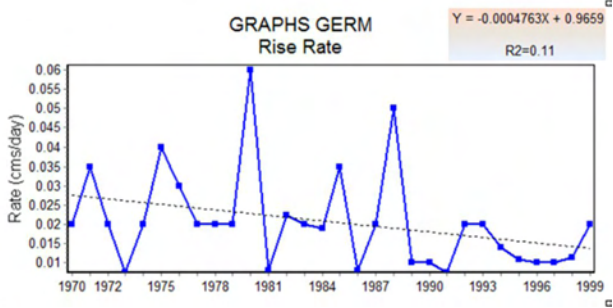
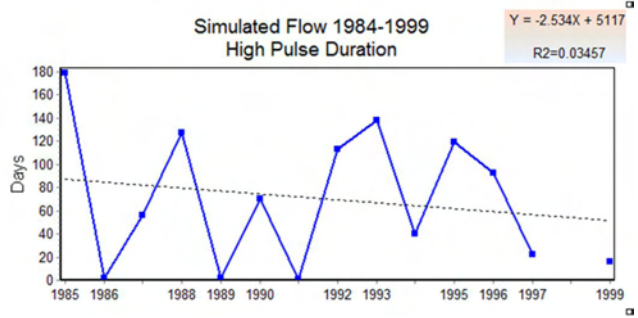
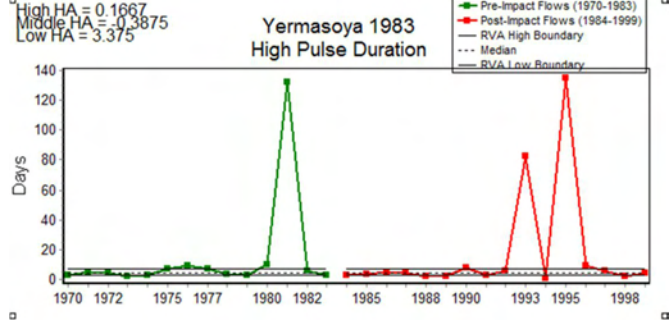
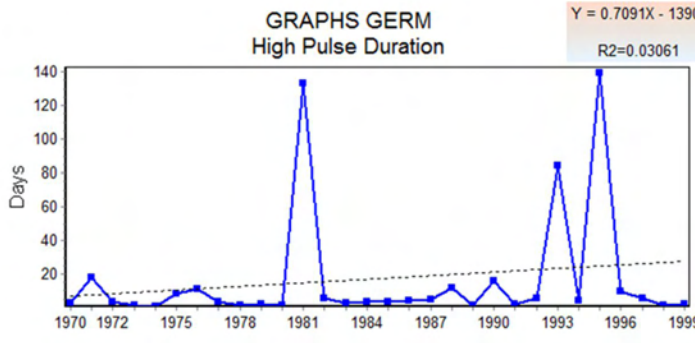


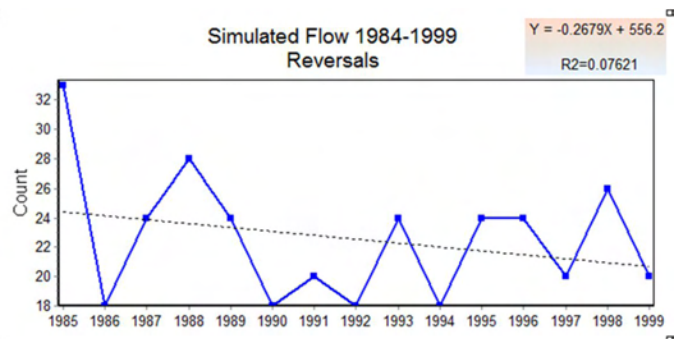
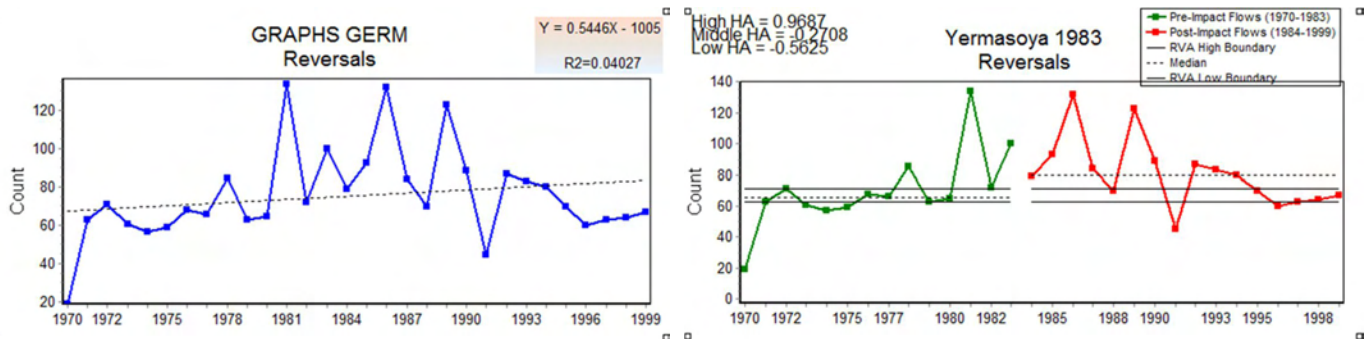
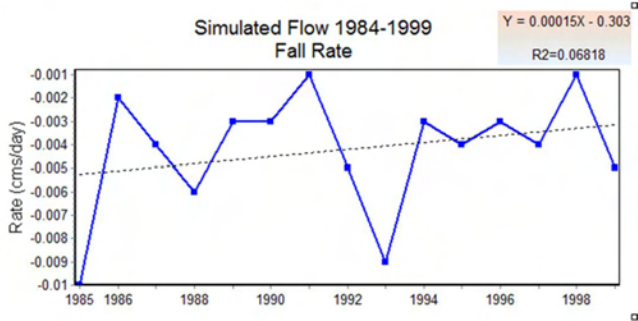
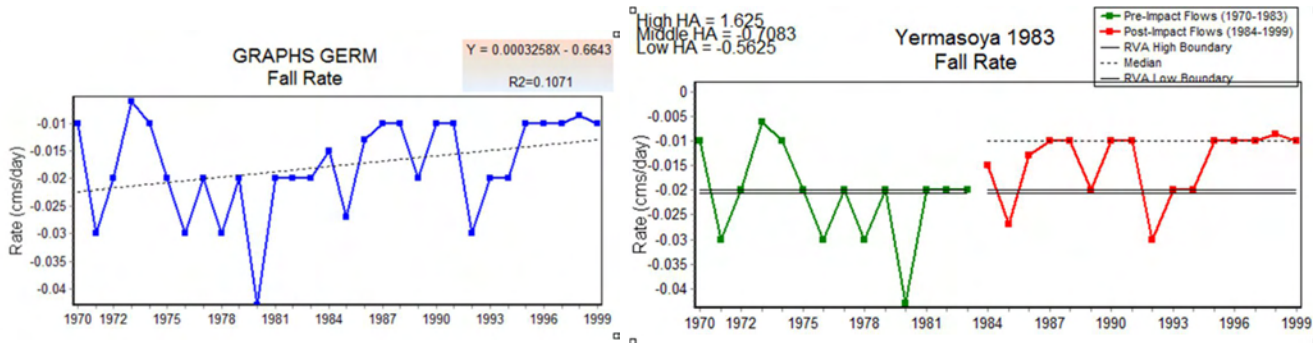






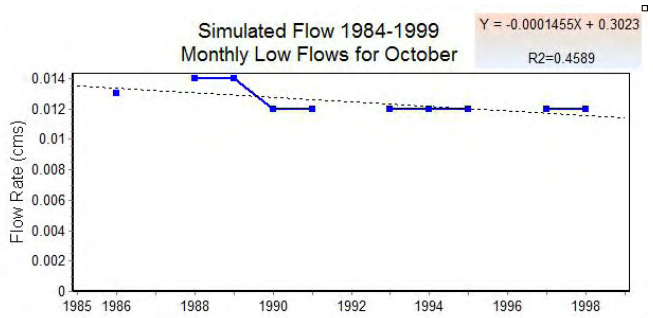
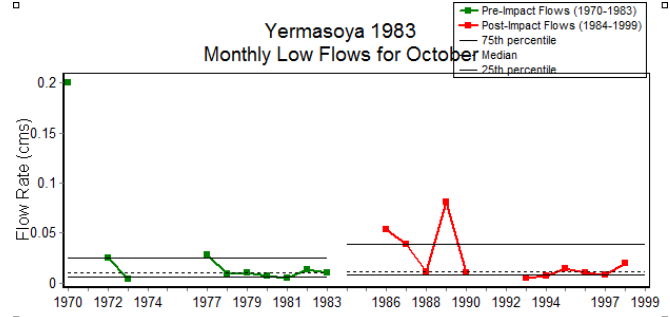
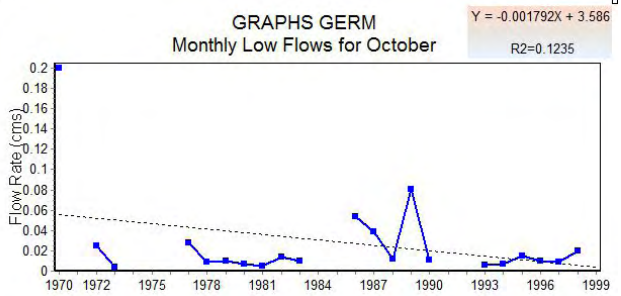
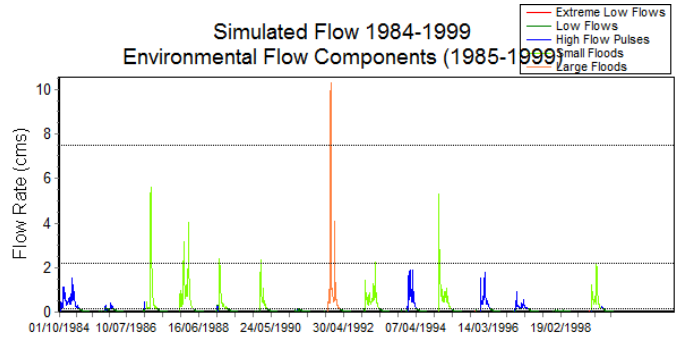
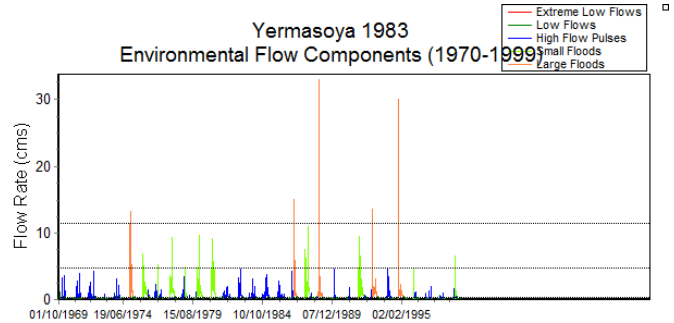
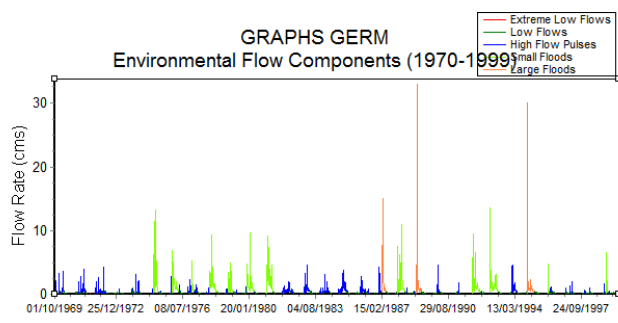


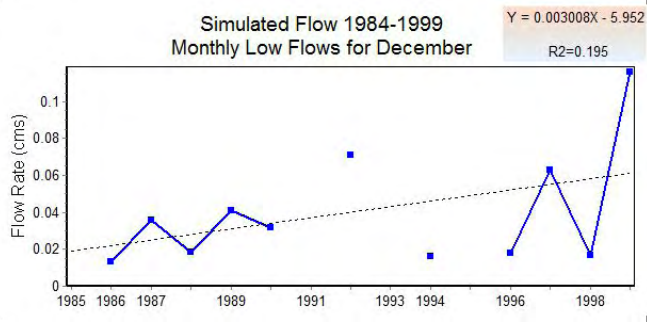
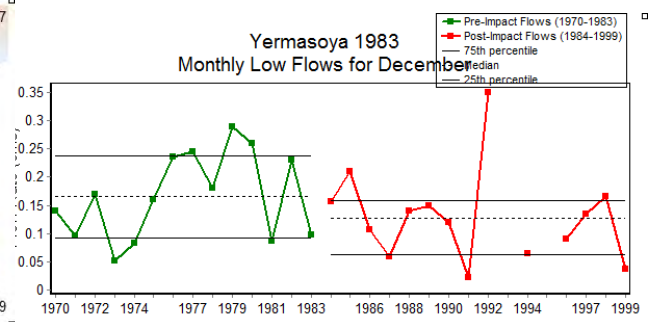
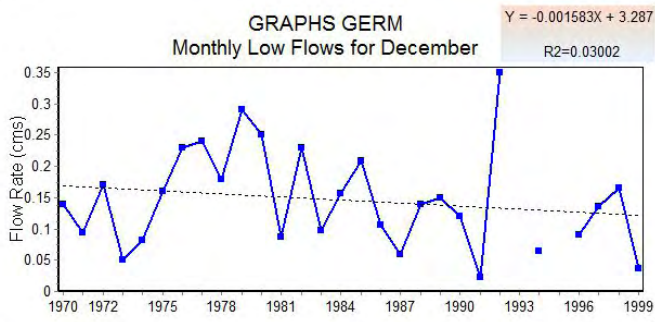
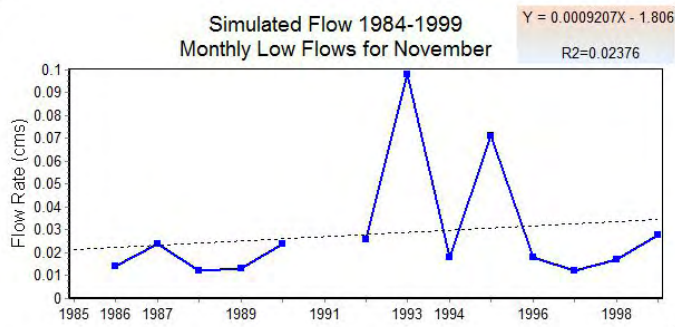
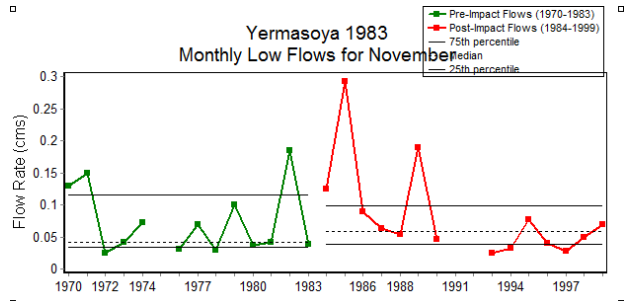
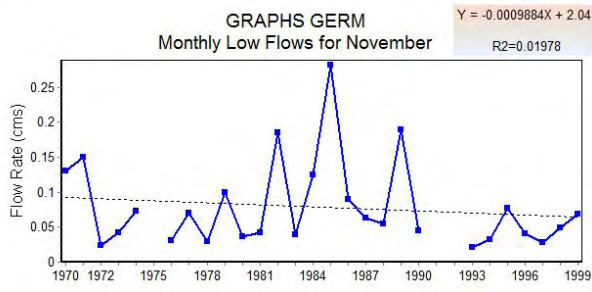


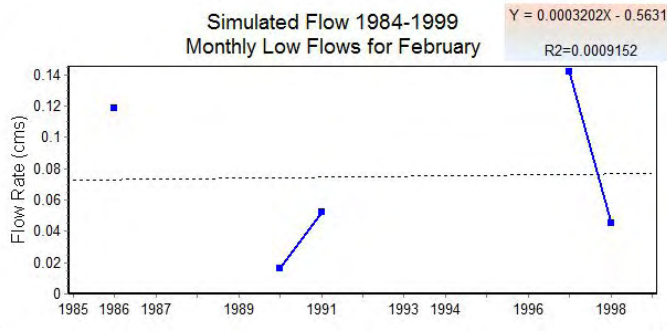
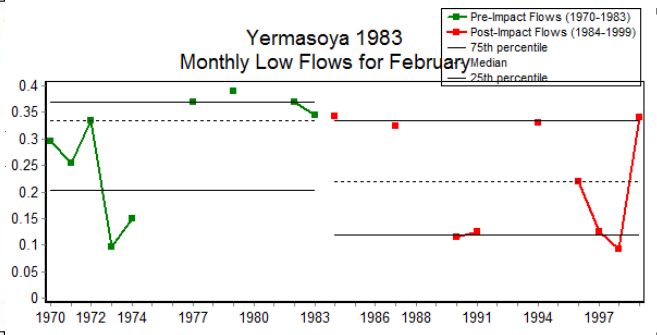
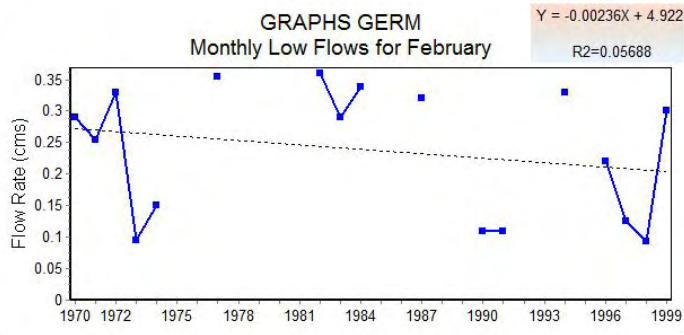
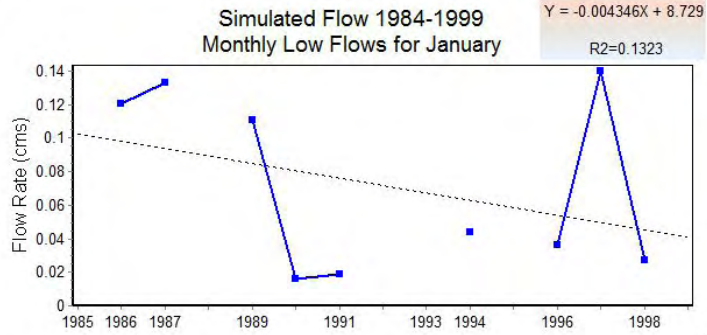
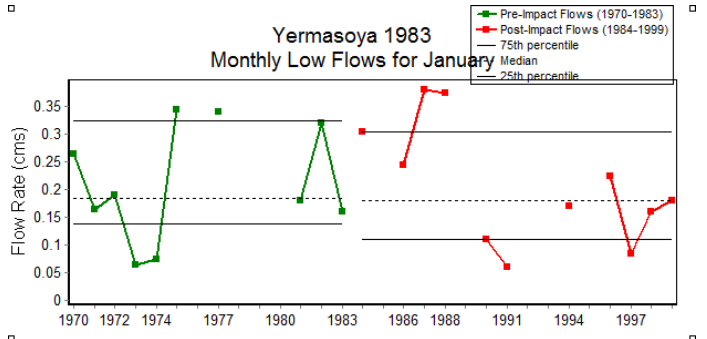
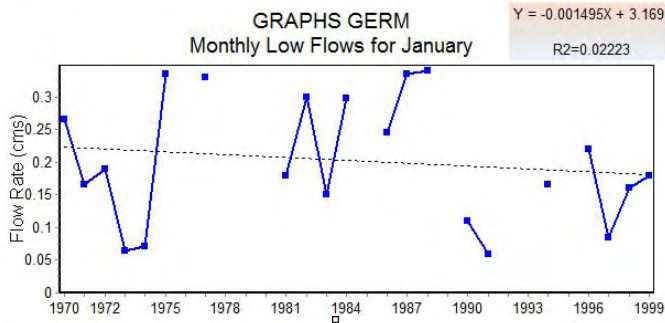


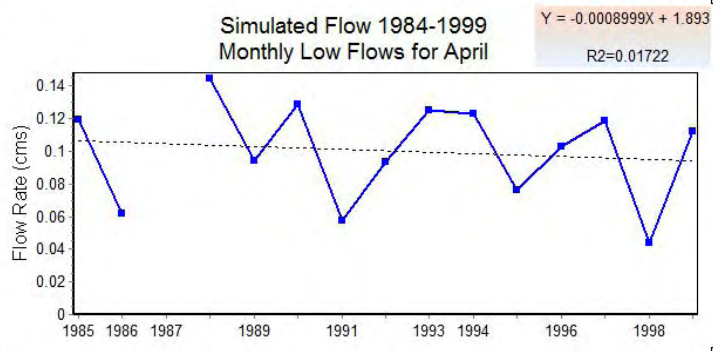
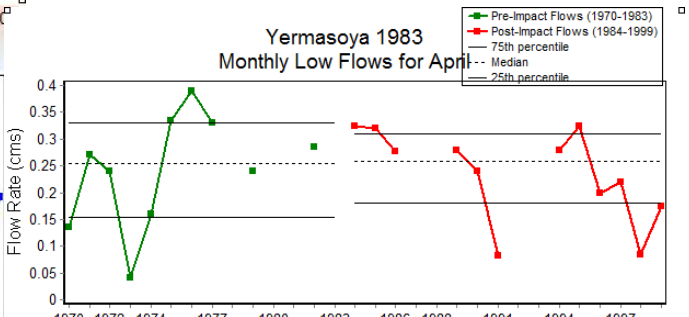
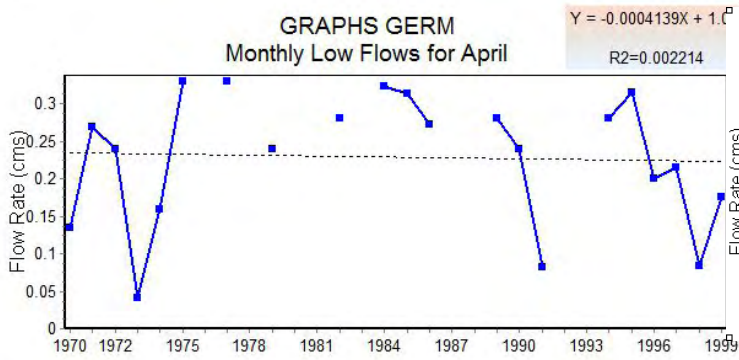
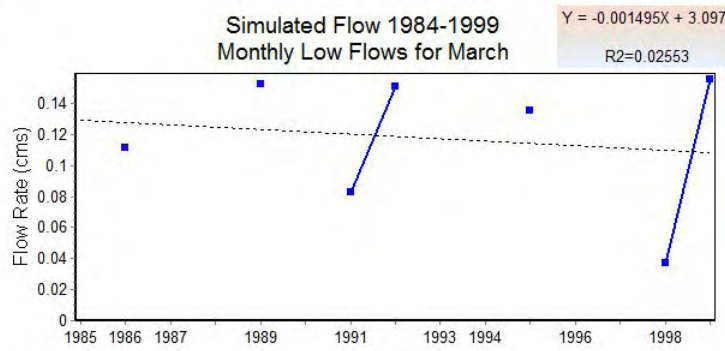
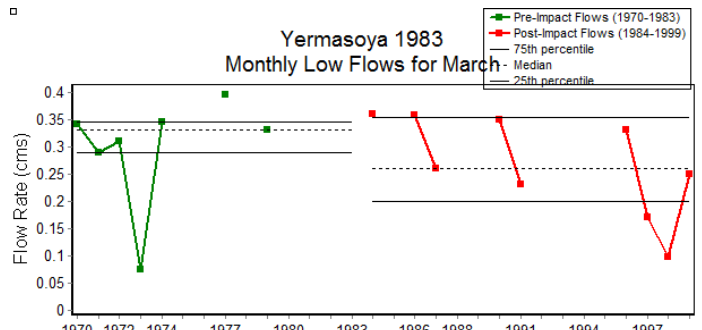
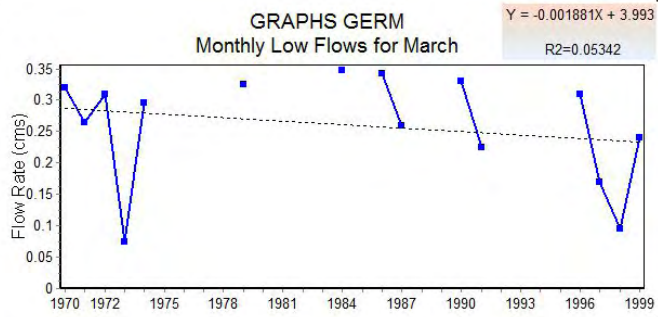


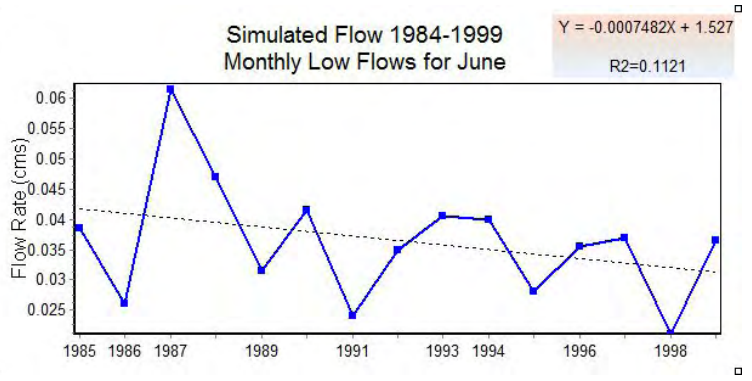
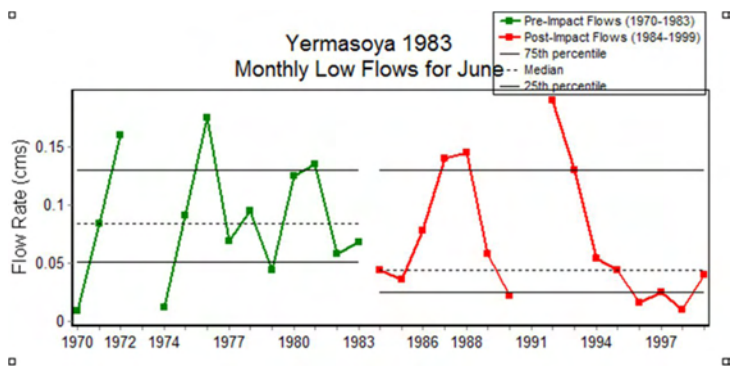
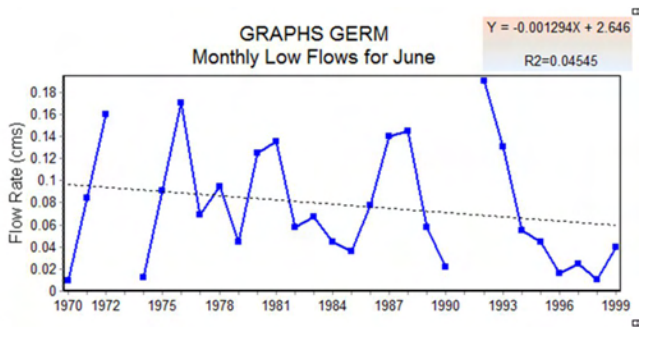
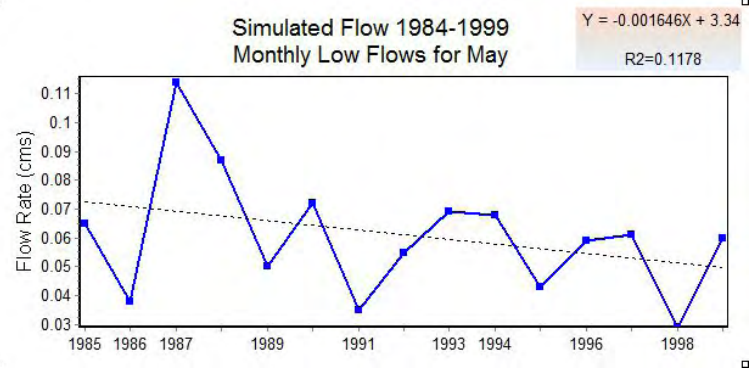
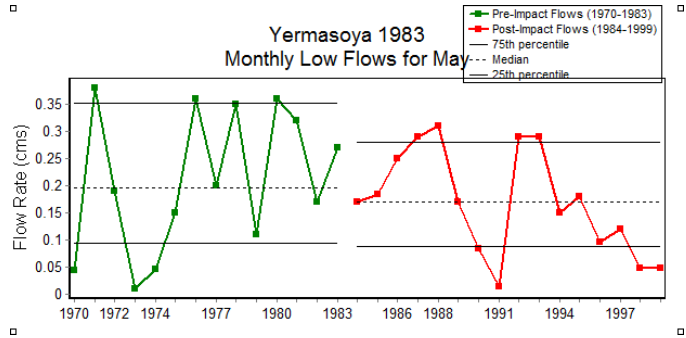
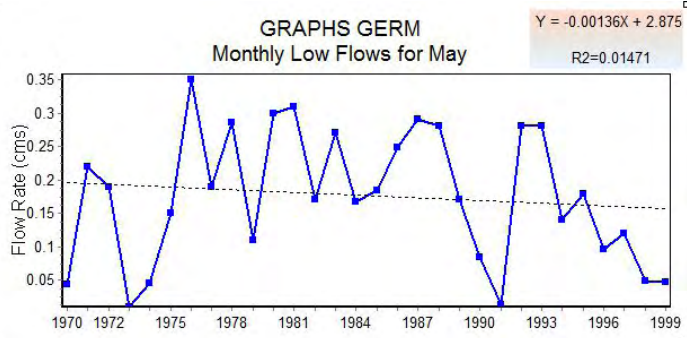
Δείκτες EFC:

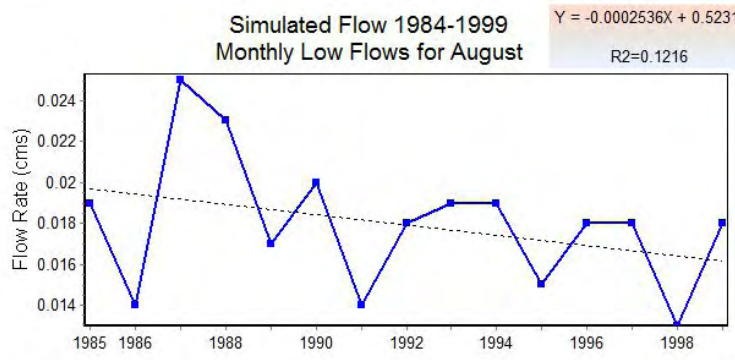
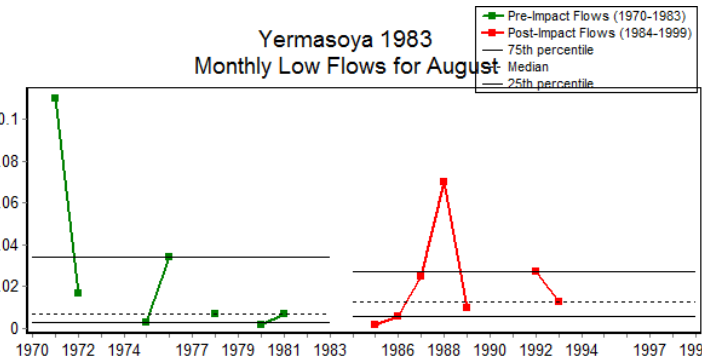
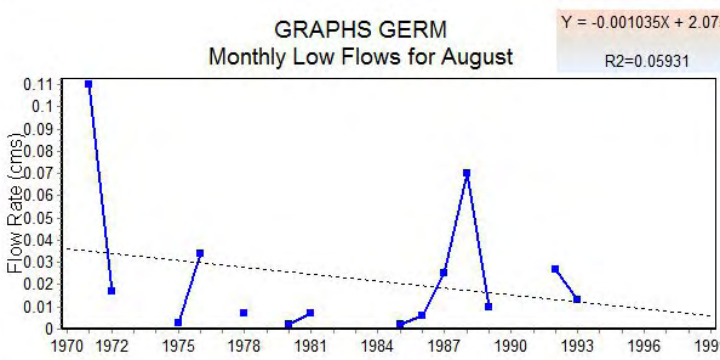
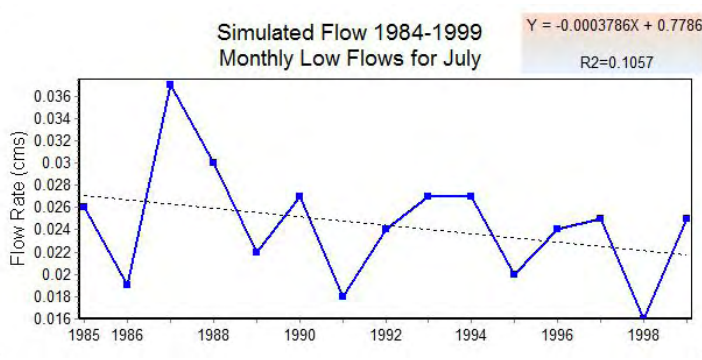
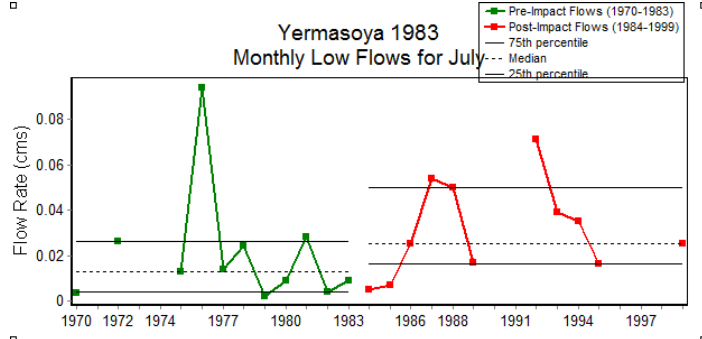
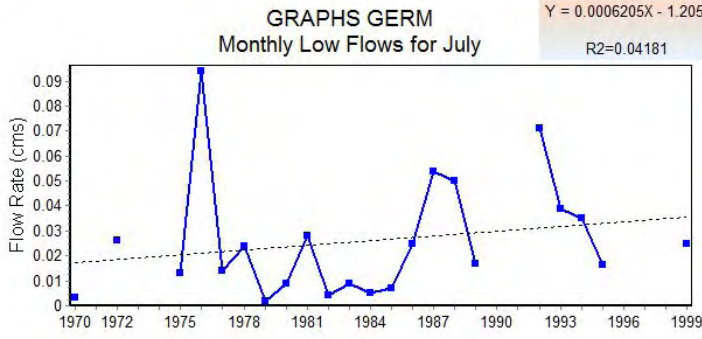


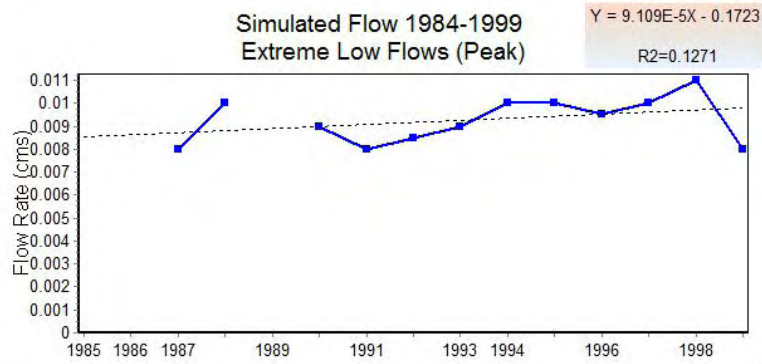
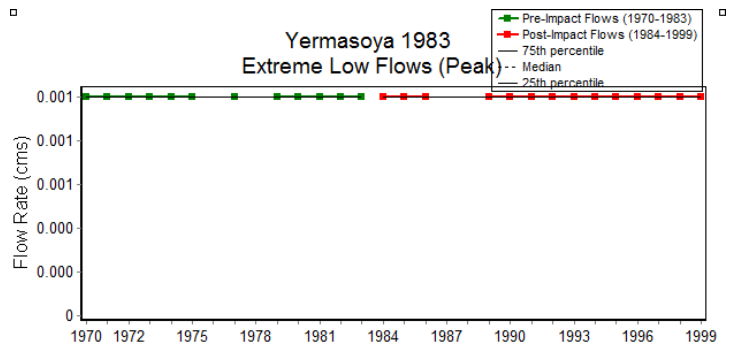
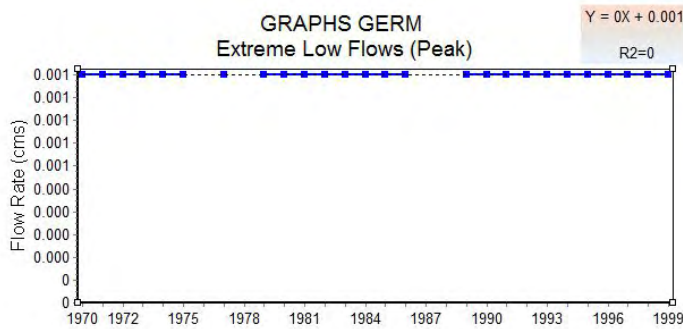
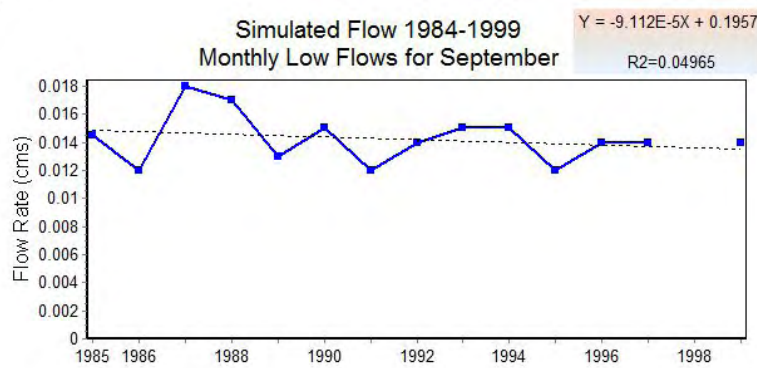
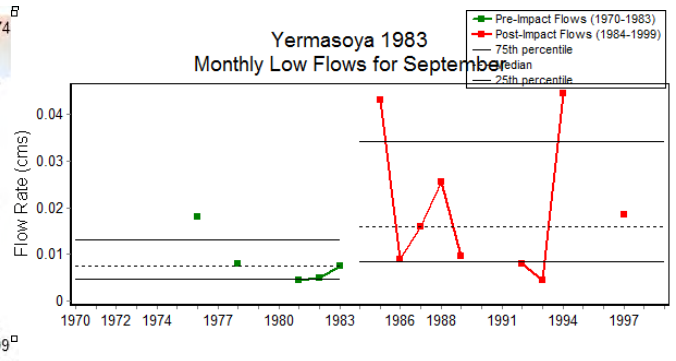
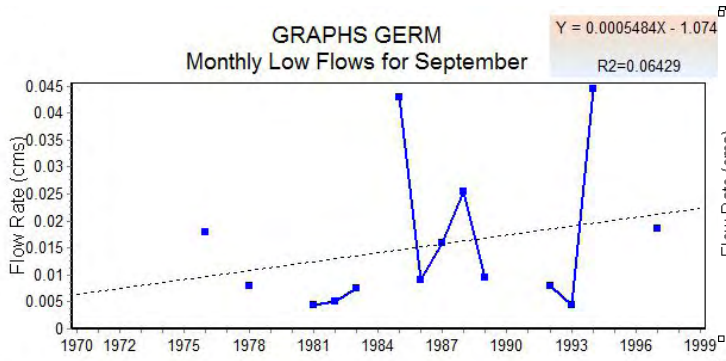


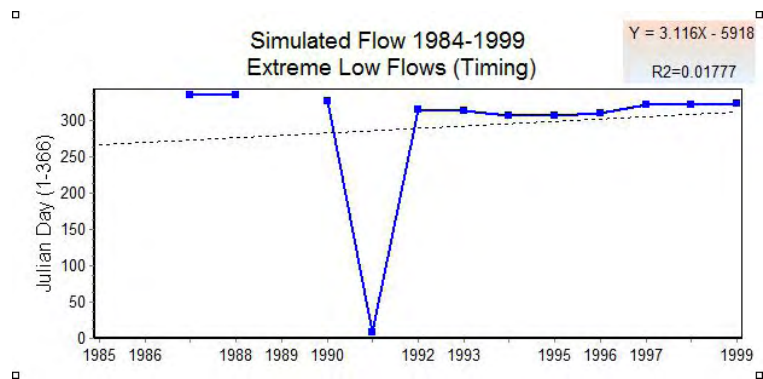
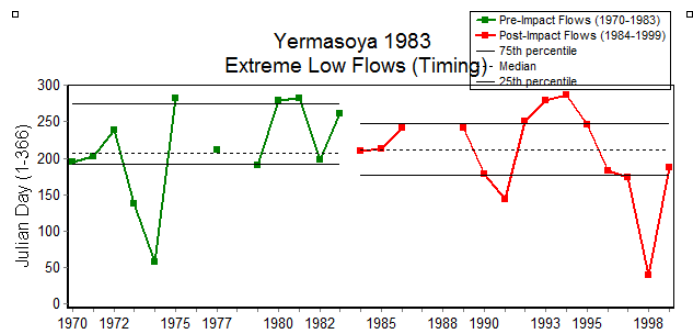
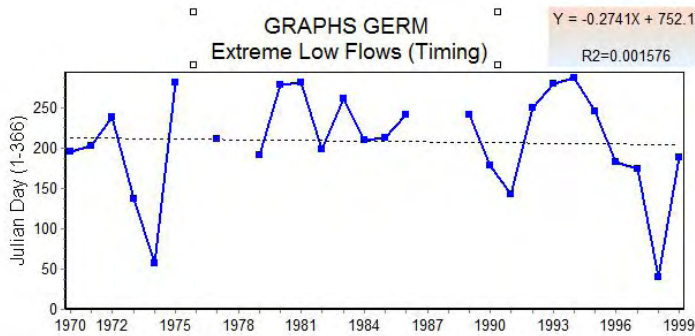
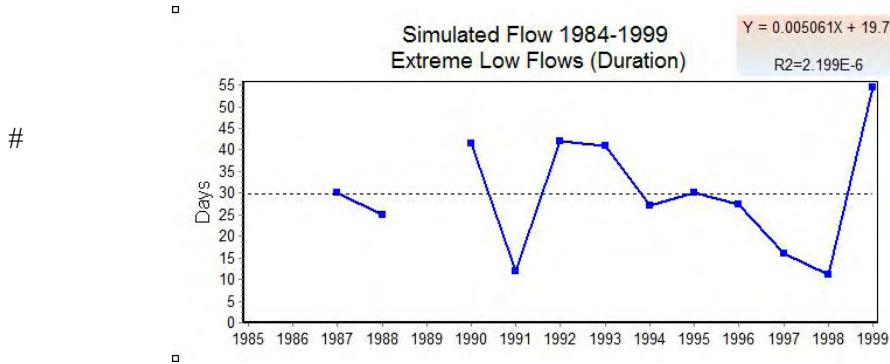
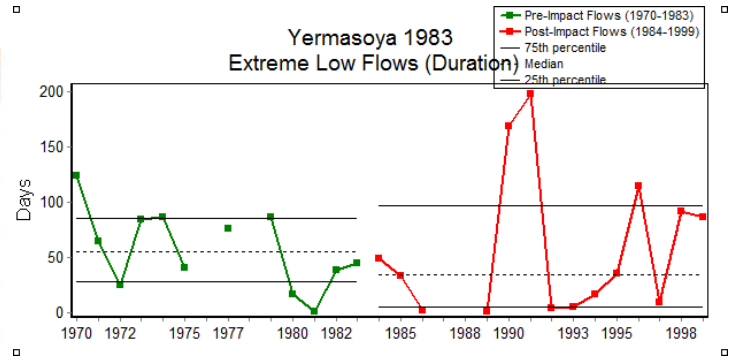
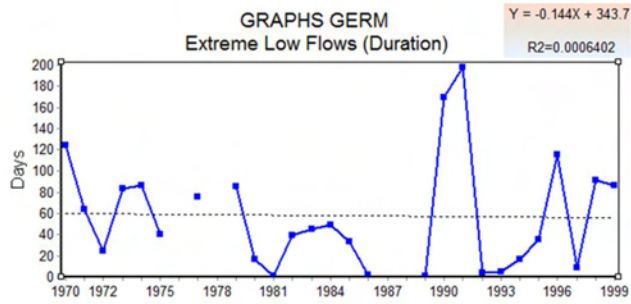




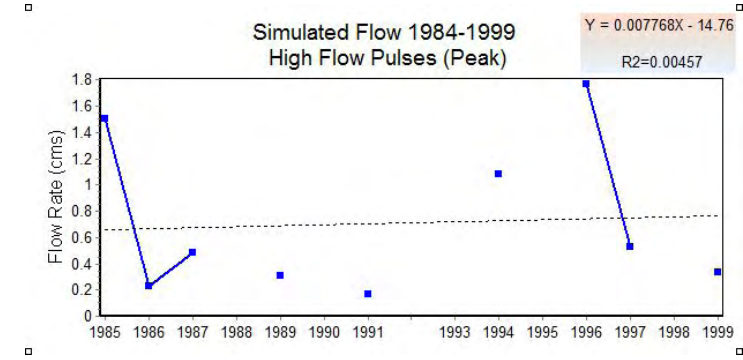
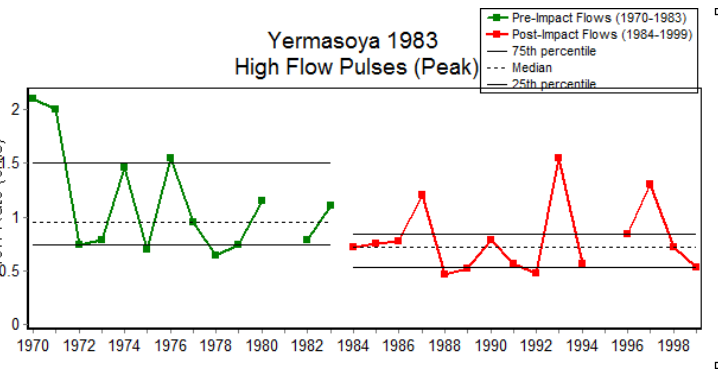
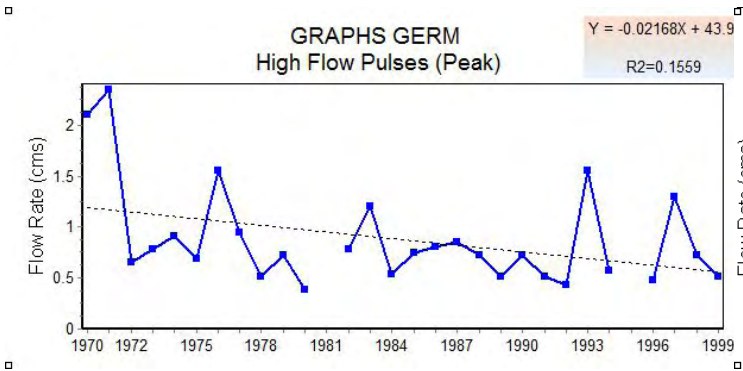
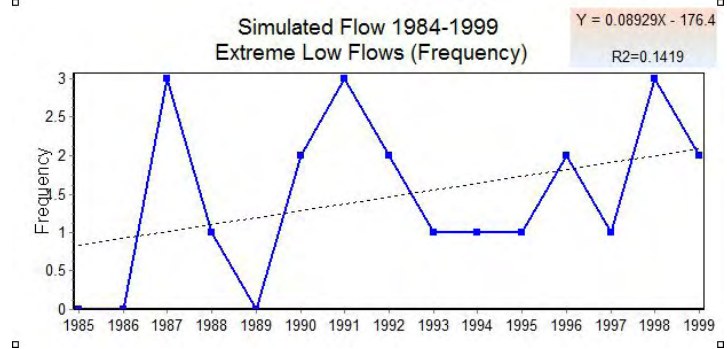
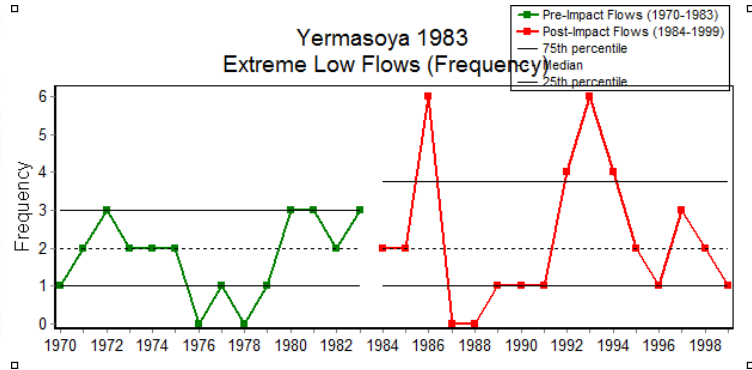
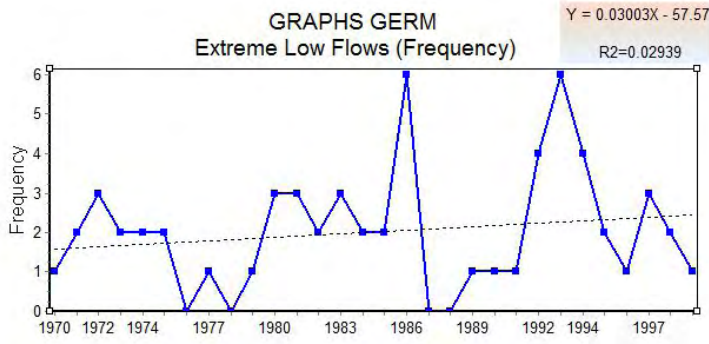


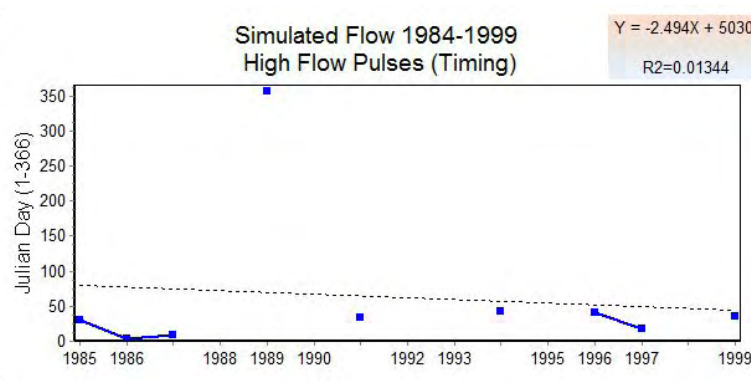
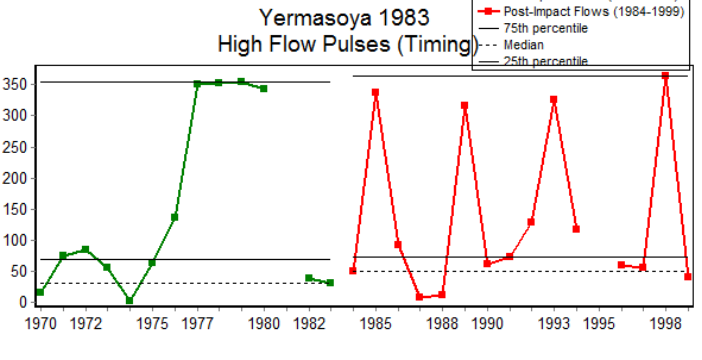
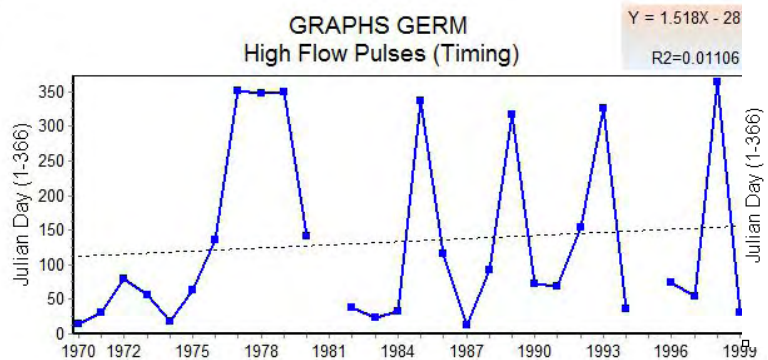
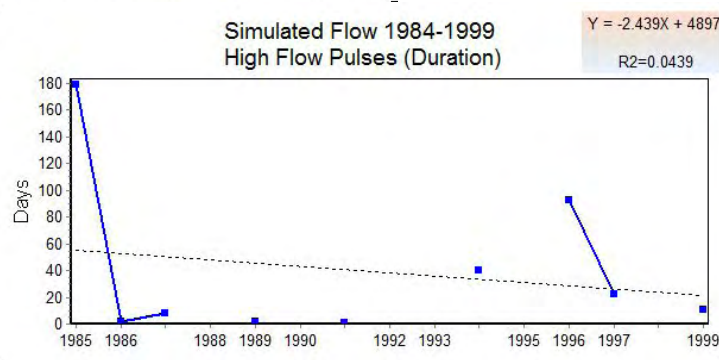
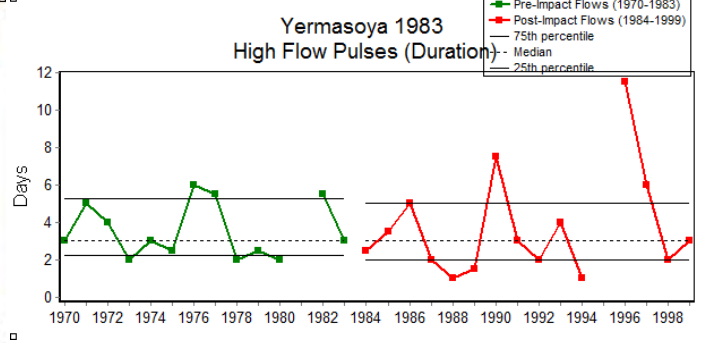
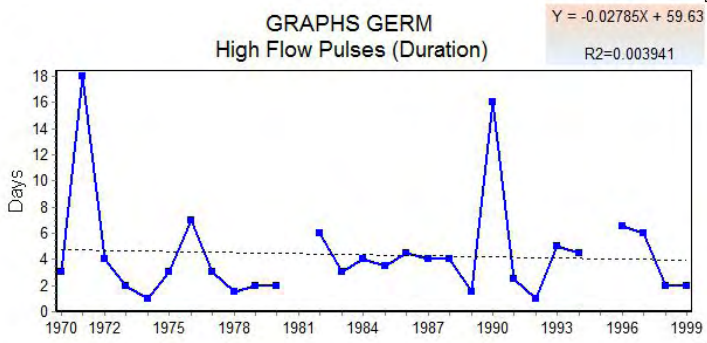


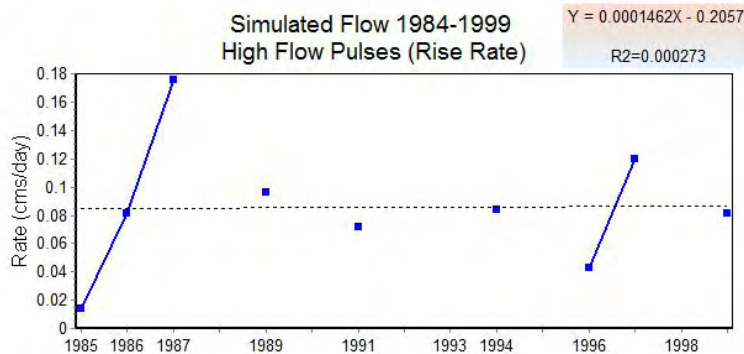
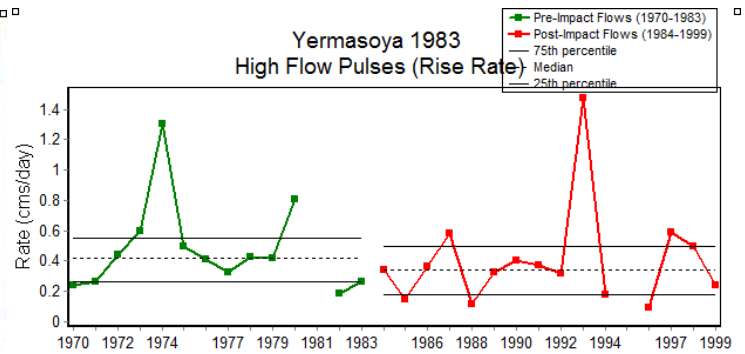
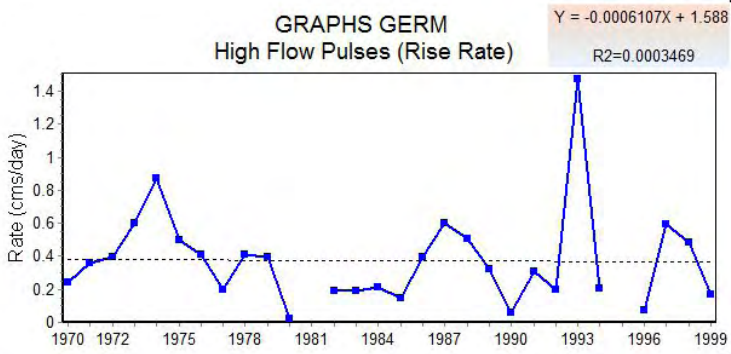
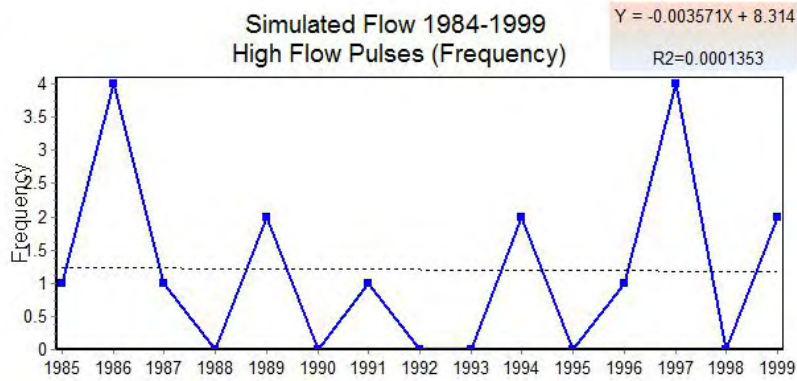
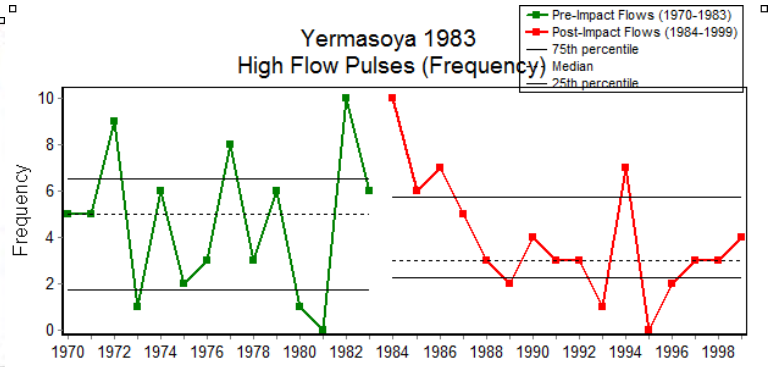
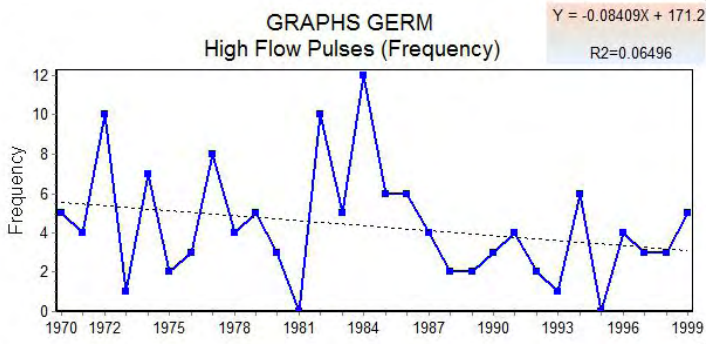


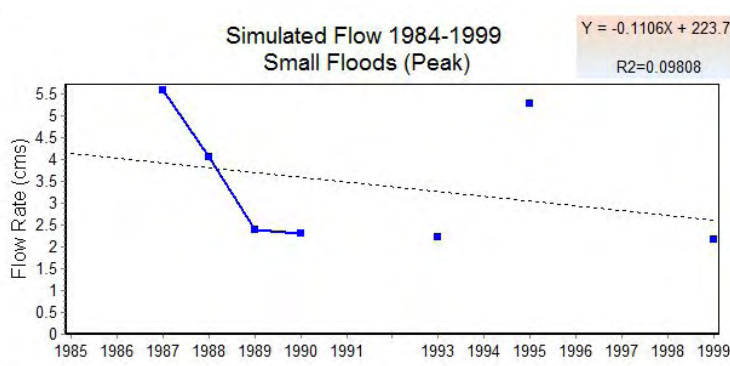
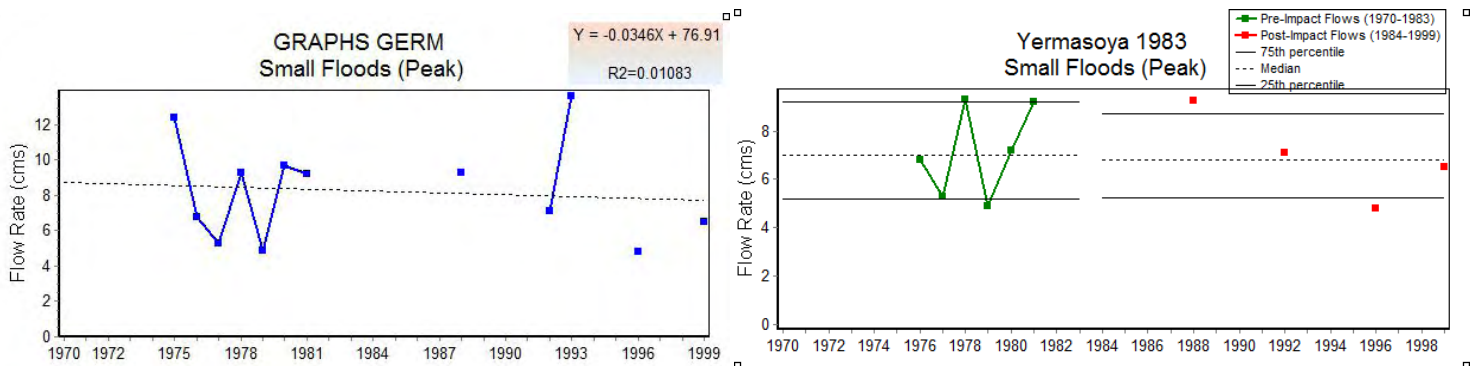
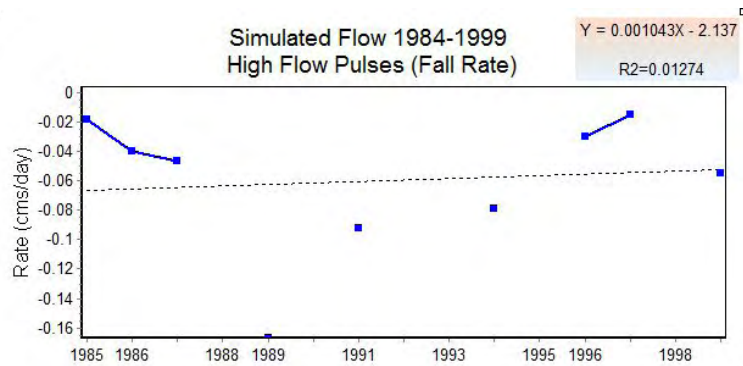
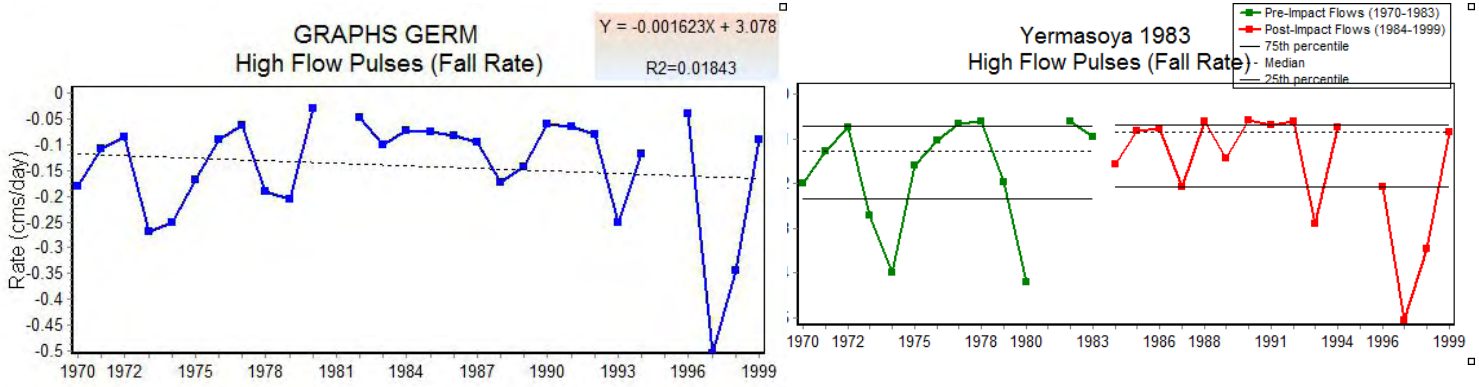


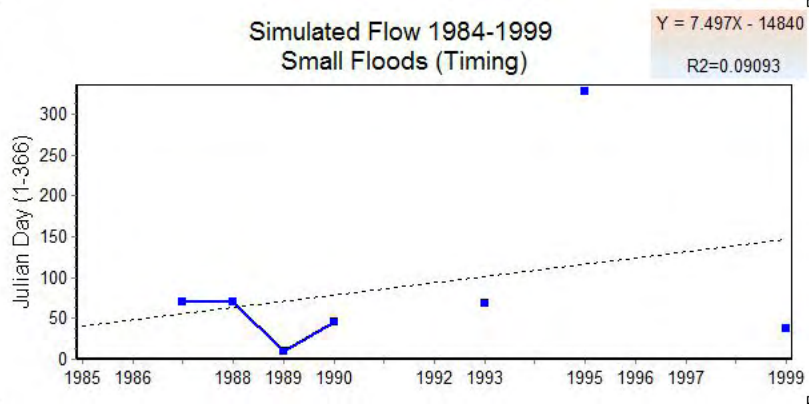
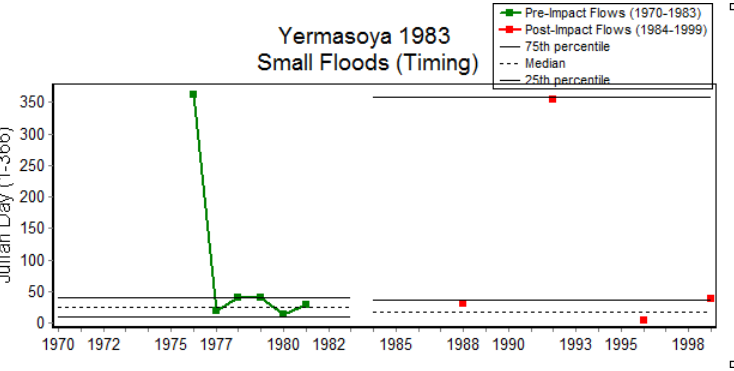
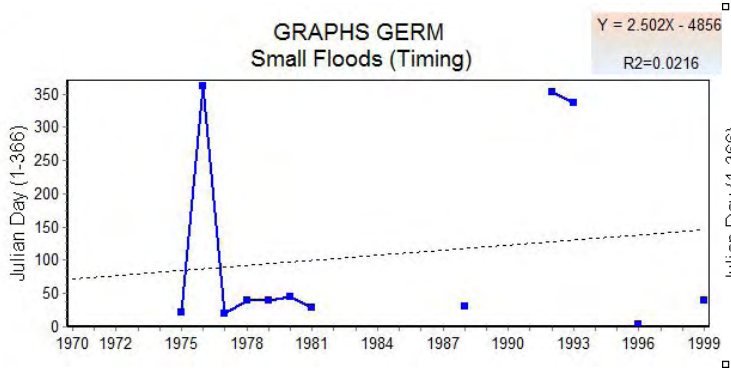
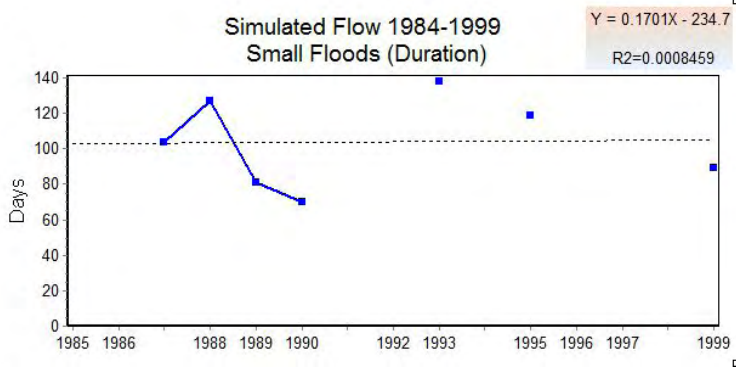
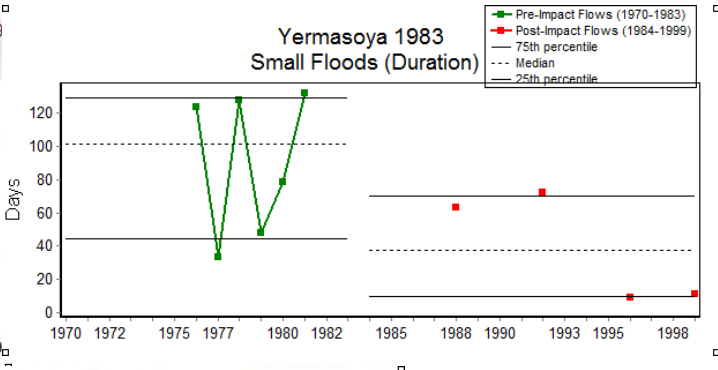
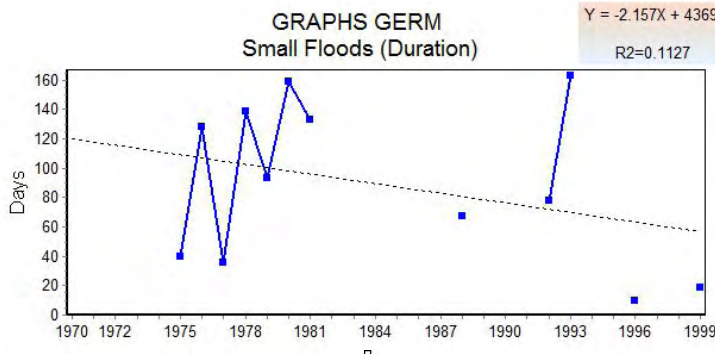


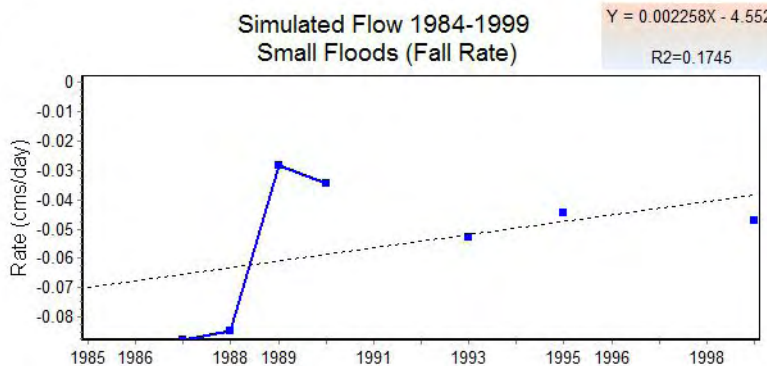
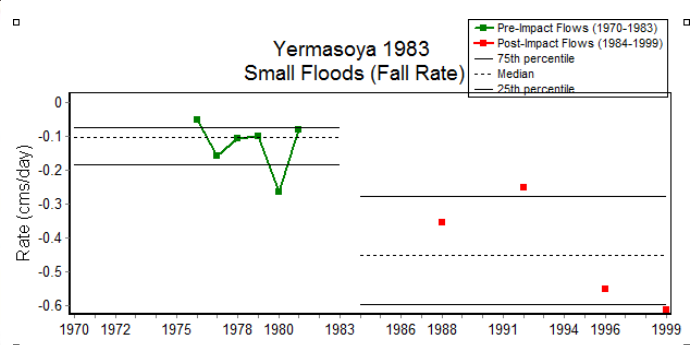
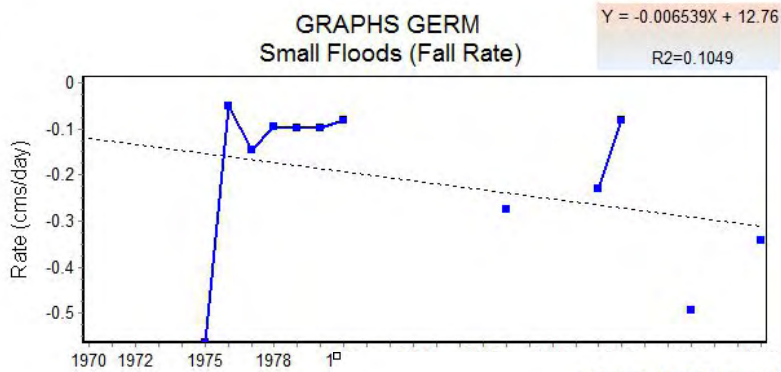
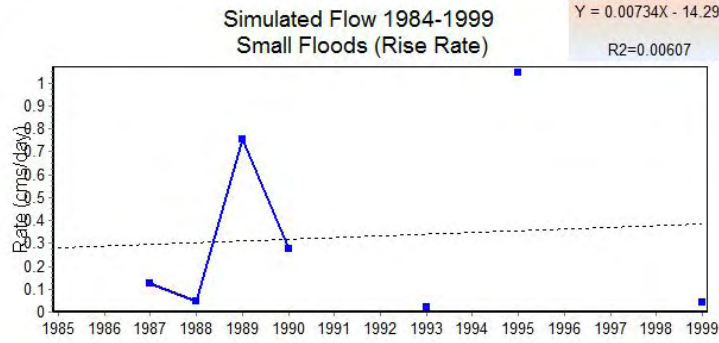
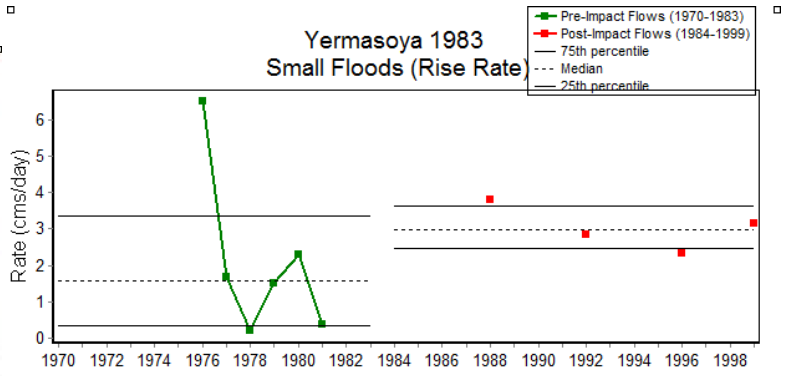
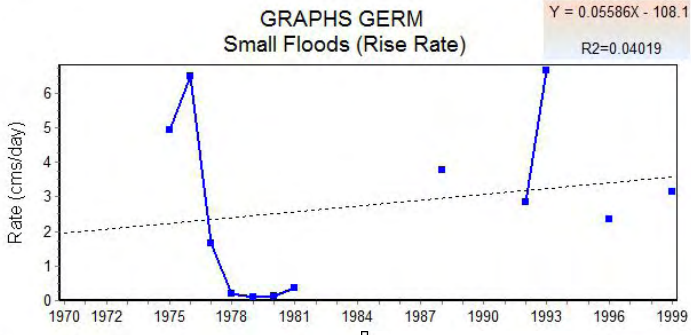


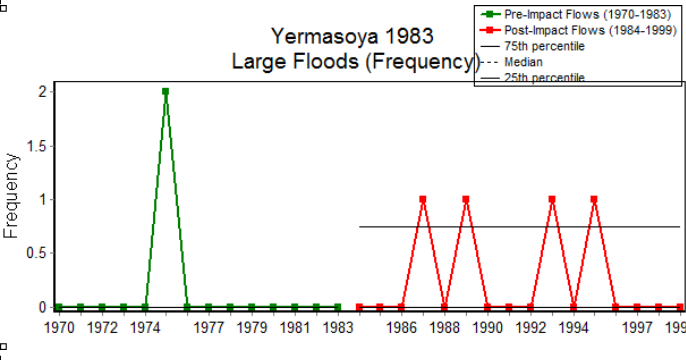
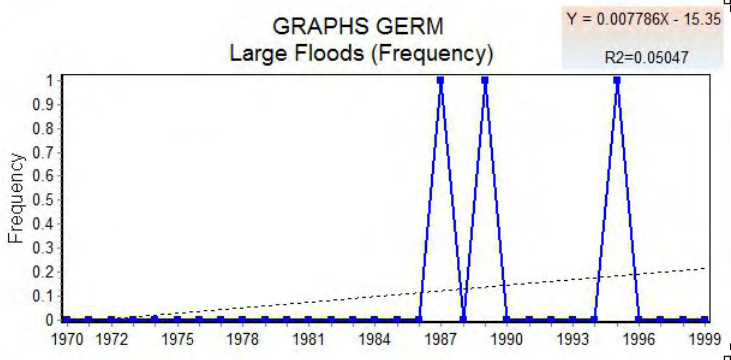
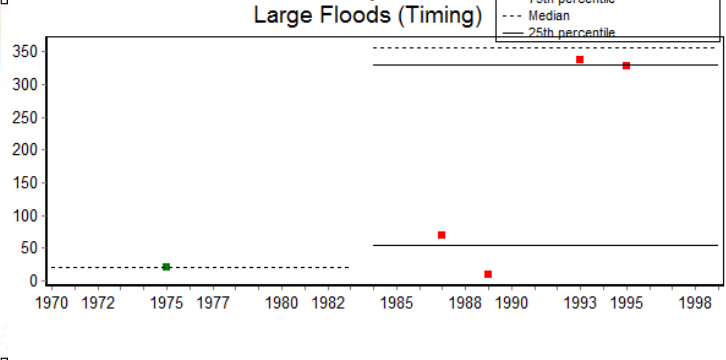
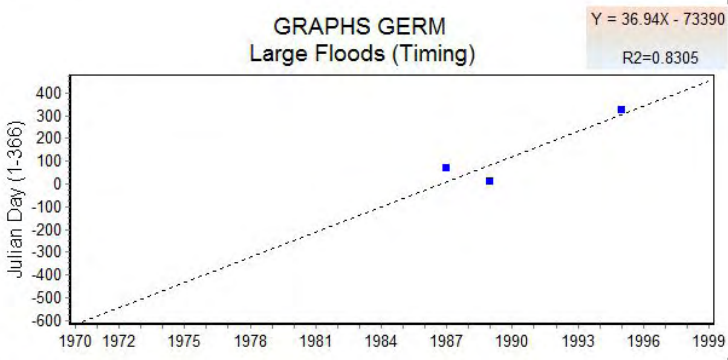
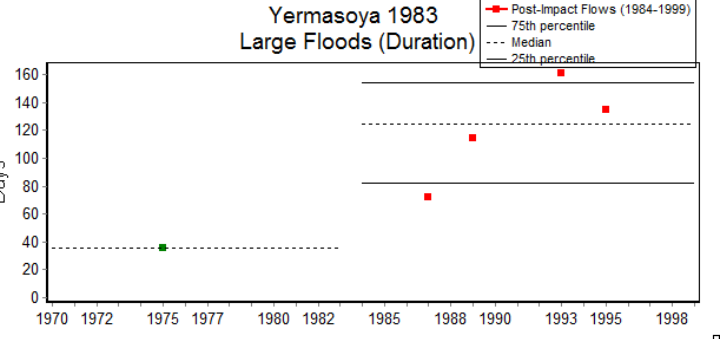
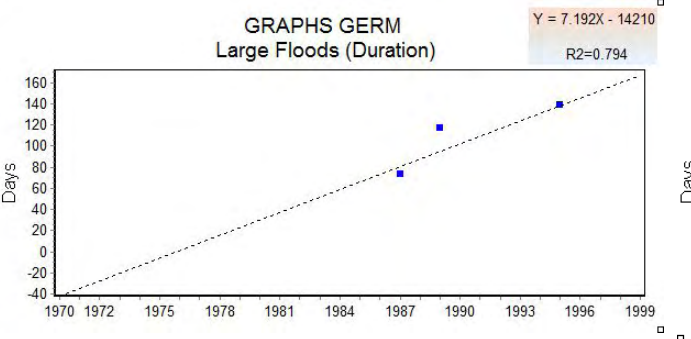
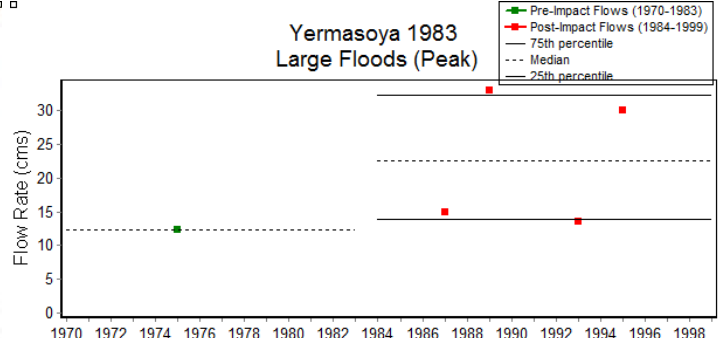
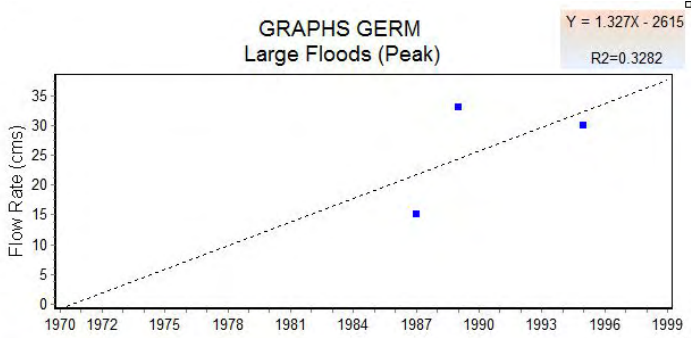


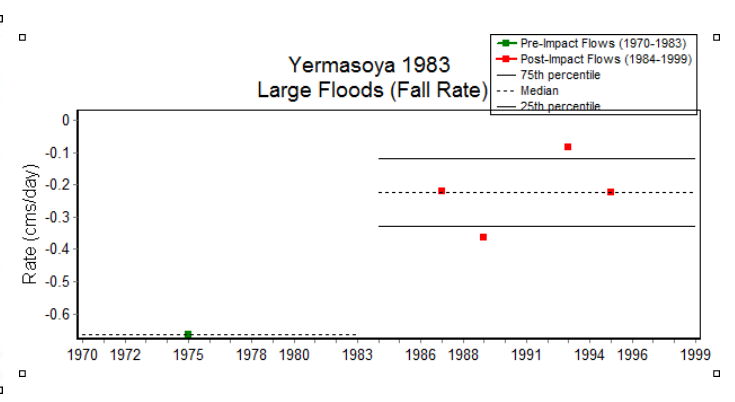
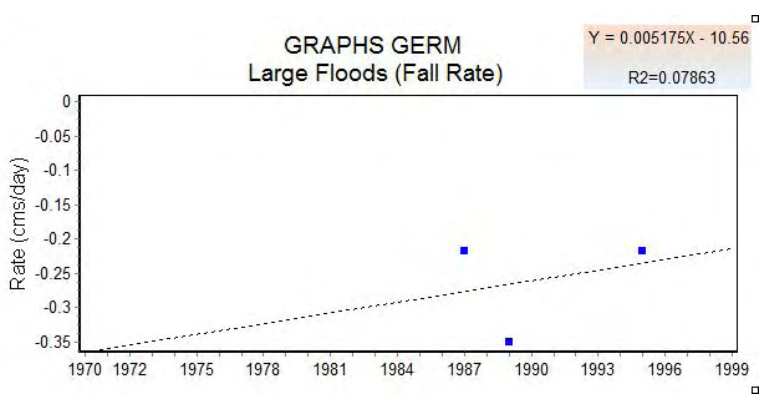
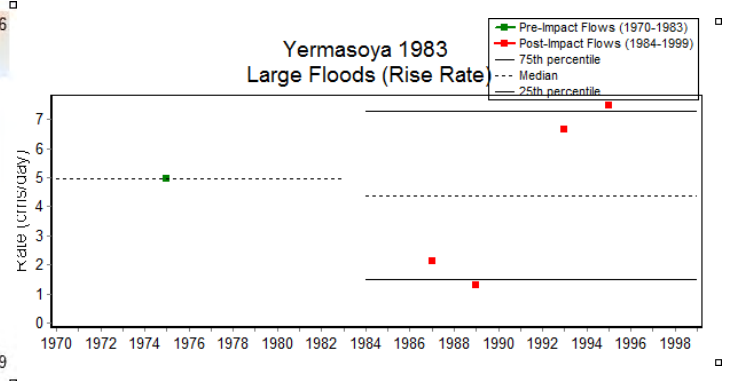
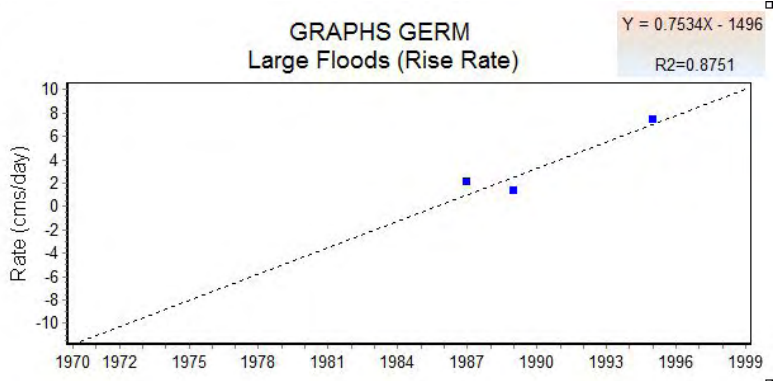




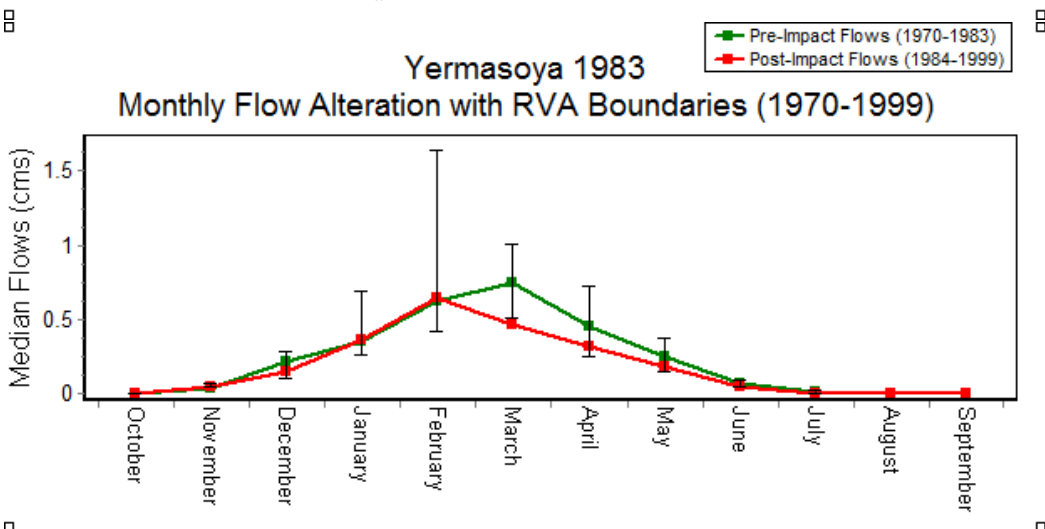
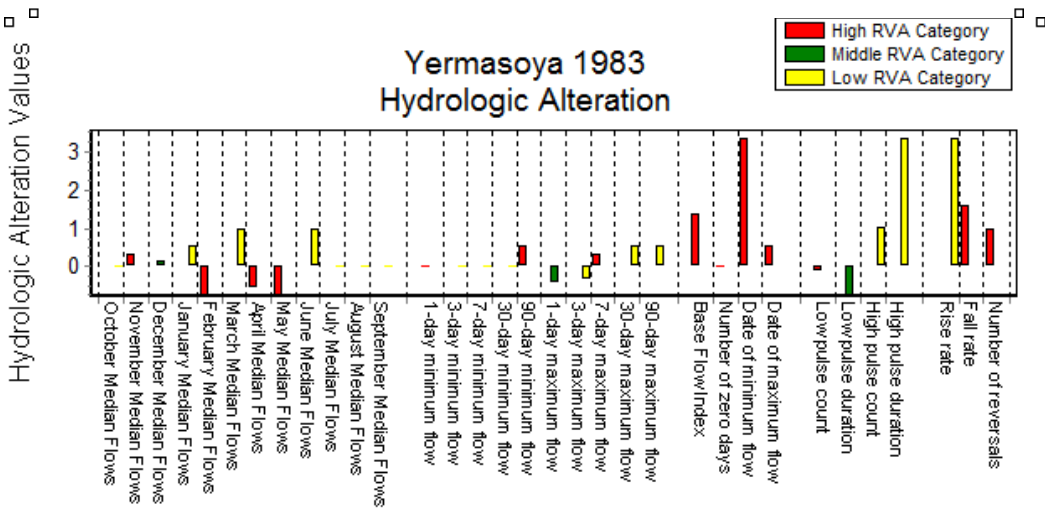
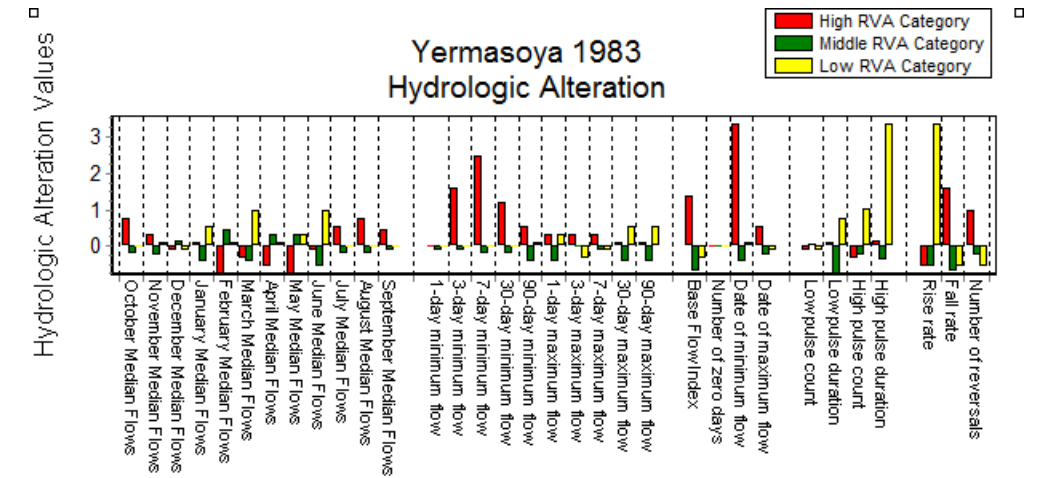






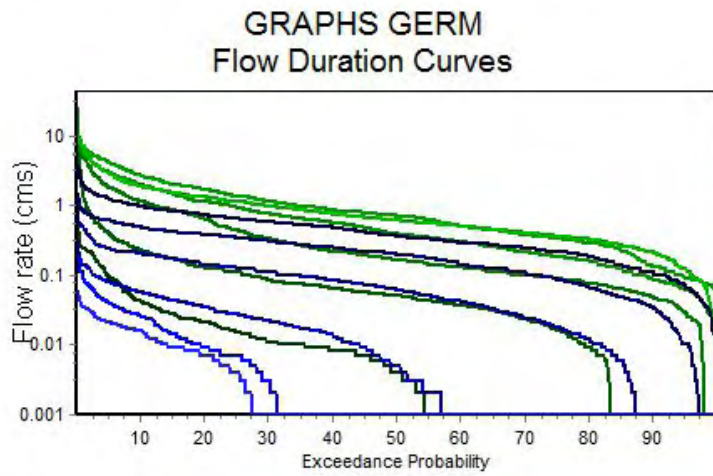






FDC:

□

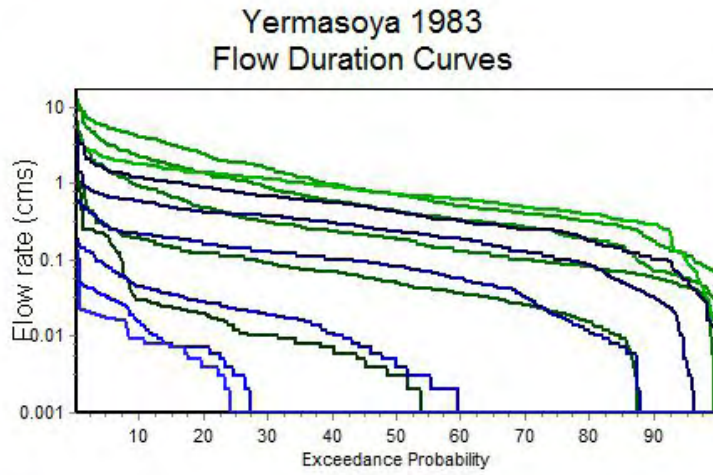


- October (1970-1999)
- November (1970-1999)
- December (1970-1999)
- January (1970-1999)
- February (1970-1999)
- March (1970-1999)
- April (1970-1999)
- May (1970-1999)
- June (1970-1999)
- July (1970-1999)
- August (1970-1999)
- September (1970-1999)

□

□

□

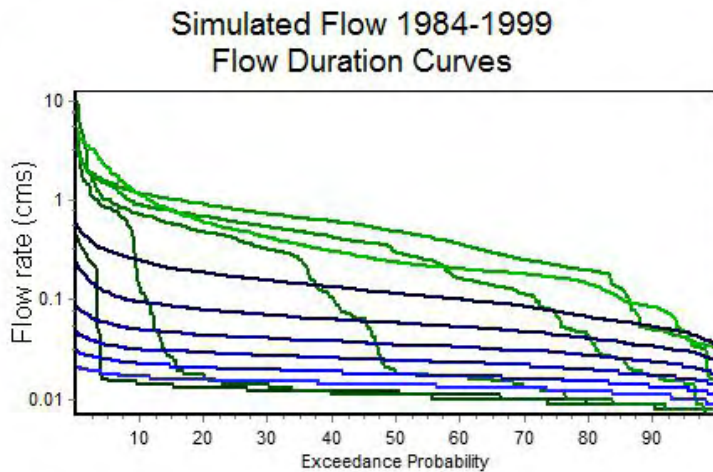


- October (1970-1983)
- November (1970-1983)
- December (1970-1983)
- January (1970-1983)
- February (1970-1983)
- March (1970-1983)
- April (1970-1983)
- May (1970-1983)
- June (1970-1983)
- July (1970-1983)
- August (1970-1983)
- September (1970-1983)

□

□

□



- October (1985-1999)
- November (1985-1999)
- December (1985-1999)
- January (1985-1999)
- February (1985-1999)
- March (1985-1999)
- April (1985-1999)
- May (1985-1999)
- June (1985-1999)
- July (1985-1999)
- August (1985-1999)
- September (1985-1999)

□

□

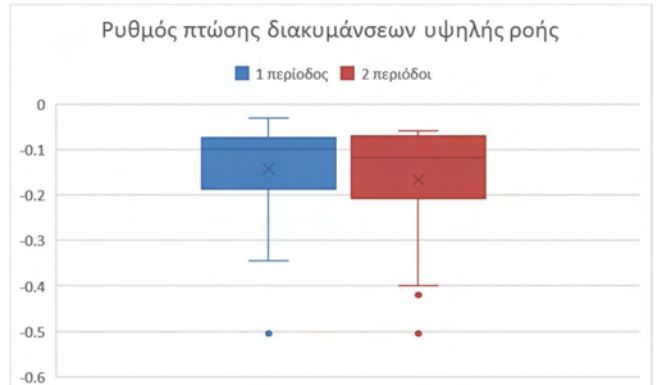
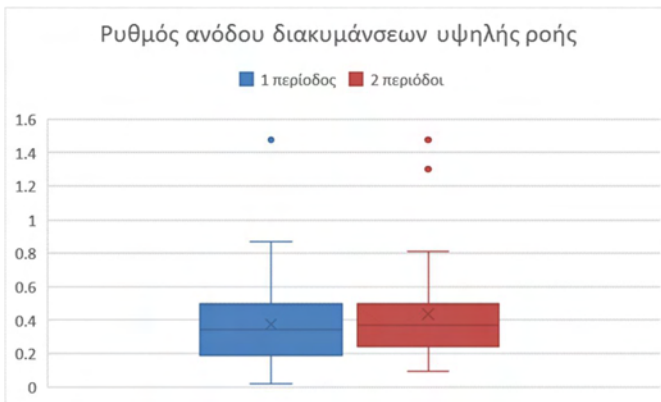
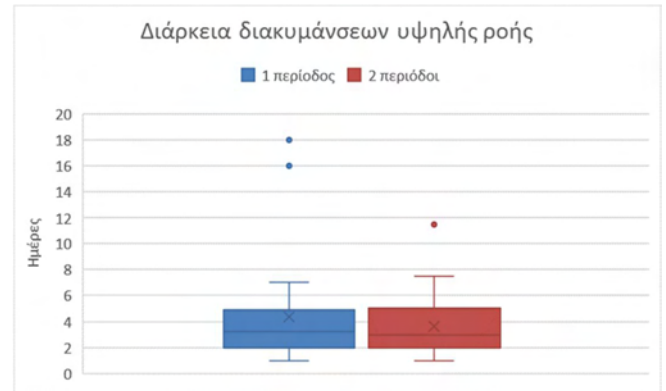
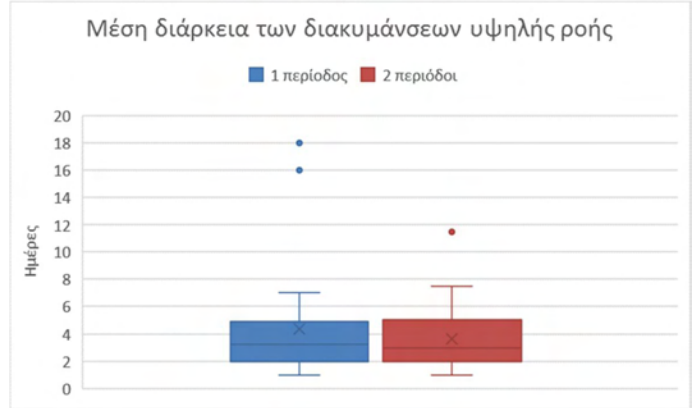
□

## Παράρτημα 2

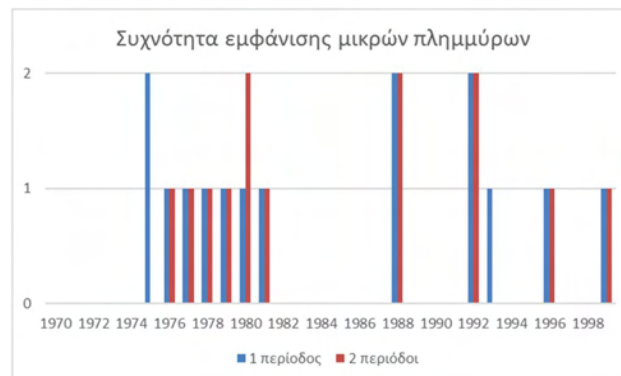
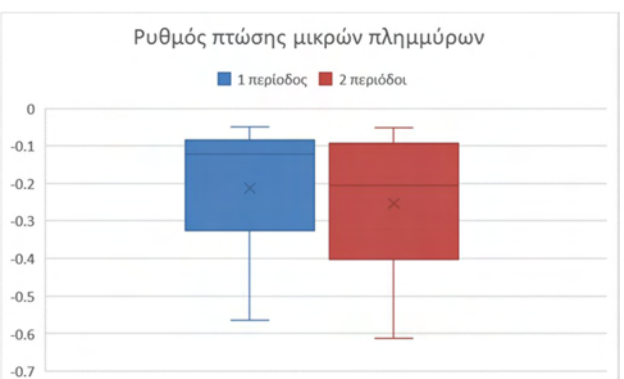
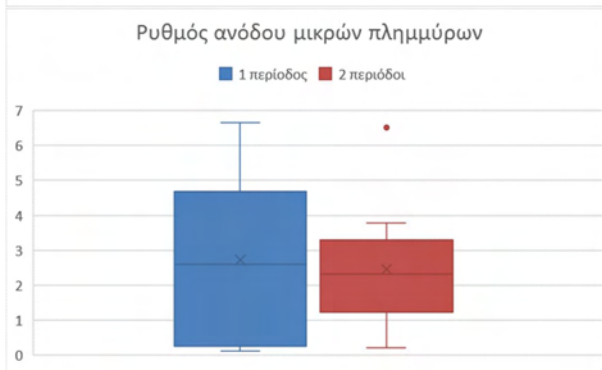
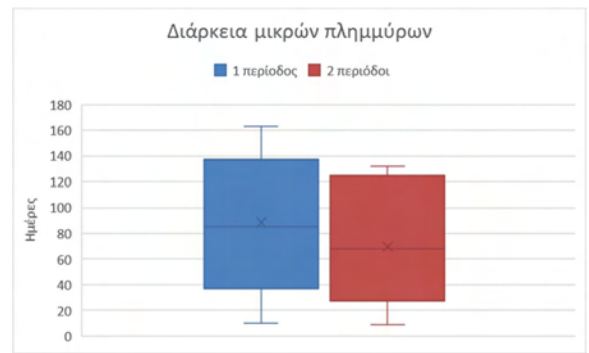
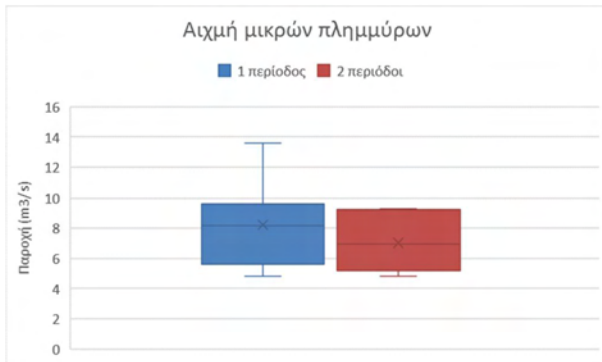
Γραφήματα σύγκρισης των δεικτών της ανάλυσης μιας περιόδου με την ανάλυση 2 περιόδων:

Δείκτες EFC:

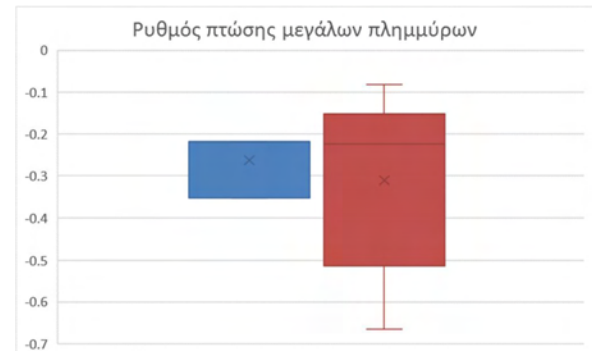
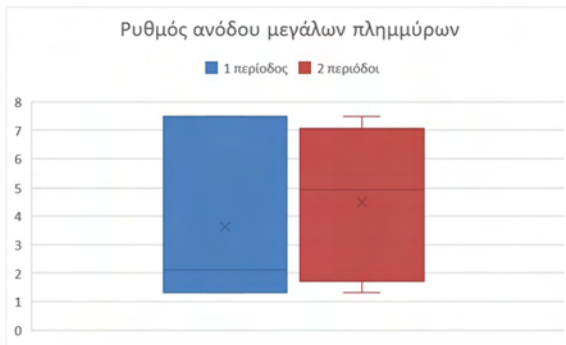
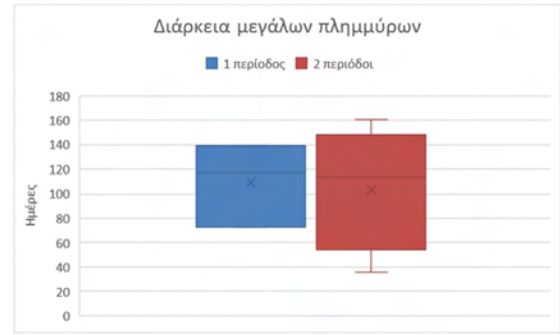
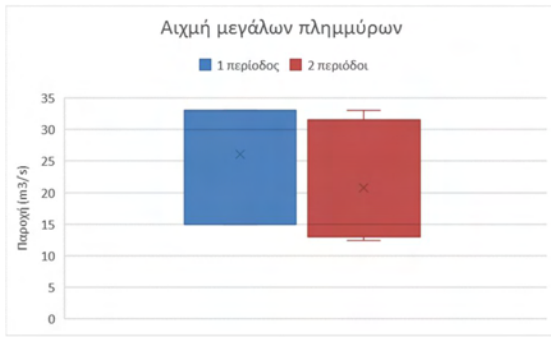
3<sup>η</sup> ομάδα:



4<sup>η</sup> ομάδα:



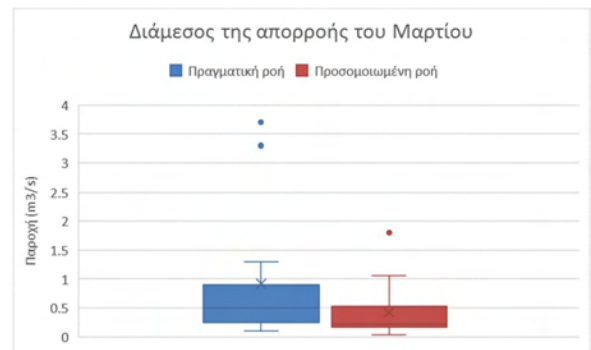
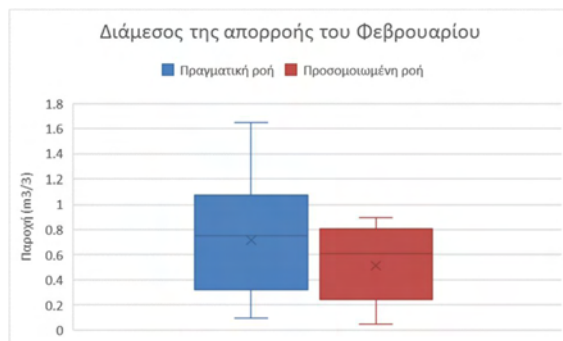
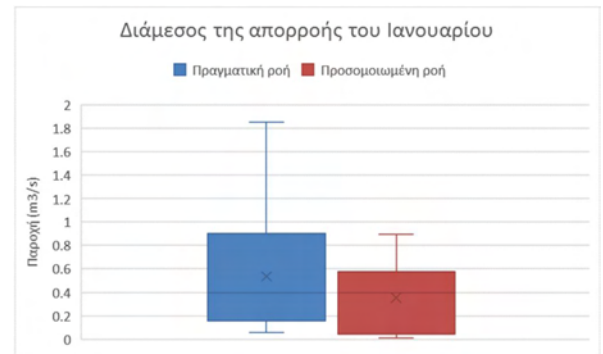
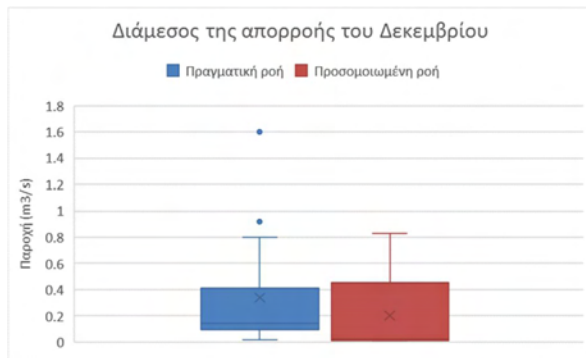
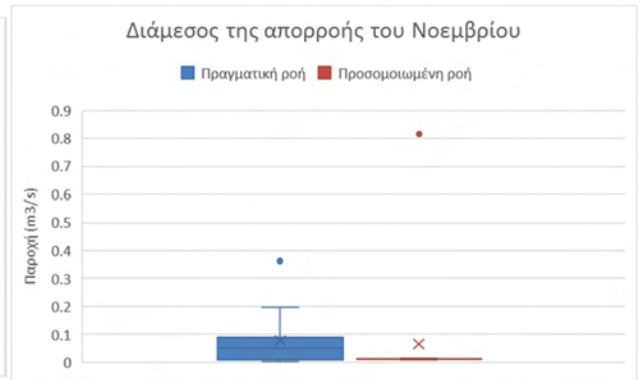
5<sup>η</sup> ομάδα:

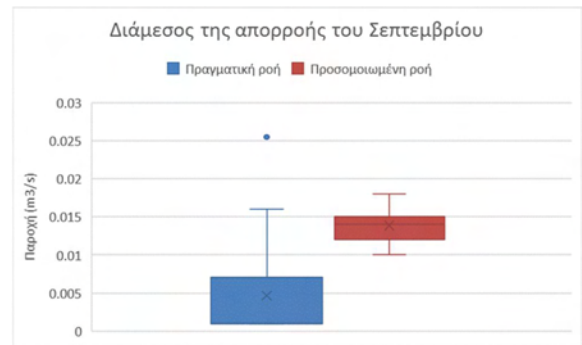
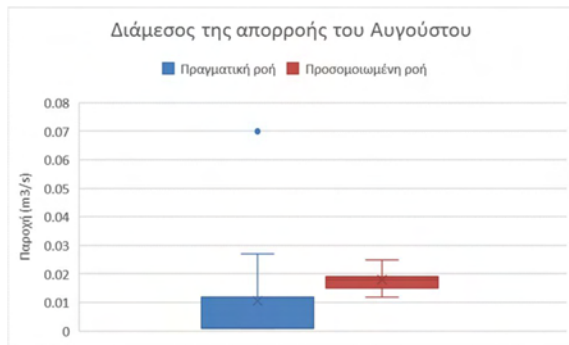
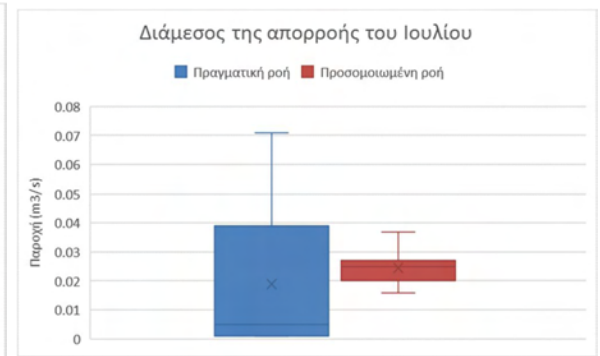
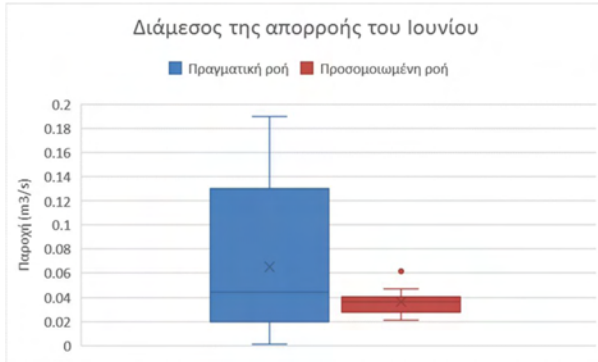
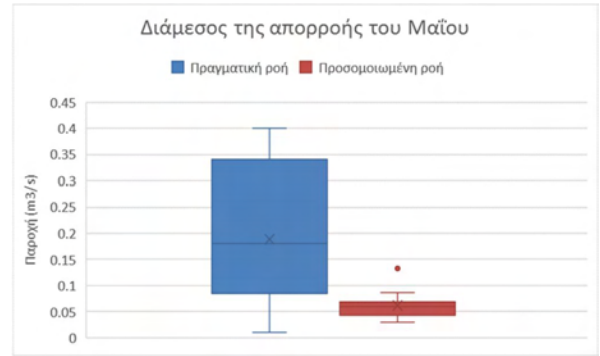
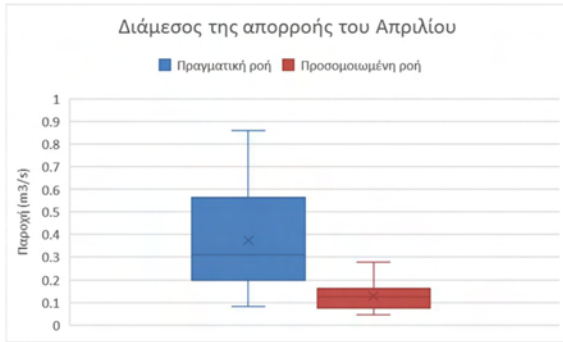


Γραφήματα σύγκρισης των δεικτών της προσομοιωμένης ροής με της πραγματικής

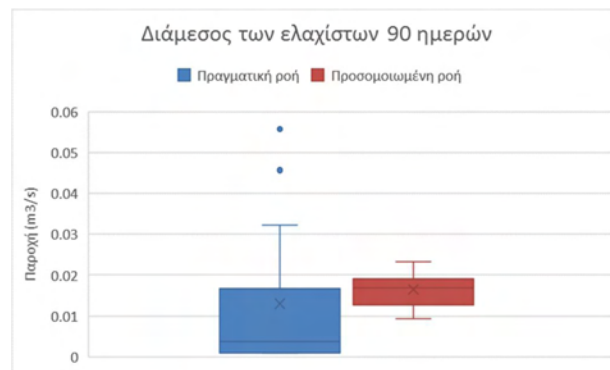
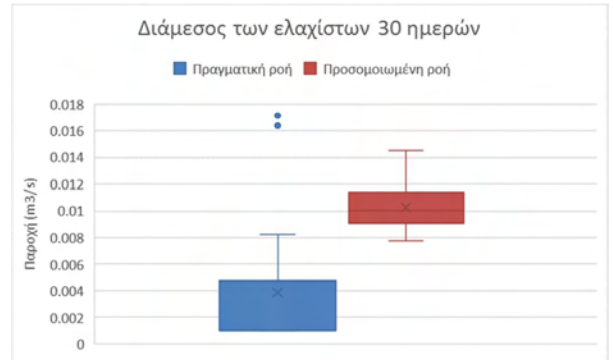
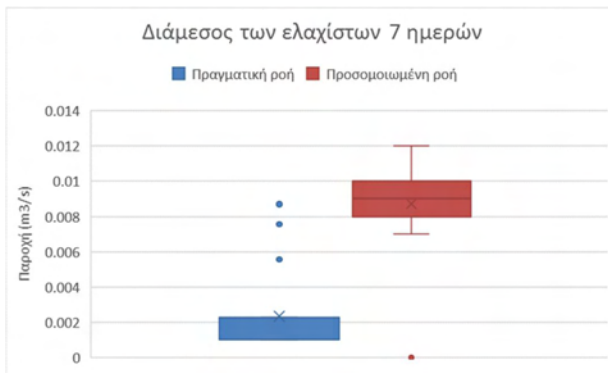
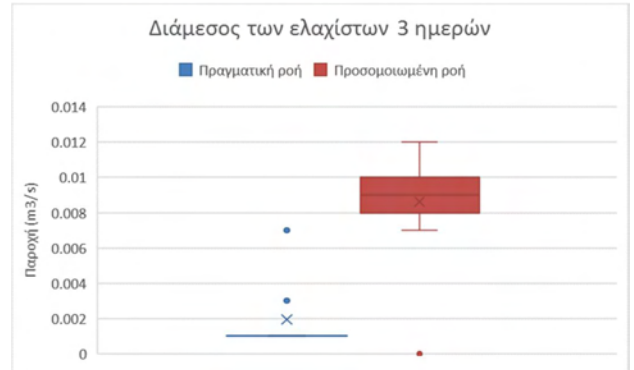
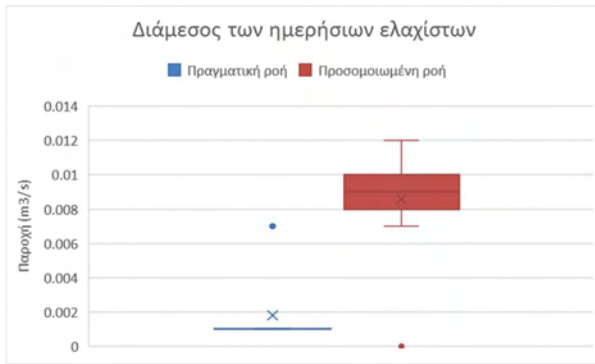
Δείκτες ΙΗΑ:

1<sup>η</sup> ομάδα παραμέτρων:

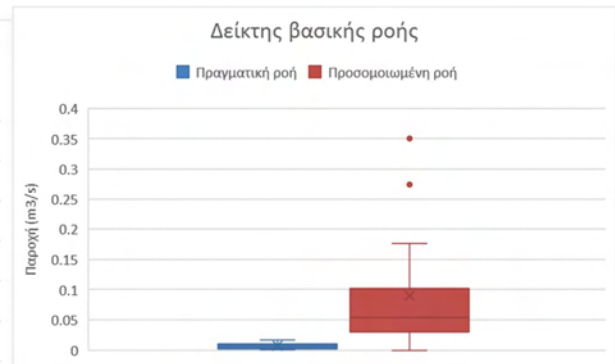
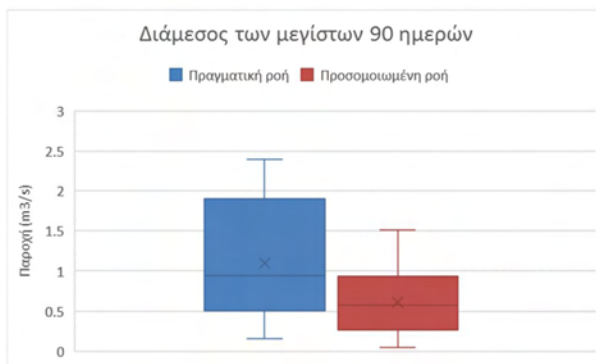
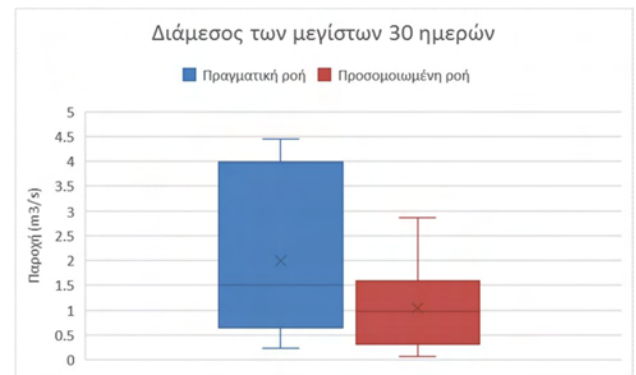
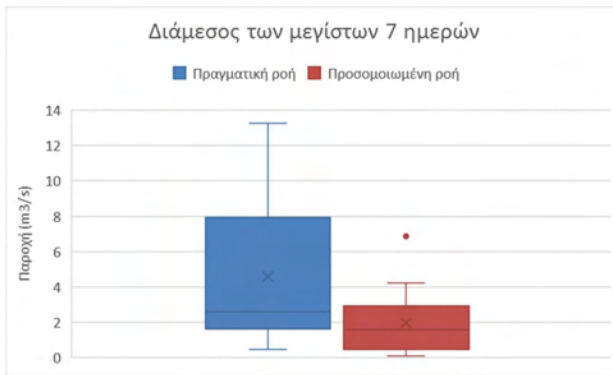
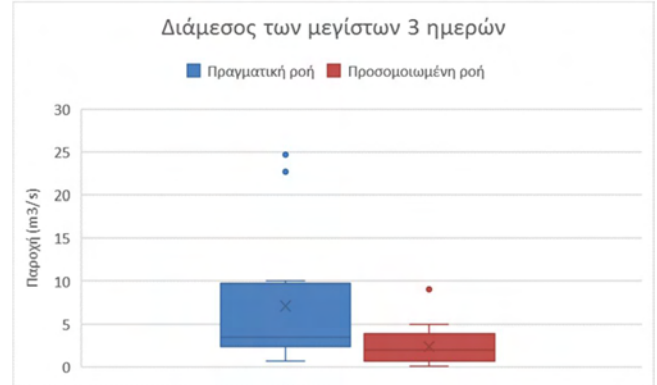
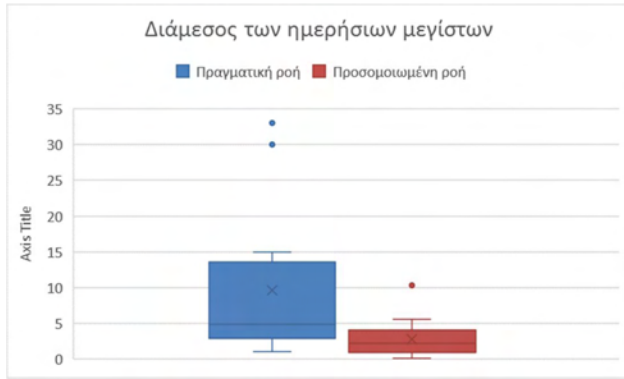




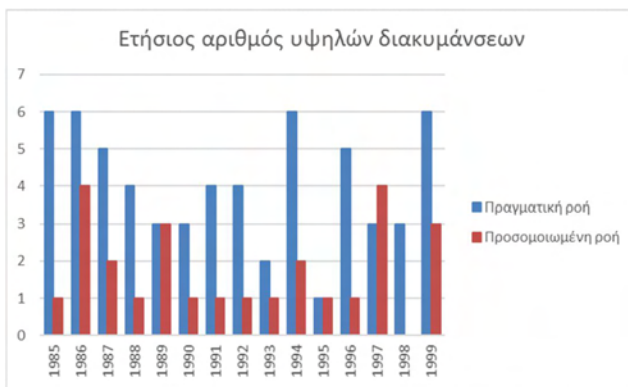
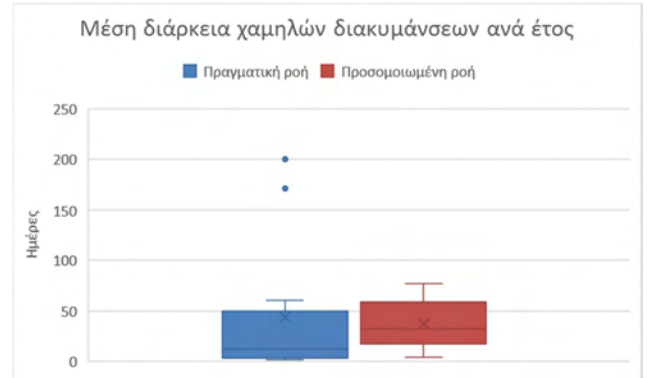
2<sup>η</sup> ομάδα παραμέτρων:



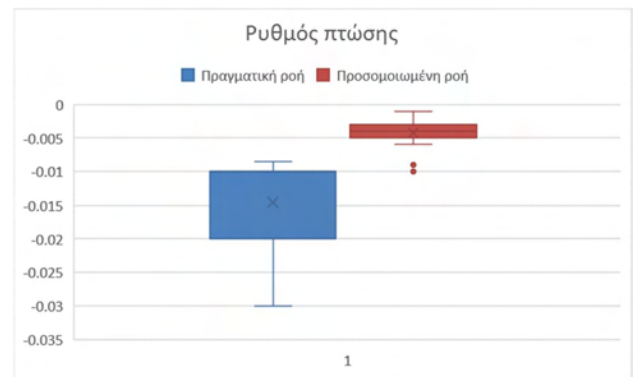
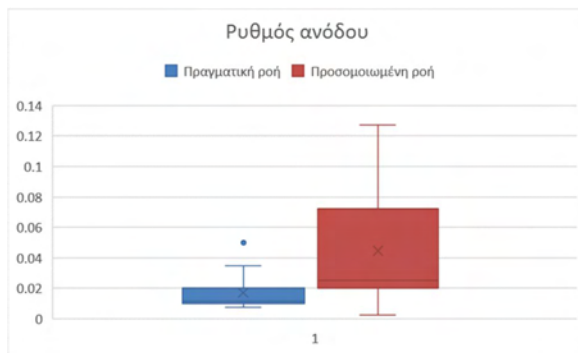


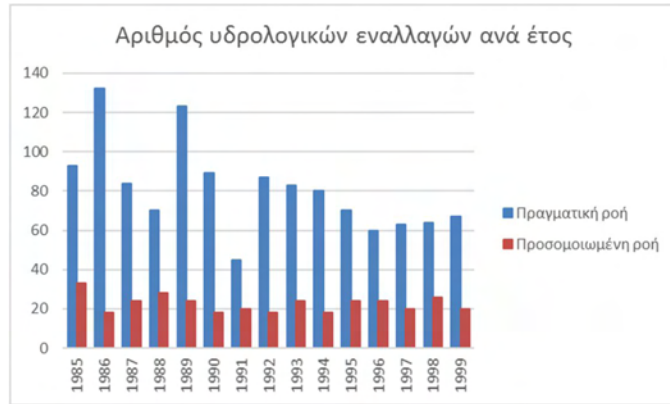


4<sup>η</sup> ομάδα:



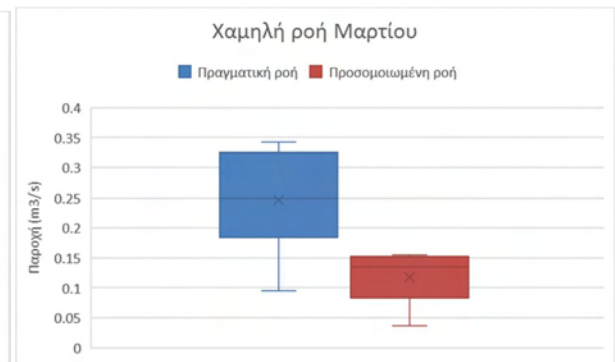
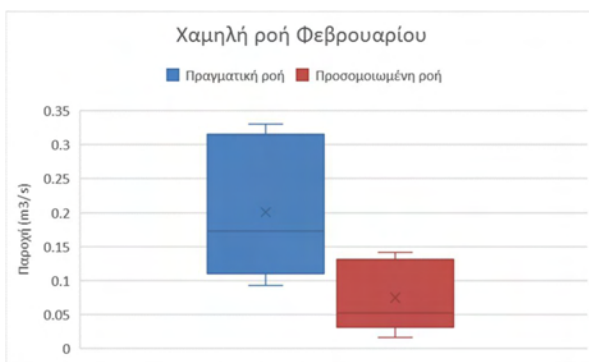
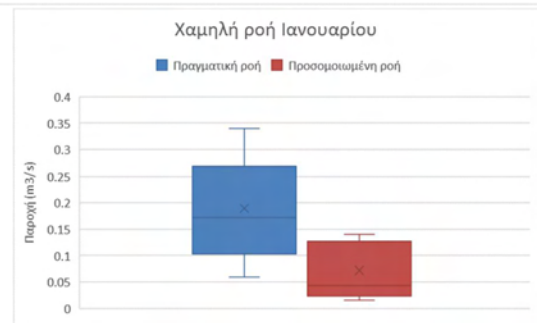
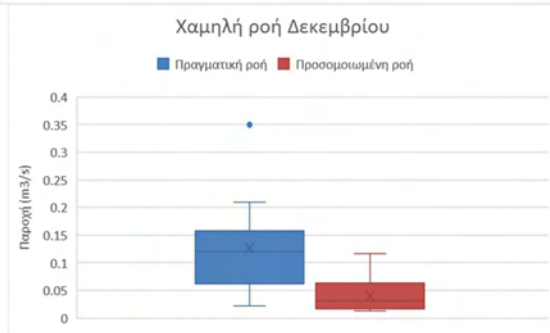
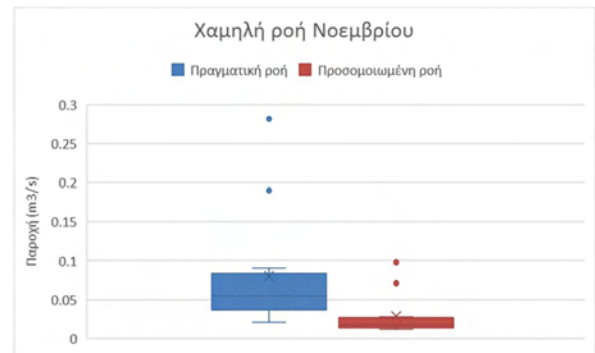
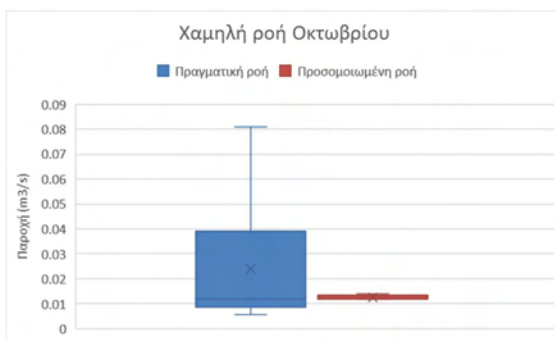
5<sup>η</sup> ομάδα:

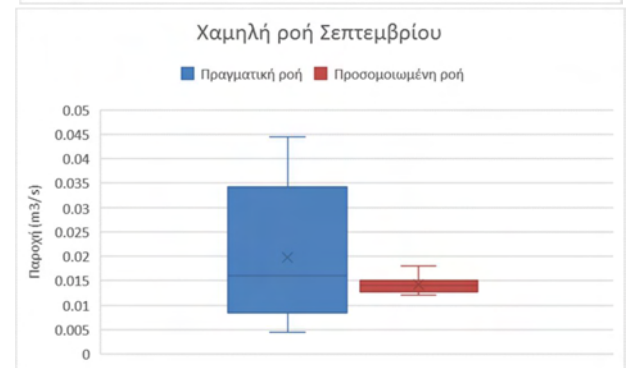
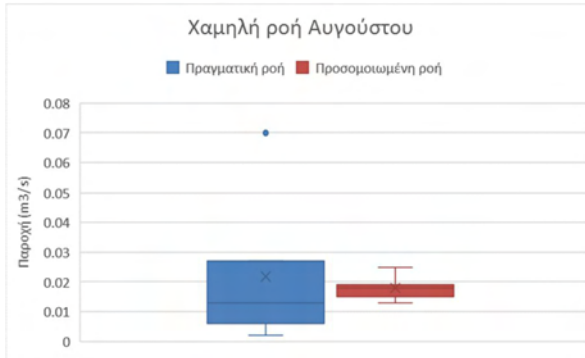
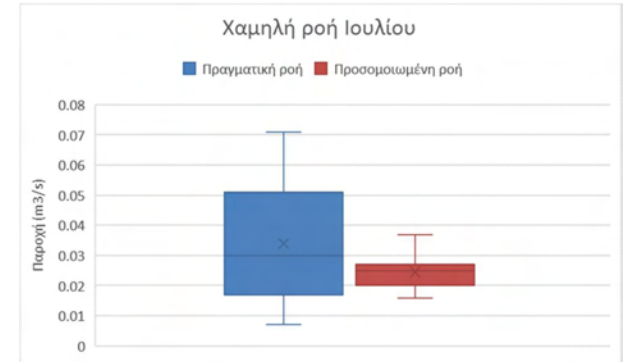
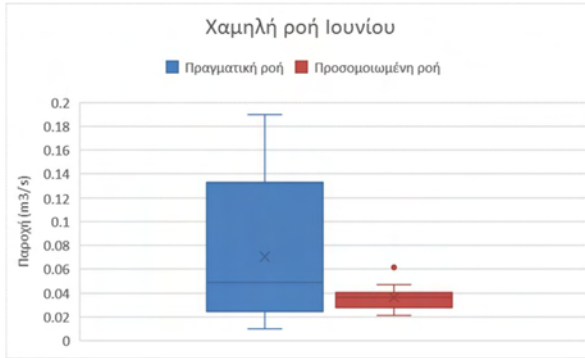
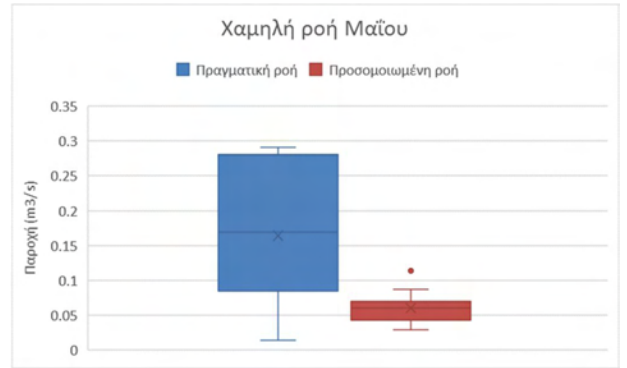
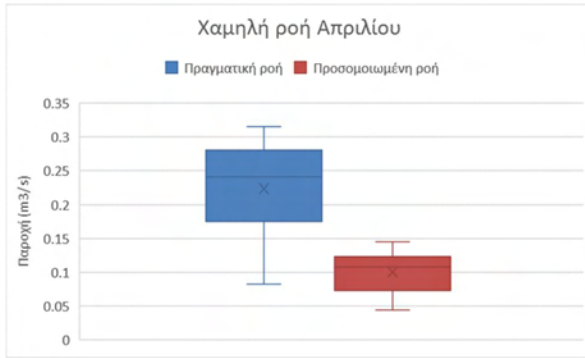




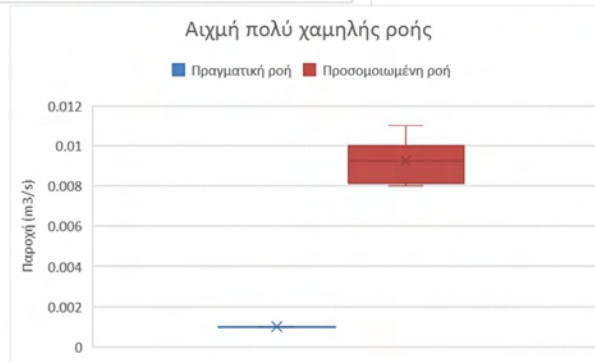
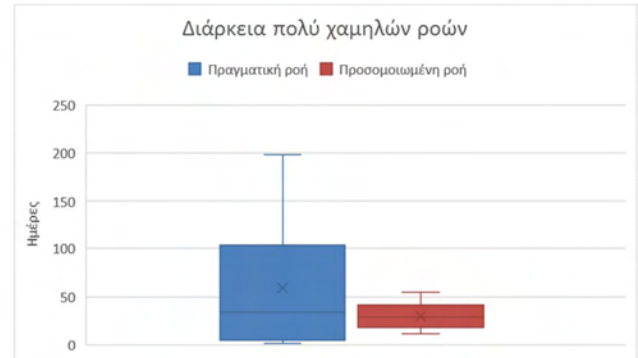
Δείκτες EFC:

1<sup>η</sup> ομάδα:

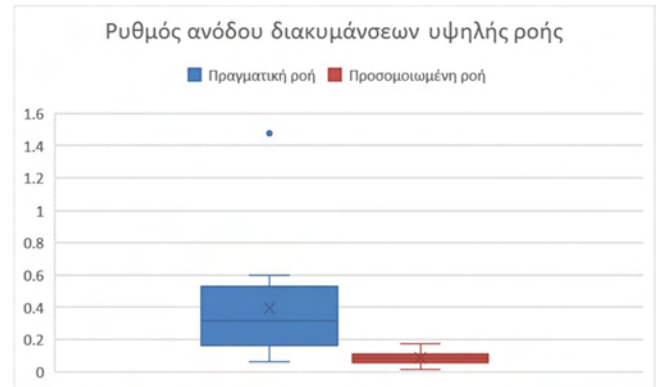
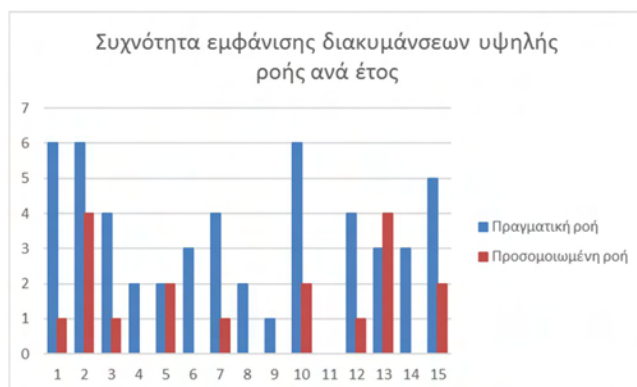
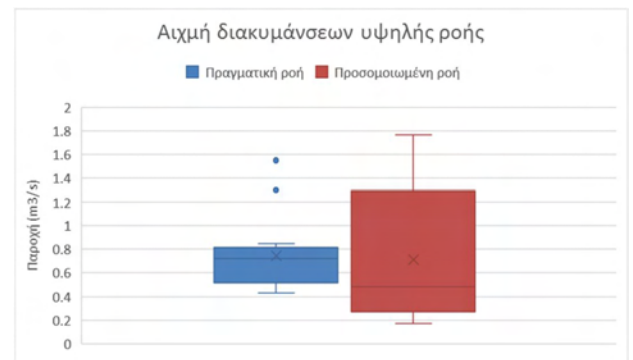
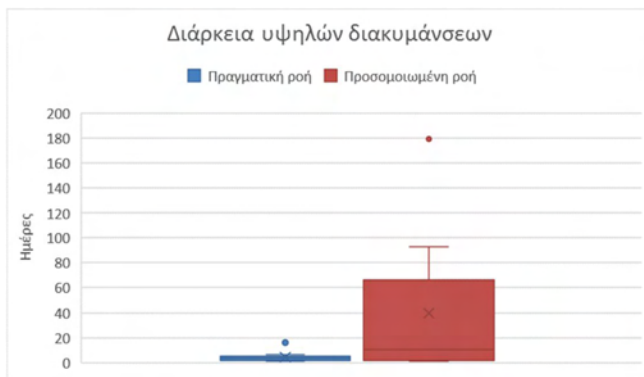


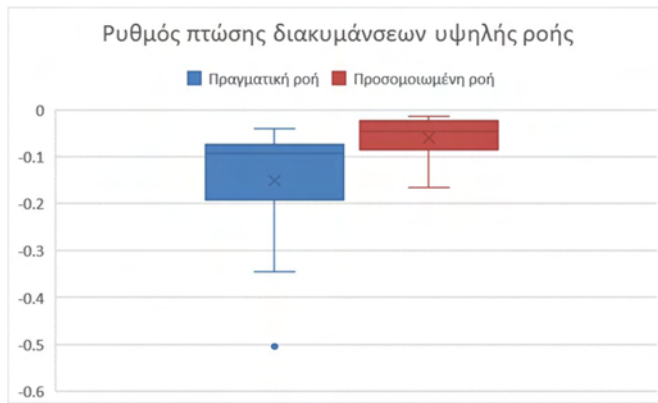


2<sup>η</sup> ομάδα:

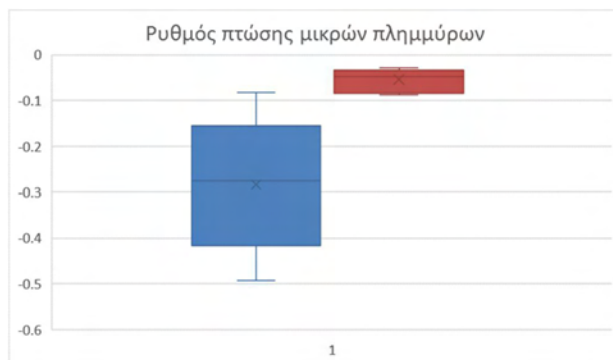
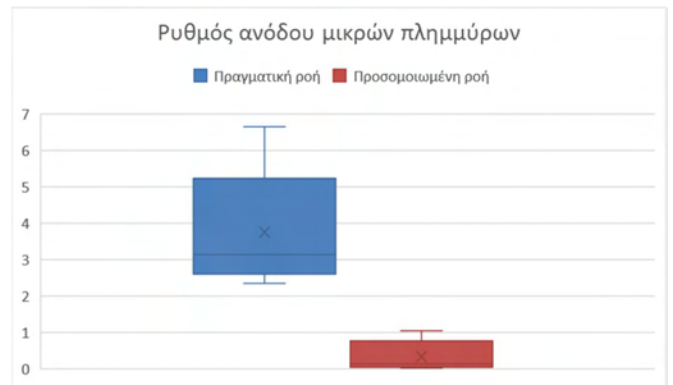
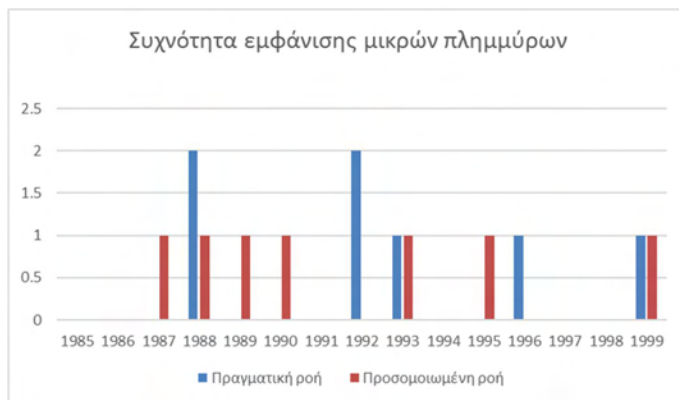
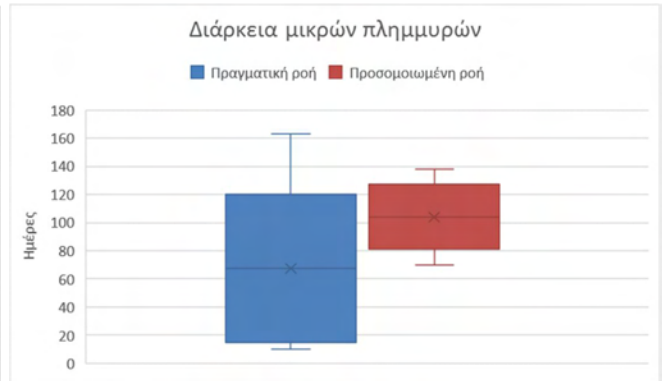
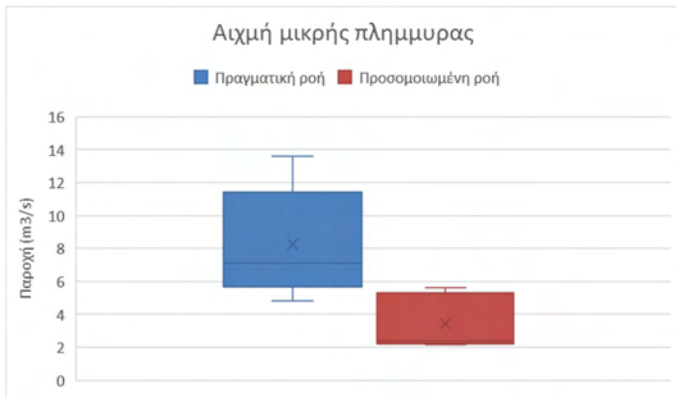


3<sup>η</sup> ομάδα:

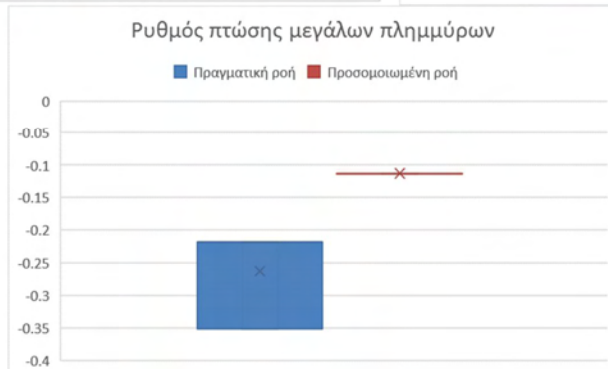
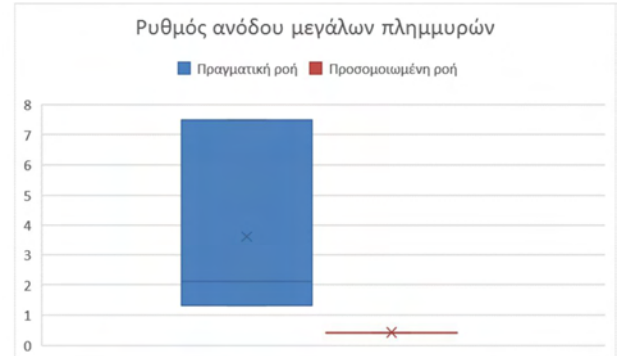
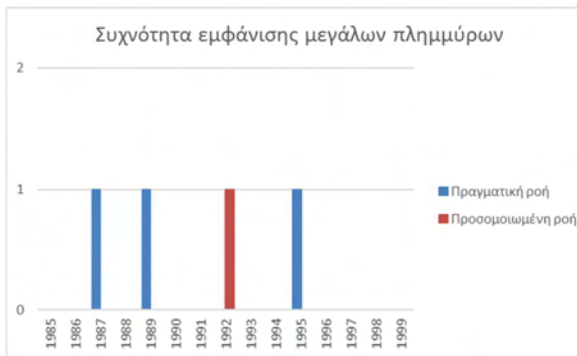
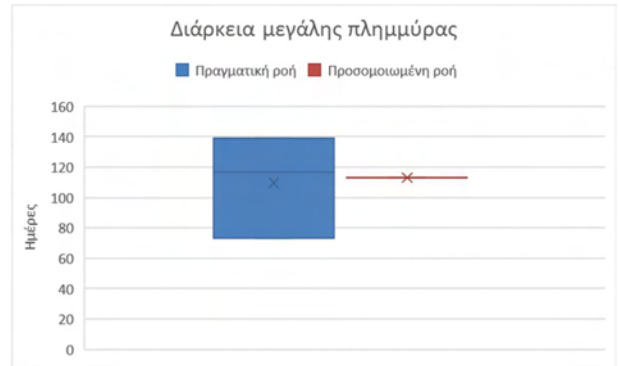
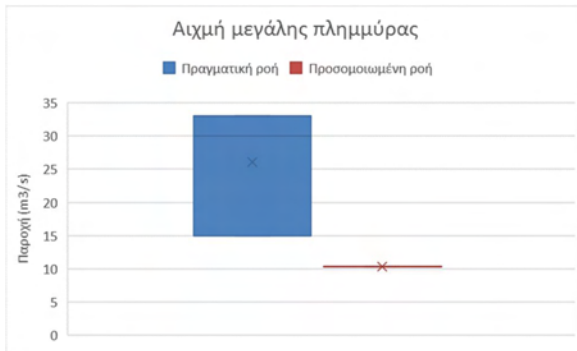




4<sup>η</sup> ομάδα:



5<sup>η</sup> ομάδα:



## Βιβλιογραφία

Διεθνής:

- Arthington A. (2002) *Environmental flows: Ecological importance, methods and adapting Australian experience to the Mekong*. Paper presented at the Dialogue on River Basin Development and Civil Society in the Mekong Region, UbonRatchathani University, UbonRatchathani province, Thailand, 8-12 November
- Dyson M., Bergkamp G. & Scanlon J. (2008). *Flow- The essentials of environmental flows*, 2<sup>nd</sup> Edition. Gland, Switzerland: IUCN. Reprint, Gland, Switzerland: IUCN
- Gao Y., Vogel R., Kroll C., Poff L. & Olden J. (2009). *Development of representative indicators of hydrologic alteration*. *Journal of Hydrology*, 374, 136-147
- Harlan D., Wangasidipura M. & Munajat C. (2010). *Rainfall-runoff modeling of Citarum Hulu river basin by using GR4J*. Paper presented at the World Congress of Engineering, London, U.K., June 30- July 2. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://www.iaeng.org/publication/WCE2010/>[πρόσβαση 14/04/2019].
- Kannan N., Anandhi A. & Jeong J. (2018). *Estimation of stream health using flow-based indices*. *Hydrology*, 5, 1. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.mdpi.com/2306-5338/5/1/20>[πρόσβαση 29/01/2019].
- Khambhammettu P. (2005). *Mann-Kendall analysis for the Fort Ord site*. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/>[πρόσβαση 21/02/2019]
- Koel T. & Sparks R. (2002). *Historical patterns of river stage and fish communities as criteria for operations of dams on the Illinois river*. *River research and applications*, 18, 3-19
- Kundzewicz, Z.W., Robson, A.J. 2000. *Detecting trend and other changes in hydrological data*. Geneva, Switzerland: WMO.
- Mathews R. & Richter B. (2007) *Application of the Indicators of Hydrologic Alteration software in environmental flow setting*. *Journal of the American Water Resources Association*, 43, 1400-1413
- The Nature Conservancy (2009). *Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual*



- Oudin L., Andréassian V., Loumagne C. & Michel C. (2006). *How informative is land-cover for the regionalization of the GR4J rainfall-runoff model? Lessons of a downward approach*. Large Sample Basin Experiments for Hydrological Model Parameterization: Results of the Model Parameter Experiment-MOPEX. IAHS Publ. 307, 246-255. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: [https://www.researchgate.net/publication/283832826\\_How\\_informative\\_is\\_land-cover\\_for\\_the\\_regionalization\\_of\\_the\\_GR4J\\_rainfall-runoff\\_model\\_Lessons\\_of\\_a\\_downward\\_approach](https://www.researchgate.net/publication/283832826_How_informative_is_land-cover_for_the_regionalization_of_the_GR4J_rainfall-runoff_model_Lessons_of_a_downward_approach)[πρόσβαση 09/01/2019]
- Oudin L., Moulin L., Bendjoudi H. & Ribstein P. (2010). *Estimating potential evapotranspiration without continuous daily data: possible errors and impact on water balance simulation*. Hydrological Sciences Journal, 55(2), 209-222
- Perrin C., Michel C. & Andréassian V. (2003). *Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation*. Journal of Hydrology, 279, 275-289. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: [https://www.academia.edu/5289786/Improvement\\_of\\_a\\_parsimonious\\_model\\_for\\_stream\\_flow\\_simulation](https://www.academia.edu/5289786/Improvement_of_a_parsimonious_model_for_stream_flow_simulation) [πρόσβαση 15/02/2019]
- Principato G. & Viggiani G. (2009). *Hydrologic alteration assessment in Mediterranean rivers: Perspective from a South Italy case study*. International Journal of River Basin Management, 7:4, 365-377
- Richter B., Baumgartner J., Powell J. & Braun D. (1996). *A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems*. Conservation Biology, 10, 1165-1174
- Simonneaux V., Hanich L., Boulet G., & Thomas S. (2008) *Modelling runoff in the Rheraya Catchment (High Atlas, Morocco) using the simple daily model GR4J. Trends over the last decades*. Paper presented in the 13<sup>th</sup> IWRA World Water Congress, Montpellier, France, 1-4 September. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: [https://www.iwra.org/congress/2008/resource/authors/abs575\\_article.pdf](https://www.iwra.org/congress/2008/resource/authors/abs575_article.pdf)[πρόσβαση: 02/02/2019]
- Theodoropoulos C. & Skoulikidis N. (2014). *Environmental flows: the European approach through the Water Framework Directive 2000/60/EC*. Paper presented at the 10<sup>th</sup> International Congress of Hellenic Geographical Society, Thessaloniki, Greece, 22-24 October. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: <http://geolib.geo.auth.gr/index.php/pgc/issue/view/467>[πρόσβαση 29/03/2019]
- Vasiliades L. (2016). *Detecting trends in environmental time series data* [Παρουσίαση PowerPoint]. Hydrohazard forecasting, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα

Πολιτικών Μηχανικών. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:  
<http://eclass.uth.gr/eclass/courses/MHXC172/>[πρόσβαση 08/12/2018]

- Zuo Q. & Liang S. (2015). *Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA*. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 368,275-280.

Ελληνική:

- ΓεωργαλάςΣ. (2014). *Εκτίμηση οικολογικής παροχής από το φράγμα του Μαραθώνα και διαχείριση διατιθέμενων υδάτων*. (Ανέκδοτη μεταπτυχιακή εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

- Γκεμιτζή Α.&Τολίκας Δ.(2003). *Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης παράκτιων υδροφορέων με τη συνδυασμένη χρήση πεπερασμένων στοιχείων και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Εφαρμογή στον υδροφόρα Γερμασόγειας Κύπρου*. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:  
[http://www.moa.gov.cy/moa/WDD/wdd.nsf/page55\\_gr/page55\\_gr?opendocument](http://www.moa.gov.cy/moa/WDD/wdd.nsf/page55_gr/page55_gr?opendocument)[πρόσβαση 15/04/2019]

- Ευστρατιάδης Α., Μίχας Σ. & Δερματάς Δ. (2016). *Διάλεξη 12<sup>η</sup> (μέρος Β) : Διαχείριση οικολογικής παροχής και φερτών* [Παρουσίαση PowerPoint]. Υδραυλικές Κατασκευές- Φράγματα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:  
<https://www.itia.ntua.gr/en/documents/6/>[πρόσβαση 03/11/2018]

- Λουκάς Α. (2003), *Υδρολογική προσομοίωση υδατικού ισοζυγίου λεκάνης απορροής Γερμασόγειας, Κύπρος*. Διαθέσιμο στον ιστότοπο:  
<http://www.moa.gov.cy/moa/WDD/wdd.nsf/All/E85A7561C6C2CA34C22582660032548C?OpenDocument> [πρόσβαση 21/04/2019]

- Μαργαριτίδης Α. (2013), *Στατιστική ανάλυση βροχοπτώσεων της περιοχής Δοϊράνης*. (Ανέκδοτη μεταπτυχιακή διατριβή). Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Γεωπονίας, Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος.

- Παπαλέξης Δ. (2013). *Πρόγνωση και αναγνώριση της υδρολογικής ξηρασίας και λειψυδρίας με τη χρήση στατιστικών δεικτών. Η περίπτωση του ν. Λάρισας*. (Ανέκδοτη

μεταπτυχιακή εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών, Επιστήμη & τεχνολογία υδατικών πόρων

- Σαραϊλίδης Γ. (2015). *Ποσοτικοποίηση της μεθόδου κατωφλιού στην ανάλυση χαμηλών παροχών*. (Ανέκδοτη διπλωματική εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

- Τόφα- Χριστίδου Η. (2018). *Βιώσιμη διαχείριση υδάτινων πόρων στην Κύπρο*. Διαθέσιμο στον ιστότοπο: [https://www.wbl.com.cy/index.php/en/file/hChBz4ZtcnPGpdeP\\_+CepQ==/](https://www.wbl.com.cy/index.php/en/file/hChBz4ZtcnPGpdeP_+CepQ==/)[πρόσβαση 14/04/2019]

- Χριστοφίδου Δ.(2016). *Αξιολόγηση μεθόδων εκτίμησης των περιβαλλοντικών ροών με συνδυασμένη χρήση υδρολογικών, υδραυλικών και βιοτικών δεδομένων*.(Ανέκδοτη μεταπτυχιακή εργασία). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών

- Χρυσόχοου Α. (2017). *Διερεύνηση των υδρομορφολογικών διακυμάνσεων σε ποτάμια με το μαθηματικό μοντέλο IAHRIS στα πλαίσια της εφαρμογής της Οδηγίας 2000/60*. (Ανέκδοτη διπλωματική εργασία). Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος