

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Ποσοτικοποίηση της μεθόδου κατωφλιού στην ανάλυση  
χαμηλών παροχών

---

Σαραϊλίδης Γεώργιος

Επιβλέποντες :  
Καθηγητής Λουκάς Αθανάσιος  
Διδάκτωρ (Ε.ΔΙ.Π.) Βασιλειάδης Λάμπρος

Βόλος, Φεβρουάριος 2015

## Σύντομη Περίληψη

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, οι ιδιότητες των ξηρασιών έχουν ερευνηθεί εκτενώς για το σχεδιασμό υδροτεχνικών έργων, και το σχεδιασμό και τη διαχείριση υδατικών πόρων. Πληροφορίες για την ένταση και τη συχνότητα των χαμηλών παροχών παίζουν σημαντικό ρόλο, σε επιχειρησιακό επίπεδο σε δίκτυα ύδρευσης. Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής είναι να ανιχνεύσει την ευαισθησία της μεθόδου κατωφλιού στην παραγωγή καμπυλών διάρκειας-συχνότητας-ελλειμμάτων. Ο όγκος ελλειμμάτων ορίζεται ως ο συνολικός όγκος νερού που βρίσκεται κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο παροχής για μια συγκεκριμένη διάρκεια ξηρασίας. Για την υποκειμενικότητα στην παραγωγή των ελλειμμάτων χρησιμοποιήθηκαν 4 είδη ορίων, τα οποία διαφέρουν ως προς το χρονικό πλαίσιο υπολογισμού των ορίων (σταθερό, εποχικά, μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο), και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματά τους. Η περιοχή μελέτης είναι η λεκάνη απορροής του ποταμού Γερμασόγεια στην Κύπρο και χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα απορροής 30 χρόνων. Από την καμπύλη διάρκειας-απορροής επιλέχθηκαν ως κατώφλια, για όλα τα χρονικά πλαίσια, οι τιμές απορροής που αντιστοιχούν σε ποσοστημόρια απορροής 50% και 70%, τα οποία άλλωστε είναι κατάλληλα για μελέτες σε ημίξηρες λεκάνες απορροής όταν τους καλοκαιρινούς μήνες υπάρχουν μηδενικές τιμές απορροής. Έπειτα τα 4 διαφορετικά όρια επεβλήθησαν σε μια διαδικασία διερεύνησης, μεταξύ τριών μεθόδων συνένωσης γεγονότων, για να επιλεγεί η καταλληλότερη με την οποία θα παραχθούν ανεξάρτητα γεγονότα ξηρασίας. Η διαδικασία διερεύνησης έδειξε ότι η πιο αμερόληπτη μέθοδος είναι η μέθοδος κριτηρίου χρόνου και όγκου, και αυτή χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των ελλειμμάτων και των χαρακτηριστικών τους. Τέλος για δείγματα ετήσιων μέγιστων όγκων ελλειμμάτων, για επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας 30, 60, 90, 180, 360 ημερών κατασκευάστηκαν οι καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας. Ύστερα από μια πιθανοθεωρητική ανάλυση επιλέχθηκε η καλύτερη θεωρητική κατανομή και οι καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας υπολογίστηκαν για όλα τα όρια με σκοπό να γίνει ποσοτικοποίηση ανάμεσα στις σχέσεις όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας. Επίσης αυτές οι καμπύλες ενσωματώνουν την περίοδο επαναφοράς για να επεκτείνουν σε βάθος χρόνου τη μέθοδο του κατωφλιού.

**Λέξεις κλειδιά :** Υδρολογικές ξηρασίες, χαμηλές παροχές, καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας, ελλείμματα, μέθοδος ορίου (κατωφλιού).

## Abstract

Streamflow drought properties have been extensively analysed for the design of hydrotechnical projects and water resources planning and management during the last two decades. Information on the magnitude and frequency of low flows is very important for streamflow drought analysis at operational level in public water supply systems. The objective of this study is to investigate the sensitivity of the threshold level method in the derivation of low flow severity-duration-frequency (SDF) curves. Low flow severity is defined as the total water deficit volume to the target threshold for a given drought duration. Four (4) threshold level methods (fixed, seasonal, monthly and daily) were employed and compared to assess the subjectivity of the threshold level method (fixed or variable) in the estimation of derived streamflow deficits and durations at Yermasoyia watershed, Cyprus using a thirty year daily discharge dataset. The 50<sup>th</sup> and 70<sup>th</sup> percentile values of the flow duration curve are selected as the threshold choices for all study methods which are suitable for semiarid catchments where zero runoff occurs during summer months. Then, the four threshold methods are applied and three pooling procedures are applied to derive independent sequences of low-flow events. Application of the three pooling algorithms showed that the inter-event time and volume criterion is the most unbiased pooling method and this method was selected to estimate the duration and the deficit volume or severity of the identified drought events. Finally, the SDF curves are developed based on the annual maximum severities for fixed durations at 30, 60, 90, 180 and 360 days. Based on individual probabilistic analysis, the best theoretical probability distribution is selected for each threshold method and then the SDF curves for the four thresholds were developed to quantify the relationship among the severities, durations, and frequencies or return periods. These curves also integrate the return period–duration curve to quantify the extent of the threshold method.

**Key words:** hydrological droughts, low flows, severity–duration–frequency (SDF) curves, streamflow deficits, threshold level method.

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική αποτελεί την τελευταία σημαντική, εκπαιδευτική εμπειρία μου έπειτα από πέντε υπέροχα χρόνια σπουδών στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Με την ολοκλήρωση της, αλλά, και της προσωπικής προσπάθειας και δουλειάς μου τα χρόνια της φοίτησης μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους, άμεσα ή έμμεσα, συνέβαλαν στην προσπάθεια αυτή.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών για τις πολύτιμες γνώσεις που κατάφεραν να μου μεταδώσουν.

Ιδιαίτερα όμως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή, και επιβλέποντα της διπλωματικής, κύριο Αθανάσιο Λουκά, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου να αναλάβω την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής, τις καίριες συμβουλές και οδηγίες του και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εργασίας μου.

Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κύριο Βασιλειάδη Λάμπρο, διδάκτωρ και επιβλέποντα της διπλωματικής, για την πολύτιμη βοήθεια του, την υπομονή του και την συνεχή διάθεση του να μου παρέχει βοήθεια στα προβλήματα που αντιμετώπισα. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω για το πολύτιμο υλικό που μου παρείχε το οποίο ήταν απαραίτητο για την εκπόνηση της διπλωματικής μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τους γονείς μου, Κωνσταντίνο και Μαρία, οι οποίοι υπήρξαν στυλοβάτες και μέντορες, στην μέχρι τώρα πορεία μου. Η αγάπη τους, η στοργή τους, η σοφία τους, η υπομονή τους και η υποστήριξή τους, με βοήθησαν να πετύχω τους μέχρι τώρα στόχους μου, αλλά, και να συνεχίσω να ονειρεύομαι, να ελπίζω, να αγωνίζομαι!

Αφιερώνεται στους γονείς μου, Κωνσταντίνο και Μαρία.

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. 1 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος παράλληλων δεξαμενών και των συστατικών του υδρολογικού κύκλου. (Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, 2010)

Σχήμα 2. 1 Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) (Κυπριακή Δημοκρατία-τμήμα αναπτύξεως υδάτων, 2015)

Σχήμα 2. 2 Ετήσια Βροχόπτωση Κύπρου και κυλιόμενος μέσος, 30 χρόνων. Με έντονο μπλε απεικονίζεται η ετήσια βροχόπτωση. Με απαλό μπλε απεικονίζονται τα χρόνια ανομβρίας. Η μαύρη γραμμή με τα αστεράκια απεικονίζει το κυλιόμενο μέσο. Η κόκκινη γραμμή είναι η γραμμή κατεύθυνσης για τον κυλιόμενο μέσο όρο με εξίσωση  $P = -1,1776 * t + 584,4$  και συντελεστή συσχέτισης  $R^2 = 0,876$ . (Κυπριακή Δημοκρατία- Τμήμα αναπτύξεως υδάτων, 2001)

Εικόνα 2. 3 Ψηφιακή απεικόνιση της λεκάνης απορροής της Γερμασόγειας.

Εικόνα 2. 4 Φράγμα Γερμασόγειας. (Google earth, [Computer software], 2015)

Σχήμα 2. 5 Υδρογράφημα απορροής της λεκάνης απορροής Γερμασόγεια για την περίοδο 1970-1999.

Σχήμα 3. 1 Διάγραμμα ροής διπλωματικής εργασίας.

Σχήμα 3. 2 Απεικόνιση γραφικού διαχωρισμού της βασικής απορροής με 3 διαφορετικούς τρόπους : 1α) Μέθοδος σταθερής απορροής 1b) Μέθοδος σταθερής κλίσης 1c) Μέθοδος των κοίλων

Σχήμα 3. 3 Αναγνώριση των περιόδων ύφεσης σε συνεχή χρονοσειρά απορροών δεδομένα από το υδρολογικό έτος 1969/70 από τον ποταμό Ngaruroro στη Νέα Ζηλανδία. (WMO,2008)

Σχήμα 3. 4 Καμπύλες διάρκειας-απορροής. Με κόκκινη γραμμή φαίνεται η καμπύλη μιας αδιαπέραστης λεκάνης απορροής βασισμένη στην επιφανειακή απορροή και με μαύρη γραμμή η καμπύλη μιας διαπερατής λεκάνης απορροής βασισμένη στην βασική απορροή. (WHS HydroTools)

Σχήμα 3. 5 Παράδειγμα καμπύλης διάρκειας απορροής της Drammenselv στο Fiksum της Νορβηγίας. (WMO, 2008)

Σχήμα 3. 6 Γραφική απεικόνιση της μεθόδου κυλιόμενου μέσου. Με μπλε γραμμή είναι το υδρογράφημα απορροής για τα ημερήσια δεδομένα απορροής ενώ με κόκκινη γραμμή είναι το υδρογράφημα απορροής που προέκυψε με εφαρμογή της μεθόδου για διάστημα πέντε ημερών. Η μέθοδος εφαρμόστηκε για το υδρολογικό έτος 1970-71.

Σχήμα 3. 7 Απεικόνιση συνένωσης γεγονότων με τη μέθοδο του κυλιόμενου μέσου κα επεξήγηση των χαρακτηριστικών συνένωσης για τις μεθόδους: κριτήριο χρόνου και κριτήριο χρόνου και όγκου. (WMO, 2008)

Σχήμα 3. 8 Γραφική απεικόνιση των χαρακτηριστικών των ελλειμμάτων. (WMO, 2008)

Σχήμα 5. 1 Διάγραμμα συνολικής και βασικής απορροής. Με πράσινη γραμμή απεικονίζεται η συνολική απορροή ενώ με την κόκκινη η βασική απορροή.

Σχήμα 5. 2 Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται η συχνότητα για κάθε διάστημα ημερών στο οποίο θεωρείται ότι υπάρχει ύφεση, χρησιμοποιώντας ως κατώφλι απορροής αυτό που προκύπτει για ποσοστημόριο 70%.

Σχήμα 5. 3 Διαγράμματα στα οποία απεικονίζεται η μεταβλητότητα των τιμών απορροής, που προκύπτουν για τα διάφορα ποσοστημόρια απορροής, σε σχέση με τους μήνες.

Σχήμα 5. 4 Καμπύλη διάρκειας συχνότητας η οποία υπολογίστηκε με δεδομένα για όλη τη χρονοσειρά.

Σχήμα 5. 5 Διαγράμματα αριθμού γεγονότων ξηρασίας προς εύρος διαρκειών ξηρασίας για τις μεθόδους: κυλιόμενος μέσος και κριτήριο χρόνου.

Σχήμα 5. 6 Διαγράμματα αθροιστικών ποσοστών γεγονότων προς τη διάρκεια ξηρασίας για τις μεθόδους: κυλιόμενος μέσος και κριτήριο χρόνου.

Σχήμα 5. 7 Διαγράμματα για την μέθοδο κριτήριο χρόνου και όγκου στα οποία φαίνονται ο αριθμός των γεγονότων σε σχέση με το εύρος διαρκειών ξηρασίας. Υπάρχουν τρία διαγράμματα για τους τρεις διαφορετικούς λόγους όγκων που διερευνήθηκαν.

Σχήμα 5. 8 Διαγράμματα αθροιστικού αριθμού γεγονότων προς την διάρκεια ξηρασίας για τους τρεις διαφορετικούς λόγους όγκων. Στα διαγράμματα φαίνονται οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων διαστημάτων ημερών συνένωσης γεγονότων ξηρασίας.

Σχήμα 5. 9 Διαγράμματα αθροιστικού αριθμού γεγονότων προς την διάρκεια ξηρασίας για τα πέντε διαφορετικά διαστήματα ημερών. Στα διαγράμματα φαίνονται οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων λόγων όγκων συνένωσης γεγονότων ξηρασίας.

Σχήμα 5. 10 Επάνω σειρά: διαγράμματα αριθμού γεγονότων προς το αντίστοιχο εύρος διαρκειών ξηρασίας για τις μεθόδους: κυλιόμενος μέσος και κριτήριο χρόνου. Κάτω σειρά: Αντίστοιχα, για τις δύο μεθόδους, διαγράμματα αθροιστικών ποσοστών αριθμού γεγονότων προς την διάρκεια ξηρασίας. Τα 4 διαγράμματα είναι για ποσοστημόριο απορροής 70%

Σχήμα 5. 11 Πάνω αριστερά: αριθμού γεγονότων-εύρος διαρκειών ξηρασίας. Πάνω δεξιά: αθροιστικά ποσοστά αριθμού γεγονότων-διάρκεια ξηρασίας για διάστημα 5 ημερών. Κάτω: αθροιστικά ποσοστά αριθμού γεγονότων- διάρκεια ξηρασίας για λόγο όγκων 0,1. Τα διαγράμματα είναι για ποσοστημόριο απορροής 70%.

Σχήμα 5. 12 Απεικόνιση των διαφορών για τα όρια: σταθερό, εποχικά, μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο για το υδρολογικό έτος 1969-70.

Σχήμα 5. 13 Απεικόνιση των διαφορών των ορίων για το υδρολογικό έτος 1990-91.

Σχήμα 5. 14 Διαγράμματα για κάθε όριο στα οποία απεικονίζεται ο χρόνος (μήνας) στον οποίο ξεκινάνε τα περισσότερα ελλείμματα, για όρια που προκύπτουν για ποσοστημόριο απορροής 50%.

Σχήμα 5. 15 Αριστερά: Διάγραμμα μέγιστης, ελάχιστης και μέσης τιμής όγκου ελλειμμάτων σε σχέση με τους μήνες για σταθερό όριο. Δεξιά: Διάγραμμα αριθμού γεγονότων σε σχέση με τους μήνες για σταθερό όριο.

Σχήμα 5. 16 Αριστερά: Διάγραμμα μέγιστης, ελάχιστης και μέσης τιμής διάρκειας ξηρασίας σε σχέση με τους μήνες για σταθερό όριο. Δεξιά: Διάγραμμα αριθμού γεγονότων σε σχέση με τους μήνες για σταθερό όριο.

Σχήμα 5. 17 Διαγράμματα για κάθε όριο στα οποία απεικονίζεται ο χρόνος (μήνας) στον οποίο ξεκινάνε τα περισσότερα ελλείμματα, για όρια που προκύπτουν για ποσοστημόριο απορροής 70%.

Σχήμα 5. 18 Γραφική απεικόνιση των διαφορών των ορίων που προκύπτουν για ποσοστημόρια απορροής 50% και 70% για σταθερό και μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο.

Σχήμα 5. 19 Γραφική απεικόνιση προσαρμογή της κατανομής Pareto L-moments στη θεωρητική κατανομή Weibull για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας, για μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο.

Σχήμα 5. 20 Διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται οι όγκοι ελλειμμάτων για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας και περιόδους επαναφοράς, για όλα τα όρια.

Σχήμα 5. 21 Καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας για όλα τα όρια.

#### Κατάλογος σχημάτων Παραρτήματος:

Σχήμα 1. 1 Διαγράμματα μεθόδου MRC για μηνιαία, εποχικά και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για κατώφλι απορροής 70, για διάστημα ημερών ύφεσης 4.

Σχήμα 1. 2 Διαγράμματα μεθόδου MRC για μηνιαία, εποχικά και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για κατώφλι απορροής 70, για διάστημα ημερών ύφεσης 4.

Σχήμα 1. 3 Διαγράμματα μεθόδου MRC για μηνιαία, εποχικά και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για κατώφλι απορροής 70, για διάστημα ημερών ύφεσης 5.

Σχήμα 1. 4 Διαγράμματα μεθόδου MRC για μηνιαία, εποχικά και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για κατώφλι απορροής 70, για διάστημα ημερών ύφεσης 4.

Σχήμα 1. 5 Καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας για όλα τα όρια για περίοδο επαναφοράς 20 χρόνια.

Σχήμα 1. 6 Καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας για όλα τα όρια για περίοδο επαναφοράς 30 χρόνια.

Σχήμα 1. 7 Καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας για όλα τα όρια για περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια.



Σχήμα 1. 8 Καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας για όλα τα όρια για περίοδο επαναφοράς 250 χρόνια.

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. 1 Δείκτες που χρησιμοποιούνται συχνά στην ανάλυση χαμηλών παροχών. (WMO, 2008)

Πίνακας 2. 1 Στατιστικά χαρακτηριστικά δεδομένων

Πίνακας 4. 1 Μεροληπτικές εκτιμήτριες των ροπών για τη μέθοδο των ροπών (Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, 2010)

Πίνακας 4. 2 Αμερόληπτες εκτιμήτριες των ροπών για τη μέθοδο των ροπών (Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, 2010)

Πίνακας 4. 3 Παρουσίαση των θεωρητικών κατανομών και των παραμέτρων που χρησιμοποιούν η κάθε μία (Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, 2010)

Πίνακας 5. 1 Πίνακας με τους δείκτες βασικής απορροής για κάθε έτος και τα στατιστικά χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 5. 2 Πίνακας στον οποίο φαίνονται οι σταθερές ύφεσης για δύο διαστήματα ημερών ύφεσης (4 και 5) για δύο μεθόδους (MRC και IRS) για διάφορα όρια.

Πίνακας 5. 3 Πίνακας με τις τιμές της μέσης απορροής για κάθε μήνα συνολικά για όλη τη χρονοσειρά.

Πίνακας 5. 4 Πίνακας με τη μέση ετήσια απορροή.

Πίνακας 5. 5 Πίνακας με τη μέση ετήσια απορροή, τους ετήσιους δείκτες βασικής απορροής και το ποσοστό που αποτελεί η μέση ετήσια απορροή στη βασική.

Πίνακας 5. 6 Πίνακας στον οποίο δίνονται οι τιμές για τα μέσα ετήσια ελάχιστα για διάφορα διαστήματα ημερών.

Πίνακας 5. 7 Πίνακας στον οποίο φαίνονται οι τιμές απορροής για διάφορα ποσοστημόρια απορροής. Υπολογίστηκαν για όλη τη χρονοσειρά.

Πίνακας 5. 8 Πίνακας με τις τιμές απορροής που προκύπτουν για διάφορα ποσοστημόρια για κάθε μήνα.

Πίνακας 5. 9 Πίνακας στον οποίο δίνονται οι τιμές απορροής και η αντίστοιχη πιθανότητα μη υπέρβασης.

Πίνακας 5. 10 Πίνακας με στατιστικούς δείκτες των χαρακτηριστικών των ελλειμμάτων που προέκυψαν για σταθερό όριο για εποχικά, μηνιαία, και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για την περίπτωση ποσοστημορίου 50%.

Πίνακας 5. 11 Πίνακας με στατιστικούς δείκτες των χαρακτηριστικών των ελλειμμάτων που προέκυψαν για σταθερό όριο για εποχικά, μηνιαία, και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για την περίπτωση ποσοστημορίου 70%.

Πίνακας 5. 12 Δείγματα για μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο. Στον πίνακα φαίνονται για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας, για κάθε έτος, οι μέγιστοι όγκοι ελλείματος.

Πίνακας 5. 13 Πίνακας στον οποίο φαίνονται τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου Kolmogorov-Smirnov, για την κατανομή Pareto L-moments, για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας.

Πίνακας 5. 14 Όγκοι ελλειμμάτων ( $hm^3$ ) υπολογισμένοι για όλα τα όρια, για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας και περιόδους επαναφοράς με τη βοήθεια της κατανομής Pareto L-moments.

# Περιεχόμενα

---

Σύντομη Περίληψη.....	1
Abstract .....	2
Ευχαριστίες.....	3
Κατάλογος Σχημάτων.....	5
Κατάλογος Πινάκων.....	9
Περιεχόμενα .....	11
1. Εισαγωγή.....	13
1.1 Ανάλυση Χαμηλών Παροχών. ....	13
1.2.1 Φυσικές και υδρολογικές διεργασίες που οδηγούν σε χαμηλές παροχές. ....	14
1.2.2 Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στις χαμηλές παροχές. ....	15
1.2.3 Δείκτες και μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση των χαμηλών παροχών.....	15
1.3 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας. ....	17
1.4 Διάρθρωση διπλωματικής. ....	18
2. Περιοχή Μελέτης .....	19
2.1 Κλιματολογικά στοιχεία για την Κύπρο.....	19
2.2 Υδρογεωλογικά στοιχεία για την λεκάνη απορροής της Γερμασόγειας. ....	21
2.3 Δεδομένα περιοχής μελέτης .....	22
3. Δείκτες και ελλείμματα .....	24
3.1 Δείκτης Βασικής Απορροής (Base flow index-BFI) .....	25
3.2 Ανάλυση Ύφεσης (Recession analysis) .....	26
3.3 Μέση απορροή (mean flow).....	28
3.4 Μέσα ετήσια ελάχιστα (mean annual minima) .....	28
3.5 Ποσοστημόρια απορροής (Quantiles of flow).....	28
3.6 Καμπύλη διάρκειας-απορροής (Flow duration curve) .....	29
3.7 Μεθοδολογία μεθόδων συνένωσης γεγονότων ξηρασίας - Υπολογισμός και ανάλυση ελλειμμάτων .....	31
3.7.1 Μέθοδοι συνένωσης γεγονότων .....	31
3.7.2 Υπολογισμός και ανάλυση ελλειμμάτων.....	33
4. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση .....	36
4.1 Εξαγωγή δείγματος.....	36

4.2 Στατιστική επεξεργασία .....	36
5. Εφαρμογή μεθοδολογίας και ανάλυση αποτελεσμάτων .....	45
5.1 Δείκτης Βασικής απορροής .....	45
5.2 Ανάλυση ύφεσης .....	46
5.3 Μέση απορροή .....	48
5.4 Μέσα ετήσια ελάχιστα. ....	51
5.5 Ποσοστημόρια απορροής .....	52
5.6 Καμπύλη διάρκειας απορροής .....	54
5.7 Διερεύνηση μεθόδων συνένωσης γεγονότων .....	56
5.8 Υπολογισμός και ανάλυση ελλειμμάτων .....	65
5.9 Πιθανοθεωρητική ανάλυση .....	75
6. Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	81
6.1 Συμπεράσματα.....	81
6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	82
Παράρτημα .....	84
Βιβλιογραφία .....	89

## 1. Εισαγωγή

Ένα από τα σύγχρονα και πιο σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η εξάντληση των υδατικών πόρων και οι επιπτώσεις που αυτό επιφέρει. Η υπερεκμετάλλευση των υδατικών πόρων, για την κάλυψη των ολοένα αυξανόμενων αναγκών σε ύδρευση και άρδευση, η ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδροφορέων από βιομηχανικά και αστικά λύματα, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή εγείρουν στη σύγχρονη εποχή κινδύνους όπως οι ξηρασίες.

Οι ξηρασίες αποτελούν ακραία υδρολογικά φαινόμενα με έντονο επιστημονικό ενδιαφέρον λόγω των τεράστιων περιβαλλοντικών, αλλά και κοινωνικό-οικονομικών προβλημάτων που μπορούν να επιφέρουν. Αν και τα τελευταία χρόνια έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες όσον αφορά τις ξηρασίες, λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου υπάρχουν αρκετοί ορισμοί για το τι συνιστά ξηρασία, ενώ το κύριο πρόβλημα εξακολουθεί να αποτελεί η περιγραφή τους και ποσοτικοποίηση τους.

Συνήθως οι ξηρασίες κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το κομμάτι του υδρολογικού κύκλου στο οποίο έχουν κύρια αναφορά. (American Meteorological Society, 1997). Δηλαδή, η πρώτη κατηγορία είναι η μετεωρολογική ξηρασία, η οποία προκαλείται κυρίως από μειωμένη βροχόπτωση και αυξημένους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής. Αυτό με τη σειρά του προκαλεί μείωση στην εδαφική υγρασία, που αποτελεί την δεύτερη κατηγορία την αγροτική ξηρασία. Η μειωμένη βροχόπτωση έχει ακόμη ως συνέπεια την μείωση της επιφανειακής απορροής και εν συνεχεία στη μείωση της στάθμης επιφανειακών υδροφορέων (λίμνες, ποτάμια κτλ) ενώ αντίστοιχα η μείωση της εδαφικής υγρασίας οδηγεί στην σταδιακή μείωση της στάθμης των υπόγειων υδροφορέων. Όλα αυτά αποτελούν την τρίτη κατηγορία ξηρασίας την υδρολογική. Η τέταρτη αφορά τον κοινωνικό-οικονομικό χαρακτήρα της ξηρασίας.

Στη παρούσα διπλωματική το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην ανάλυση της υδρολογικής ξηρασίας με τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση των χαμηλών παροχών.

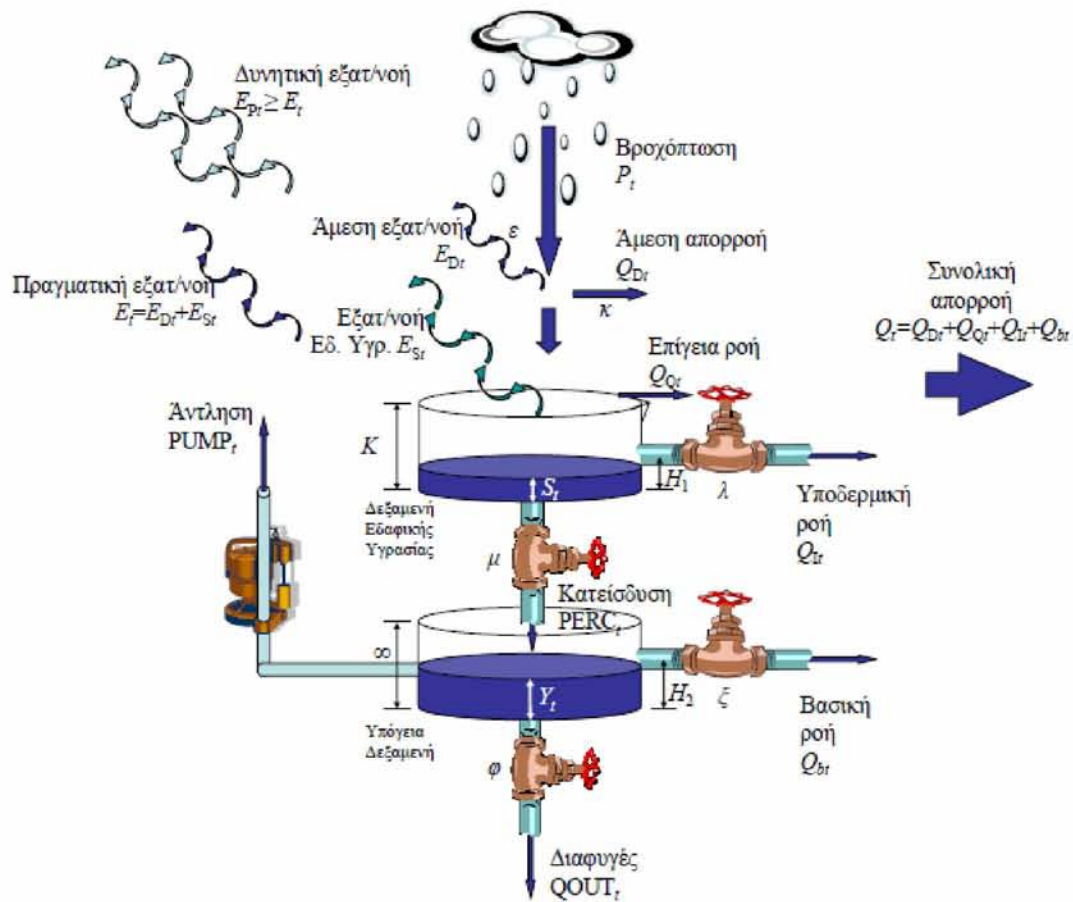
### 1.1 Ανάλυση Χαμηλών Παροχών.

Η μελέτη των ξηρασιών απαιτεί εντατική, ειδική και εκτεταμένη έρευνα για την ανάλυση τους. Εντούτοις η παρούσα διπλωματική περιορίζεται στην ανάλυση των χαμηλών παροχών σε ένα συνεχές υδρογράφημα απορροής και σε συγκεκριμένη λεκάνη απορροής.

Οι χαμηλές παροχές ορίζονται ως η μειωμένη παροχή του νερού σε ένα ποτάμι για μια παρατεταμένη ξηρή περίοδο (Tallaksen and van Lanen, 2004). Πρέπει να τονιστεί ότι το φαινόμενο των χαμηλών παροχών δεν αποτελεί απαραίτητα ξηρασία, καθώς είναι ένα εποχιακό-περιοδικό φαινόμενο που συχνά αποτελεί και αναπόσπαστο κομμάτι του υδρογραφήματος, ενώ η ξηρασία προκαλείται από μη φυσιολογικές ελλείψεις βροχόπτωσης και έλλειψης υδατικών πόρων.

### 1.2.1 Φυσικές και υδρολογικές διεργασίες που οδηγούν σε χαμηλές παροχές.

Η παροχή ενός ποταμού είναι αποτέλεσμα σύνθετων φυσικών διεργασιών οι οποίες πραγματοποιούνται σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Η λεκάνη απορροής του ποταμού μπορεί να υποθεθεί ότι αποτελείται από ανεξάρτητες δεξαμενές οι οποίες είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους και κάθε μια έχει το δικό της κύκλο φόρτισης αποθήκευσης και αποφόρτισης με νερό. Οι κατακρημνίσεις θα μπορούσε να ισχυριστεί κανείς ότι αποτελούν συστατικά στη διαδικασία της επαναφόρτισης ενώ η αποθήκευση και η αποφόρτιση είναι τα συστατικά που επηρεάζουν την παροχή του ποταμού κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων.



Σχήμα 1. 1 Σχηματική απεικόνιση του συστήματος παράλληλων δεξαμενών και των συστατικών του υδρολογικού κύκλου. (Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, 2010)

Οι χαμηλές παροχές προκύπτουν γενικά από τη μειωμένη βροχόπτωση ή από κατακρημνίσεις όπως χιονόπτωση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του νερού που αποθηκεύεται στο έδαφος, στις λίμνες και μείωση απορροής του ποταμού. Ο χρόνος που ξεκινάει το φαινόμενο εξαρτάται κυρίως από τις καιρικές συνθήκες ενώ ο ρυθμός της μείωσης από τις υδρολογικές διεργασίες και τις ιδιότητες της λεκάνης απορροής. Οι διάφορες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στον υδρολογικό κύκλο κάποιες απ αυτές έχουν θετική επίδραση στις χαμηλές παροχές ενώ κάποιες άλλες όχι.

Ευεργετική επίδραση έχουν :

- Οι απολήξεις νερών από υπόγειους υδροφορείς
- Οι απολήξεις νερών από τον πυθμένα επιφανειακών υδροφορέων όπως λιμνοδεξαμενές, ταμιευτήρες, υγροτόπους κτλ
- Λίμνες οι οποίες είναι απ' ευθείας συνδεδεμένες με τα ποτάμια.

Αρνητική επίδραση έχουν :

- Η απ' ευθείας εξάτμιση από τρεχούμενα ή όχι, νερά ανοιχτών καναλιών, υγροτόπων κτλ.
- Απώλειες από τις διαδικασίες εξάτμισης και διαπνοής από περιοχές που υπάρχουν διαρροές υπογείων υδάτων που καταλήγουν σε κανάλια.
- Η επαναπλήρωση των υπογείων υδάτων από παροχές που προκύπτουν λόγω του γεγονότος ότι η φρεατική επιφάνεια του καναλιού ροής, βρίσκεται ψηλότερα απ' ότι ο υπόγειος υδροφορέας.
- Οι απώλειες από σχετικά ξηρά εδάφη που αποτελούν τις όχθες του ποταμού.

### 1.2.2 Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στις χαμηλές παροχές.

Στις ευεργετικές και αρνητικές επιρροές των χαμηλών παροχών που έχουν οι φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην λεκάνη απορροής, πρέπει να προστεθούν και οι επιδράσεις των ανθρωπογενών παραγόντων. Η άντληση υπόγειων υδάτων, η τεχνητή αποξήρανση εδαφών για γεωργικούς σκοπούς, η αναδάσωση ή η αποψίλωση δασών επηρεάζουν έμμεσα τις χαμηλές παροχές. Υπάρχουν ακόμη ανθρώπινες δραστηριότητες που έχουν άμεση επιρροή στην απορροή του ποταμού όπως άντληση υδάτων από ποτάμια ή άλλους επιφανειακούς υδροφορείς για την εξυπηρέτηση των αναγκών σε ύδρευση και άρδευση, η εισροή βιομηχανικών αρδευτικών και αστικών λυμάτων στα ποτάμια, κατασκευή φραγμάτων κτλ. (World Meteorological Organization, 2008)

### 1.2.3 Δείκτες και μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση των χαμηλών παροχών.

Η κατάσταση ενός ποταμού όσον αφορά τις χαμηλές παροχές μπορεί να αναλυθεί με αρκετούς τρόπους ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων που είναι διαθέσιμα αλλά και τους σκοπούς της ανάλυσης.

Για την πρώτη καταγραφή των χαμηλών παροχών σ ένα ποτάμι μπορούν να χρησιμοποιηθούν δείκτες όπως μέση ετήσια απορροή, μέση ημερήσια απορροή, διάμεσος απορροή, απόλυτα ελάχιστη τιμή απορροής, μέσα ετήσια ελάχιστα κτλ. Στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν η μέση απορροή, μέση ετήσια απορροή και μέσα ετήσια ελάχιστα.

Για την αναγνώριση της βασικής απορροής και το διαχωρισμό της από την συνολική απορροή υπάρχουν αρκετές μέθοδοι στην βιβλιογραφία. Αρκετές απ' αυτές επιχειρούν το διαχωρισμό της βασικής απορροής μέσω της εκτίμησης της άμεσης απορροής από το πλημμυρικό υδρογράφημα. (Hall, 1971). Αυτές οι μέθοδοι χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στην πρώτη γίνεται η υπόθεση ότι η βασική απορροή ξεκινά ταυτόχρονα με την επιφανειακή και στην δεύτερη λαμβάνονται υπ' όψιν οι



παράγοντες που καθυστερούν τη βασική απορροή. Συχνά όμως αντιμετωπίζουν αρκετά υπολογιστικά προβλήματα όπως η αναγνώριση του σημείου στο οποίο σταματάει η επιφανειακή απορροή, οπότε και δεν ενδείκνυται η χρησιμοποίησή τους στην ανάλυση των χαμηλών παροχών. Άλλες τεχνικές διαχωρισμού της βασικής απορροής χρησιμοποιούν φίλτρα τα οποία επιχειρούν το διαχωρισμό της βασικής απορροής μέσα από μια μακρά περίοδο ημερήσιας καταγραφής των απορροών.

Η πιο γνωστή, και αυτή που χρησιμοποιείται στη παρούσα διπλωματική, είναι η τεχνική των εξομαλυμένων ελαχίστων (smoothed minima technique) (Nathan and McMahon, 1990a; Charman 1991). Περισσότερα στοιχεία για την μέθοδο αυτή θα δοθούν στο Κεφάλαιο 3.

Η ανάλυση χαμηλών παροχών απαιτεί να γίνει μια ανάλυση ύφεσης η οποία στη παρούσα διπλωματική έγινε με τη μέθοδο συσχετισμού (Knisel, 1963; Hall, 1968; Brutsaert and Neiber, 1977; Beran and Gustard, 1977; Institute of Hydrology, 1980; FRIEND, 1989). Περισσότερα στοιχεία θα δοθούν στο κεφάλαιο 3.

Η ανάλυση συχνότητας των χαμηλών παροχών μπορεί να γίνει με τον υπολογισμό της καμπύλης διάρκειας-απορροής είτε με τον υπολογισμό της καμπύλης συχνότητας-χαμηλών παροχών. Στη παρούσα διπλωματική προτιμήθηκε ο υπολογισμός της καμπύλης διάρκειας-απορροής.

Τέλος στην ανάλυση των χαμηλών παροχών θα πρέπει να αναγνωρίζονται και να υπολογίζονται τα ελλείμματα αλλά και τα χαρακτηριστικά τους. Οι δύο συνηθέστερες μέθοδοι είναι: η μέθοδος του κατωφλιού (threshold level method) και η μέθοδος ακολουθίας μεγίστων (sequent peak algorithm). Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του κατωφλιού η οποία είναι ευρέως διαδεδομένη στην ανάλυση ξηρασιών, και η οποία εισάγει τα χαρακτηριστικά των γεγονότων ελλειμμάτων, όπως, διάρκεια και όγκος ελλειμμάτων, λαμβάνοντας υπ' όψιν μάλιστα και τις διαφορές για διαφορετικά χρονικά βήματα: σταθερό εποχικά, μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο. (Yevjevich, 1967; Sen, 1980; Dracup et al., 1980; Dalezios et al., 2000; American Meteorological Society, 1997; Tallaksen and Hisdal 1997). Παρακάτω στον Πίνακα 1.1 δίνονται δείκτες και μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συχνά στην ανάλυση των χαμηλών παροχών.

Πίνακας 1. 1 Δείκτες που χρησιμοποιούνται συχνά στην ανάλυση χαμηλών παροχών. (WMO, 2008)

Δείκτης	Ιδιότητες που περιγράφει	Μορφή δεδομένων που απαιτούνται	Εφαρμογές
Μέση απορροή	Αριθμητικός μέσος όρος της χρονοσειράς απορροών	Ημερήσιες, Μηνιαίες χρονοσειρές απορροών	Εκτίμηση υδατικών πόρων
Συντελεστής διακύμανσης ετήσιας μέσης απορροής	Τυπική απόκλιση μέσης ετήσιας απορροής δια την μέση ετήσια ροή	Ετήσιες μέσες παροχές	Κατανόηση της υφιστάμενης υπερετήσιας μεταβλητότητας, ορισμός των αναγκών σε αποθήκευση και μεταφορά.

Καμπύλη διάρκειας απορροής	Ποσοστό χρόνου κατά το οποίο υπερβαίνεται μια δεδομένη τιμή απορροής	Ημερήσιες χρονοσειρές απορροών ή χρονοσειρές απορροών που προκύπτουν από τους μέσους όρους διαφόρων διαστημάτων ημερών, εβδομάδων κτλ.	Κατηγοριοποίηση λεκανών απορροής, νομιμοποίηση εξαγωγών νερού ή εισροών, υδροηλεκτρικός σχεδιασμός.
Σειρές ετήσιων ελαχίστων	Ελάχιστες παροχές κάθε έτους (για μια δεδομένη διάρκεια)	Ετήσιες ελάχιστες παροχές	Περίοδος επαναφοράς ξηρασίας, προκαταρκτικός σχεδιασμός μεγάλων υδατικών συστημάτων,
Διάρκεια ελλειμμάτων	Η συχνότητα με την οποία η απορροή βρίσκεται κάτω από μια τιμή απορροής κατώφλι για δεδομένη διάρκεια.	Περίοδοι χαμηλών παροχών που εξάγονται από το υδρογράφημα ύστερα από στατιστική επεξεργασία των διαρκειών	Σύνθετα προβλήματα που αφορούν την ποιότητα του νερού, γενική ένδειξη της συχνότητας ξηρασιών
Όγκος ελλειμμάτων	Συχνότητα της απαίτησης δεδομένου όγκου νερού που απαιτείται για να διατηρηθεί η απορροή πάνω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι απορροής.	Το ίδιο με το παραπάνω με τη διαφορά ότι η ανάλυση επικεντρώνεται στον όγκο κάτω από μια τιμή απορροής κατώφλι	Προκαταρκτικός σχεδιασμός ρυθμιστικών ταμιευτήρων, γενική ένδειξη της συχνότητας ξηρασιών
Δείκτες ύφεσης	Ρυθμός μείωσης του κατιόντα κλάδου του υδρογραφήματος	Ημερήσιες παροχές κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων	Βραχυπρόθεσμες προβλέψεις, υδρογεωλογικές μελέτες, μοντελοποίηση
Δείκτης βασικής απορροής	Ποσοστό της συνολικής απορροής που προέρχεται από τους πόρους που αποθηκεύονται στη λεκάνη απορροής	Ημερήσιες παροχές	Υδρογεωλογικές μελέτες, προκαταρκτική εκτίμηση επαναφόρτισης του υδροφορέα

### 1.3 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας.

Απώτερος στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι να συνεισφέρει, ως ένα βαθμό, στην καλύτερη κατανόηση των γεγονότων ξηρασίας-χαμηλών παροχών και των χαρακτηριστικών τους. Πιο συγκεκριμένα αυτό επιχειρείται, μέσα από την ανάλυση

των χαμηλών παροχών στην λεκάνη απορροής του ποταμού Γερμασόγεια στην Κύπρο, η οποία αποσκοπεί :

- Στον υπολογισμό δεικτών με τους οποίους γίνεται μια πρώτη αναγνώριση των γεγονότων και της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων.
- Στην ανάλυση της συχνότητας χαμηλών παροχών μέσα από την κατασκευή της καμπύλης διάρκειας απορροής.
- Στον υπολογισμό των ελλειμμάτων και των χαρακτηριστικών τους με τη βοήθεια της μεθόδου κατωφλιού.
- Στην διερεύνηση για την εξακρίβωση και την επιλογή της πιο αμερόληπτης μεθόδου συνένωσης γεγονότων για την παραγωγή ανεξάρτητων γεγονότων ξηρασίας.
- Στην διενέργεια πιθανοθεωρητικής ανάλυσης και εξαγωγή καμπυλών όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας. Αυτό σε συνδυασμό με τα δύο προηγούμενα αποσκοπεί στο να δώσει χρήσιμες πληροφορίες για την ευαισθησία της μεθόδου κατωφλιού στην παραγωγή καμπυλών όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας.

Η γνώση σημαντικών πληροφοριών για τα ελλείμματα (και τα χαρακτηριστικά τους) και τις χαμηλές παροχές, μπορεί να αξιοποιηθεί σε πρακτικό επίπεδο για τον ολοκληρωμένο και σωστό σχεδιασμό υδροτεχνικών έργων αλλά και την ολοκληρωμένη μελέτη διαχείρισης υδατικών πόρων.

#### 1.4 Διάρθρωση διπλωματικής.

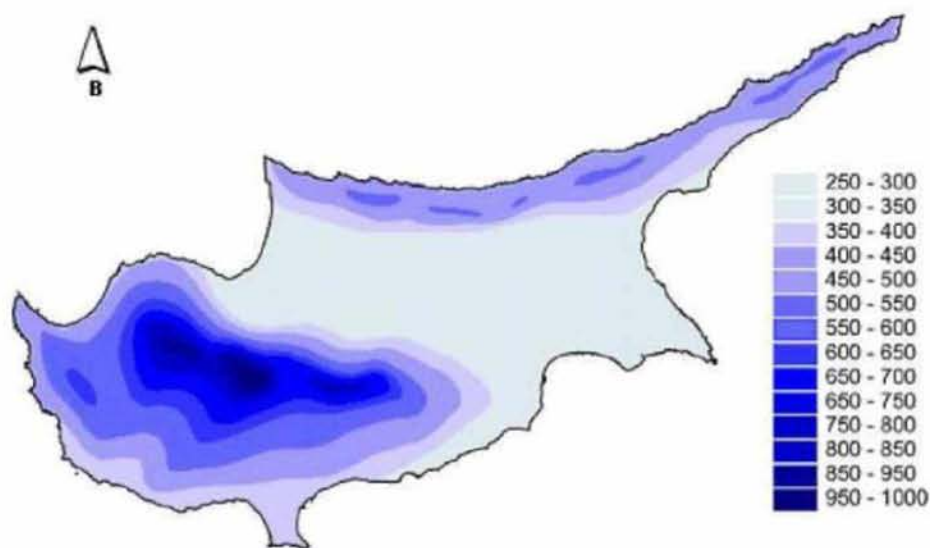
Σε πρώτο στάδιο, Κεφάλαιο 2, δίνονται κλιματολογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία για την λεκάνη απορροής του ποταμού Γερμασόγεια στην Κύπρο. Ακόμη παρουσιάζονται τα δεδομένα. Στο Κεφάλαιο 3, περιγράφεται η μεθοδολογία με την οποία υπολογίστηκαν κάποιοι δείκτες με τη βοήθεια των οποίων έγινε μια πρώτη αναγνώριση των γεγονότων ξηρασίας, της συχνότητας κάποιων χαμηλών παροχών, της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων αλλά και μια περιγραφή της γενικής συμπεριφοράς της λεκάνης σε καθεστώς χαμηλών παροχών. Στο ίδιο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη διερεύνηση ανάμεσα σε τρεις μεθόδους έτσι ώστε να βρεθεί ποια είναι η πιο κατάλληλη μέθοδος για να υπολογιστούν τα ελλείμματα ενώ περιγράφεται ακόμη και η διαδικασία υπολογισμού των ελλειμμάτων, για τα ποσοστημόρια απορροής 50 και 70, για σταθερό, εποχικά, μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο. Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφονται με λεπτομέρεια η μεθοδολογία για την πιθανοθεωρητική ανάλυση. Αναφέρονται στοιχεία για τη μέθοδο των ροπών, για τις θεωρητικές και εμπειρικές κατανομές, για τον στατιστικό έλεγχο Kolmogorov-Smirnov. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα, ύστερα από την εφαρμογή των μεθοδολογιών που περιγράφηκαν στα Κεφάλαια 3 και 4. Στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάζονται συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα διπλωματική.

## 2. Περιοχή Μελέτης

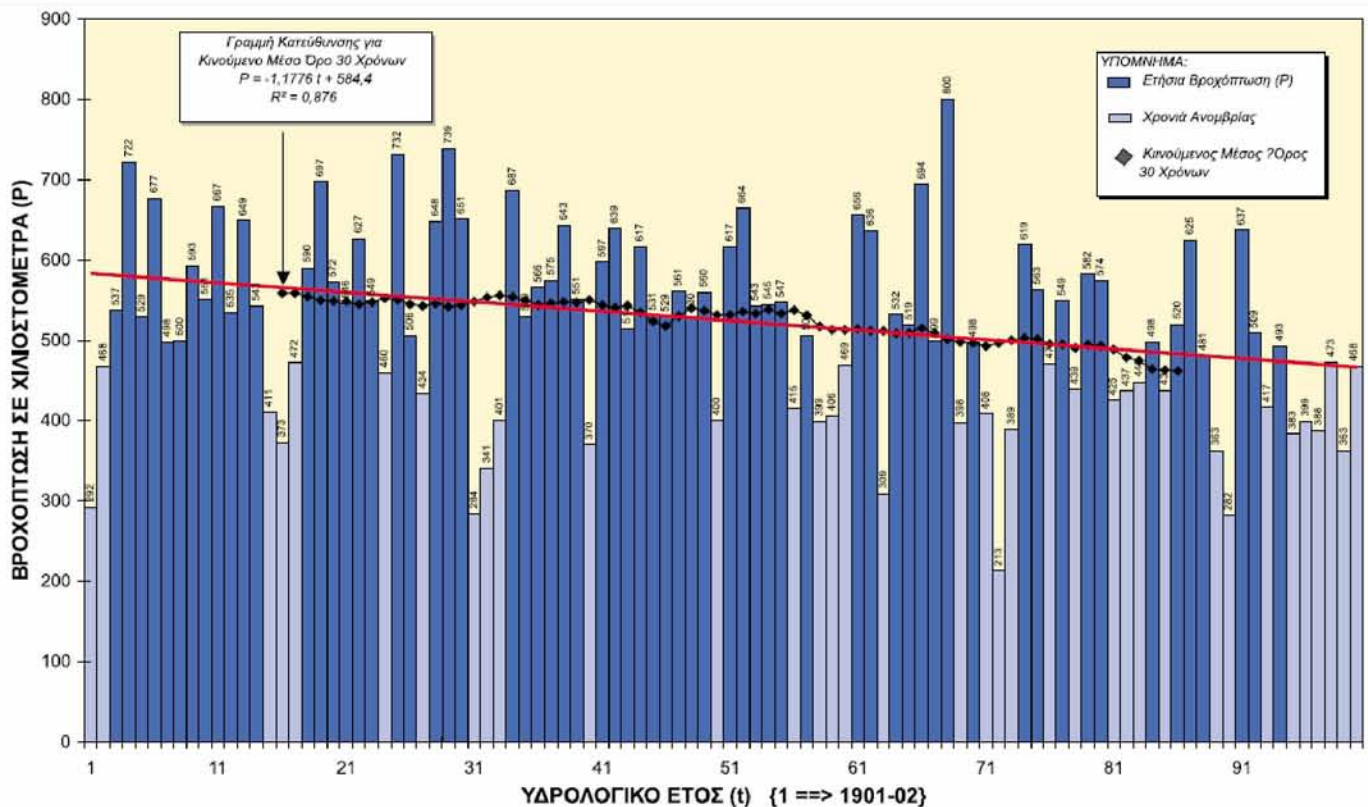
Η λεκάνη απορροής η οποία μελετάται στην παρούσα διπλωματική είναι η λεκάνη απορροής του ποταμού Γερμασόγεια, η οποία βρίσκεται στην Κύπρο.

### 2.1 Κλιματολογικά στοιχεία για την Κύπρο.

Η Κύπρος βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της μεσογείου και χαρακτηρίζεται από έντονο μεσογειακό κλίμα. Υπάρχουν συχνές μεταβολές στην θερμοκρασία, στη βροχόπτωση και γενικότερα στον καιρό. Τα καλοκαίρια είναι ξερά και διαρκούν από τα μέσα Μαΐου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου, οι χειμώνες είναι βροχεροί και διαρκούν από το Νοέμβριο έως τα μέσα Μαρτίου, ενώ το φθινόπωρο και η άνοιξη είναι πολύ σύντομα και με γρήγορες αλλαγές στις καιρικές συνθήκες. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 468 χιλιοστόμετρα αλλά η κατανομή της βροχόπτωσης είναι ανομοιόμορφη τόσο γεωγραφικά όσο και διαχρονικά. Συχνά παρατηρούνται ανομβρίες δύο ή τριών συνεχόμενων ετών. Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται γραφικά η κατανομή της βροχόπτωσης χωρικά ενώ στο Σχήμα 2.2 φαίνεται η ετήσια βροχόπτωση της Κύπρου για τριάντα χρόνια.



Σχήμα 2. 1 Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) (Πηγή: ιστοσελίδα της Κυπριακής Δημοκρατίας, τμήμα αναπτύξεως υδάτων)



Σχήμα 2. 2 Ετήσια Βροχόπτωση Κύπρου και κυλιόμενος μέσος, 30 χρόνων. Με έντονο μπλε απεικονίζεται η ετήσια βροχόπτωση. Με απαλό μπλε απεικονίζονται τα χρόνια ανομβρίας. Η μαύρη γραμμή με τα αστεράκια απεικονίζει το κυλιόμενο μέσο. Η κόκκινη γραμμή είναι η γραμμή κατεύθυνσης για τον κυλιόμενο μέσο όρο με εξίσωση  $P = -1,1776 * t + 584,4$  και συντελεστή συσχέτισης  $R^2 = 0,876$ . (Φράγματα της Κύπρου, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Τμήμα αναπτύξεως υδάτων, Κυπριακή Δημοκρατία, 2001)

Από το 1960 και μετά, η Κυπριακή Δημοκρατία έχει αναπτύξει μια εντυπωσιακή πολιτική στην ανάπτυξη υδατικών πόρων. Αυτό αποδεικνύεται με την σύνδεση κάθε οικιστικής και βιομηχανικής μονάδας με διασωληνομένο νερό καλής ποιότητας που πληροί τα ευρωπαϊκά πρότυπα αλλά και την κατασκευή περισσότερων από 105 φραγμάτων και υδατοδεξαμενών. Απ' αυτά τριάντα επτά είναι μεγάλα φράγματα με χωρητικότητα 286 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων από τα οποία τρία είναι εμπλουτιστικά-αντιπλημμυρικά. Τα υπόλοιπα είναι σαράντα δύο μικρά φράγματα με χωρητικότητα 16,1 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού από τα οποία 32 είναι εμπλουτιστικά-αντιπλημμυρικά και τέλος υπάρχουν και 26 εξωποτάμιες δεξαμενές με χωρητικότητα 2,5 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού. Το 81% είναι χωμάτινα ή λιθόρριπα ενώ το υπόλοιπο 19% είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα.

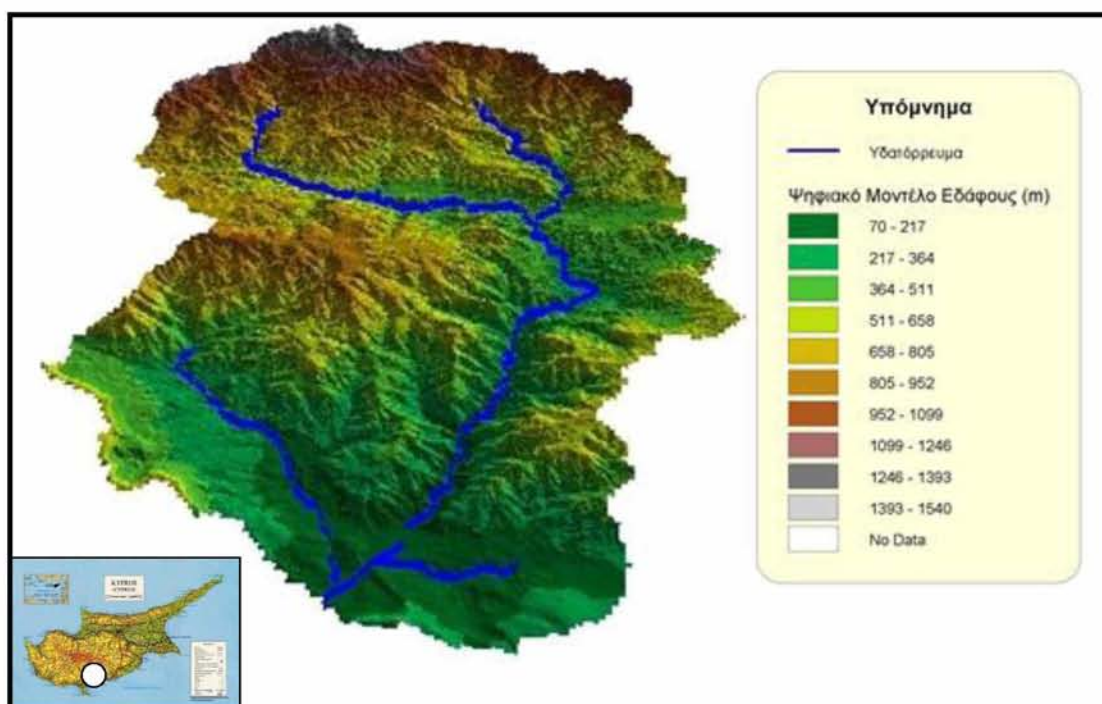
Το νερό από τα φράγματα χρησιμοποιείται κυρίως για υδρευτικούς και αρδευτικούς σκοπούς. Κάποιες μικρές ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται και για βιομηχανικούς σκοπούς.

Παρά το έργο το οποίο συντελέστηκε η μείωση της βροχόπτωσης και της εισροής νερού στα φράγματα, είχε ως αποτέλεσμα και τη μείωση στις διαθέσιμες ποσότητες νερού για ύδρευση και άρδευση με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν προβλήματα σ' όλους τους τομείς δραστηριοτήτων και να υπάρχουν περιορισμοί στην παροχή νερού.

## 2.2 Υδρογεωλογικά στοιχεία για την λεκάνη απορροής της Γερμασόγειας.

Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Γερμασόγεια βρίσκεται στη νότια πλευρά της Κύπρου και διοχετεύεται στη θάλασσα σε ένα σημείο περίπου 5 km ανατολικά της πόλης της Λεμεσού. Η έκταση της λεκάνης απορροής είναι 175 km<sup>2</sup> και το υψόμετρό της είναι περίπου 1400 m πάνω από την μέση στάθμη της θάλασσας. Το μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης απορροής αποτελείται από πυριγενή πετρώματα, αλλοιωμένο βασάλτη και λάβες, ενώ τα κατώτερα στρώματα από ασβεστόλιθο και ιλή.

Ο ετήσιος μέσος όρος κατακρήμνισης πάνω από τη λεκάνη είναι 638 mm, κυμαινόμενος από 450 mm κοντά στην ακτή μέχρι 850 mm στα ορεινά. Η ετήσια μέση απορροή της Γερμασόγειας εκτιμάται σε 22,5 εκατομμύρια m<sup>3</sup>, 65% της οποίας δημιουργείται κατά την διάρκεια του χειμώνα. Εντός των 5 km από την ακτή, σχηματίζεται μια αμμώδης κοίτη με συγκέντρωση ιλύος σημαντικού πάχους, καθιστώντας την μεγάλης τοπικής σημασίας για την εκμετάλλευση του εδαφικού νερού.



Σχήμα 2. 3 Ψηφιακή απεικόνιση της λεκάνης απορροής της Γερμασόγειας.

Το 1969 κατασκευάστηκε στην λεκάνη απορροής χωμάτινο φράγμα με μέγιστη αποθηκευτική χωρητικότητα ταμιευτήρα 13,6 εκατομμυρίων m<sup>3</sup>. Το φράγμα συγκεντρώνει και αποθηκεύει την απορροή της άνω λεκάνης της Γερμασόγειας, η οποία έχει έκταση 156,7 km<sup>2</sup>.

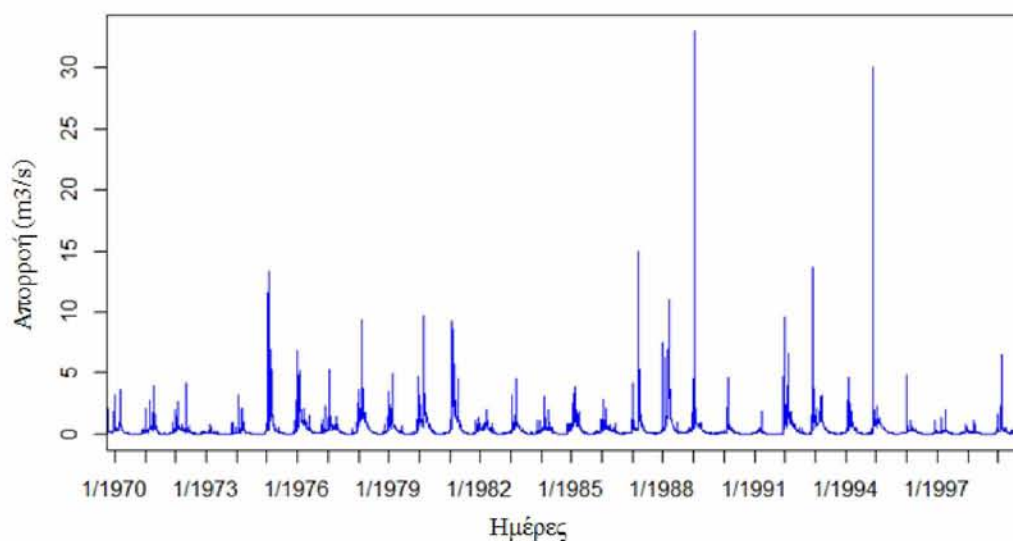
Σκοπός του φράγματος είναι η τροφοδότηση του τοπικού οικιακού δικτύου της ευρύτερης περιοχής της Λεμεσού, καθώς και η άρδευση της περιοχής του Ακρωτηρίου δυτικά της Λεμεσού. Παρακάτω δίνεται μια εικόνα στην οποία φαίνεται το εν λόγω φράγμα.



Εικόνα 2. 4 Φράγμα Γερμασόγειας. (Google earth, [Computer Software], 2015)

### 2.3 Δεδομένα περιοχής μελέτης

Για τη μελέτη της ανάλυσης των χαμηλών παροχών στην λεκάνη απορροής της Γερμασόγειας χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα απορροής 30 χρόνων. Η χρονική περίοδος που καλύπτουν είναι από το υδρολογικό έτος 1969-1970 μέχρι το έτος 1998-1999. Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται το υδρογράφημα απορροής της λεκάνης απορροής για την παραπάνω περίοδο.



Σχήμα 2. 5 Υδρογράφημα απορροής της λεκάνης απορροής Γερμασόγειας για την περίοδο 1970-1999.

Ακόμη στον Πίνακα 2.1 δίνονται κάποια στατιστικά στοιχεία για τα δεδομένα απορροής.

Πίνακας 2. 1 Στατιστικά χαρακτηριστικά δεδομένων

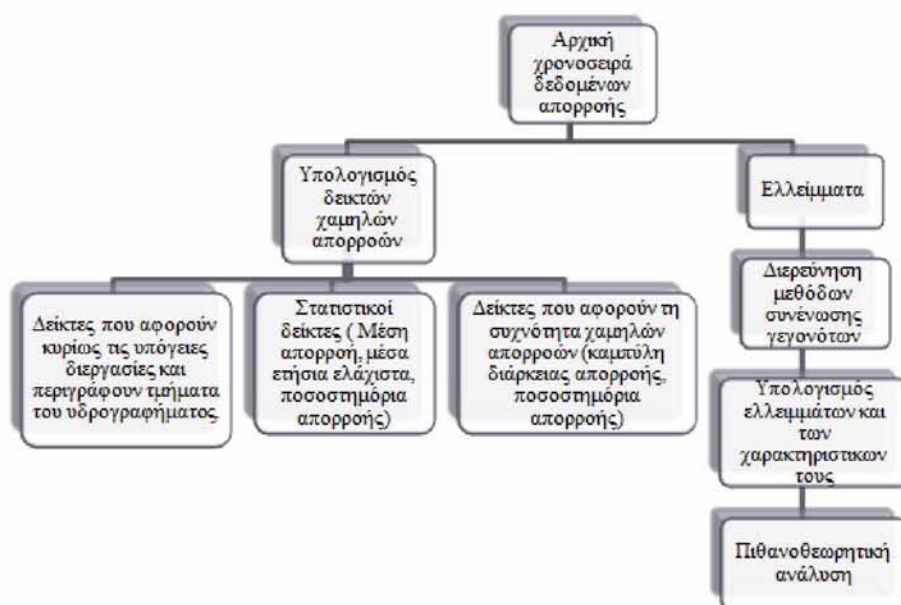
Στατιστικά Χαρακτηριστικά		
Μέσος όρος	0,376	$m^3/s$
Διάμεσος	0,089	$m^3/s$
Μέγιστη τιμή	33	$m^3/s$
Ελάχιστη τιμή	0,001	$m^3/s$
Διασπορά	1,012	$m^3/s$
Ασυμετρία	12,428	-

Η μέγιστη τιμή απορροής παρατηρήθηκε το έτος 1989 την ημέρα 09/01/1989. Από τα στατιστικά χαρακτηριστικά παρατηρείται ότι τα δεδομένα παρουσιάζουν μεγάλη ασυμετρία και μη ομαλή κατανομή των τιμών. Υπάρχει ακόμη μεγάλο εύρος τιμών απορροής.



### 3. Δείκτες και ελλείμματα

Η ανάλυση των χαμηλών παροχών, στην παρούσα διπλωματική, στην λεκάνη απορροής του ποταμού Γερμασόγεια ξεκινάει με το υπολογισμό κάποιων δεικτών. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζονται, χρησιμοποιώντας την αρχική χρονοσειρά, αρχικά οι δείκτες βασικής απορροής και οι σταθερές ύφεσης. Μ' αυτούς είναι δυνατή η επεξεργασία, η περιγραφή και η ποσοτικοποίηση τμημάτων του υδρογραφήματος όπως ο διαχωρισμός της βασικής απορροής από την συνολική και η ποσοτικοποίηση του κατιόντα κλάδου του υδρογραφήματος. Έπειτα για μια γρήγορη εκτίμηση των διαθέσιμων υδατικών πόρων υπολογίζονται στατιστικοί δείκτες όπως μέση απορροή, μέσα ετήσια ελάχιστα και ποσοστημόρια απορροής. Στη συνέχεια για την εκτίμηση της συχνότητας των χαμηλών παροχών κατασκευάζεται η καμπύλη διάρκειας απορροής αλλά και τα ποσοστημόρια απορροής που αναφέρθηκαν και πριν. Έπειτα, από την ολοκλήρωση του υπολογισμού όλων αυτών των δεικτών, από την αρχική σειρά δεδομένων απορροής υπολογίστηκαν τα ελλείμματα και τα χαρακτηριστικά τους. Μετά τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών και με τη χρησιμοποίηση ενός εξ αυτών (όγκος ελλειμμάτων) επιχειρήθηκε τέλος μια πιθανοθεωρητική ανάλυση. Όλα τα παραπάνω παρουσιάζονται και στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 3.1.



Σχήμα 3. 1 Διάγραμμα ροής διπλωματικής εργασίας.

### 3.1 Δείκτης Βασικής Απορροής (Base flow index-BFI)

Ο πρώτος δείκτης που προσδιορίστηκε και ο οποίος δίνει μια πρώτη εκτίμηση για την ανάλυση μας είναι ο δείκτης βασικής απορροής. Οι διάφορες μέθοδοι διαχωρισμού του υδρογραφήματος χωρίζουν τη συνολική απορροή σε μια γρήγορη συνιστώσα και σε μια πιο καθυστερημένη με την τελευταία να αποτελεί στην ουσία την βασική απορροή, η οποία είναι αποτέλεσμα των υδατικών πόρων που αποθηκεύονται στο έδαφος μιας λεκάνης απορροής. Οι δείκτες βασικής απορροής εξαρτώνται από παράγοντες όπως οι ιδιότητες του εδάφους, και γενικότερα της γεωλογίας της περιοχής, όπως επίσης και από το ποσοστό των λιμνών που υπάρχουν κλπ.

Υψηλές τιμές του δείκτη φανερώνουν πως στο ποτάμι έχει σημαντική συνεισφορά ο υπόγειος υδροφορέας και έτσι μπορεί να αντέξει σε ξηρές περιόδους, ενώ χαμηλές τιμές αντιστοιχούν σε εφήμερα ποτάμια. Τιμές του δείκτη που αντιστοιχούν σε εφήμερα ποτάμια, με αδιαπέραστα εδάφη, είναι 0,15-0,20 ενώ τιμές κοντά στο 0,95 αντιστοιχούν σε ποτάμια που ανήκουν σε λεκάνες απορροής με υψηλή ικανότητα αποθήκευσης νερού και τέτοια ποτάμια έχουν μια πολύ σταθερή απορροή. (WMO, 2008). Δείκτες βασικής απορροής αναπτύχθηκαν αρχικά στην ανάλυση χαμηλών παροχών στο Ηνωμένο Βασίλειο (Gustard, 1983; Gustard and others, 1992) για την κατηγοριοποίηση των διαφόρων τύπων εδαφών.

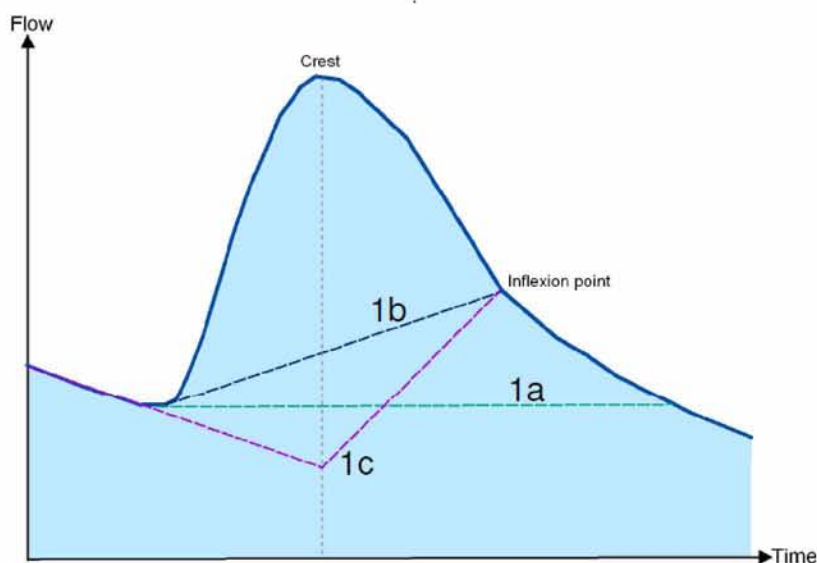
Αποτελεί λοιπόν έναν γενικό δείκτη για το πώς ανταποκρίνεται μια λεκάνη απορροής, δηλαδή, τι ποσοστό της συνολικής απορροής είναι βασική τι ποσοστό άμεση. Συγκεκριμένα ο δείκτης αυτός μας δίνει πληροφορίες για το ποσοστό της βασικής απορροής που συμμετέχει στη συνολική απορροή.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η μέθοδος εξομαλυσμένων ελαχίστων (smoothed minima technique). Στη μέθοδο αυτή όλη η χρονοσειρά των ημερήσιων απορροών χωρίζεται σε διαστήματα των πέντε ημερών. Στη συνέχεια από κάθε διάστημα επιλέγονται οι ελάχιστες τιμές. Έπειτα προσδιορίζονται τα σημεία καμπής ως εξής: αν μια κεντρική τιμή με τις διπλανές τιμές ικανοποιούν τη συνθήκη  $0.9 * (\text{κεντρική τιμή}) \leq (\text{διπλανές τιμές})$  τότε η κεντρική τιμή γίνεται σημείο καμπής. Αφού προσδιοριστούν τα σημεία καμπής τότε ενώνονται με ευθείες γραμμές και έτσι προκύπτει το υδρογράφημα της βασικής απορροής. Για κάθε ημέρα υπολογίζεται η τιμή της βασικής απορροής μέσω γραμμικής παρεμβολής μεταξύ των σημείων καμπής. Ο όγκος της βασικής απορροής υπολογίζεται ως το γινόμενο του αθροίσματος των τιμών βασικής απορροής για κάθε μέρα επί το αντίστοιχο χρονικό διάστημα εκφρασμένο σε δευτερόλεπτα ανά ημέρα. Ο συνολικός όγκος υπολογίζεται ανάλογα. Τελικά ο δείκτης βασικής απορροής είναι ο λόγος του όγκου βασικής απορροής προς τον όγκο συνολικής απορροής.

Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι υπολογισμού της βασικής απορροής, που προτάθηκαν από τους Nathan και McMahon (1990).

Στην παρούσα διπλωματική υπολογίστηκαν, με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω και με τη βοήθεια του λογισμικού «R-project», οι δείκτες βασικής

απορροής για κάθε έτος ξεχωριστά και ένας συνολικός δείκτης απορροής για όλη την χρονοσειρά.



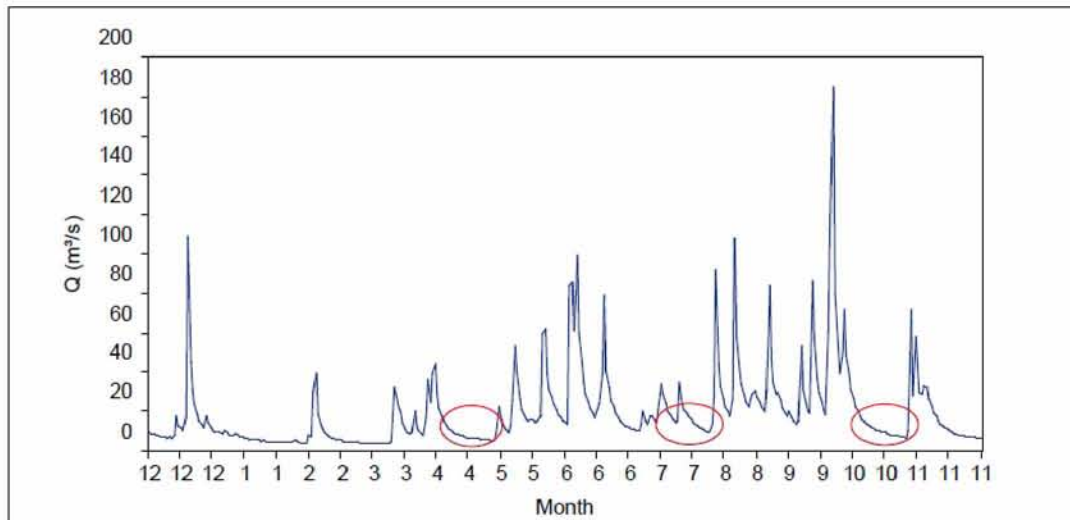
Σχήμα 3. 2 Απεικόνιση γραφικού διαχωρισμού της βασικής απορροής με 3 διαφορετικούς τρόπους : 1a) Μέθοδος σταθερής απορροής 1b) Μέθοδος σταθερής κλίσης 1c) Μέθοδος των κοίλων.

### 3.2 Ανάλυση Ύφεσης (Recession analysis)

Ο επόμενος δείκτης που προσδιορίστηκε είναι η σταθερά ύφεσης η οποία προσδιορίστηκε μέσω της ανάλυσης ύφεσης.

Κατά την ανάλυση ύφεσης επιχειρείται να προσδιοριστεί η βαθμιαία μείωση του νερού που αποθηκεύεται στη λεκάνη απορροής και η οποία αντανακλάται στον κατιόντα κλάδο του υδρογραφήματος (βλ. Σχήμα 3.3) και ποσοτικά εκφράζεται μέσω της σταθεράς ύφεσης. Ποτάμια με υψηλές τιμές σταθερών ύφεσης αντιστοιχούν σε ποτάμια με μεγάλη επιφανειακή απορροή τα οποία ανήκουν σε λεκάνες απορροής με αδιαπέραστα εδάφη και χαμηλή αποθηκευτική ικανότητα, ενώ αντίθετα χαμηλές τιμές σταθερών ύφεσης αντιστοιχούν σε ποτάμια στα οποία υπάρχει μεγάλη συνεισφορά από τον υπόγειο υδροφόρα.

Η ανάλυση ύφεσης βρίσκει εφαρμογή στην πρόβλεψη τιμών χαμηλών παροχών, στην εκτίμηση παραμέτρων-μεταβλητών χαμηλών παροχών σε περιοχές χωρίς δεδομένα καταγραφής.



Σχήμα 3. 3 Αναγνώριση των περιόδων ύφεσης σε συνεχή χρονοσειρά απορροών (δεδομένα από το υδρολογικό έτος 1969/70 από τον ποταμό Ngaruroro στη Νέα Ζηλανδία) (Manual on low flow estimation and prediction, WMO, 2008)

Οι κατιόντες κλάδοι του υδρογραφήματος αναπαριστούν τα διαφορετικά στάδια στη διαδικασία σχηματισμού της απορροής του ποταμού. Αρκετές φορές οι περίοδοι ύφεσης διακόπτονται από περιόδους στις οποίες έχουμε βροχοπτώσεις. Αυτό μπορεί να επηρεάσει τη μεταβλητότητα της σταθεράς ύφεσης. Απότομες καμπύλες παρατηρούνται κυρίως σε εποχές με μεγάλους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής. Η μεγάλη μεταβλητότητα των σταθερών ύφεσης έχει ως αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για τον υπολογισμό τους.

Στη παρούσα διπλωματική εφαρμόστηκαν δύο : Η πρώτη επικεντρώνεται στη κατασκευή μιας καμπύλης για όλους τους κατιόντες κλάδους MRC(master recession curve) και η δεύτερη στην κατασκευή ξεχωριστής καμπύλης για κάθε κατιόν κλάδο IRS(individual recession segments).

Στη πρώτη μέθοδο τα δεδομένα συγκεντρώνονται και η παροχή σε μια χρονική στιγμή πλοτάρεται έναντι της παροχής στην αμέσως επόμενη χρονική στιγμή και μια καμπύλη εφαρμόζεται στα δεδομένα. Αν ο ρυθμός ύφεσης ακολουθεί εκθετική μείωση τότε προκύπτει μια ευθεία γραμμή και η σταθερά ύφεσης μπορεί να υπολογιστεί μέσω της κλίσης της ευθείας (με τη προϋπόθεση ότι η ευθεία έχει σημείο τομής το σημείο (0,0)). Άρα η κλίση δίνεται από τη σχέση :

$$k = Q_t / Q_{t-1}$$

Και η σταθερά ύφεσης από τη σχέση :

$$C = - \Delta t / \ln(k)$$

Στη δεύτερη μέθοδο (IRS) εφαρμόζεται ένα μοντέλο ύφεσης για κάθε επιμέρους κατιόντα κλάδο ξεχωριστά. Στη συνέχεια στατιστικά δείγματα των παραμέτρων των επιμέρους μοντέλων που εφαρμόστηκαν, για παράδειγμα μέσος και μέτρο διασποράς της σταθεράς ύφεσης, χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν τη συνολική συμπεριφορά της λεκάνης απορροής όσον αφορά την ύφεση.

Και στις δύο περιπτώσεις αυτό που ενδιαφέρει αρχικά είναι να βρεθούν οι περίοδοι ύφεσης ανάμεσα σε μια συνεχή σειρά απορροών. Είναι σημαντικό να καθοριστεί η περίοδος των ημερών για την οποία θα θεωρείται ότι υπάρχει ύφεση. Αυτό γίνεται καθορίζοντας μία σταθερή αρχική τιμή η οποία περιορίζει την ύφεση κάτω από μία προκαθορισμένη τιμή απορροής κατώφλι ενώ μια μεταβλητή τιμή μπορεί να οριστεί για μια απορροή μετά από μια βροχόπτωση. Το διάστημα των ημερών καθορίστηκε έπειτα από δοκιμές για διάφορα όρια.

### 3.3 Μέση απορροή (mean flow)

Ο μέσος όρος απορροής, ή αλλιώς μέση απορροή, χρησιμοποιείται συχνά στην ανάλυση χαμηλών παροχών και δίνει μια γενική εκτίμηση της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων. Ακόμη ο δείκτης αυτός παρέχει μια εκτίμηση (γενική) για το σύνολο των διαθέσιμων υδατικών πόρων.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των ημερήσιων απορροών ο δείκτης αυτός υπολογίστηκε αθροίζοντας τις τιμές των απορροών και διαιρώντας με το αντίστοιχο πλήθος.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική υπολογίστηκαν η μέση ροή για όλη τη χρονοσειρά, για κάθε έτος, για κάθε μήνα και για κάθε μήνα συνολικά για όλη τη χρονοσειρά.

Έπειτα από τον υπολογισμό των δεικτών βασικής απορροής και μέσης απορροής μπορεί να εξεταστεί τι ποσοστό της μέσης απορροής είναι η βασική ή και το αντίστροφο.

### 3.4 Μέσα ετήσια ελάχιστα (mean annual minima)

Στην ανάλυση χαμηλών παροχών συχνά προσδιορίζονται τα μέσα ετήσια ελάχιστα. Οι δείκτες αυτοί υπολογίζονται για διάφορα διαστήματα ημερών (π.χ. 7,9,10 κτλ). Για τα διαστήματα αυτά υπολογίζονται οι μέσοι όροι για όλο το έτος και επιλέγονται οι ελάχιστοι μέσοι όροι για κάθε έτος.

Στην παρούσα διπλωματική υπολογίζονται με τον παραπάνω τρόπο τα μέσα ετήσια ελάχιστα για διαστήματα ημερών : μία ημέρα, επτά, τριάντα και ενενήντα ημερών.

### 3.5 Ποσοστημόρια απορροής (Quantiles of flow)

Τα ποσοστημόρια απορροής αποτελούν δείκτες που χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στην ανάλυση των χαμηλών παροχών. Το ποσοστημόριο απορροής ορίζεται ως η τιμή απορροής η οποία υπερβαίνεται κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό. Για παράδειγμα η  $Q_{95}$  είναι η τιμή που ξεπερνιέται κατά 95%.

Μπορεί να προσδιοριστεί ταξινομώντας τις τιμές απορροών (σε αύξουσα ή φθίνουσα σειρά) και βρίσκοντας ποια είναι η τιμή που υπερβαίνεται κατά το ποσοστό που ενδιαφέρει.

Τα ποσοστημόρια απορροής χρησιμεύουν για μια γρήγορη εκτίμηση της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων καθώς και το συνολικό ποσό του νερού που είναι διαθέσιμο και σε τέτοιες περιπτώσεις ποσοστημόρια απορροής Q90 και Q95 δίνουν καλές εκτιμήσεις. Πολλές φορές όμως σε περιπτώσεις όπως για παράδειγμα παροχή νερού σε δίκτυα ύδρευσης όπου χρειάζεται να υπάρχει σταθερή εξαγωγή νερού από τον υπό μελέτη υδατικό πόρο τότε παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον η μεταβλητότητα των τιμών απορροής μέσα στους μήνες.

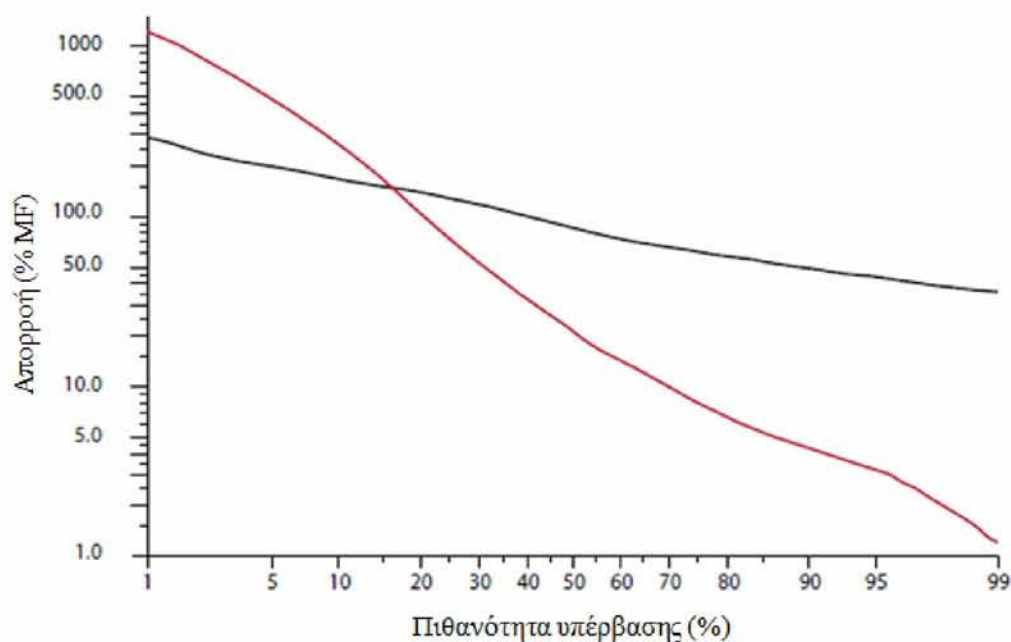
Ακόμη μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τη συχνότητα κάποιων τιμών απορροής που παρουσιάζουν ενδιαφέρον.

Τα ποσοστημόρια απορροής είναι δυνατόν να προσδιοριστούν για διάφορα χρονικά βήματα (ανά μήνα, ανά χρόνο κτλ). Στη παρούσα διπλωματική προσδιορίστηκαν τα ποσοστημόρια απορροής Q<sub>95</sub> , Q<sub>90</sub> , Q<sub>80</sub> , Q<sub>70</sub> , Q<sub>60</sub> , Q<sub>50</sub> , Q<sub>40</sub> , Q<sub>45</sub> , Q<sub>55</sub> για όλη τη χρονοσειρά ,για κάθε μήνα συνολικά για όλη τη χρονοσειρά.

### 3.6 Καμπύλη διάρκειας-απορροής (Flow duration curve)

Η καμπύλη αυτή αποτελεί ένα γράφημα της απορροής σε σχέση με την πιθανότητα υπέρβασης και συνήθως παράγεται από τις τιμές απορροής για όλη τη χρονοσειρά. Είναι απλή στην κατασκευή της και χρησιμοποιείται συχνά σε διάφορες εφαρμογές όπως : διαχείριση υδατικών πόρων, παροχή νερού σε δίκτυα ύδρευσης, παροχή νερού σε αρδευτικά δίκτυα, εξαγωγή νερού για ιχθυοκαλλιέργειες κ.α.

Η καμπύλη αυτή αποτελεί έναν από τους πιο συνήθεις τρόπους με τον οποίο μπορεί κανείς να πάρει πληροφορίες για το εύρος των απορροών (από χαμηλές παροχές που μπορούν να χαρακτηριστούν γεγονότα ξηρασίας μέχρι και παροχές που μπορεί να αποτελούν πλημμυρικές παροχές) και τη συχνότητα τους. Ακόμη, αυτή η καμπύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σύγκριση των υδρολογικών χαρακτηριστικών-διεργασιών διαφόρων λεκανών. Δηλαδή, μια λεκάνη απορροής η οποία είναι αδιαπέραστη και βασισμένη στην επιφανειακή απορροή η καμπύλη της θα είναι απότομη και με μεγάλη κλίση. Το αντίθετο συμβαίνει σε μια λεκάνη απορροής που βασίζεται στην βασική απορροή. Στο Σχήμα 3.4 φαίνονται δύο καμπύλες για δύο διαφορετικές λεκάνης απορροής. Μπορούν να κατασκευαστούν καμπύλες απορροής διάρκειας για διάφορα χρονικά πλαίσια (ετήσιες, μηνιαίες, καθημερινές) ανάλογα με το σκοπό της μελέτης.

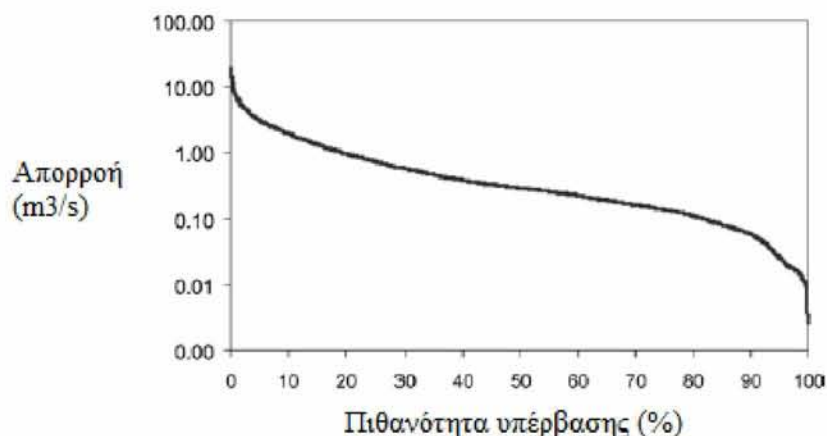


Σχήμα 3. 4 Καμπύλες διάρκειας-απορροής. Με κόκκινη γραμμή φαίνεται η καμπύλη μιας αδιαπέραστης λεκάνης απορροής βασισμένη στην επιφανειακή απορροή και με μαύρη γραμμή η καμπύλη μιας διαπερατής λεκάνης απορροής βασισμένη στην βασική απορροή. (WHS HydroTools)

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή της είναι απλή. Χρησιμοποιούνται όλα τα δεδομένα ημερήσιας απορροής των 30 χρόνων και για κάθε τιμή απορροής υπολογίζεται η τάξη της, ταξινομώντας τις κατά φθίνουσα σειρά, δηλαδή, η μεγαλύτερη τιμή απορροής θα είναι πρώτη στην τάξη και η μικρότερη τιμή απορροής η τελευταία στην τάξη. Έπειτα υπολογίζεται η πιθανότητα υπέρβασης με τη βοήθεια του τύπου :

$$E_{Qi} = \frac{i}{N}$$

Στη συνέχεια τοποθετούνται σε στήλες οι τιμές της απορροής και οι αντίστοιχες τιμές με την πιθανότητα υπέρβασης τους. Τέλος τα δεδομένα πλοττάρονται και παράγεται το γράφημα. Συνήθως ο άξονας των απορροών είναι σε λογαριθμική κλίμακα για να υπάρχει η δυνατότητα να φαίνεται στο γράφημα ένα μεγάλο εύρος απορροών. Από το γράφημα μπορεί να βρεθεί η παροχή για οποιαδήποτε πιθανότητα υπέρβασης και το αντίστροφο.



Σχήμα 3. 5 Παράδειγμα καμπύλης διάρκειας απορροής της Drammenselv στο Fiksum της Νορβηγίας. (Manual on low flow Estimation and Prediction, WMO, 2008)

### 3.7 Μεθοδολογία μεθόδων συνένωσης γεγονότων ξηρασίας - Υπολογισμός και ανάλυση ελλειμμάτων

Σ' αυτό το υποκεφάλαιο προσδιορίστηκαν τα ελλείμματα και τα χαρακτηριστικά τους. Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι υπολογισμού των ελλειμμάτων : η μέθοδος του κατωφλιού (threshold level method) και η μέθοδος του αλγορίθμου ακολουθίας μεγίστων (sequent peak algorithm). Στη παρούσα διπλωματική τα ελλείμματα υπολογίζονται με τη μέθοδο του κατωφλιού, για όριο σταθερό σε όλη τη χρονοσειρά για όριο μηνιαία μεταβαλλόμενο για όριο ημερήσια μεταβαλλόμενο και για όριο που μεταβάλλεται εποχιακά για ποσοστημόρια απορροής 50 και 70 %.

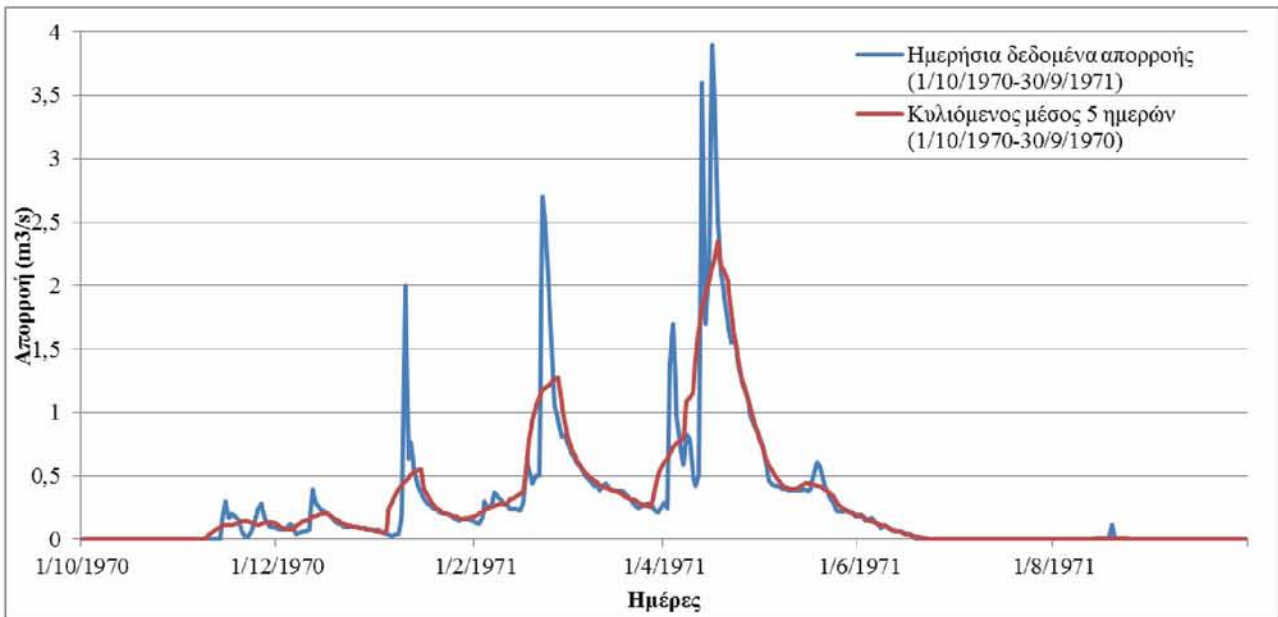
#### 3.7.1 Μέθοδοι συνένωσης γεγονότων

Αρκετές φορές εμφανίζονται ελλείμματα τα οποία διακόπτονται για πολύ μικρή διάρκεια. Για να αποφευχθεί η εξάρτηση μεταξύ αυτών των ελλειμμάτων, διότι διαφορετικά δεν θα μπορούσαν αυτά να χρησιμοποιηθούν σε κάποια μελέτη ελαχίστων η μεγίστων, χρησιμοποιήθηκαν τρεις μέθοδοι συνένωσης γεγονότων οι οποίες είναι : Κυλιόμενος μέσος (Moving average), Κριτήριο χρόνου μεταξύ των γεγονότων (Inter-event time criterion) και Κριτήριο χρόνου και όγκου μεταξύ των γεγονότων (Inter-event time and volume criterion). Μάλιστα έγινε διερεύνηση τόσο για το διάστημα των ημερών με το οποίο θα πρέπει να γίνει η συνένωση γεγονότων ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν περισσότερα ανεξάρτητα γεγονότα, όσο και για την καταλληλότερη από τις τρεις μεθόδους. Η διερεύνηση έγινε για σταθερό όριο για όλη τη χρονοσειρά για ποσοστημόρια απορροής πενήντα και εβδομήντα της εκατό (50% και 70%).

#### Κυλιόμενος μέσος (Moving Average) :

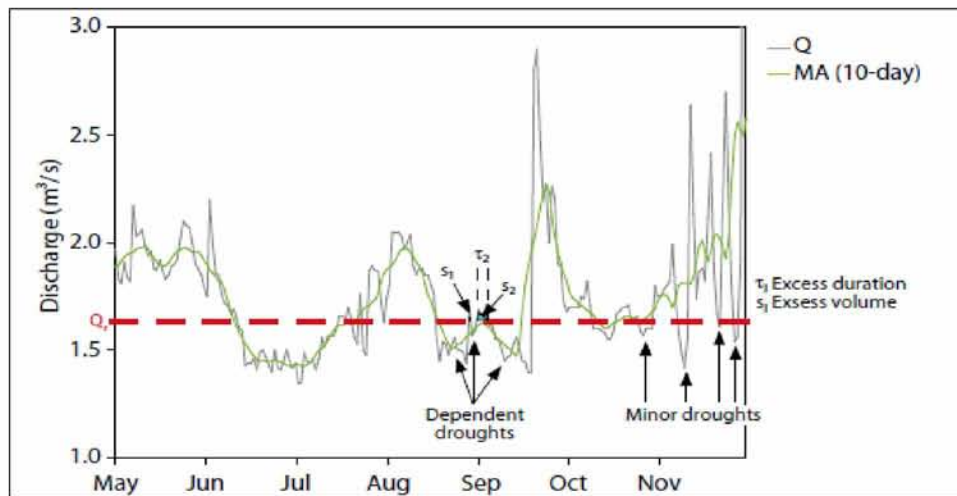
Στη μέθοδο αυτή καθορίζεται ένα φίλτρο διάρκειας  $n$  το οποίο εφαρμόζεται κατά μήκος όλης της χρονοσειράς παράγοντας έτσι μια καινούρια στην οποία κάθε τιμή είναι ο μέσος όρος των  $n$  προηγούμενων και  $n$  επόμενων τιμών.





Σχήμα 3. 6 Γραφική απεικόνιση της μεθόδου κυλιόμενος μέσος. Με μπλε γραμμή είναι το υδρογράφημα απορροής για τα ημερήσια δεδομένα απορροής ενώ με κόκκινη γραμμή είναι το υδρογράφημα απορροής που προέκυψε με εφαρμογή της μεθόδου για διάστημα πέντε ημερών. Η μέθοδος είναι για το υδρολογικό έτος 1970-71.

Μέθοδος Inter-event time criterion :



Σχήμα 3. 7 Απεικόνιση συνένωσης γεγονότων με τη μέθοδο του κυλιόμενου μέσου κα επεξήγηση των χαρακτηριστικών συνένωσης για τις μεθόδους: κριτήριο χρόνου και κριτήριο χρόνου και όγκου. (Manual on low flow Estimation and Prediction, WMO, 2008)

Στη μέθοδο αυτή ενώνονται γεγονότα τα οποία ικανοποιούν ένα κριτήριο χρόνου. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό ενώνονται γεγονότα με χαρακτηριστικά  $(d_i, v_i)$  και  $(d_{i+1}, v_{i+1})$  τα οποία το καθένα ξεχωριστά διαρκεί κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο ημερών (και τα δύο γεγονότα θα πρέπει να έχουν διάρκεια κάτω από το προκαθορισμένο όριο). Το νέο γεγονός λοιπόν θα έχει χαρακτηριστικά :

$$d_{pool} = d_i + d_{i+1}$$

$$v_{pool} = v_i + v_{i+1}$$

Μέθοδος Inter-event time and volume criterion :

Στη μέθοδο αυτή τα γεγονότα ενώνονται σύμφωνα με δύο κριτήρια : ένα κριτήριο που αφορά τις διάρκειες των γεγονότων και ένα που αφορά τους όγκους των ελλειμμάτων. Σύμφωνα με αυτά τα κριτήρια λοιπόν για να συνενωθούν δύο γεγονότα που διακόπτονται από μια περίοδο που η απορροή είναι πάνω από τη προκαθορισμένη τιμή απορροής κατώφλι θα πρέπει η διάρκεια της περιόδου που υπάρχει υπέρβαση του κατώφλιού να διαρκεί λιγότερο από ένα προκαθορισμένο όριο ημερών και ο λόγος του όγκου, του γεγονότος που υπερβαίνει το κατώφλι, προς τον όγκο του αμέσως προηγούμενου ελλείμματος να είναι κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο. Εφόσον ικανοποιούνται τα δυο κριτήρια τότε τα δύο γεγονότα ενώνονται και το νέο γεγονός θα έχει χαρακτηριστικά :

$$d_{pool} = d_i + d_{i+1} + \tau_i$$

$$V_{pool} = V_i + V_{i+1} - S_i$$

Όπου :  $\tau_i$  είναι η διάρκεια του γεγονότος που υπερβαίνει την τιμή απορροής κατώφλι

$S_i$  είναι ο όγκος του ελλείμματος του γεγονότος που υπερβαίνει την τιμή απορροής κατώφλι

Σ αυτή τη μεθοδολογία χρειάστηκε να γίνει διπλή διερεύνηση, δηλαδή, διερευνήθηκαν τόσο ποια διαστήματα ημερών είναι καταλληλότερα για την ένωση των γεγονότων αλλά και ποιος λόγος όγκων ελλειμμάτων είναι κατάλληλος.

### 3.7.2 Υπολογισμός και ανάλυση ελλειμμάτων

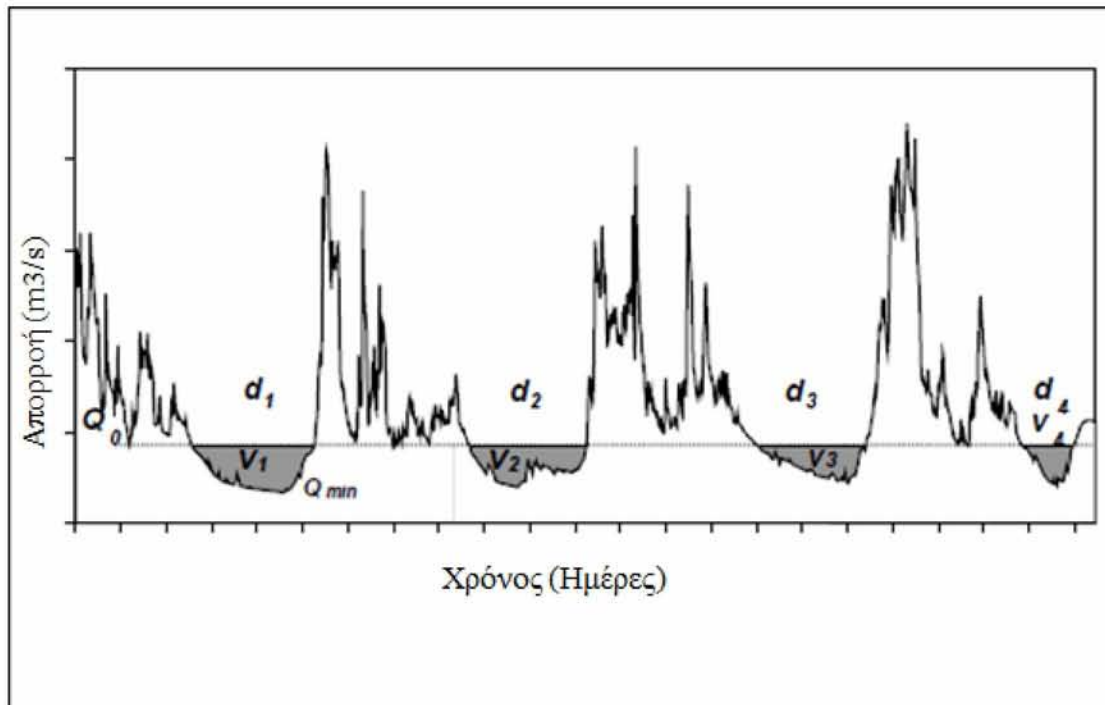
Σύμφωνα με τη μέθοδο κατώφλιού, ως ελλείμματα ή γεγονότα ξηρασίας χαρακτηρίζονται οι περίοδοι όπου η παροχή του ποταμιού βρίσκεται κάτω από μία συγκεκριμένη τιμή απορροής κατώφλι. Για να περιγραφούν επαρκώς τα ελλείμματα είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν τα εξής χαρακτηριστικά : η διάρκεια, ο όγκος, η ένταση, η ελάχιστη παροχή και η στιγμή πραγματοποίησης του γεγονότος.

Ως διάρκεια του ελλείμματος ( $d_i$ ) χαρακτηρίζεται η περίοδος στην οποία η τιμή απορροής βρίσκεται κάτω από το κατώφλι.

Ως όγκος ελλείμματος ( $v_i$ ) χαρακτηρίζεται το άθροισμα των παροχών που βρίσκονται κάτω από το κατώφλι για την αντίστοιχη διάρκεια του ελλείμματος.

Ως ένταση ελλείμματος ( $m_i$ ) χαρακτηρίζεται ο λόγος του όγκου του ελλείμματος προς την αντίστοιχη διάρκεια.

Η ελάχιστη παροχή ( $Q_{min}$ ) είναι η ελάχιστη τιμή παροχής που παρατηρείται σε ένα έλλειμμα.



Σχήμα 3. 8 Γραφική απεικόνιση των χαρακτηριστικών των ελλειμμάτων. (Manual on low flow-Estimation and prediction, WMO, 2008)

Ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο γίνεται η ανάλυση τα όρια μπορεί να καθορίζονται για διάφορα χρονικά πλαίσια. Εκτός από σταθερό όριο, είναι δυνατό να καθοριστούν και μηνιαία μεταβαλλόμενα όρια, ημερήσια μεταβαλλόμενα όρια και εποχιακά μεταβαλλόμενα όρια.

#### Σταθερό όριο:

Αρχικά υπολογίστηκαν τα ελλείμματα για σταθερό όριο απορροής σε όλη τη χρονοσειρά. Το όριο αυτό είναι ένα για όλη τη χρονοσειρά και είναι η τιμή απορροής που προκύπτει από το εκάστοτε ποσοστημόριο απορροής, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις τιμές της χρονοσειράς για όλη την περίοδο καταγραφής.

#### Εποχικά μεταβαλλόμενο όριο :

Σ αυτή τη περίπτωση τα ελλείμματα υπολογίζονται με βάση δύο όρια : ένα υγρής περιόδου (Οκτώβριο με Μάρτιο) και ένα ξηρής περιόδου (Απρίλιο με Σεπτέμβριο). Τα όρια αυτά είναι οι τιμές απορροής που προκύπτουν από το εκάστοτε ποσοστημόριο απορροής, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές για την υγρή ή ξηρή περίοδο, για όλη την περίοδο καταγραφής.

#### Μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο :

Σ' αυτήν την περίπτωση τα ελλείμματα υπολογίζονται για όριο το οποίο είναι διαφορετικό για κάθε μήνα. Τα όρια αυτά είναι οι τιμές απορροής που προκύπτουν από το εκάστοτε ποσοστημόριο, απορροής λαμβάνοντας υπ' όψιν τις τιμές του εκάστοτε μήνα για όλη την περίοδο καταγραφής.

#### Ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο :

Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα ελλείμματα υπολογίζονται για όρια τα οποία διαφέρουν ανά ημέρα. Τα όρια υπολογίζονται με παρόμοιο τρόπο με τη προηγούμενη περίπτωση, δηλαδή, για κάθε μέρα λαμβάνονται υπόψη οι τιμές της συγκεκριμένης μέρας για όλη την περίοδο καταγραφής. Η διαφορά εδώ είναι ότι χρησιμοποιείται και ένα φίλτρο κυλιόμενου μέσου, 15 ημέρες πριν και 15 ημέρες μετά, για τον υπολογισμό του ορίου της εκάστοτε ημέρας.

## 4. Πιθανοθεωρητική Ανάλυση

Αρκετές φορές μέσω της στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων είναι δυνατόν να εκτιμηθούν οι τιμές μεγεθών σε βάθος χρόνου, οι τιμές μεγεθών για διάφορες περιόδους επαναφοράς, να γίνει επέκταση δεδομένων κτλ. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η στατιστική επεξεργασία για ετήσια μέγιστα όγκων ελλειμμάτων. Περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή του δείγματος, περιγράφονται οι θεωρητικές και εμπειρικές κατανομές, η προσαρμογή των θεωρητικών κατανομών στις εμπειρικές και ο στατιστικός έλεγχος Kolmogorov-Smirnov. Για την πιθανοθεωρητική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα τα αποτελέσματα για τα χαρακτηριστικά των ελλειμμάτων που προέκυψαν για ποσοστημόριο ροής 50%.

### 4.1 Εξαγωγή δείγματος

Η εξαγωγή του δείγματος έγινε με πολύ απλό τρόπο. Από τα αποτελέσματα για τα χαρακτηριστικά των ελλειμμάτων για επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας τριάντα, εξήντα, ενενήντα, εκατόν ογδόντα και τριακοσίων εξήντα ημερών επιλέγονται για κάθε υδρολογικό έτος οι μέγιστοι όγκοι ελλείμματος που παρατηρούνται. Πρέπει να σημειωθεί ότι αν ένα γεγονός ξηρασίας έχει διάρκεια μεγαλύτερη απ αυτήν που εξετάζεται τότε λαμβάνεται υπ' όψιν ,γι αυτό το γεγονός, το έλλειμμα που δημιουργείται για διάρκεια ίση μ αυτήν που εξετάζεται, με την θεώρηση ότι κάθε μέρα ο όγκος ελλείμματος αυξάνεται με σταθερή ένταση η οποία είναι ίση με τη μέση ένταση που προέκυψε για το συγκεκριμένο γεγονός. Αυτή η διαδικασία ακολουθήθηκε για όλα τα όρια (σταθερό, εποχικά, μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο) για ποσοστημόριο απορροής 50%.

### 4.2 Στατιστική επεξεργασία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την στατιστική επεξεργασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

- Εύρεση των τυπικών στατιστικών χαρακτηριστικών του δείγματος, δηλαδή του μέτρου της θέσης (μέσω της μέσης τιμής), της διακύμανσης (μέσω της τυπικής απόκλισης-διακύμανσης ή μεταβλητότητας) καθώς και της μορφής (ασυμμετρία και κύρτωση) της τοποθέτησης των τιμών.
- Χρησιμοποιώντας τα τυπικά στατιστικά χαρακτηριστικά προσαράζονται θεωρητικά μοντέλα στατιστικών κατανομών (με κατάλληλη προσαρμογή των παραμέτρων των κατανομών). Με αυτά τα μοντέλα δίνεται η δυνατότητα στατιστικής πρόγνωσης πέρα από τα όρια των μετρήσεων καθώς και η πιθανοτική προσέγγιση στα όρια διακύμανσης των φυσικών μεγεθών (μέσω πιθανοτήτων υπέρβασης ή μη-υπέρβασης των τιμών).
- Έλεγχος της καταλληλότητας των θεωρητικών κατανομών για την περιγραφή των ιδιοτήτων του πληθυσμού. Εξέταση προσαρμογής της θεωρητικής κατανομής σε εμπειρικές κατανομές, εκτέλεση στατιστικών δοκιμών.

Το βήμα που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση είναι ετήσιο λαμβάνοντας υπόψη το υδρολογικό έτος. Για την προσαρμογή των κατανομών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των ροπών. Παρακάτω παρατίθενται στοιχεία και σχόλια για τη χρήση της μεθόδου των ροπών και των L-ροπών.

#### Δειγματικές ροπές :

Οι δειγματικές ροπές χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των παραμέτρων των κατανομών με την μέθοδο των ροπών η οποία είναι η πλέον συνηθισμένη αντιμετώπιση (θα εξεταστεί παρακάτω και η εφαρμογή της μεθόδου των L-ροπών). Στον Πίνακα 4.1 δίνονται οι μεροληπτικές εκτιμήτριες των ροπών.

Πίνακας 4. 1 Μεροληπτικές εκτιμήτριες των ροπών για τη μέθοδο των ροπών (Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, 2010 )

Στατιστικός Δείκτης	Εκτιμήτρια
Μέση τιμή	$\mu_{\chi} = \frac{\sum \chi_i}{n}$
Τυπική Απόκλιση	$\sigma_{\chi} = \sqrt{\frac{\sum (\chi_i - \mu_{\chi})^2}{n}}$
Τρίτη κεντρική ροπή	$\mu_{\chi}^{(3)} = \frac{1}{n} \sum \chi_i^3 - 3\mu_{\chi} \sigma_{\chi}^2 - \mu_{\chi}^3$ $\mu_{\chi}^{(3)} = \frac{1}{n} \sum (\chi_i - \mu_{\chi})^3$
Συντελεστής ασυμμετρίας	$C_{sx} = \frac{\mu_{\chi}^{(3)}}{\sigma_{\chi}^3}$
Τέταρτη κεντρική ροπή $m_4$ , συντελεστής κύρτωσης δείγματος, $g_2$ μεροληπτικός δείκτης	$m_4 = \frac{1}{n} \sum (\chi_i - \mu_{\chi})^4, g_2 = \frac{m_4}{m_2} - 3 \text{ όπου } m_2$ <p>η δειγματική μεταβλητότητα <math>= \sigma_{\chi}^2</math></p>

Για την περίπτωση της εκτίμησης παραμέτρων κατανομών με την έμμεση μέθοδο των ροπών (περίπτωση κατανομής Log-Pearson III) θα χρησιμοποιείται η μετασχηματισμένη μεταβλητή:  $y_i = \ln x_i$  στην θέση της  $x_i$ . Σε αυτήν την περίπτωση δεν θα λαμβάνονται υπόψη, αναγκαστικά, οι μη-θετικές τιμές της  $x_i$  λόγω της ύπαρξης του λογαρίθμου.

#### **Συντελεστές διόρθωσης μεροληψίας**

Οι αμερόληπτες εκτιμήσεις των ροπών του πληθυσμού μπορούν να προκύψουν από τις αντίστοιχες μεροληπτικές (δειγματικές ροπές) πολλαπλασιάζοντας τις με τους συντελεστές διόρθωσης μεροληψίας του Πίνακα 4.2 . Οι αμερόληπτες εκτιμήτριες

είναι αυτές που προτιμώνται για την περαιτέρω εκτίμηση των παραμέτρων των κατανομών.

Πίνακας 4. 2 Αμερόληπτες εκτιμήτριες των ροπών για τη μέθοδο των ροπών (Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, 2010)

Στατιστικός δείκτης	Συντελεστής διόρθωσης μεροληψίας
Μέση τιμή	-
Τυπική απόκλιση	$\sqrt{\frac{n}{n-1}}$
Τρίτη κεντρική ροπή	$\frac{n^2}{(n-1)(n-2)}$
Συντελεστής ασυμμετρίας	$\frac{\sqrt{n(n-1)}}{n-2}$
Αμερόληπτη εκτιμήτρια κύρτωσης του πληθυσμού	$\frac{(n+1)n}{(n-1)(n-2)(n-3)} \frac{\sum_{i=1}^n (\chi_i - \bar{\chi})^4}{\kappa_2^2} - 3 \frac{(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$ <p>Όπου <math>\chi</math> η μέση τιμή και <math>K_2</math> η αμερόληπτη εκτιμήτρια για την μεταβλητότητα του πληθυσμού.</p>

### L-ροπές :

Οι L-ροπές είναι μία σειρά παραμέτρων, ανάλογες με τις κλασσικές ροπές, που μπορούν να περιγράψουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος (θέση – μέση τιμή, μεταβλητότητα, ασυμμετρία, κύρτωση κλπ.). Εισήχθησαν από τον Hosking (1990). Παράγονται από γραμμικούς συνδυασμούς των τιμών ενός ταξινομημένου δείγματος (από αυτό το γεγονός προέρχεται και ο χαρακτηρισμός L, δηλαδή Linear - γραμμικές). Από την εφαρμογή της μεθόδου των L-ροπών για την περιγραφή των στατιστικών χαρακτηριστικών ενός δείγματος καθώς και την εκτίμηση των παραμέτρων κατανομών προκύπτουν μία σειρά από πλεονεκτήματα όπως:

- Καλύτερη προσαρμογή των κατανομών ακρότατων (π.χ. AT-1, AT-2, AT-3, ΓΑΤ) στο δείγμα.
- Μικρή ευαισθησία σε εξωκείμενες τιμές (outliers values)
- Απλή υπολογιστική διαδικασία στην εξαγωγή παραμέτρων κατανομών.

Από τα παραπάνω φαίνεται πως πλεονεκτεί ιδιαίτερα η χρήση τους στις κατανομές ακραίων τιμών (AT), διότι μεταξύ άλλων η εφαρμογή των κλασσικών ροπών σε αυτές τις κατανομές απαιτεί προσεγγιστικές ή αριθμητικές λύσεις. Οι L-ροπές συμβολίζονται με το ελληνικό γράμμα  $\lambda$  και έναν δείκτη 1, 2, 3, ... Η  $\lambda_1$  σχετίζεται με την παράμετρο θέσης και ταυτίζεται με την κλασσική μέση τιμή (ροπή πρώτης τάξης). Η  $\lambda_2$  σχετίζεται με την μεταβλητότητα, η  $\lambda_3$  με την ασυμμετρία και η  $\lambda_4$  με

την κύρτωση. Εφόσον οι L-ροπές είναι γραμμικοί συνδυασμοί των τιμών του δείγματος, η διάσταση τους είναι η ίδια με αυτή του φυσικού μεγέθους του οποίου αντιπροσωπεύουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά του. Ωστόσο ορίζονται οι εξής αδιάστατοι συντελεστές:

- Συντελεστής μεταβλητότητας:  $\tau_2 = \lambda_2/\lambda_1$
- Συντελεστής ασυμμετρίας (skewness):  $\tau_3 = \lambda_3/\lambda_2$
- Συντελεστής κύρτωσης (kurtosis):  $\tau_4 = \lambda_4/\lambda_2$

### Υπολογιστική διαδικασία

Οι L-ροπές υπολογίζονται εύκολα αν έχουν υπολογιστεί προηγουμένως οι πιθανοτικά σταθμισμένες ροπές (Π.Σ.Ρ-Probability-Weighted Moment, PWM). Οι Π.Σ.Ρ. εισήχθησαν από τους Greenwood et al. (1979) και υπολογίζονται ως γραμμικοί συνδυασμοί των τιμών ενός ταξινομημένου δείγματος. Αν είναι γνωστές οι Π.Σ.Ρ.  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ , τότε οι L-ροπές μπορούν να υπολογιστούν από τις σχέσεις:

$$\lambda_1 = \beta_0$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0$$

Επειδή οι L-ροπές είναι γραμμικοί συνδυασμοί των Π.Σ.Ρ., διατηρούν την ιδιότητά τους να είναι και γραμμικοί συνδυασμοί των τιμών του δείγματος. Η εκτίμηση των Π.Σ.Ρ. μπορεί να γίνει είτε μεροληπτικά είτε αμερόληπτα. Η μεροληπτική εκτίμηση έχει μικρή εφαρμοσιμότητα ωστόσο παρέχεται από τον «Υδρογνώμων». Για την αμερόληπτη εκτίμηση της  $i$  τάξης Π.Σ.Ρ.  $\beta_i$ , απαιτούνται τουλάχιστον  $i+1$  τιμές στο δείγμα. Στον «Υδρογνώμων», λαμβάνονται υπ' όψιν οι 100 υπολογισμοί των τριών πρώτων Π.Σ.Ρ. καθώς και των τριών πρώτων L-ροπών καθώς δεν απαιτείται η κύρτωση για την εκτίμηση των παραμέτρων των κατανομών του συστήματος. Εφόσον το δείγμα είναι ταξινομημένο σε αύξουσα σειρά τιμών έτσι ώστε  $x(j) \geq x(i), \forall j > i$  :

$$\beta_{0\mu} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\beta_{1\mu} = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{n-i-0.65}{n} \right)^2 x_{n-i+1}$$

$$\beta_{3\mu} = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{n-i-0.65}{n} \right)^3 x_{n-i+1}$$

Αντίστοιχα οι αμερόληπτες εκτιμήσεις των Π.Σ.Ρ. :



$$\beta_0 = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\beta_1 = \sum_{i=2}^n \frac{i-1}{n-1} x_{n-i+1}$$

$$\beta_2 = \sum_{i=3}^n \frac{(i-1)(i-2)}{(n-1)(n-2)} x_{n-i+1}$$

Η διαδικασία της στατιστικής ανάλυσης συνεχίζεται με τη προσαρμογή των θεωρητικών κατανομών στις εμπειρικές και την διενέργεια των ελέγχων καταλληλότητας για την επιλογή μιας κατανομής. Στη συνέχεια παρουσιάζονται στοιχεία και σχόλια για τις εμπειρικές και θεωρητικές κατανομές που υπάρχουν στον υδρογνώμονα καθώς και οι έλεγχοι καταλληλότητας που χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο λογισμικό.

### **Οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής**

Οι εμπειρικές συναρτήσεις κατανομής δίνουν την δυνατότητα εκτίμησης της συνάρτησης κατανομής (πιθανότητα μη-υπέρβασης) για κάθε τιμή του δείγματος χωρίς την χρήση κάποιου θεωρητικού μοντέλου. Μέσω της εκτίμησής δίνεται στην συνέχεια η δυνατότητα ελέγχου της προσαρμογής κάποιας θεωρητικής συνάρτησης κατανομής στο δείγμα. Ο «Υδρογνώμων» παρέχει την δυνατότητα εκτίμησης των εμπειρικών κατανομών κατά Weibull, Blom, Cunnane και Gringorten. Η εμπειρική κατανομή που είναι καταρχήν ενεργοποιημένη είναι αυτή του Weibull, και είναι αυτή που χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη διπλωματική για την προσαρμογή των θεωρητικών κατανομών.

Αν  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  οι τιμές του δείγματος, ορίζεται μία ακολουθία που προκύπτει αν ταξινομηθεί το δείγμα σε αύξουσα αριθμητική σειρά τέτοια ώστε:

$$X(1), X(2), X(3), \dots, X(n) \text{ και } X(1) \leq X(2) \leq X(3) \leq \dots \leq X(n).$$

Τότε η πιθανότητα μη υπέρβασης (συνάρτηση κατανομής) για κάθε τιμή  $X(i)$  μπορεί να εκφραστεί με μία συνάρτηση  $f$  της μορφής:

$$F(X(i)) = q_i = f(i, n)$$

όπου  $i$  είναι η σειρά της τιμής  $X(i)$  στο διατεταγμένο δείγμα και  $n$  το μέγεθος του δείγματος ( $i=1 \dots n$ ).

Η σχέση της εμπειρικής κατανομής του Weibull είναι η εξής :

$$q_i = \frac{i}{n+1}$$

### **Οι θεωρητικές συναρτήσεις κατανομής**

Η χρήση των θεωρητικών συναρτήσεων κατανομής έχει μία πληθώρα εφαρμογών όπως η στατιστική πρόγνωση και η στοχαστική προσομοίωση. Οι κατανομές ταξινομούνται σε δύο κύριες οικογένειες (οικογένεια κατανομών κανονικής κατανομής και κατανομής γάμα). Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται όλες οι κατανομές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική για την προσαρμογή στην εμπειρική κατανομή, καθώς και ο αριθμός των παραμέτρων που χρησιμοποιεί η κάθε μια.

Πίνακας 4. 2 Παρουσίαση των θεωρητικών κατανομών και των παραμέτρων που χρησιμοποιούν η κάθε μία (Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, 2010)

a/a	Ονομασία Κατανομής	Παράμετροι	Αριθμοί Ανεξάρτητων Παραμέτρων	Μέθοδος Ροπών	Μέθοδος λ-ροπών	Έμμεση μέθοδος ροπών
Οικογένεια κανονικής κατανομής						
1.	Normal or gauss	$\mu, \sigma$	2	ναι	ναι	
2.	Log-Normal	$\mu_y, \sigma_y$	2	ναι		
3.	Log-Normal 3p	$\mu_y, \sigma_y, c$	3	ναι		
Οικογένεια κατανομής Γ						
4.	Exponential	$\lambda, \psi$	2	ναι	ναι	
5.	Gamma 2p	$\kappa, \lambda$	2	ναι		
6.	Gamma 3p (Pearson III)	$\kappa, \lambda, \psi$	3	ναι		
7.	Log-Pearson III	$\kappa, \lambda, \psi$	3			ναι
Ασυμπτωτικές κατανομές ακροτάτων						
8.	Maximum extreme values type I(EV-1) or Gumbel	$\lambda, \psi$	2	ναι	ναι	
9.	Maximum EV-2	$\kappa, \lambda$	2	ναι	ναι	
10.	Maximum general Extreme Values (GEV)	$\kappa, \lambda, \psi$	3 ή 2	ναι	ναι	
11.	Minimum	$\lambda, \psi$	2	ναι	ναι	

	EV-1 or Gumbel					
12.	Minimum EV-2 or Weibull	κ,λ	2	ναι	ναι	
13.	Minimum, General extreme values (GEV)	κ,λ,ψ	3 ή 2	ναι	ναι	
Pareto						
14.	Pareto 3p	κ,λ,ψ	3	ναι	ναι	

### Ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov :

Κατά τον έλεγχο Kolmogorov-Smirnov ,ελέγχεται η μέγιστη διαφορά μεταξύ της θεωρητικής και της εμπειρικής συνάρτησης κατανομής ως εξής:

Για κάθε τιμή  $x_i$  από το δείγμα υπολογίζεται η ποσότητα:

$$D_i = |F_0(x_i) - F(x_i)|$$

όπου  $F_0$  η εμπειρική και  $F$  η θεωρητική συνάρτηση κατανομής. Ως εμπειρική συνάρτηση κατανομής θα χρησιμοποιείται η εμπειρική κατανομή του Weibull. Τελικά υπολογίζεται η παράμετρος  $D_{\max}$  ως η μέγιστη τιμή

$$D_i: D_{\max} = \max(D_i)$$

Η τιμή  $D_{\max}$  συγκρίνεται με μία κρίσιμη τιμή  $D_{cr}$  σύμφωνα και με το επιθυμητό επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$ . Η υπόθεση  $H_0$  απορρίπτεται αν:

$$D_{\max} \geq D_{cr}$$

Υπολογιστικά αυτό θα αντιμετωπίζεται αντίστροφα, δηλαδή για δεδομένο  $D_{\max}$  του δείγματος και της θεωρητικής συνάρτησης κατανομής που έχει προσαρμοστεί, θα υπολογίζεται το επίπεδο σημαντικότητας Kolmogorov-Smirnov  $\alpha_D$ . Αν το υπολογισμένο επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha_D$  είναι μικρότερο από το επιθυμητό  $\alpha$  τότε απορρίπτουμε την υπόθεση  $H_0$ .

Το επίπεδο σημαντικότητας υπολογίζεται από την σχέση :

$$\alpha_D = 1 - L_z$$

$$L_z = \frac{\sqrt{2\pi}}{z} \sum_{k=1}^{\infty} e^{-\frac{\sqrt{(2k-1)\pi}}{z}} \quad \text{αν } 0.3 \leq z \leq 8.5$$

$L_z = 0$  αν  $z < 0.3$  και  $L_z = 1$  αν  $z > 8.5$ .

Παρακάτω παρουσιάζονται οι υπολογισμοί για την κατανομή L-moments Pareto διότι αυτή φαίνεται να είναι η καταλληλότερη κάτι το οποίο θα αποδειχθεί στο επόμενο κεφάλαιο που θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα.

### Υπολογισμοί κατανομής : Pareto L-moments

Οι υπολογισμοί των συναρτήσεων κατανομής (πιθανότητα μη-υπέρβασης  $F(x)$  συναρτήσεως της τυχαίας μεταβλητής  $x$ ) καθώς και των αντιστρόφων συναρτήσεων κατανομής (τυχαία μεταβλητή  $x$  ως συνάρτηση του ποσοστημορίου  $u=F(x)$ ,  $x(u)=F^{-1}(u)$ ) διακρίνονται σε:

- Υπολογισμούς με μαθηματικές σχέσεις που έχουν κλειστή μορφή.
- Υπολογισμούς με προσεγγίσεις της αριθμητικής ανάλυσης.

Οι υπολογισμοί της κατανομής Pareto γίνονται με σχέσεις κλειστής μορφής. Στην συνέχεια, η πιθανότητα υπέρβασης υπολογίζεται από την συνάρτηση κατανομής με την χρήση της σχέσης:

$$F1(x) = 1-F(x)$$

Εφόσον το δείγμα το οποίο εξετάζεται αποτελείται από τιμές με τακτικά χρονικά διαστήματα δειγματοληψίας, η πιθανότητα υπέρβασης μπορεί να εκφραστεί με την τιμή της συχνότητας παρουσίας της τυχαίας μεταβλητής  $x$  ως:

$$T = 1/F1(x)$$

Το μέγεθος  $T$  καλείται *περίοδος επαναφοράς*, και επειδή η περίοδος δειγματοληψίας είναι το έτος (υδρολογικό έτος) η περίοδος επαναφοράς είναι εκφρασμένη σε έτη, αφορά δε την συχνότητα υπέρβασης του μεγέθους  $x$ . Η συχνότητα μη-υπέρβασης ενός μεγέθους εκφράζεται ως:

$$T(\min) = 1/F(x) = [1 - 1/T(\max)]$$

Η συνάρτηση κατανομής Pareto με παραμέτρους σχήματος  $\kappa$ , κλίμακας  $\lambda$  και θέσης  $\psi$ , δίνεται από την σχέση:

$$F_{(x)} = 1 - \left[ 1 - \kappa \left( \frac{x}{\lambda} - \psi \right) \right]^{\frac{1}{\kappa}}$$

Η παραπάνω σχέση δεν ορίζεται για  $\kappa=0$ , οπότε εφαρμόζοντας τον κανόνα του l'Hôpital προκύπτει η παρακάτω σχέση η οποία χρησιμοποιείται όταν  $|\kappa| < 0,001$  :

$$F_{(x)} = 1 - e^{-\frac{\psi - x}{\lambda}}$$

Η αντίστροφη συνάρτηση κατανομής δίνεται από τη σχέση :

$$X_{(u)} = \frac{\lambda}{\kappa} \left[ 1 - (1-u)^{\kappa} + \psi \kappa \right]$$

Όταν  $|\kappa| > 0,001$  τότε χρησιμοποιείται η σχέση :

$$X_{(u)} = \lambda \left[ \psi - \ln(1-u) \right]$$

Υπολογισμός παραμέτρων της κατανομής :

Προκειμένου να υπολογιστούν οι παράμετροι πρέπει να είναι διαθέσιμα τα στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος (μέση τιμή, τυπική απόκλιση και συντελεστή ασυμμετρίας  $\mu_x$ ,  $\sigma_x$  και  $C_s$  καθώς και τις L-ροπές  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  και  $\lambda_3$  προκειμένου για εκτίμηση παραμέτρων κατανομής με την μέθοδο των L-ροπών)

Η εκτίμηση με την μέθοδο των L-ροπών γίνεται μέσω απλών σχετικά σχέσεων που έχουν κλειστή μορφή. Υπενθυμίζεται πως η  $\lambda_1$  ταυτίζεται με την μέση τιμή, η  $\lambda_2$  σχετίζεται με την διασπορά του δείγματος ενώ η  $\lambda_3$  με την ασυμμετρία. Συνεπώς, η  $\lambda_1$  και η  $\lambda_2$  υπεισέρχονται πάντα (όπως συμβαίνει με τις  $\mu_x$ ,  $\sigma_x$  στην μέθοδο των ροπών) ενώ η  $\lambda_3$  συσχετίζεται με την παράμετρο σχήματος ( $\kappa$  συνήθως).

Αρχικά ορίζονται οι συντελεστές μεταβλητότητας και ασυμμετρίας  $\tau_2$  και  $\tau_3$  αντίστοιχα ως :

$$\tau_2 = \lambda_2 / \lambda_1$$

$$\tau_3 = \lambda_3 / \lambda_2$$

Οπότε οι παράμετροι της Pareto υπολογίζονται :

$$\kappa = (1 - 3\tau_3) / (1 + \tau_3)$$

$$\lambda = \lambda_2 (1 + \kappa) (2 + \kappa)$$

$$\psi = (\lambda_1 / \lambda) - 1 / 1 + \kappa$$

Με την επιλογή της κατανομής Pareto L-moments γίνονται οι υπολογισμοί, με τη βοήθεια του λογισμικού «Υδρογνώμων», για πρόγνωση μελλοντικών όγκων ελλειμμάτων για περιόδους επαναφοράς δέκα, είκοσι, τριάντα, πενήντα, εκατό, διακοσίων πενήντα και πεντακοσίων χρόνων.

Έπειτα, με δεδομένους τους μελλοντικούς όγκους ελλειμμάτων δημιουργούνται τα διαγράμματα διάρκειας-συχνότητας-όγκου.

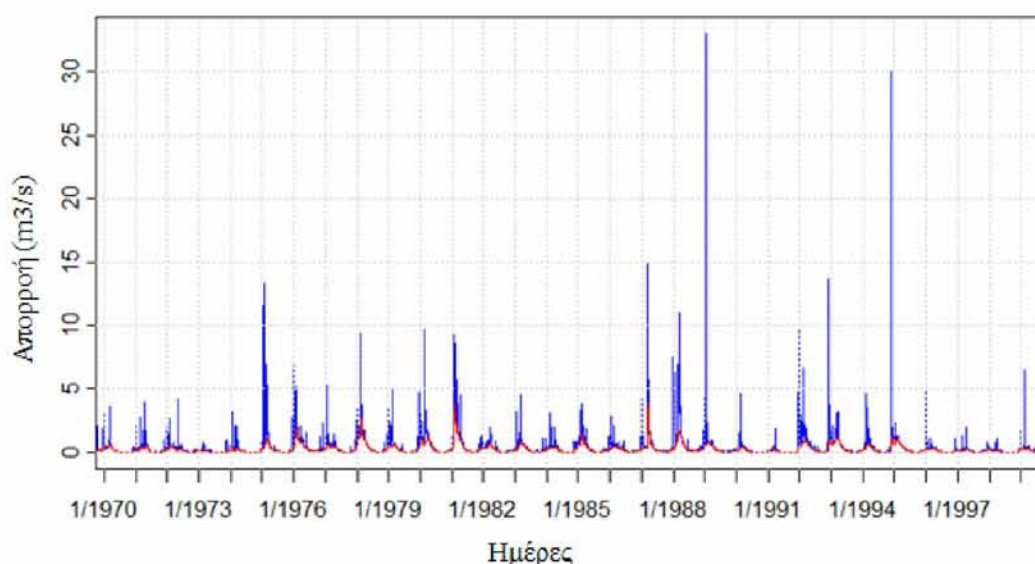
## 5. Εφαρμογή μεθοδολογίας και ανάλυση αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμόζοντας τις μεθοδολογίες που περιγράφηκαν στα Κεφάλαια 3 και 4.

### 5.1 Δείκτης Βασικής απορροής

Ξεκινώντας με τους δείκτες βασικής απορροής τα αποτελέσματα φανερώνουν ότι η βασική απορροή έχει ένα σημαντικό ποσοστό συμμετοχής στην συνολική απορροή. Η τιμή του δείκτη βασικής απορροής για όλη τη χρονοσειρά είναι  $BFI=0,54$ . Αυτή η τιμή του δείκτη είναι σχετικά καλή, κοντά στο πενήντα πέντε τις εκατό (55%) δηλαδή από τη συνολική απορροή η μισή και παραπάνω είναι βασική. Είναι καλή διότι υψηλές τιμές του δείκτη φανερώνουν πως το ποτάμι μπορεί να «αντέξει» και να διατηρηθεί σε καθεστώς ξηρής περιόδου ενώ χαμηλές τιμές του δείκτη αντιστοιχούν σε ποτάμια τα οποία είναι «εφήμερα». (WMO, 2008)

Στο σχήμα 5.1 φαίνονται τα υδρογραφήματα συνολικής και βασικής απορροής.



Σχήμα 5. 1 Διάγραμμα συνολικής και βασικής απορροής. Με πράσινη γραμμή απεικονίζεται η συνολική απορροή ενώ με την κόκκινη η βασική απορροή.

Στον Πίνακα 5. 1 φαίνονται οι δείκτες βασικής απορροής για κάθε έτος ξεχωριστά και κάποια στατιστικά χαρακτηριστικά αυτών.

Πίνακας 5. 1 Πίνακας με τους δείκτες βασικής απορροής για κάθε έτος και τα στατιστικά χαρακτηριστικά τους.

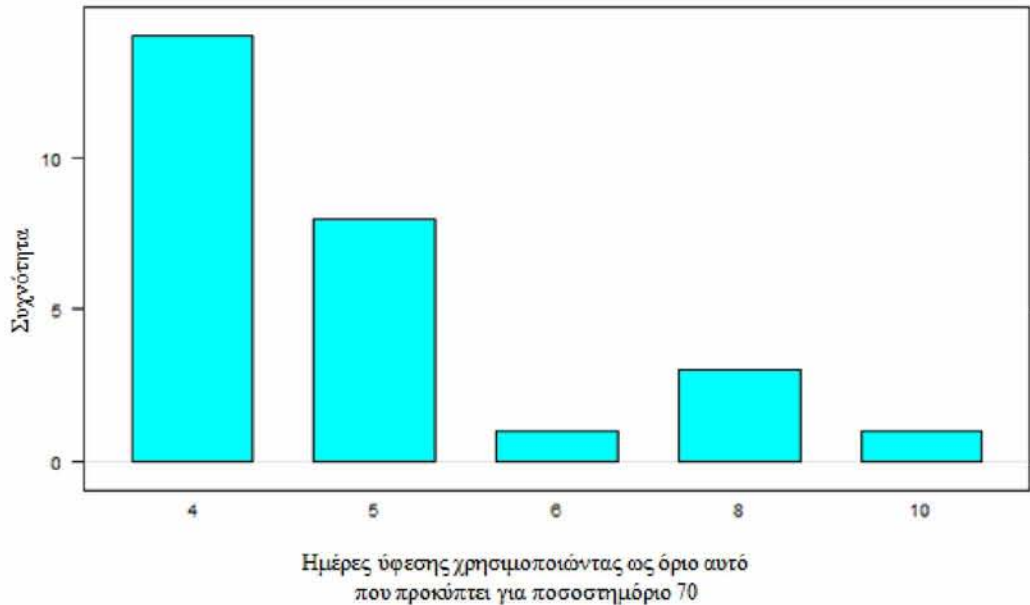
Έτος	Δείκτης Βασικής απορροής	Έτος	Δείκτης Βασικής απορροής	Στατιστικά χαρακτηριστικά	
1970	0,61	1985	0,65	Ελάχιστη τιμή	0,38
1971	0,41	1986	0,59	1 <sup>ο</sup> Τεταρτημόριο	0,47
1972	0,56	1987	0,59	Διάμεσος	0,53

1973	0,45	1988	0,47	Μέσος	0,54
1974	0,44	1989	0,38	3 <sup>ο</sup> Τεταρτημόριο	0,59
1975	0,38	1990	0,52	Μέγιστη τιμή	0,69
1976	0,59	1991	0,53	Ασυμμετρία	-0,16
1977	0,56	1992	0,44	Διασπορά	0,007
1978	0,66	1993	0,61		
1979	0,51	1994	0,47		
1980	0,49	1995	0,51		
1981	0,61	1996	0,52		
1982	0,69	1997	0,50		
1983	0,61	1998	0,59		
1984	0,60	1999	0,51		

Από τους δείκτες βασικής απορροής που προέκυψαν για κάθε έτος ξεχωριστά, διαπιστώνεται ότι η ελάχιστη τιμή που παρατηρήθηκε είναι  $BFI_{min}=0,3775$  δηλαδή σε κανένα έτος ο δείκτης βασικής απορροής δεν είναι μικρότερος από την τιμή  $BFI=0,2$ , τιμή που αντιστοιχεί σε εφήμερα ποτάμια (WMO, 2008). Ενώ από τα στατιστικά χαρακτηριστικά φαίνεται ότι υπάρχει καλή συμμετρία των τιμών χωρίς μεγάλη μεταβλητότητα στα έτη γεγονός το οποίο είναι καλό.

## 5.2 Ανάλυση ύφεσης

Όσον αφορά την ανάλυση ύφεσης από την διερεύνηση που έγινε για το ποια διαστήματα ημερών θα θεωρείται ότι υπάρχει ύφεση, η πλειοψηφία των αποτελεσμάτων έδειξε για τέσσερις ή πέντε ημέρες. Ενδεικτικά παρατίθενται ένα διάγραμμα, Σχήμα 5.2, για όριο 70 στο οποίο φαίνεται η συχνότητα για τα διαστήματα ημερών στα οποία θεωρείται ότι υπάρχει ύφεση.



Σχήμα 5. 2 Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται η συχνότητα για κάθε διάστημα ημερών στο οποίο θεωρείται ότι υπάρχει ύφεση, χρησιμοποιώντας ως όριο αυτό που προκύπτει για ποσοστημόριο 70.

Με τη βοήθεια του λογισμικού «R-project» εφαρμόστηκαν οι δύο μεθοδολογίες και στον Πίνακα 5.2 φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ύφεσης και για τις δύο μεθόδους, για διάφορα όρια και για τα δύο διαστήματα ημερών ύφεσης που προέκυψαν για την συγκεκριμένη λεκάνη απορροής. Στο παράρτημα I δίνονται και τα αντίστοιχα διαγράμματα για τη μέθοδο MRC.

Πίνακας 5. 2 Πίνακας στον οποίο φαίνονται οι σταθερές ύφεσης για δύο διαστήματα ημερών ύφεσης (4 και 5) για δύο μεθόδους (MRC και IRS) για διάφορα όρια.

Όρια		Μέθοδος MRC		Μέθοδος IRS	
		Σταθερές ύφεσης για διάστημα ημερών ύφεσης 4 ημέρες.	Σταθερές ύφεσης για διάστημα ημερών ύφεσης 5 ημέρες.	Σταθερές ύφεσης για διάστημα ημερών ύφεσης 4 ημέρες.	Σταθερές ύφεσης για διάστημα ημερών ύφεσης 5 ημέρες.
Όριο=40	Εποχιακό	8,12	8,63	8,85	9,04
	Μηνιαία	9,15	9,33	12,58	12,74
	Σταθερό	7,03	7,37	8,61	8,25
Όριο=50	Εποχιακό	6,60	8,27	9,36	10,61
	Μηνιαία	8,29	8,86	12,46	12,52
	Σταθερό	7,83	10,79	13,25	15,17
Όριο=70	Εποχιακό	8,12	12,37	9,94	13,73
	Μηνιαία	9,37	8,19	12,28	10,82
	Σταθερό	2,26	3,47	4,11	5,14
Όριο=80	Εποχιακό	3,61	5,10	4,95	4,97
	Μηνιαία	8,51	9,05	9,58	10,87
	Σταθερό	NA	NA	NA	NA
Όριο=90	Εποχιακό	NA	NA	NA	NA
	Μηνιαία	9,05	9,82	NA	NA
	Σταθερό	NA	NA	NA	NA



Παρατηρείται ότι για κατώφλι απορροής μεγαλύτερο ή ίσο του ογδόντα και για τις δύο μεθόδους το πρόγραμμα δεν δίνει αποτελέσματα για εποχιακά μεταβαλλόμενο και σταθερό όριο, παρά μόνο για μηνιαία μεταβαλλόμενο. Αυτό σημαίνει ότι για κατώφλια απορροής μεγαλύτερα του ογδόντα δεν υπάρχουν χαμηλότερες απορροές ώστε να εμφανίζονται περίοδοι ύφεσης. Οι σταθερές που προκύπτουν για τα δύο διαστήματα ημερών από την MRC δεν εμφανίζουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους παρά μόνο για όριο 50. Το ίδιο ισχύει και για την IRS. Αναφορικά με την μέθοδο της MRC όσο το κατώφλι απορροής μειώνεται εμφανίζονται καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τις σταθερές αλλά τα σημεία δεν εφαρμόζουν τόσο καλά στη γραμμή του διαγράμματος. Το αντίθετο συμβαίνει όσο το κατώφλι απορροής αυξάνεται.

Για τις δύο μεθόδους εμφανίζονται διαφορές ,κυρίως για όριο 50 ενώ πρέπει να τονιστεί ότι η μέθοδος MRC δίνει μικρότερες τιμές σε σχέση με την IRS.

### 5.3 Μέση απορροή

Στη συνέχεια της ανάλυσης εκτιμούνται τιμές για τη μέση απορροή. Η τιμή της μέσης απορροής που υπολογίστηκε για όλη τη χρονοσειρά είναι  $meanflow=0,376 \text{ m}^3/\text{s}$ . Στον Πίνακα 5.3 φαίνονται οι τιμές της μέσης απορροής που προέκυψαν για κάθε μήνα συνολικά για όλη τη χρονοσειρά και από τον οποίο παρατηρείται ότι υπάρχουν υψηλές τιμές μέσης απορροής τους χειμερινούς μήνες, υψηλότερες από την τιμή που προέκυψε για όλη τη χρονοσειρά , και ιδιαίτερα χαμηλές για τους υπόλοιπους μήνες. Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού η λεκάνη απορροής ανήκει σε περιοχή με εύκρατο κλίμα. Το ίδιο αποτυπώνεται και στα αποτελέσματα για τις τιμές της μέσης απορροής στους μήνες στα επιμέρους έτη όπως και θα έπρεπε.

Πίνακας 5. 3 Πίνακας με τις τιμές της μέσης απορροής για κάθε μήνα συνολικά για όλη τη χρονοσειρά.

Μήνας	Μέση απορροή ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Οκτώβριος	0,023
Νοέμβριος	0,200
Δεκέμβριος	0,490
Ιανουάριος	0,866
Φεβρουάριος	1,159
Μάρτιος	0,969
Απρίλιος	0,487
Μάιος	0,238
Ιούνιος	0,087
Ιούλιος	0,020
Αύγουστος	0,008
Σεπτέμβριος	0,005

Ακόμη από τα αποτελέσματα για τη μέση απορροή σε κάθε έτος φαίνεται ότι η μέση ετήσια απορροή είναι χαμηλότερη από τη μέση απορροή για όλη τη χρονοσειρά στα περισσότερα έτη και συγκεκριμένα στα δεκαοχτώ από τα τριάντα χρόνια. Στον Πίνακα 5.4 φαίνονται οι τιμές για τη μέση ετήσια απορροή.

Πίνακας 5. 4 Πίνακας με τη μέση ετήσια απορροή.

Έτος	Μέση ετήσια απορροή (m <sup>3</sup> /s)
1970	0,226
1971	0,281
1972	0,226
1973	0,041
1974	0,141
1975	0,521
1976	0,599
1977	0,324
1978	0,670
1979	0,335
1980	0,723
1981	0,892
1982	0,265
1983	0,290
1984	0,230
1985	0,418
1986	0,250
1987	0,580
1988	0,770
1989	0,584
1990	0,178
1991	0,060
1992	0,646
1993	0,606
1994	0,283
1995	0,608
1996	0,165
1997	0,114
1998	0,073
1999	0,163

Μια ενδιαφέρουσα σύγκριση των αποτελεσμάτων των δεικτών βασικής απορροής και της μέσης ετήσιας απορροής δείχνει ότι η βασική απορροή αποτελεί σημαντικό ποσοστό της μέσης απορροής κάτι που σημαίνει ότι οι περισσότερες τιμές απορροής είναι στην ουσία βασική απορροή. Συνεπώς το ποτάμι κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων διατηρείται λόγω της βασικής του απορροής. Στον Πίνακα 5.5 αποδεικνύεται ο παραπάνω ισχυρισμός.

Πίνακας 5. 5 Πίνακας με τη μέση ετήσια ροή, τους ετήσιους δείκτες βασικής απορροής και το ποσοστό που αποτελεί η μέση ετήσια απορροή στη βασική.

Έτος	Μέση ετήσια απορροή (m <sup>3</sup> /s)	Ετήσιος δείκτης Βασικής Απορροής	Ποσοστό (%)
1970	0,226	0,609	37,18
1971	0,281	0,415	67,88
1972	0,226	0,559	40,38
1973	0,041	0,451	9,18
1974	0,141	0,438	32,18
1975	0,521	0,377	137,98
1976	0,599	0,588	101,79
1977	0,324	0,561	57,7
1978	0,670	0,660	101,6
1979	0,335	0,513	65,33
1980	0,723	0,489	147,73
1981	0,892	0,608	146,65
1982	0,265	0,694	38,22
1983	0,290	0,614	47,21
1984	0,230	0,601	38,36
1985	0,418	0,646	64,76
1986	0,250	0,587	42,63
1987	0,580	0,594	97,7
1988	0,770	0,469	164,28
1989	0,584	0,385	151,85
1990	0,178	0,524	33,96
1991	0,060	0,533	11,24
1992	0,646	0,439	147,27
1993	0,606	0,611	99,04
1994	0,283	0,469	60,39
1995	0,608	0,513	118,65
1996	0,165	0,521	31,75
1997	0,114	0,501	22,86
1998	0,073	0,585	12,43
1999	0,163	0,510	32,07

#### 5.4 Μέσα ετήσια ελάχιστα.

Ο υπολογισμός των μέσων ετήσιων ελαχίστων δείχνει με ξεκάθαρο τρόπο ότι επικρατέστερη τιμή απορροής είναι 0,001 m<sup>3</sup>/s. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει μεγάλη υπερετήσια μεταβλητότητα των τιμών απορροής. Ακόμη, φαίνεται ότι η τιμή 0,001 m<sup>3</sup>/s μάλλον αντιστοιχεί σε μεγάλα ποσοστά υπέρβασης κοντά στο 80-90 %, κάτι που θα φανεί αργότερα και στα ποσοστημόρια απορροής και στην χάραξη της καμπύλης διάρκειας απορροή. Παρατηρείται ακόμη ότι όσο το διάστημα των ημερών αυξάνεται τόσο περισσότερες τιμές μεγαλύτερες του 0,001 εμφανίζονται. Αυτό είναι λογικό αφού αυξάνεται το διάστημα των ημερών στο οποίο υπολογίζονται οι μέσοι όροι. Στον Πίνακα 5.6 φαίνονται τα αποτελέσματα.

Πίνακας 5. 2 Πίνακας στον οποίο δίνονται οι τιμές για τα μέσα ετήσια ελάχιστα για διάφορα διαστήματα ημερών.

Έτος	Μέσα ετήσια ελάχιστα-διάστημα 1 ημέρας (m <sup>3</sup> /s)	Μέσα ετήσια ελάχιστα-διάστημα-7 ημερών (m <sup>3</sup> /s)	Μέσα ετήσια ελάχιστα-διάστημα 30 ημερών (m <sup>3</sup> /s)	Μέσα ετήσια ελάχιστα-διάστημα 90 ημερών (m <sup>3</sup> /s)
1970	0,001	0,001	0,001	0,00124444
1971	0,001	0,001	0,001	0,001
1972	0,001	0,001	0,001	0,00221111
1973	0,001	0,001	0,001	0,001
1974	0,001	0,001	0,001	0,001
1975	0,001	0,001	0,001	0,001
1976	0,001	0,001	0,001	0,00124444
1977	0,001	0,001	0,001	0,00571111
1978	0,001	0,001	0,001	0,00168889
1979	0,001	0,001	0,001	0,00107778
1980	0,001	0,001	0,001	0,00104444
1981	0,001	0,001	0,001	0,00165556
1982	0,001	0,001	0,001	0,00162222
1983	0,001	0,001	0,001	0,00141111
1984	0,001	0,001	0,001	0,0027
1985	0,001	0,001	0,001	0,001
1986	0,001	0,001	0,0047667	0,00367778
1987	0,007	0,007	0,0083	0,01226667
1988	0,007	0,007	0,0094333	0,01965556
1989	0,001	0,001	0,0082333	0,01181111
1990	0,001	0,001	0,001	0,001
1991	0,001	0,001	0,001	0,001

1992	0,001	0,001	0,001	0,001
1993	0,001	0,001	0,0013	0,00821111
1994	0,001	0,001	0,001	0,00374444
1995	0,001	0,001	0,001	0,00531111
1996	0,001	0,001	0,001	0,001
1997	0,001	0,001	0,001	0,001
1998	0,001	0,001	0,001	0,001
1999	0,001	0,001	0,001	0,001

### 5.5 Ποσοστημότητα απορροής

Στη συνέχεια της ανάλυσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα ποσοστημότητα απορροής. Αρχικά, αυτά προσδιορίστηκαν για όλη τη χρονοσειρά και παρατηρείται ότι οι τιμές απορροής που προκύπτουν για ποσοστά μεγαλύτερα του εβδομήντα τις εκατό (70%), έχουν σταθερά την τιμή 0,001 πράγμα που σημαίνει ότι αυτή η τιμή της απορροής είναι η συνηθέστερη, πιθανότατα η ελάχιστη και πιθανότατα είναι μέρος της βασικής απορροής. Ακόμη φαίνεται ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό το οποίο ελέγχεται τόσο μικρότερη είναι η τιμή της απορροής που προκύπτει και αντίθετα όσο μικρότερο είναι το ποσοστό που ελέγχεται τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της απορροής που προκύπτει. Στον Πίνακα 5.7 φαίνονται οι αντίστοιχες τιμές απορροής.

Πίνακας 5. 3 Πίνακας στον οποίο φαίνονται οι τιμές απορροής για διάφορα ποσοστημότητα ροής. Υπολογίστηκαν για όλη τη χρονοσειρά.

Ποσο/ριο 40	Ποσο/ριο 45	Ποσο/ριο 50	Ποσο/ριο 55	Ποσο/ριο 60	Ποσο/ριο 70	Ποσο/ριο 80	Ποσο/ριο 90	Ποσο/ριο 95
0.16	0.12	0.089	0.064	0.041	0.013	0.001	0.001	0.001

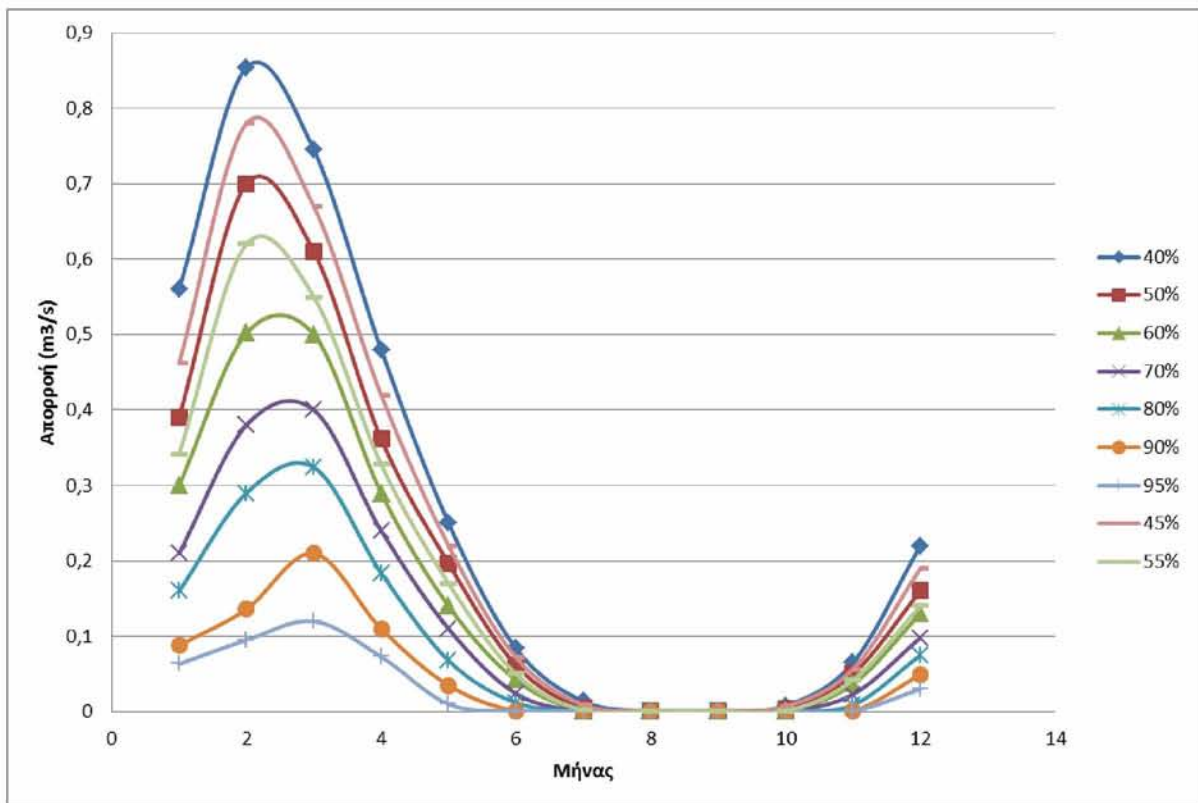
Οι τιμές που προκύπτουν για τα διάφορα ποσοστά για όλη τη χρονοσειρά δεν δίνουν παρά μια πολύ γενική εκτίμηση. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές των απορροών που προκύπτουν για κάθε μήνα για τα διάφορα ποσοστά γιατί γίνεται πιο εμφανής με αυτό τον τρόπο η μεταβλητότητα στους μήνες για κάθε ποσοστό. Αυτό είναι ένα ενδιαφέρον στοιχείο γιατί στη συνέχεια αναλύονται τα ελλείμματα που παρουσιάζονται οπότε είναι αναγκαίο να είναι γνωστό για ποια ποσοστά απορροής εμφανίζεται μεγάλη μεταβλητότητα. Στον Πίνακα 5.8 φαίνονται τα αποτελέσματα για κάθε μήνα για διάφορα ποσοστημότητα απορροής καθώς και κάποιοι στατιστικοί δείκτες.

Από τη μελέτη αυτών των αποτελεσμάτων παρατηρείται ότι για μεγάλα ποσοστά μεγαλύτερα του εβδομήντα τις εκατό, υπάρχουν μικρές διαφοροποιήσεις, καθώς όπως αναφέρθηκε και πριν η συνηθέστερη τιμή απορροής που ξεπερνιέται είναι 0,001, άρα υπάρχει μικρή μεταβλητότητα. Αντίθετα για τα ποσοστά 40% ,45%, 50%

παρατηρείται μια μεταβλητότητα που είναι εμφανής τόσο στο διάγραμμα στο Σχήμα 5.3, όσο και στις τιμές του εύρους και της διασποράς που υπολογίστηκαν και δίνονται στο τέλος του Πίνακα 5.8 . Στα τρία ποσοστά αυτά παρατηρούνται οι μεγαλύτερες τιμές εύρους αλλά και διασποράς ενώ ποσοστά μεγαλύτερα του εβδομήντα τις εκατό είναι σχεδόν μηδενικές. Φαίνεται ακόμη ότι προκύπτουν υψηλές τιμές απορροής για τους χειμερινούς μήνες ενώ για τους καλοκαιρινούς είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Αυτό ήταν αναμενόμενο άλλωστε αφού η λεκάνη απορροής ανήκει σε περιοχή με εύκρατο κλίμα.

**Πίνακας 5. 4 Πίνακας με τις τιμές απορροής που προκύπτουν για διάφορα ποσοστημόρια για κάθε μήνα.**

Μήνας	40%	45%	50%	55%	60%	70%	80%	90%	95%
Οκτώβριος	0,008	0,007	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Νοέμβριος	0,065	0,05645	0,05	0,042	0,0366	0,023	0,009	0,001	0,001
Δεκέμβριος	0,22	0,19	0,16	0,14015	0,13	0,098	0,075	0,0489	0,03
Ιανουάριος	0,56	0,4619	0,39	0,3414	0,3	0,21	0,16	0,088	0,06345
Φεβρουάριος	0,8542	0,78	0,7	0,62	0,502	0,38	0,29	0,136	0,095
Μάρτιος	0,745	0,6698	0,61	0,55	0,5	0,4	0,324	0,21	0,12
Απρίλιος	0,48	0,42	0,3615	0,32775	0,29	0,24	0,184	0,11	0,07285
Μάιος	0,25	0,22	0,1965	0,17	0,14	0,11	0,0678	0,035	0,01
Ιούνιος	0,084	0,072	0,0615	0,05	0,042	0,024	0,012	0,001	0,001
Ιούλιος	0,014	0,009	0,005	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Αύγουστος	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Σεπτέμβριος	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Στατιστικά χαρακτηριστικά									
Μέσος όρος	0,2735	0,2407	0,2117	0,1872	0,1621	0,1241	0,0938	0,0528	0,0331
Διάμεσος	0,152	0,131	0,11075	0,095075	0,086	0,061	0,0399	0,018	0,0055
Μέγιστη τιμή	0,8542	0,78	0,7	0,62	0,502	0,4	0,324	0,21	0,12
Ελάχιστη τιμή	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Εύρος	0,8532	0,779	0,699	0,619	0,501	0,399	0,323	0,209	0,119
Διασπορά	0,0958	0,0768	0,0616	0,0494	0,0364	0,0222	0,0139	0,0048	0,0019



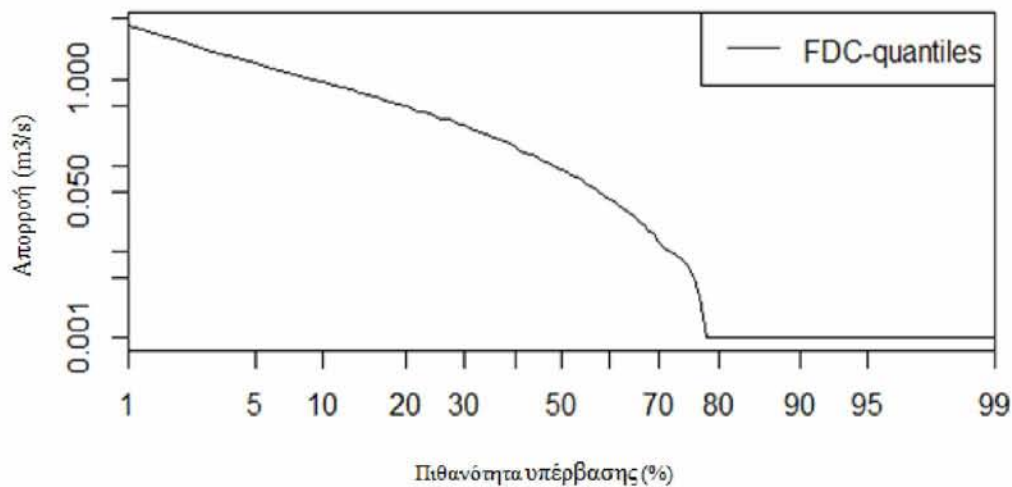
Σχήμα 5. 3 Διαγράμματα στα οποία απεικονίζεται η μεταβλητότητα των τιμών απορροής, που προκύπτουν για τα διάφορα ποσοστημόρια ροής, σε σχέση με τους μήνες.

Τα ίδια μπορούν να ειπωθούν και για τα αποτελέσματα για τις τιμές απορροής που προέκυψαν για τα διάφορα ποσοστημόρια για κάθε έτος.

Από τα παραπάνω, επιλέγονται τα ποσοστημόρια 50% ως καταλληλότερο για την εξαγωγή και την ανάλυση των ελλειμμάτων διότι εμφανίζει τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα τιμών στους μήνες. Ακόμη επιλέγεται και το ποσοστημόριο 70% γιατί σ αυτό προκύπτουν μικρότερες τιμές απορροής αλλά με μικρότερη μεταβλητότητα.

### 5.6 Καμπύλη διάρκειας απορροής.

Οι τιμές απορροής για τα διάφορα ποσοστημόρια είναι πιο εύκολο να βρεθούν με τη χρήση της καμπύλης διάρκειας-συχνότητας η οποία υπολογίστηκε και απεικονίζεται στο Σχήμα 5.4.



Σχήμα 5. 4 Καμπύλη διάρκειας συχνότητας η οποία υπολογίστηκε με δεδομένα για όλη τη χρονοσειρά.

Παρακάτω δίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα σε πίνακα, μόνο που σ αυτήν την περίπτωση η πιθανότητα που δίνεται είναι η πιθανότητα μη υπέρβασης.

Πίνακας 5. 5 Πίνακας στον οποίο δίνονται οι τιμές απορροής και η αντίστοιχη πιθανότητα μη υπέρβασης.

Πιθανότητα μη υπέρβασης	Απορροή	Πιθανότητα μη υπέρβασης	Απορροή	Πιθανότητα μη υπέρβασης	Απορροή	Πιθανότητα μη υπέρβασης	Απορροή
100%	4.2	75%	0.37	50%	0.089	25%	0.007
99%	4.2	74%	0.35	49%	0.084	24%	0.005
98%	2.8	73%	0.34	48%	0.078	23%	0.003
97%	2.1	72%	0.32	47%	0.073	22%	0.001
96%	1.8	71%	0.3	46%	0.069	21%	0.001
95%	1.55	70%	0.29	45%	0.064	20%	0.001
94%	1.35	69%	0.272	44%	0.058	19%	0.001
93%	1.2	68%	0.26	43%	0.054	18%	0.001
92%	1.1	67%	0.243	42%	0.05	17%	0.001
91%	1	66%	0.23	41%	0.044	16%	0.001
90%	0.92	65%	0.22	40%	0.041	15%	0.001
89%	0.85	64%	0.21	39%	0.038	14%	0.001
88%	0.8	63%	0.2	38%	0.034	13%	0.001
87%	0.75	62%	0.19	37%	0.031	12%	0.001
86%	0.7	61%	0.18	36%	0.028	11%	0.001
85%	0.66	60%	0.16	35%	0.025	10%	0.001
84%	0.62	59%	0.15	34%	0.022	9%	0.001
83%	0.58	58%	0.14	33%	0.02	8%	0.001
82%	0.55	57%	0.13192	32%	0.017	7%	0.001



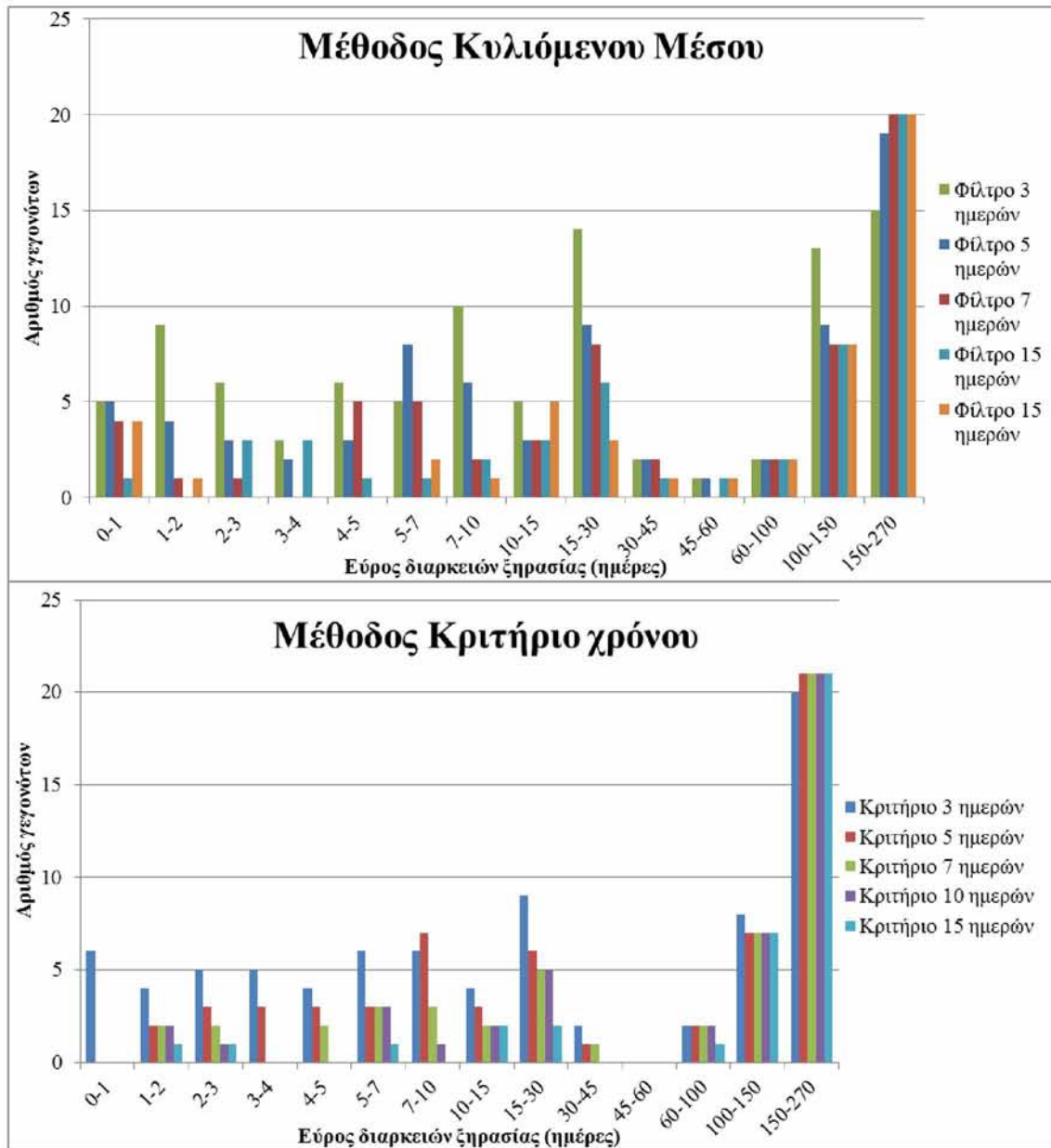
81%	0.52	56%	0.13	31%	0.016	6%	0.001
80%	0.49	55%	0.12	30%	0.013	5%	0.001
79%	0.46	54%	0.11	29%	0.011	4%	0.001
78%	0.43	53%	0.11	28%	0.01	3%	0.001
77%	0.41	52%	0.1	27%	0.009	2%	0.001
76%	0.39	51%	0.095	26%	0.008	1%	0.001

Παρατηρείται ότι η γραμμή της καμπύλης διάρκειας-απορροής παρουσιάζει μια μεγάλη ποικιλία και εύρος τιμών για ποσοστά υπέρβασης από 1% έως 78%, και από εκεί και πέρα μια απότομη μείωση και σταθεροποίηση της γραμμής στην τιμή απορροής 0,001 m<sup>3</sup>/s. Αυτή η εικόνα της καμπύλης διάρκειας-απορροής είναι η συνήθης εικόνα λεκανών που ανήκουν σε περιοχές με εύκρατο κλίμα και μαρτυράει την ύπαρξη δύο περιόδων μιας υγρής και μιας ξηρής περιόδου.

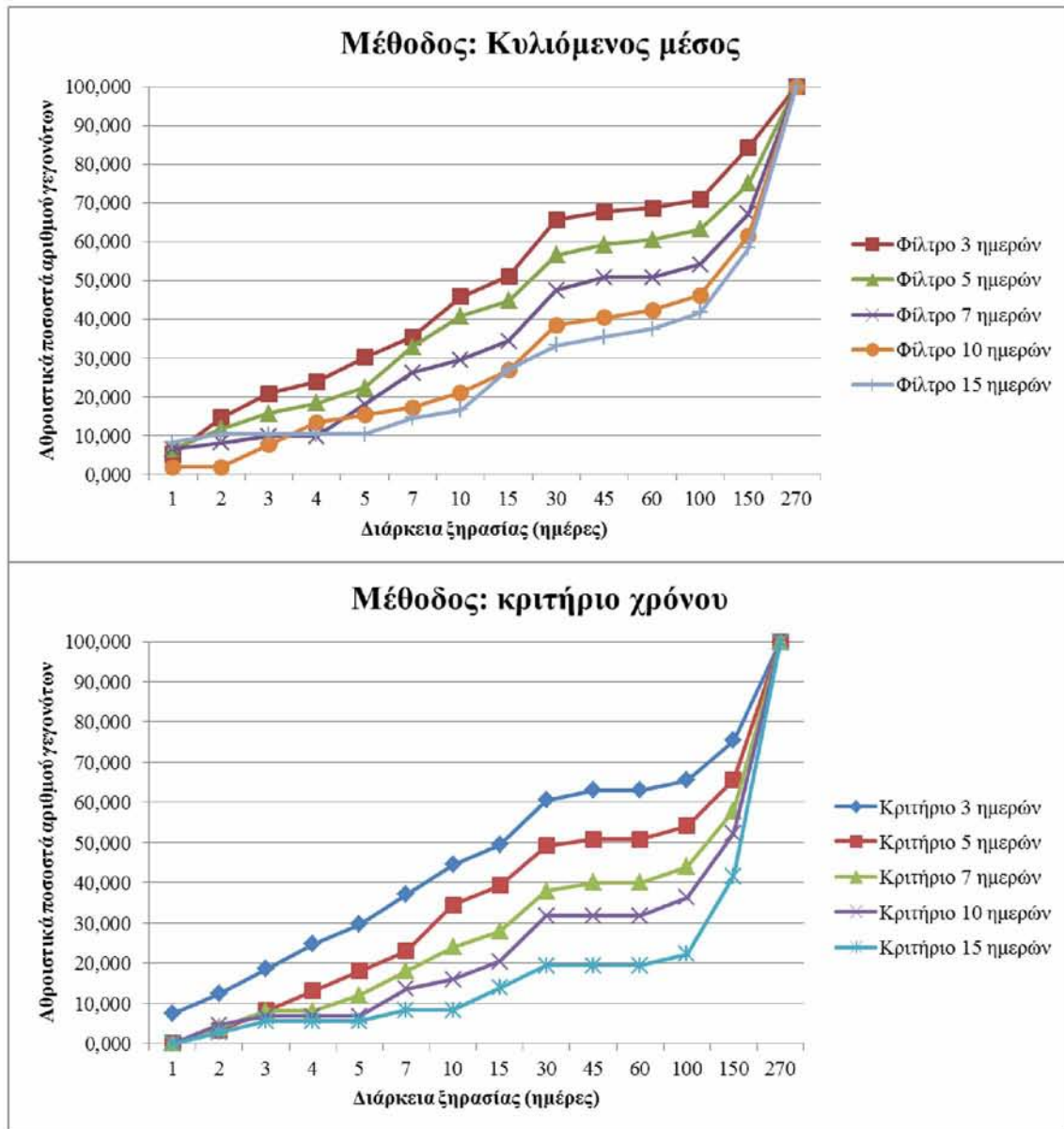
### 5.7 Διερεύνηση μεθόδων συνένωσης γεγονότων

Διερεύνηση με τη βοήθεια μηνιαία μεταβαλλόμενου ορίου ροής που προκύπτει από ποσοστημόριο 50%.

Μετά τον υπολογισμό όλων των παραπάνω δεικτών σκοπός είναι να υπολογιστούν τα ελλείμματα και τα χαρακτηριστικά τους. Όπως αναφέρεται και στη μεθοδολογία στο προηγούμενο κεφάλαιο προηγείται μια διερεύνηση μεταξύ των μεθόδων : κυλιόμενος μέσος, κριτήριο χρόνου και κριτήριο χρόνου και όγκου. Η διερεύνηση έγινε με την βοήθεια των αποτελεσμάτων για μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο για ποσοστημόριο 50%.



Σχήμα 5. 5 Διαγράμματα αριθμού γεγονότων ξηρασίας προς εύρος διαρκειών ξηρασίας για τις μεθόδους: κυλιόμενος μέσος και κριτήριο χρόνου.

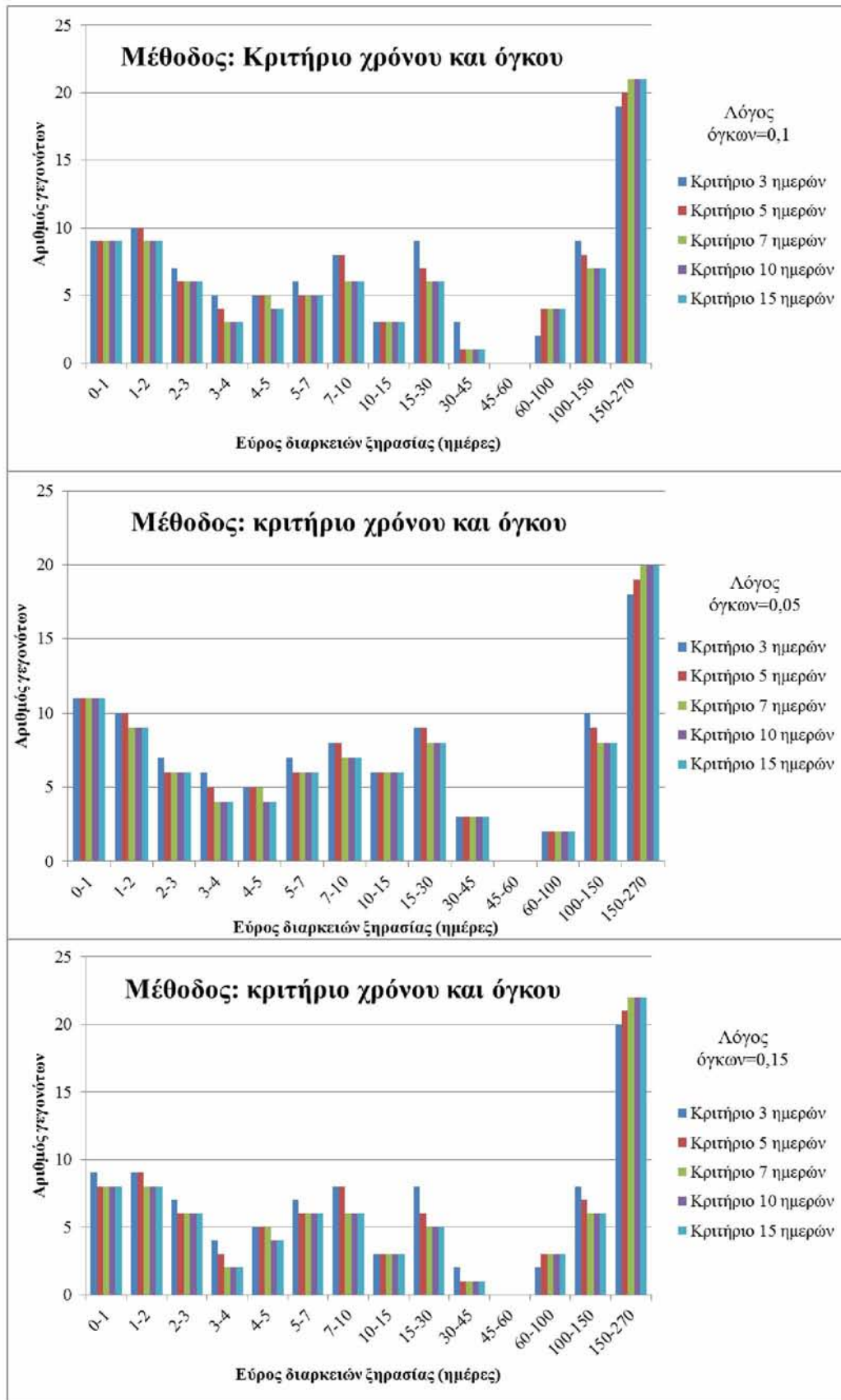


Σχήμα 5. 6 Διαγράμματα αθροιστικών ποσοστών γεγονότων προς τη διάρκεια ξηρασίας για τις μεθόδους: κυλιόμενος μέσος και κριτήριο χρόνου.

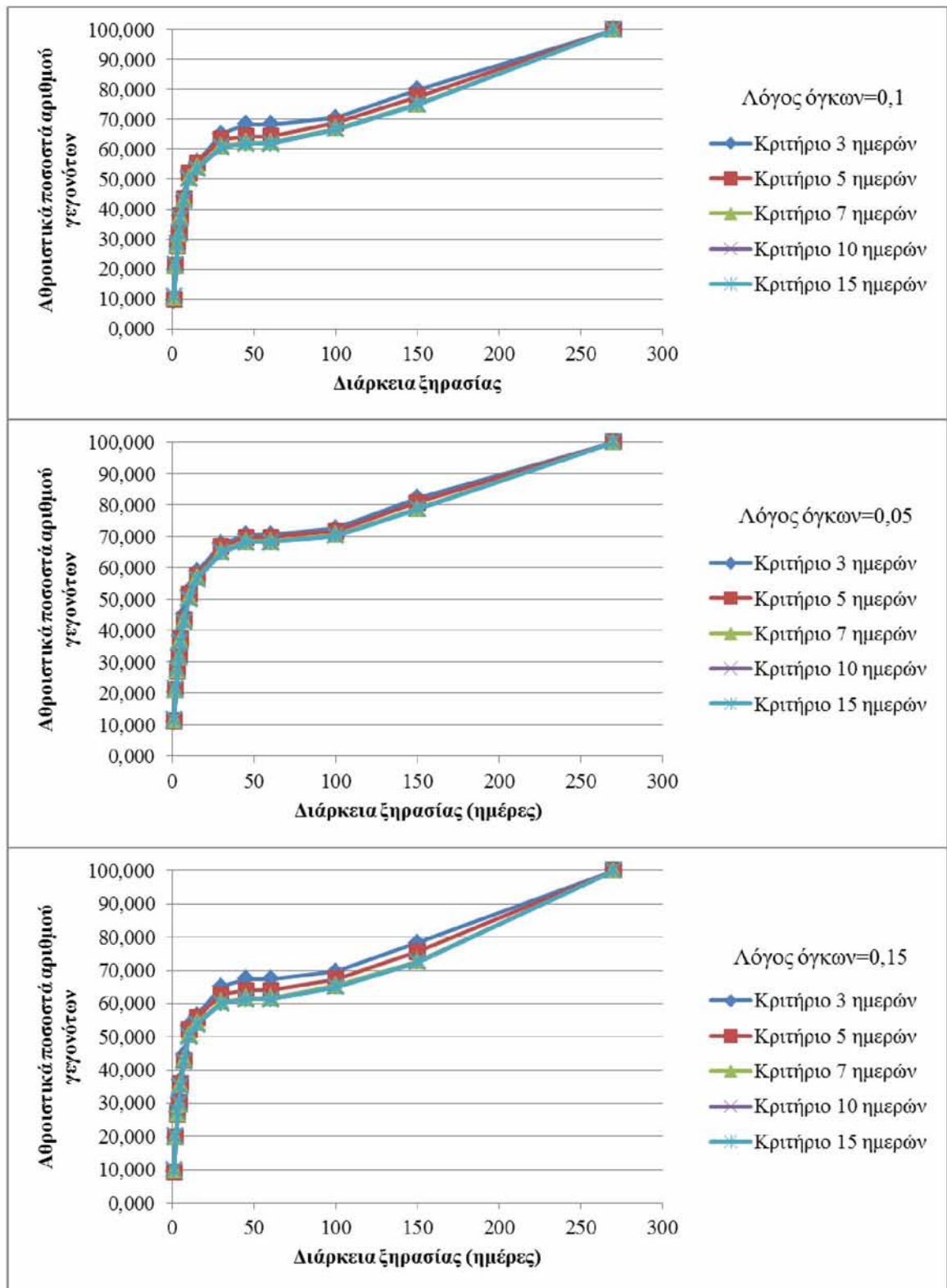
Από τα σχήματα 5.5 και 5.6 και για τις δύο μεθόδους παρατηρείται ότι όσο αυξάνει το διάστημα ημερών μειώνονται συνολικά ο αριθμός των γεγονότων αλλά και ο αριθμός των γεγονότων με μικρή διάρκεια. Όταν πραγματοποιείται συνένωση γεγονότων με διάστημα ημερών μεγαλύτερο του 7 εμφανίζονται μικρές διαφοροποιήσεις ενώ για μικρές διάρκειες ξηρασίας τα αποτελέσματα εμφανίζουν κάποιες διαφορές. Το πιο σημαντικό όμως και για τις δύο μεθόδους, που παρατηρείται από τα διαγράμματα με τα αθροιστικά ποσοστά του αριθμού των γεγονότων, είναι ότι οι κατανομές δεν συγκλίνουν και εμφανίζουν μεγάλες διαφορές. Συνεπώς υπάρχει υποκειμενικότητα στην επιλογή του διαστήματος των ημερών με το οποίο θα γίνει η συνένωση των γεγονότων οπότε κρίνονται ακατάλληλες.

Όσον αφορά τη μέθοδο κριτήριο χρόνου και όγκου εδώ έγινε διπλή διερεύνηση, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, μια για το διάστημα των ημερών κα μια

για τους λόγους των όγκων. Στα σχήματα 5.7 και 5.8 φαίνονται τα αποτελέσματα από τη διερεύνηση για τον αν υπάρχει υποκειμενικότητα στην επιλογή του διαστήματος των ημερών με το οποίο θα γίνει η συνένωση. Η διερεύνηση έγινε και για τους τρεις λόγους όγκων 0,05 , 0,1 , 0,15.



Σχήμα 5. 7 Διαγράμματα για την μέθοδο κριτήριο χρόνου και όγκου στα οποία φαίνονται ο αριθμός των γεγονότων σε σχέση με το εύρος διαρκειών ξηρασίας. Υπάρχουν τρία διαγράμματα για τους τρεις διαφορετικούς λόγους όγκων που διερευνήθηκαν.

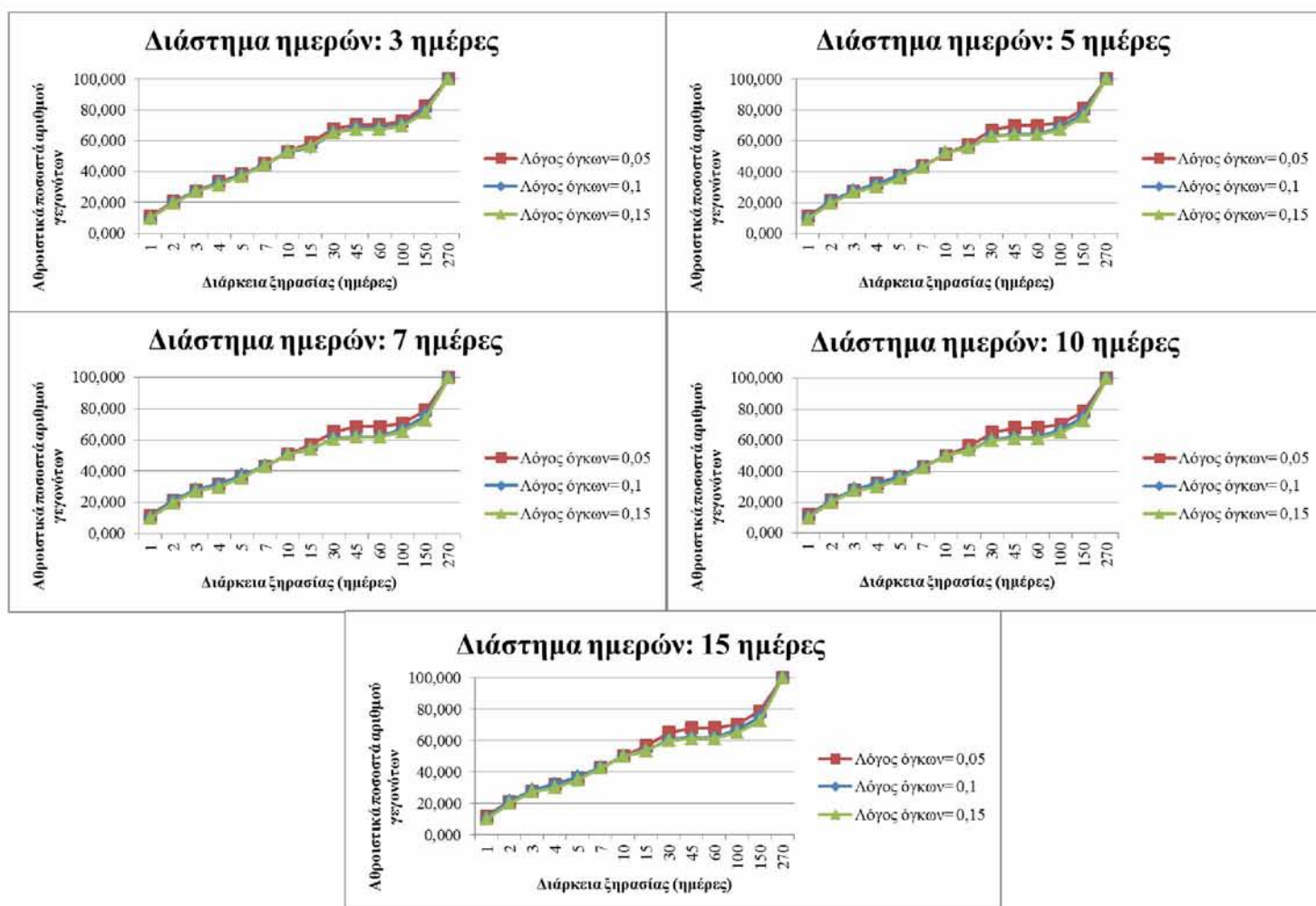


Σχήμα 5. 8 Διαγράμματα αθροιστικού αριθμού γεγονότων προς την διάρκεια ξηρασίας για τους τρεις διαφορετικούς λόγους όγκων. Στα διαγράμματα φαίνονται οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων διαστημάτων ημερών συνένωσης γεγονότων ξηρασίας.

Από το Σχήμα 5.7 παρατηρείται ότι και στις τρεις περιπτώσεις ότι όσο αυξάνει το διάστημα ημερών μειώνονται συνολικά ο αριθμός των γεγονότων. Μάλιστα για λόγο

0.1 έχουμε μικρότερο συνολικά αριθμό γεγονότων απ ότι για το λόγο 0.05 ενώ για λόγο 0.15 έχουμε ακόμη μικρότερο αριθμό γεγονότων σε σχέση με τους άλλους δύο λόγους. Για διαστήματα ημερών μεγαλύτερα των πέντε, τα αποτελέσματα εμφανίζουν πολύ μικρές διαφορές τόσο για τις μεγάλες διάρκειες ξηρασίας όσο και για τις μικρές διάρκειες ξηρασίας. Ακόμη από το Σχήμα 5.8 παρατηρείται ομοιομορφία στις κατανομές όπως επίσης και ταύτιση για διαστήματα ημερών μεγαλύτερα των εφτά. Αυτό σημαίνει ότι σ αυτήν τη μέθοδο δεν υπάρχει υποκειμενικότητα στην επιλογή του διαστήματος των ημερών με το οποίο θα γίνει η συνένωση των γεγονότων ξηρασίας και συνεπώς οποιοδήποτε διάστημα ημερών και να επιλεγεί δεν υπάρχει ουσιώδης διαφορά.

Εφόσον λοιπόν σ αυτή τη μέθοδο όλα τα διαστήματα ημερών δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα γίνεται στη συνέχεια διερεύνηση για το αν υπάρχει υποκειμενικότητα όταν αλλάζει ο λόγος των όγκων. Έτσι για κάθε διάστημα ημερών συγκρίνονται τα αποτελέσματα τριών λόγων 0.05, 0.1, 0.15. Στο Σχήμα 5.9 δίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα.



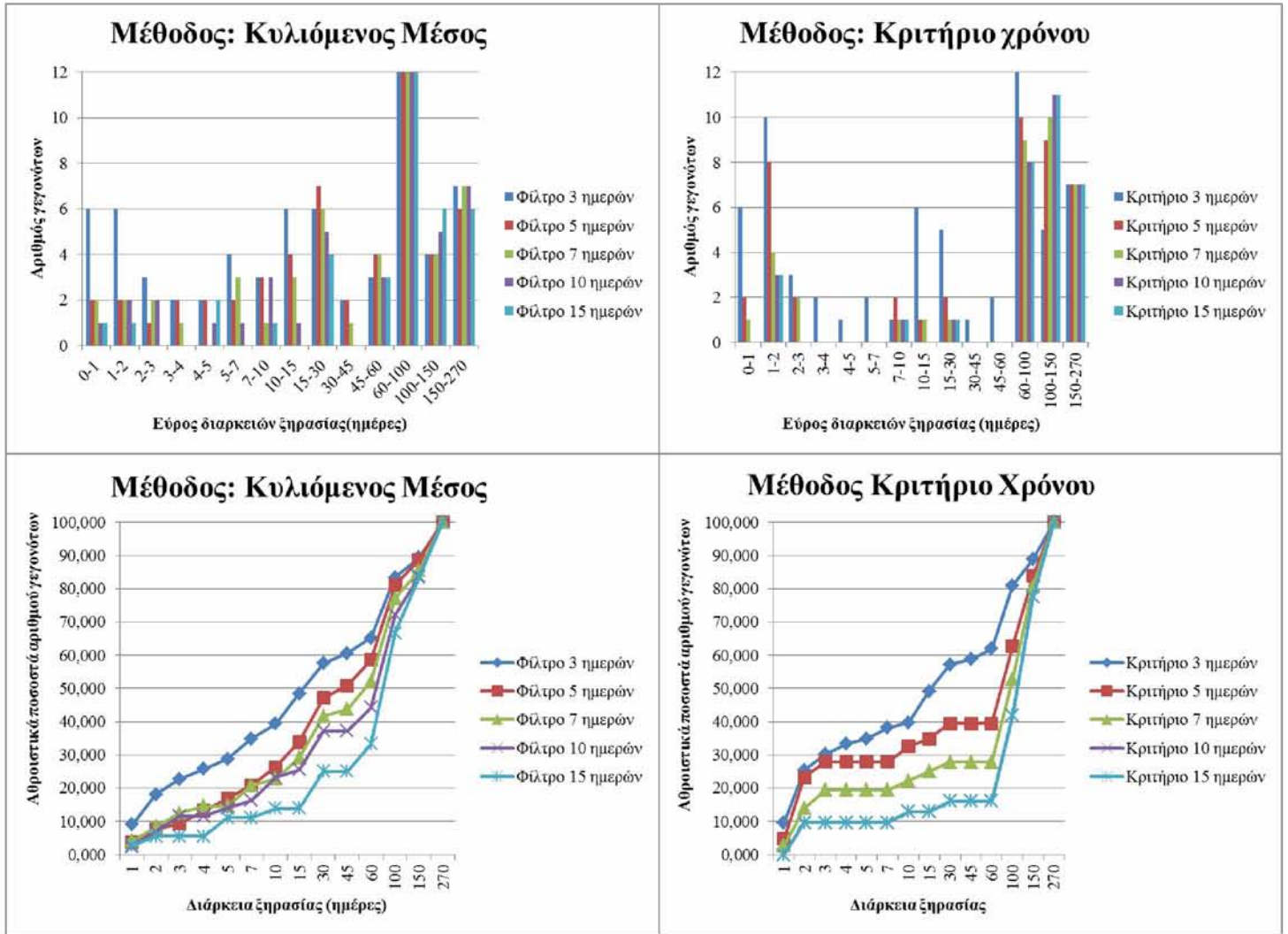
Σχήμα 5. 9 Διαγράμματα αθροιστικού αριθμού γεγονότων προς την διάρκεια ξηρασίας για τα πέντε διαφορετικά διαστήματα ημερών. Στα διαγράμματα φαίνονται οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων λόγων όγκων συνένωσης γεγονότων ξηρασίας.

Παρατηρείται ότι και για τις 3 περιπτώσεις λόγων οι κατανομές εμφανίζουν ομοιομορφία ενώ έχουμε και καλή σύγκλιση των αποτελεσμάτων. Συνεπώς δεν υπάρχει υποκειμενικότητα στην επιλογή του λόγου των όγκων με τον οποίο θα γίνει η συνένωση των γεγονότων.

Διερεύνηση με τη βοήθεια μηνιαία μεταβαλλόμενου ορίου ροής που προκύπτει από ποσοστημόριο 70%.

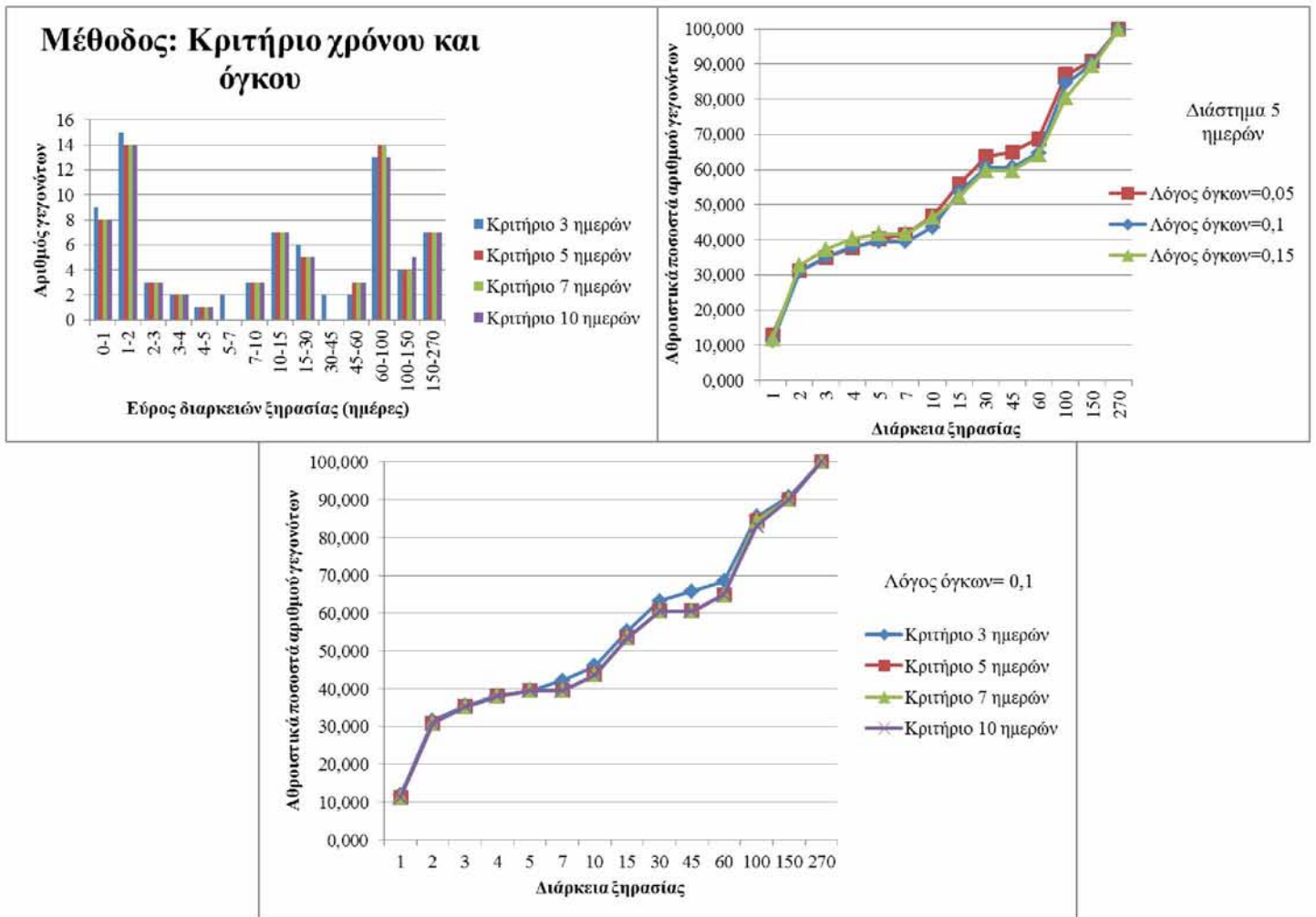
Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, διερεύνηση έγινε επίσης και με τα αποτελέσματα για όρια που προκύπτουν από το ποσοστημόριο ροής εβδομήντα της εκατό (70%). Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα ακολουθούσαν το ίδιο μοτίβο. Δηλαδή, για τις μεθόδους του κυλιόμενου μέσου και του κριτηρίου χρόνου δεν υπήρχε ομοιομορφία και σύγκλιση στα αποτελέσματα με αποτέλεσμα να εμφανίζεται υποκειμενικότητα στην επιλογή του διαστήματος των ημερών για συνένωση γεγονότων ξηρασίας. Αυτό δεν συνέβη στην μέθοδο του κριτηρίου χρόνου και όγκου όπου τα αποτελέσματα είχαν ομοιομορφία και πολύ καλή σύγκλιση. Η μόνη διαφορά που εντοπίστηκε είναι ότι ο συνολικός αριθμός γεγονότων που προκύπτει είναι μικρότερος στην περίπτωση του ποσοστημορίου 70% σε σχέση με του 50%. Παρακάτω δίνονται διαγράμματα προς απόδειξη του παραπάνω.





Σχήμα 5. 10 Επάνω σειρά: διαγράμματα για αριθμού γεγονότων προς το αντίστοιχο εύρος διαρκειών ξηρασίας για τις μεθόδους: κυλιόμενος μέσος και κριτήριο χρόνου. Κάτω σειρά: Αντίστοιχα για τις δύο μεθόδους διαγράμματα αθροιστικών ποσοστών αριθμού γεγονότων προς την διάρκεια ξηρασίας. Τα 4 διαγράμματα είναι για ποσοστημόριο ροής 70%

Όσον αφορά τη μέθοδο κριτηρίου χρόνου και όγκου δίνονται ενδεικτικά τα διαγράμματα : αριθμού γεγονότων-εύρος διαρκειών ξηρασίας, αθροιστικά ποσοστά αριθμού γεγονότων-διάρκεια ξηρασίας για διάστημα 5 ημερών, αθροιστικά ποσοστά αριθμού γεγονότων- διάρκεια ξηρασίας για λόγο όγκων 0,1.



Σχήμα 5. 11 Πάνω αριστερά: αριθμοί γεγονότων-εύρος διαρκειών ξηρασίας. Πάνω δεξιά: αθροιστικά ποσοστά αριθμού γεγονότων-διάρκεια ξηρασίας για διάστημα 5 ημερών. Κάτω: αθροιστικά ποσοστά αριθμού γεγονότων- διάρκεια ξηρασίας για λόγο όγκων 0,1. Τα διαγράμματα είναι για ποσοστημόριο ροής 70%.

Ως καταλληλότερη μέθοδος επιλέγεται η μέθοδος κριτηρίου χρόνου και όγκου και χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των ελλειμμάτων με διάστημα ημερών συνένωσης 5 ημέρες και λόγο όγκων συνένωσης 0,1.

## 5.8 Υπολογισμός και ανάλυση ελλειμμάτων

### Υπολογισμός και ανάλυση ελλειμμάτων για ποσοστημόριο ροής 50% :

Με την ολοκλήρωση της διερεύνησης και την επιλογή του κριτηρίου χρόνου και όγκου ως καταλληλότερη μέθοδο υπολογίστηκαν στη συνέχεια τα ελλείμματα και τα χαρακτηριστικά τους, όπως αναφέρει η μεθοδολογία στο δεύτερο κεφάλαιο, με τη βοήθεια του λογισμικού «R-project». Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν αρκετό ενδιαφέρον.

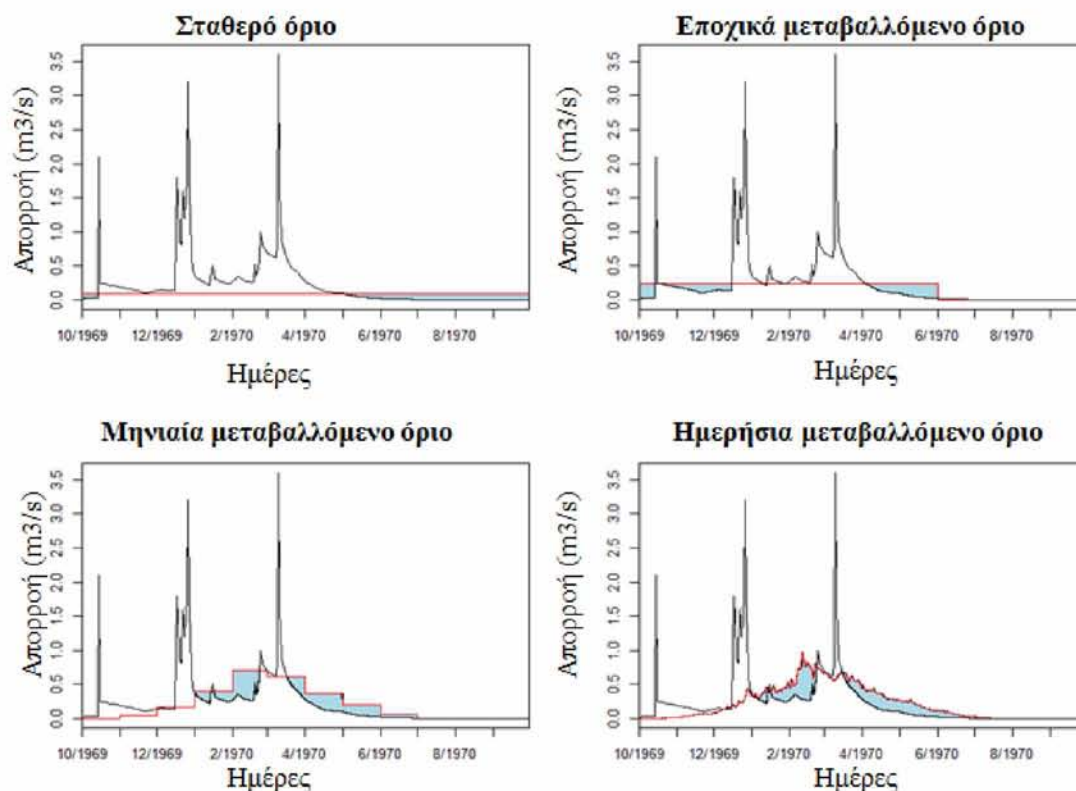
Στον Πίνακα 5.10 παρουσιάζονται στατιστικοί δείκτες, για όλα τα χαρακτηριστικά των ελλειμμάτων που προέκυψαν για όλα τα όρια της ανάλυσης για την περίπτωση του ποσοστημορίου 50%, από τους οποίους εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα.

Πίνακας 5. 6 Πίνακας με στατιστικούς δείκτες των χαρακτηριστικών των ελλειμμάτων που προέκυψαν για σταθερό όριο για εποχικά μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για την περίπτωση ποσοστημορίου 50%.

Στατιστικοί Δείκτες	Σταθερό όριο				Εποχικά μετ/νο. όριο			
	Διάρκεια (d)	Όγκος ελλείμματος m <sup>3</sup> (v)	Ένταση ελλείμματος (mi)	Ελάχιστη παροχή (Qmin)	Διάρκεια (d)	Όγκος ελλείμματος m <sup>3</sup> (v)	Ένταση ελλείμματος (mi)	Ελάχιστη παροχή (Qmin)
Γεγονότα	85				76			
Μέσος όρος (Μ.Ο.)	65,54	3,83E+05	3051,34	0,04	72,95	3,94E+05	3445,13	0,04
Διάμεσος	9,00	1,47E+04	1861,20	0,05	26,50	9,90E+04	3655,40	0,03
Μέγιστη τιμή	258,00	1,68E+06	7186,71	0,09	266,00	1,78E+06	9757,03	0,13
Ελάχιστη τιμή	1,00	86,40	86,40	0,00	1,00	86,40	86,40	0,00
Πλήθος τιμών > Μ.Ο.	29,00	29,00	34,00	46,00	29,00	28,00	40,00	32,00
Πλήθος τιμών < Μ.Ο.	56,00	56,00	51,00	39,00	47,00	48,00	36,00	44,00
Κύρτωση	-0,93	-0,53	-1,59	-1,76	-1,08	-0,46	-1,09	-0,82
Συχνότερα εμφανιζόμενη τιμή	2,00	432,00	432,00	0,00	1,00	518,40	518,40	0,00
1ο τεταρτημόριο	3,00	2419,20	806,40	0,00	6,75	7495,20	1110,86	0,00
3ο τεταρτημόριο	149,00	8,61E+05	5875,20	0,07	147,75	819633,60	5543,03	0,07
Ασυμμετρία	0,85	0,99	0,39	-0,11	0,70	0,92	0,10	0,79
Μεταβλητότητα	6,59E+03	2,77E+11	6,44E+06	0,00	6291,97	2,30E+11	5,55E+06	0,00
Εύρος	257,00	1,68E+06	7100,31	0,09	265,00	1,78E+06	9670,63	0,13
	<b>Μηνιαία μετ/νο όριο</b>				<b>Ημερήσια μετ/νο όριο</b>			
	Διάρκεια (d)	Όγκος ελλείμματος m <sup>3</sup> (v)	Ένταση ελλείμματος (mi)	Ελάχιστη παροχή (Qmin)	Διάρκεια (d)	Όγκος ελλείμματος m <sup>3</sup> (v)	Ένταση ελλείμματος (mi)	Ελάχιστη παροχή (Qmin)
Γεγονότα	208				186			
Μέσος όρος (Μ.Ο.)	27,98	2,26E+05	5625,12	0,16	30,17	2,52E+05	5020,78	0,19
Διάμεσος	10,00	2,33E+04	2873,77	0,09	7,00	1,22E+04	1793,21	0,10
Μέγιστη τιμή	649,00	6,19E+06	30621,15	0,68	647,00	6,24E+06	29837,22	0,95
Ελάχιστη τιμή	1,00	43,20	9,60	0,00	1,00	43,20	5,18	0,00

Πλήθος τιμών > M.O.	47,00	30,00	64,00	71,00	44,00	33,00	59,00	69,00
Πλήθος τιμών < M.O.	161,00	178,00	144,00	137,00	142,00	153,00	127,00	117,00
Κύρτωση	46,08	39,18	2,61	0,58	37,39	33,48	2,61	0,86
Συχνότερα εμφανιζόμενη τιμή	1,00	25920,00	2592,00	0,00	1,00	432,00	432,00	0,00
1ο τεταρτημόριο	3,00	4233,60	972,00	0,02	3,00	1296,00	415,80	0,02
3ο τεταρτημόριο	25,25	98776,80	6906,41	0,26	28,25	80211,60	6392,07	0,29
Ασυμμετρία	6,02	5,89	1,79	1,28	5,45	5,43	1,82	1,31
Μεταβλητότητα	4224,92	5,35E+11	4,70E+07	0,04	4936,96	6,14E+11	4,93E+07	0,05
Εύρος	648,00	6,19E+06	30611,55	0,68	646,00	6,24E+06	29832,04	0,95

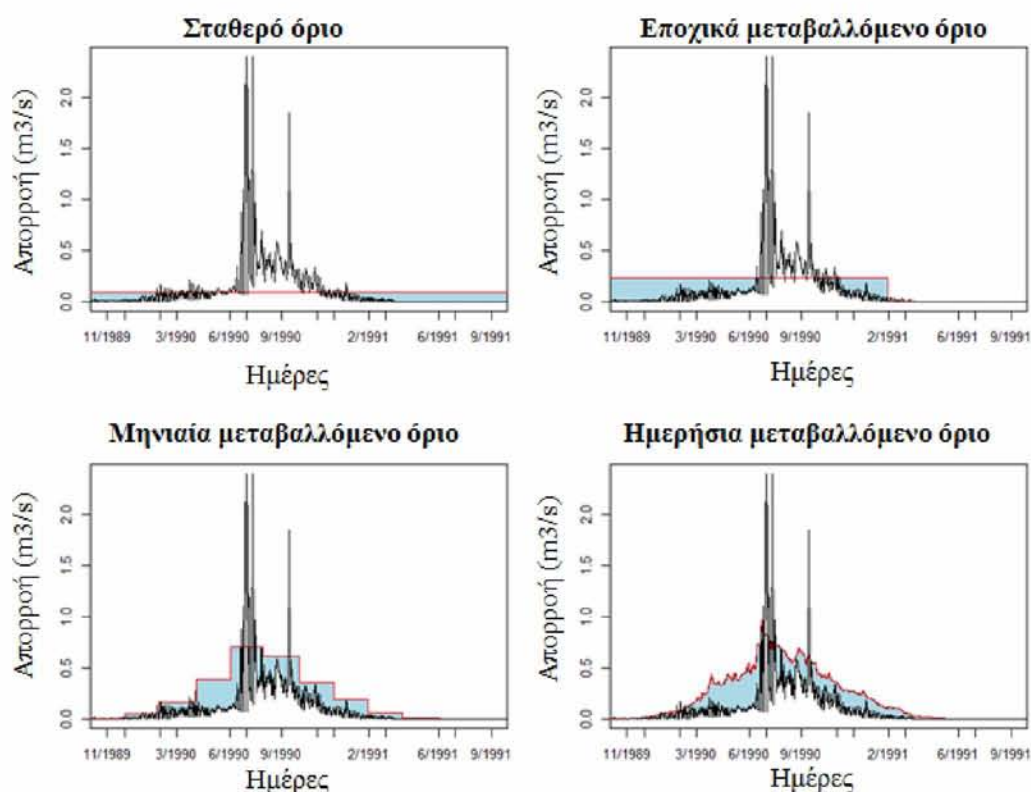
Από τον Πίνακα 5.10 είναι εμφανές ότι για τα διαφορετικά χρονικά πλαίσια των ορίων προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα. Αρχικά, όσον αφορά τον αριθμό των γεγονότων, παρατηρείται ότι για μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο ο αριθμός των γεγονότων που προκύπτει είναι πολύ μεγαλύτερος σε σχέση με τον αριθμό γεγονότων για σταθερό όριο και εποχικά μεταβαλλόμενο. Αυτό είναι λογικό αφού το σταθερό όριο είναι ένα για όλη τη χρονοσειρά και επειδή καθορίζεται απ όλες τις τιμές, οπότε ελλείμματα που υπάρχουν μέσα στους μήνες (ή τις ημέρες) πιθανόν να μην λαμβάνονται υπόψη. Αυτό δεν συμβαίνει με το μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο διότι υπάρχουν ξεχωριστά όρια για κάθε μήνα και κάθε μέρα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί για να προκύψει το κατώφλι απορροής για έναν μήνα λαμβάνονται οι τιμές απορροής για αυτόν τον μήνα και για τα τριάντα έτη. Για έναν χειμερινό μήνα π.χ. Ιανουάριο που οι τιμές των απορροών είναι υψηλότερες, στην περίπτωση του μηνιαία μεταβαλλόμενου ορίου το πρόγραμμα λαμβάνει τιμές μόνο για τον Ιανουάριο οπότε και το κατώφλι απορροής που προκύπτει είναι υψηλότερο άρα προκύπτουν και περισσότερα ελλείμματα. Αυτό όμως δεν συμβαίνει με το σταθερό και εποχικά μεταβαλλόμενο όριο αφού εκεί προκύπτει από όλες τις τιμές (άρα υπεισέρχονται στον υπολογισμό και χαμηλές παροχές καλοκαιρινών μηνών) και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκύπτουν μικρότερα όρια. Αυτό είναι εμφανές στο Σχήμα 5.12 όπου φαίνονται οι διαφορές των ελλειμμάτων και των ορίων για το υδρολογικό έτος 1969-70.



Σχήμα 5. 2 Απεικόνιση των διαφορών για τα όρια: σταθερό, εποχικά, μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο για το υδρολογικό έτος 1969-70.

Το παραπάνω συμπέρασμα αποτυπώνεται και στις τιμές των μέσων όρων για τις διάρκειες και τους όγκους των ελλειμμάτων. Παρατηρείται ότι για σταθερό και εποχικά μεταβαλλόμενο όριο προκύπτουν λιγότερα γεγονότα αλλά με μεγάλη μέση διάρκεια και όγκο ελλείμματος ενώ για τα μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο έχουμε πολλά γεγονότα αλλά με μικρή μέση διάρκεια (η μισή της μέσης διάρκειας του σταθερού και εποχικά μεταβαλλόμενου ορίου) και όγκο ελλείμματος. Το αντίστροφο όμως ισχύει για τη μέση ένταση διότι είναι ο λόγος του όγκου προς την διάρκεια και συνεπώς για μικρή μέση διάρκεια προκύπτει μεγαλύτερη ένταση. Το ίδιο ισχύει και για την μέση μέγιστη ένταση ξηρασίας που είναι κατά πολύ μεγαλύτερη στο μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο απ ότι στα άλλα δύο. Τα παραπάνω οφείλονται στο γεγονός ότι σε εύκρατα κλίματα κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους υπάρχουν έντονες μικρής διάρκειας ξηρασίες οι οποίες ακολουθούνται από περιόδους υψηλής βροχόπτωσης κάτι που μπορεί να αποτυπωθεί μόνο όταν η ανάλυση γίνεται για μηνιαία μεταβαλλόμενο ή ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο κάτι που αποδεικνύεται και στις παραπάνω τιμές. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί και από τις τιμές του Πίνακα 5.10 για την πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή και το πλήθος τιμών που είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες του μέσου όρου, και για τις 4 περιπτώσεις, συμπεραίνεται ότι στην υπό εξέταση λεκάνη κυριαρχούν μικρότερης κλίμακας γεγονότα ξηρασίας αφού για όλα τα χαρακτηριστικά (διάρκεια, όγκος και εντάσεις ελλειμμάτων) τα μεγαλύτερο ποσοστό των γεγονότων έχει μικρότερη τιμή από την τιμή του αντίστοιχου μέσου όρου.

Οι μέγιστες τιμές των χαρακτηριστικών εμφανίζουν μεγάλες διαφορές για τα διαφορετικά χρονικά πλαίσια. Για παράδειγμα η μέγιστη διάρκεια ελλείμματος για μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο είναι κοντά στα 2 έτη (649 και 647 μέρες αντίστοιχα στα έτη 1990-91) ενώ για τα άλλα δύο χρονικά πλαίσια είναι λιγότερο από ένα χρόνο. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα όρια που προκύπτουν για το μηνιαία μεταβαλλόμενο και ημερήσια μεταβαλλόμενο είναι πολύ υψηλότερα για αυτά τα δύο έτη από αυτά που προκύπτουν για το σταθερό όριο και το εποχικά μεταβαλλόμενο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν ελλείμματα καθ' όλη τη διάρκεια των υδρολογικών ετών 1990-91, 1991-92. Ο παραπάνω ισχυρισμός γίνεται εμφανής στο Σχήμα 5.13 .



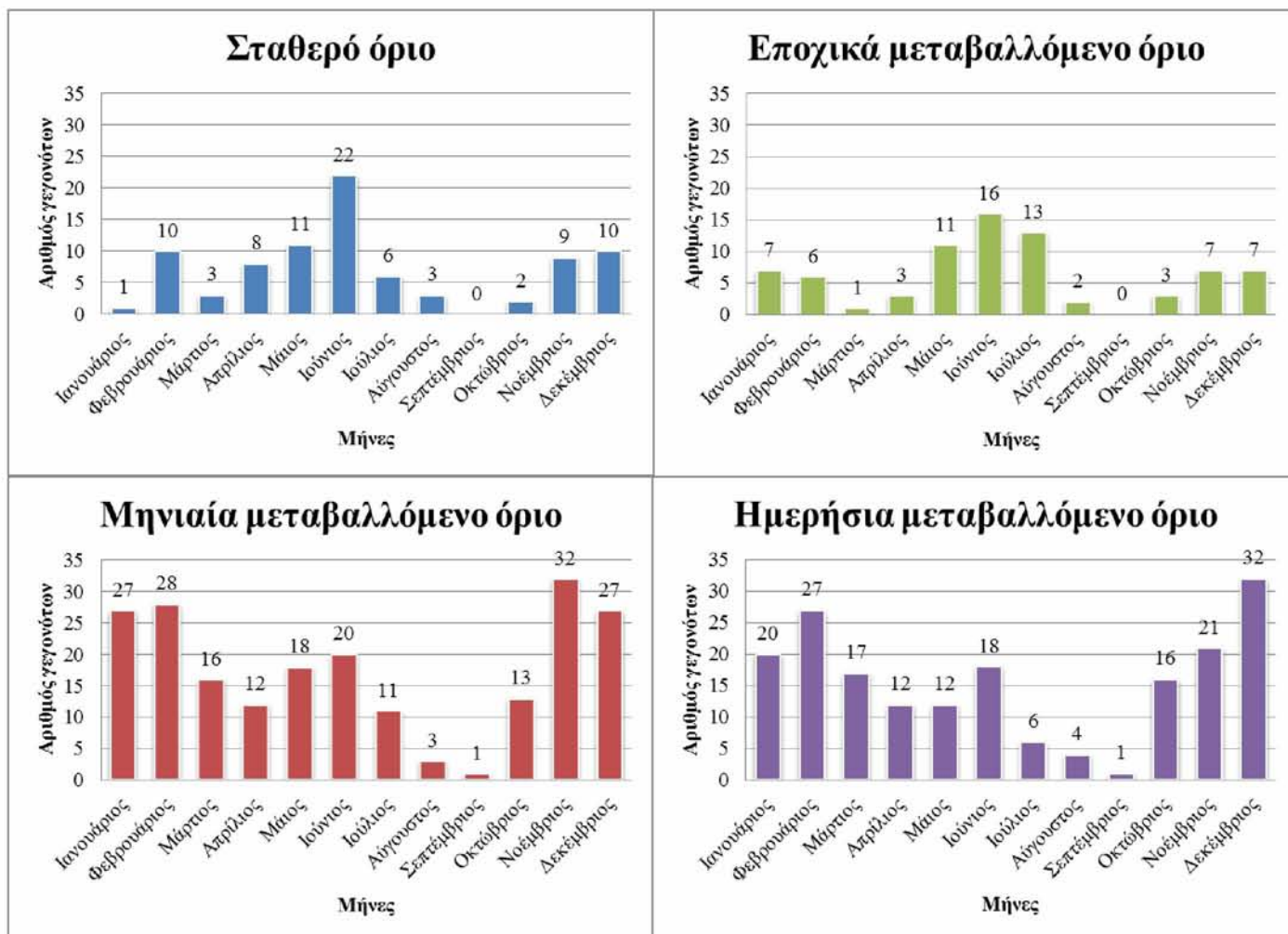
Σχήμα 5. 3 Απεικόνιση των διαφορών των ορίων για το υδρολογικό έτος 1990-91.

Οι υψηλές τιμές που παρατηρήθηκαν σ αυτές τις 2 περιπτώσεις για τα μέγιστα (και για τα 4 χαρακτηριστικά) φαίνεται ότι επηρεάζουν και την τιμή του μέσου όρου αφού αυτός εμφανίζει σημαντικές διαφορές από την αντίστοιχη τιμή της διαμέσου και για τα 4 χαρακτηριστικά. Αυτό ακολούθως σημαίνει ότι δεν υπάρχει καλή συμμετρία στις τιμές των αποτελεσμάτων κάτι το οποίο αποδεικνύεται και στις τιμές των συντελεστών ασυμμετρίας που είναι ιδιαίτερα υψηλοί για αυτές τις δύο περιπτώσεις. Μάλιστα, για μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο οι τιμές της κύρτωσης είναι πολύ υψηλές και θετικές πράγμα που σημαίνει ότι η κατανομή παρουσιάζει οξυότητα και όχι ομαλότητα. Αυτό οφείλεται στο ότι τα περισσότερα γεγονότα είναι για διάρκειες μικρότερες από τη μέση διάρκεια. Αντιθέτως για τις περιπτώσεις του σταθερού και του μηνιαία μεταβαλλόμενου ορίου οι τιμές της ασυμμετρίας είναι

μικρότερες ενώ οι τιμές κύρτωσης αρνητικές στοιχεία τα οποία δείχνουν γι αυτές τις περιπτώσεις μια πιο ομαλή κατανομή.

Τέλος στα αποτελέσματα υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα που αποτυπώνεται στις τιμές του εύρους και της διακύμανσης.

Ένα άλλο στοιχείο που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι το πότε ξεκινάνε τα περισσότερα ελλείμματα.

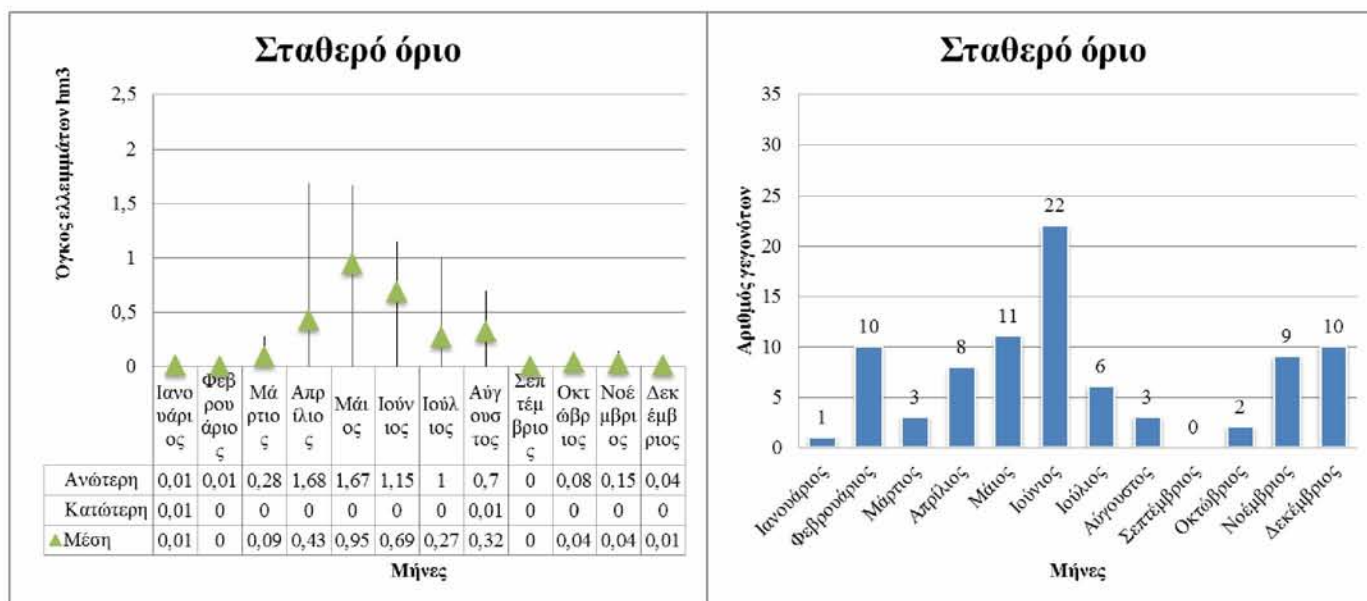


Σχήμα 5. 14 Διαγράμματα για κάθε όριο στα οποία απεικονίζεται ο χρόνος (μήνας) στον οποίο ξεκινάνε τα περισσότερα ελλείμματα, για όρια που προκύπτουν για ποσοστημόριο ροής 50%.

Από το Σχήμα 5.14 φαίνεται ότι για σταθερό και για εποχικά μεταβαλλόμενο όριο τα περισσότερα ελλείμματα ξεκινούν τον μήνα Ιούνιο ενώ για μηνιαία μεταβαλλόμενο τον Νοέμβριο και για ημερήσια μεταβαλλόμενο τον Δεκέμβριο. Αν εξετάσει κάποιος γίνεται σ όλους τους μήνες παρατηρείται ότι για τις περιπτώσεις σταθερού και εποχικά μεταβαλλόμενου ορίου τα περισσότερα ελλείμματα ξεκινάνε τους καλοκαιρινούς μήνες (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) και πολύ λιγότερα τους χειμερινούς (Οκτώβριος-Μάρτιος). Η κατανομή των ελλειμμάτων μέσα στους μήνες για τις δύο πρώτες περιπτώσεις ορίων μαρτυράει την ύπαρξη δύο περιόδων : υγρούς χειμώνες και ξερά καλοκαίρια. Αυτό είναι λογικό γιατί όταν η ανάλυση γίνεται με όρια που καθορίζονται από μεγάλα χρονικά βήματα (σε ετήσια και εποχιακή βάση)

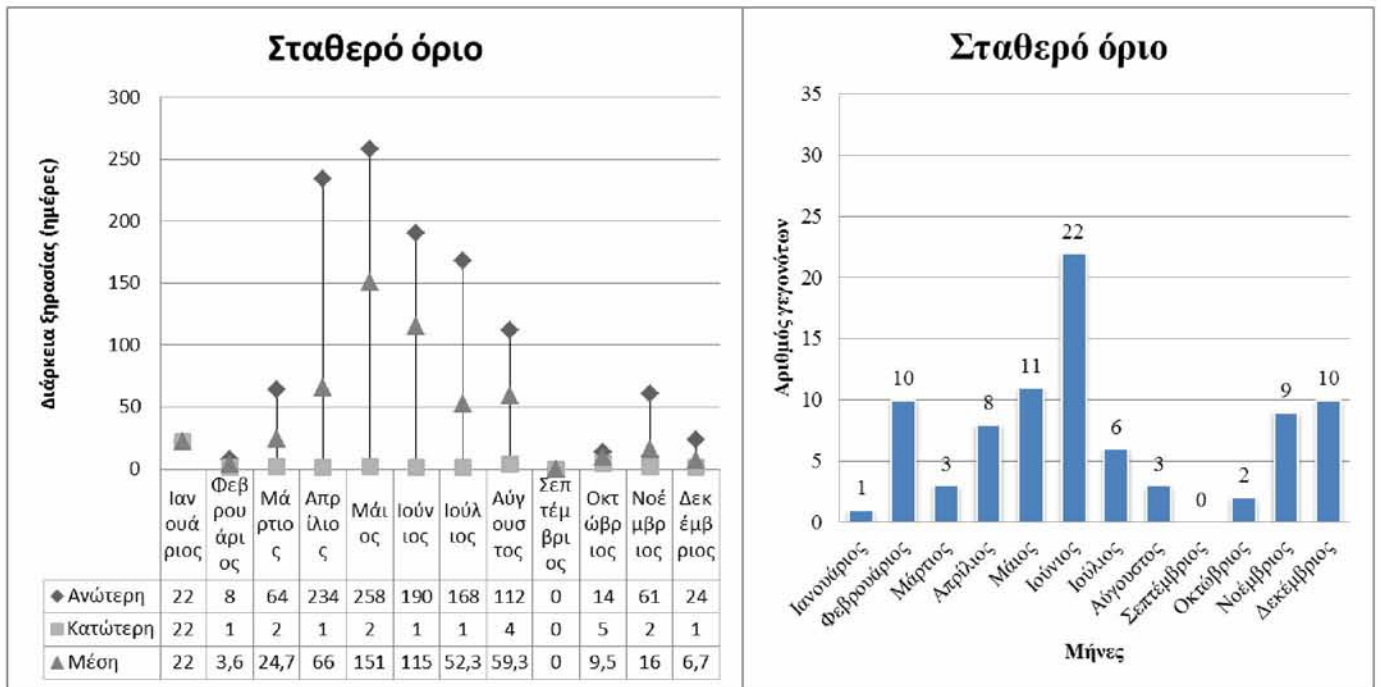
αποτυπώνονται κυρίως τα μεγάλα ελλείμματα που πραγματοποιούνται συνήθως την εποχή με μειωμένη βροχόπτωση, και στη συγκεκριμένη λεκάνη απορροής το καλοκαίρι αφού αυτή ανήκει σε περιοχή με εύκρατο κλίμα. Τα αντίστροφα ισχύουν στις περιπτώσεις του μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενου ορίου όπου εκεί υπάρχει μια πιο λεπτομερής καταγραφή των ελλειμμάτων και μαρτυρούν την ύπαρξη και χειμερινών ελλειμμάτων. Αυτή η πληροφορία είναι πιο χρήσιμη και ενδιαφέρουσα διότι τα υδρολογικά ελλείμματα που παρατηρούνται σε χειμερινούς μήνες δεν είναι φυσιολογικά και πρέπει να προληφθούν ενώ τα καλοκαιρινά ελλείμματα είναι αναμενόμενα.

Η προαναφερθείσα πληροφορία αποκτά ακόμη μεγαλύτερο νόημα αν εξεταστεί η κατανομή του όγκου των ελλειμμάτων και της διάρκειας στους μήνες και σύγκριση με τον αριθμό των γεγονότων στους αντίστοιχους μήνες. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν δύο κατηγορίες διαγραμμάτων. Στην πρώτη πλοττάρεται η μέγιστη, η ελάχιστη τιμή και η μέση τιμή του όγκου των ελλειμμάτων σε σχέση με τους μήνες, ενώ στην δεύτερη η μέγιστη, η ελάχιστη και η μέση τιμή της διάρκειας των ελλειμμάτων σε σχέση με τους μήνες. Από τα αποτελέσματα όμως παρατηρείται το αναμενόμενο, δηλαδή, στους μήνες που ξεκινάνε τα περισσότερα ελλείμματα προκύπτουν και οι μεγαλύτερες μέσες και μέγιστες τιμές του όγκου των ελλειμμάτων και της διάρκειας των γεγονότων. Στα Σχήματα 5.15 και 5.16 δίνονται ενδεικτικά ένα διάγραμμα από κάθε κατηγορία.



Σχήμα 5. 15 Αριστερά: Διάγραμμα μέγιστης, ελάχιστης και μέσης τιμής όγκου ελλειμμάτων σε σχέση με τους μήνες για σταθερό όριο. Δεξιά: Διάγραμμα αριθμού γεγονότων σε σχέση με τους μήνες για σταθερό όριο.





Σχήμα 5. 16 Αριστερά: Διάγραμμα μέγιστης, ελάχιστης και μέσης τιμής διάρκειας ξηρασίας σε σχέση με τους μήνες για σταθερό όριο. Δεξιά: Διάγραμμα αριθμού γεγονότων σε σχέση με τους μήνες για σταθερό όριο.

Υπολογισμός και ανάλυση ελλειμμάτων για ποσοστημόριο 70% και σύγκριση με τα αποτελέσματα για ποσοστημόριο ροής 50% :

Όσον αφορά τα αποτελέσματα για το ποσοστημόριο 70% δεν εμφανίζουν μεγάλες διαφορές όσον αφορά το μοτίβο που ακολουθούν. Δηλαδή ενώ φαίνεται ότι οι τιμές είναι γενικά μικρότερες στη περίπτωση του ποσοστού ροής 70 ωστόσο υπάρχει και στις δύο περιπτώσεις μεγάλη μεταβλητότητα και διασπορά στις τιμές των αποτελεσμάτων, ασυμμετρία και δεν υπάρχουν ομαλές κατανομές. Επιπλέον, για την ανάλυση που γίνεται για την εποχή που ξεκινάει τα ελλείμματα το καθεστώς είναι το ίδιο και στις 2 περιπτώσεις. Ακόμη οι διαφορές που ισχύουν για τα διάφορα χρονικά πλαίσια στη μια περίπτωση είναι κατά πλειοψηφία ίδιες και στην άλλη περίπτωση. Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας και ένα διάγραμμα, με τη βοήθεια των οποίων αποδεικνύεται ο παραπάνω ισχυρισμός.

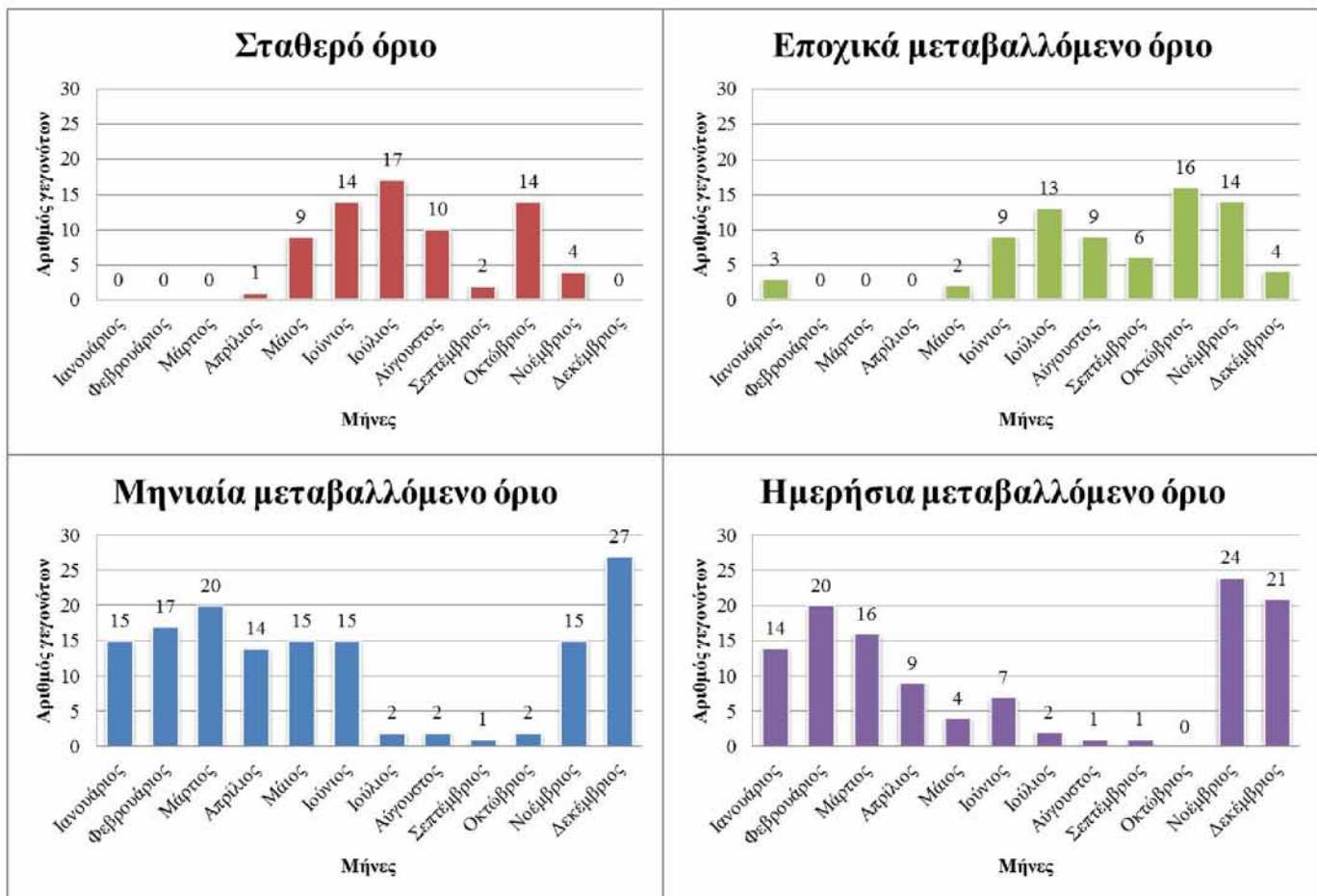
Στον Πίνακα 5.11 παρουσιάζονται στατιστικοί δείκτες, για όλα τα χαρακτηριστικά των ελλειμμάτων που προέκυψαν για όλα τα όρια της ανάλυσης για την περίπτωση του ποσοστημορίου 70%, από τους οποίους εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα.

Πίνακας 5. 11 Πίνακας με στατιστικούς δείκτες των χαρακτηριστικών των ελλειμμάτων που προέκυψαν για σταθερό όριο για εποχικά μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για την περίπτωση ποσοστημορίου 70%.

Στατιστικοί Δείκτες	Σταθερό όριο				Εποχικά μεταβαλλόμενο όριο			
	Διάρκεια (d)	Όγκος ελλείμματος $m^3$ (v)	Ένταση ελλείμματος (mi)	Ελάχιστη παροχή (Qmin)	Διάρκεια (d)	Όγκος ελλείμματος $m^3$ (v)	Ένταση ελλείμματος (mi)	Ελάχιστη παροχή (Qmin)
Γεγονότα	71				76			
Μέσος όρος	45,704	3,952E+04	5,765E+02	0,005	43,605	5,337E+04	1,009E+03	0,012

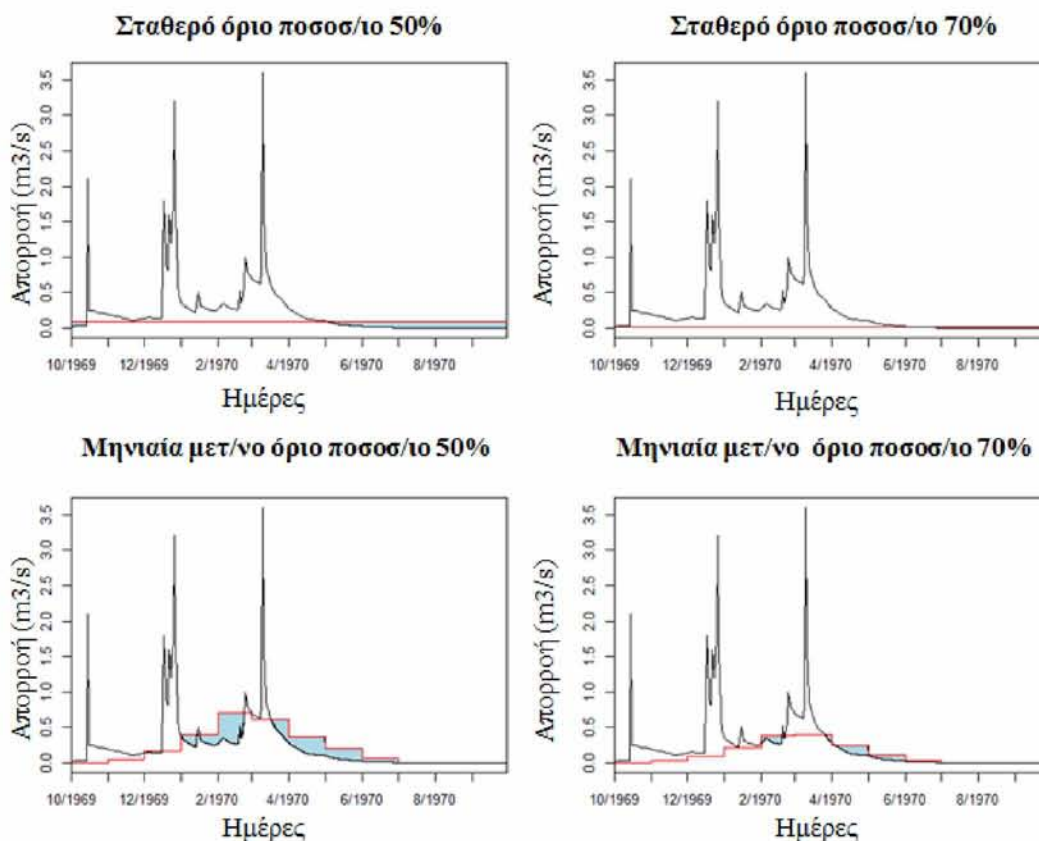
(Μ.Ο.)								
Διάμεσος	15,000	6,048E+03	5,848E+02	0,003	15,500	1,045E+04	8,531E+02	0,001
Μέγιστη τιμή	204,000	2,080E+05	1,037E+03	0,012	205,000	3,371E+05	3,302E+03	0,043
Ελάχιστη τιμή	1,000	86,400	43,200	0,001	1,000	69,120	43,200	0,001
Πλήθος τιμών > Μ.Ο.	28,000	25,000	36,000	31,000	27,000	26,000	31,000	26,000
Πλήθος τιμών < Μ.Ο.	43,000	46,000	35,000	40,000	49,000	50,000	45,000	50,000
Κύρτωση	0,455	1,217	-1,626	-1,452	1,380	2,546	-0,176	-0,856
Συχνότερα εμφανιζόμενη τιμή	2,000	86,400	172,800	0,001	2,000	743,040	371,520	0,001
1ο τεταρτημόριο	2,000	561,600	248,400	0,001	3,000	1300,320	172,800	0,001
3ο τεταρτημόριο	79,500	66916,800	928,990	0,009	71,500	8,954E+04	1,547E+03	0,026
Ασυμμετρία	1,213	1,456	-0,064	0,482	1,469	1,683	0,890	0,925
Μεταβλητότητα	3,163E+03	3,014E+09	1,192E+05	0,000	2915,522	5,840E+09	8,050E+05	0,000
Εύρος	203,000	2,079E+05	9,936E+02	0,011	204,000	3,370E+05	3,259E+03	0,042
	<b>Μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο</b>				<b>Ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο</b>			
	Διάρκεια (d)	Όγκος ελλείμματος m <sup>3</sup> (v)	Ένταση ελλείμματος (mi)	Ελάχιστη παροχή (Qmin)	Διάρκεια (d)	Όγκος ελλείμματος m <sup>3</sup> (v)	Ένταση ελλείμματος (mi)	Ελάχιστη παροχή (Qmin)
Γεγονότα	145				119			
Μέσος όρος (Μ.Ο.)	24,586	1,001E+05	2,997E+03	0,122	29,126	1,340E+05	3,340E+03	0,137
Διάμεσος	6,000	1,123E+04	1,944E+03	0,084	8,000	1,247E+04	1,884E+03	0,090
Μέγιστη τιμή	346,000	2,671E+06	1,693E+04	0,393	344,000	2,928E+06	1,979E+04	0,500
Ελάχιστη τιμή	1,000	0,000	0,000	0,001	1,000	0,000	0,000	0,001
Πλήθος τιμών > Μ.Ο.	28,000	0,000	52,000	51,000	19,000	19,000	38,000	0,000
Πλήθος τιμών < Μ.Ο.	117,000	145,000	93,000	94,000	100,000	100,000	81,000	100,000
Κύρτωση	18,044	38,616	3,373	-0,448	13,570	28,429	4,281	-0,378
Συχνότερα εμφανιζόμενη τιμή	2,000	4320,000	864,000	0,001	2,000	604,800	604,800	0,001
1ο τεταρτημόριο	3,000	1900,800	439,200	0,020	2,500	2116,800	708,660	0,028
3ο τεταρτημόριο	18,000	46051,200	4677,382	0,190	20,500	6,225E+04	4,451E+03	0,230
Ασυμμετρία	4,125	5,837	1,711	0,895	3,648	5,053	1,968	0,869
Μεταβλητότητα	3,160E+03	1,046E+11	1,143E+07	0,014	4,230E+03	1,612E+11	1,561E+07	0,018
Εύρος	345,000	2,671E+06	1,693E+04	0,392	343,000	2,928E+06	1,979E+04	0,499

Στο Σχήμα 5.17 απεικονίζεται το πότε ξεκινάνε τα περισσότερα ελλείμματα κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους.



Σχήμα 5. 17 Διαγράμματα για κάθε όριο στα οποία απεικονίζεται ο χρόνος (μήνας) στον οποίο ξεκινάνε τα περισσότερα ελλείμματα, για όρια που προκύπτουν για ποσοστημόριο ροής 70%.

Ωστόσο στη δεύτερη περίπτωση ο αριθμός των γεγονότων που προκύπτουν για ποσοστημόριο 70% είναι ξεκάθαρα μικρότερος. Αυτό γιατί όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστημόριο ροής τόσο μικρότερη τιμή απορροής προκύπτει ως όριο με αποτέλεσμα εν τέλει να προκύπτουν και λιγότερα γεγονότα. Στο Σχήμα 5.18 φαίνονται οι διαφορές των ορίων που προκύπτουν για ποσοστημόρια ροής 50% και 70% για σταθερό και μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο.



Σχήμα 5. 18 Γραφική απεικόνιση των διαφορών των ορίων που προκύπτουν για ποσοστημόρια ροής 50% και 70% για σταθερό και μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο.

### 5.9 Πιθανοθεωρητική ανάλυση

Μετά την ολοκλήρωση του υπολογισμού και της ανάλυσης των χαρακτηριστικών των ελλειμμάτων, είναι πλέον εφικτό να γίνει πιθανοθεωρητική ανάλυση. Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα για τα χαρακτηριστικά των ελλειμμάτων του ποσοστημορίου ροής 50%.

Τα αποτελέσματα για τα χαρακτηριστικά των ελλειμμάτων που προέκυψαν για το ποσοστημόριο απορροής 50%, και συγκεκριμένα οι όγκοι ελλειμμάτων, χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή του δείγματος για να γίνει η πιθανοθεωρητική ανάλυση. Στο κεφάλαιο 4 περιγράφηκε η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή του δείγματος και ενδεικτικά δίνονται τα αποτελέσματα για μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο στον Πίνακα 5.12 .

Πίνακας 5. 12 Δείγματα για μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο. Στον πίνακα φαίνονται για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας, για κάθε έτος, οι μέγιστοι όγκοι ελλείμματος.

Ετος	Μέγιστοι όγκοι ελλείμματος για επιλεγμένη διάρκεια ξηρασίας 30 ημέρες	Μέγιστοι όγκοι ελλείμματος για επιλεγμένη διάρκεια ξηρασίας 60 ημέρες	Μέγιστοι όγκοι ελλείμματος για επιλεγμένη διάρκεια ξηρασίας 90 ημέρες	Μέγιστοι όγκοι ελλείμματος για επιλεγμένη διάρκεια ξηρασίας 180 ημέρες	Μέγιστοι όγκοι ελλείμματος για επιλεγμένη διάρκεια ξηρασίας 360 ημέρες
1/10/1969	707545,95	872640	872640	1003778,777	1349524,8

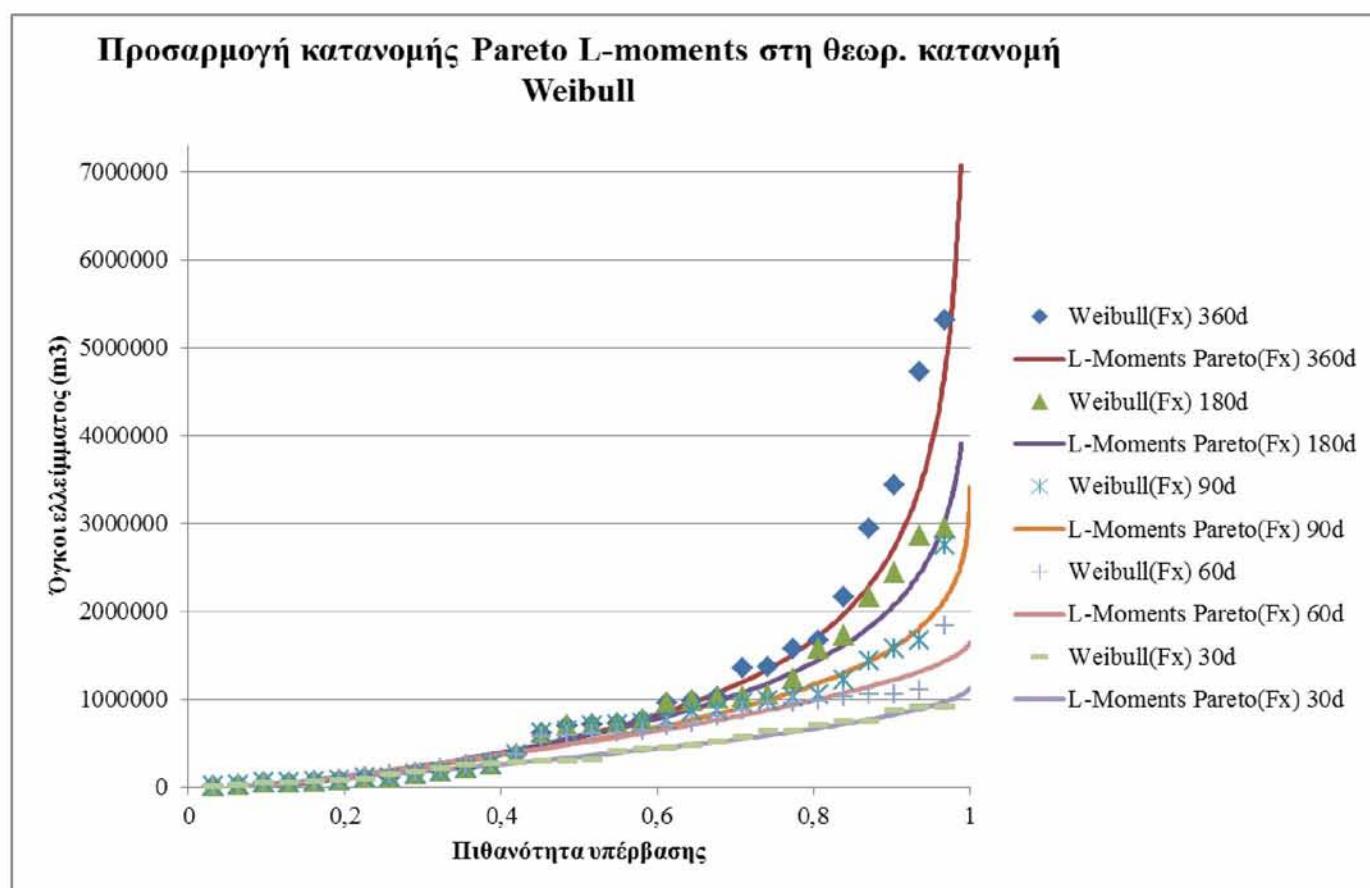
1/10/1970	753044,21	953856	953856	953856	953856
1/10/1971	522115,2	1044230,4	1566345,6	1566345,6	1566345,6
1/10/1972	477645,84	955291,6886	1432937,533	2865875,066	5317790,4
1/10/1973	871920	1046304	1046304	1046304	1365854,4
1/10/1974	211723,2	211723,2	211723,2	211723,2	211723,2
1/10/1975	47692,8	47692,8	47692,8	47692,8	47692,8
1/10/1976	304560	365472	365472	365472	365472
1/10/1977	86026,38	106099,2	106099,2	106099,2	106099,2
1/10/1978	290852,31	581704,6154	756216	756216	756216
1/10/1979	23328	23328	23328	23328	23328
1/10/1980	168134,4	168134,4	168134,4	168134,4	168134,4
1/10/1981	432864	721440	721440	721440	721440
1/10/1982	251769,6	251769,6	251769,6	251769,6	251769,6
1/10/1983	635982,55	699580,8	699580,8	699580,8	699580,8
1/10/1984	78235,2	78235,2	78235,2	78235,2	78235,2
1/10/1985	451576,98	617155,2	617155,2	617155,2	617155,2
1/10/1986	916110	977184	977184	977184	977184
1/10/1987	56937,6	56937,6	56937,6	56937,6	56937,6
1/10/1988	147571,2	147571,2	147571,2	147571,2	147571,2
1/10/1989	745547,71	1018915,2	1018915,2	1018915,2	1018915,2
1/10/1990	286186,35	572372,7088	858559,0632	1717118,126	3434236,253
1/10/1991	11232	11232	11232	11232	11232
1/10/1992	44236,8	44236,8	44236,8	44236,8	44236,8
1/10/1993	300891,04	601782,0845	712108,8	712108,8	712108,8
1/10/1994	273024	273024	110332,8	110332,8	110332,8
1/10/1995	635040	635040	635040	1233802,623	1672488
1/10/1996	918634,5	1837269	2755903,5	2939630,4	2939630,4
1/10/1997	404888,91	809777,8286	1214666,743	2429333,486	4723704
1/10/1998	568838,92	1107581,538	1661372,308	2159784	2159784

Τα δείγματα του Πίνακα 5.12 χρησιμοποιήθηκαν για την διερεύνηση για το ποια θεωρητική κατανομή είναι η καταλληλότερη. Η διερεύνηση έγινε με τη διενέργεια στατιστικών ελέγχων (Kolmogorov-Smirnov), με τη βοήθεια του λογισμικού «Υδρογνώμων».

Τα αποτελέσματα από τους στατιστικούς ελέγχους έδειξαν ότι η καλύτερη προσαρμογή στην εμπειρική κατανομή του Weibull παρουσιάζει η θεωρητική κατανομή Pareto L-moments. Στον Πίνακα 5.13 φαίνονται για την κατανομή Pareto L-moments τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου. Στο Σχήμα 5.19 φαίνεται ενδεικτικά, για μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο, γραφικά η προσαρμογή της κατανομής Pareto L-moments στην θεωρητική κατανομή του Weibull .

Πίνακας 5. 13 Πίνακας στον οποίο φαίνονται τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου Kolmogorov-Smirnov, για την κατανομή Pareto L-moments, για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας.

Επιλεγμένη διάρκεια ξηρασίας (ημέρες)	Κατανομή	Διάστημα εμπιστοσύνης a=1%	Διάστημα εμπιστοσύνης a=5%	Διάστημα εμπιστοσύνης a=10%	Επιτευχθέν a	DMax
30	Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,92%	0,06027
60	Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87,70%	0,10046
90	Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	76,72%	0,11425
180	Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96,77%	0,08288
360	Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95,50%	0,08637



Σχήμα 5. 19 Γραφική απεικόνιση προσαρμογή της κατανομής Pareto L-moments στη θεωρητική κατανομή Weibull για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας, για μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο.

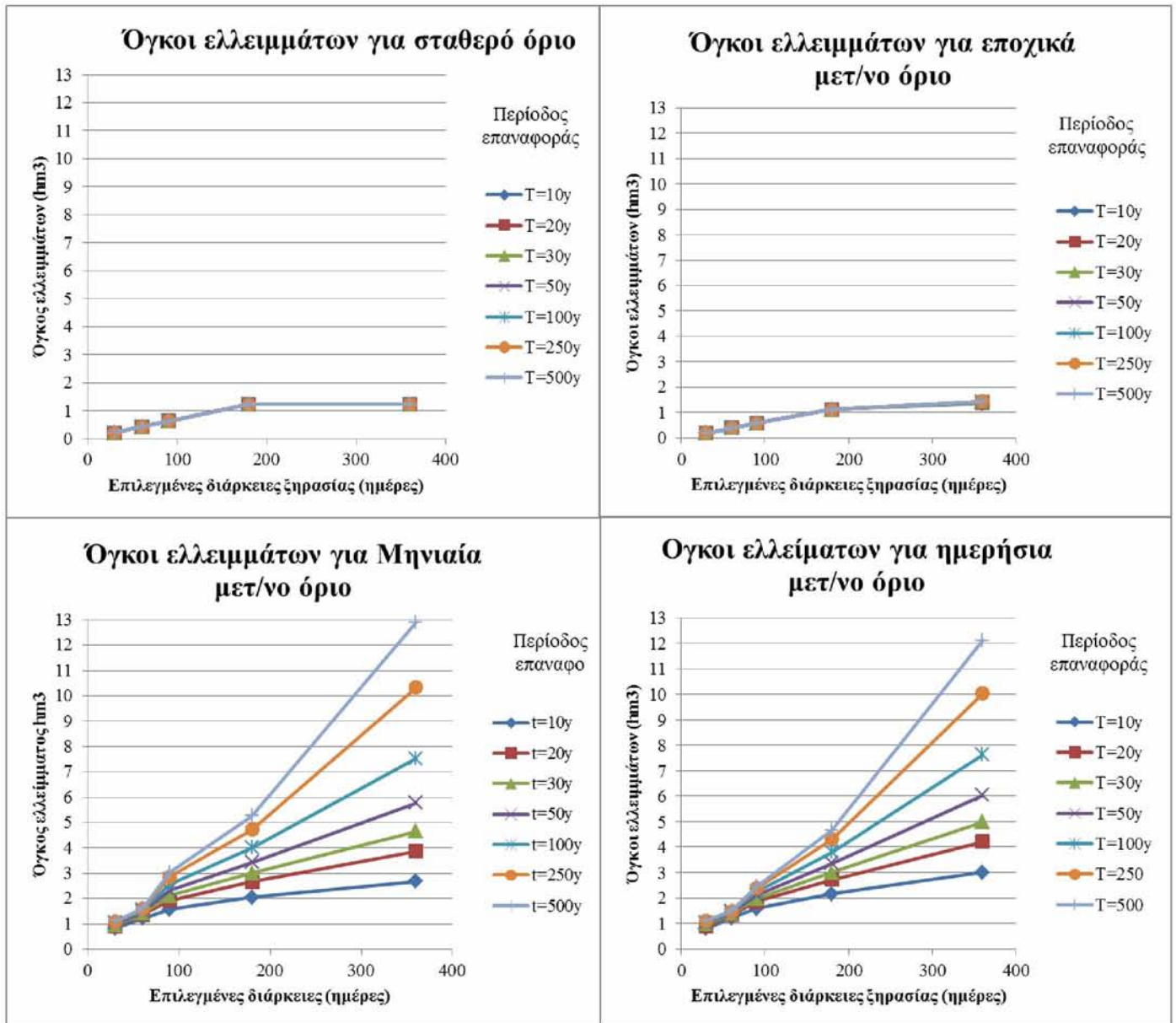
Από το σχήμα 5.19 παρατηρείται ότι για μικρές πιθανότητες υπέρβασης δεν εμφανίζονται μεγάλες διαφορές στους όγκους ελλειμμάτων που προκύπτουν αλλά και στις κατανομές για τις διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας.

Στην συνέχεια, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του κεφαλαίου 4, με τη χρήση της κατανομής Pareto L-moments και τη βοήθεια του λογισμικού «Υδρογνώμων» υπολογίστηκαν, για όλα τα όρια, για περιόδους επαναφοράς δέκα, είκοσι, τριάντα, πενήντα, εκατό, διακοσίων πενήντα και πεντακοσίων ετών, οι όγκοι ελλείμματος. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 5.14 .

Πίνακας 5. 14 Όγκοι ελλειμμάτων ( $hm^3$ ) υπολογισμένοι για όλα τα όρια, για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας και περιόδους επαναφοράς με τη βοήθεια της κατανομής Pareto L-moments.

<b>Σταθερό όριο</b>							
Επιλεγμένες διάρκειες (ημέρες)	Περίοδος επαναφοράς						
	10	20	30	50	100	250	500
30	0,210916	0,212428	0,212802	0,21304	0,213173	0,213227	0,213239
60	0,421833	0,424856	0,425605	0,426081	0,426346	0,426454	0,426477
90	0,628972	0,630991	0,63137	0,631567	0,63165	0,631674	0,631678
180	1,223446	1,229356	1,230454	1,231018	1,231257	1,231324	1,231334
360	1,223446	1,229356	1,230454	1,231018	1,231257	1,231324	1,231334
<b>Εποχικά Μεταβαλλόμενο όριο</b>							
Επιλεγμένες διάρκειες (ημέρες)	Περίοδος επαναφοράς						
	10	20	30	50	100	250	500
30	0,193619	0,19429	0,194416	0,19448	0,194508	0,194516	0,194517
60	0,387238	0,38858	0,388831	0,388961	0,389016	0,389031	0,389033
90	0,574942	0,576188	0,576388	0,576479	0,576513	0,576521	0,576522
180	1,121619	1,125043	1,125573	1,125811	1,125896	1,125915	1,125918
360	1,351876	1,399521	1,414731	1,426497	1,434943	1,439725	1,441223
<b>Μηνιαία Μεταβαλλόμενο όριο</b>							
Επιλεγμένες διάρκειες (ημέρες)	Περίοδος επαναφοράς						
	10	20	30	50	100	250	500
30	0,817505	0,922427	0,967483	1,01155	1,054473	1,090933	1,108492
60	1,21305	1,36422	1,42787	1,489147	1,547617	1,595936	1,618551
90	1,576009	1,933144	2,11853	2,330088	2,582204	2,862423	3,040402
180	2,045398	2,653518	3,001164	3,430842	3,999403	4,72616	5,257734
360	2,67959	3,867156	4,659269	5,773627	7,522013	10,3288	12,90285
<b>Ημερήσια Μεταβαλλόμενο όριο</b>							
Επιλεγμένες διάρκειες (ημέρες)	Περίοδος επαναφοράς						
	10	20	30	50	100	250	500
30	0,795468	0,906133	0,954826	1,003393	1,051926	1,09458	1,115865
60	1,217852	1,337558	1,384147	1,426266	1,463295	1,490735	1,502188
90	1,582253	1,848534	1,973188	2,103918	2,243407	2,377189	2,450259
180	2,163845	2,713993	3,011368	3,362238	3,799071	4,313797	4,660656
360	3,004826	4,212096	4,986993	6,042285	7,628632	10,03349	12,11795

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.14 δίνονται και γραφικά στο Σχήμα 5.20 παρακάτω.



Σχήμα 5. 20 Διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται οι όγκοι ελλειμμάτων για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες ξηρασίας και περιόδους επαναφοράς, για όλα τα όρια.

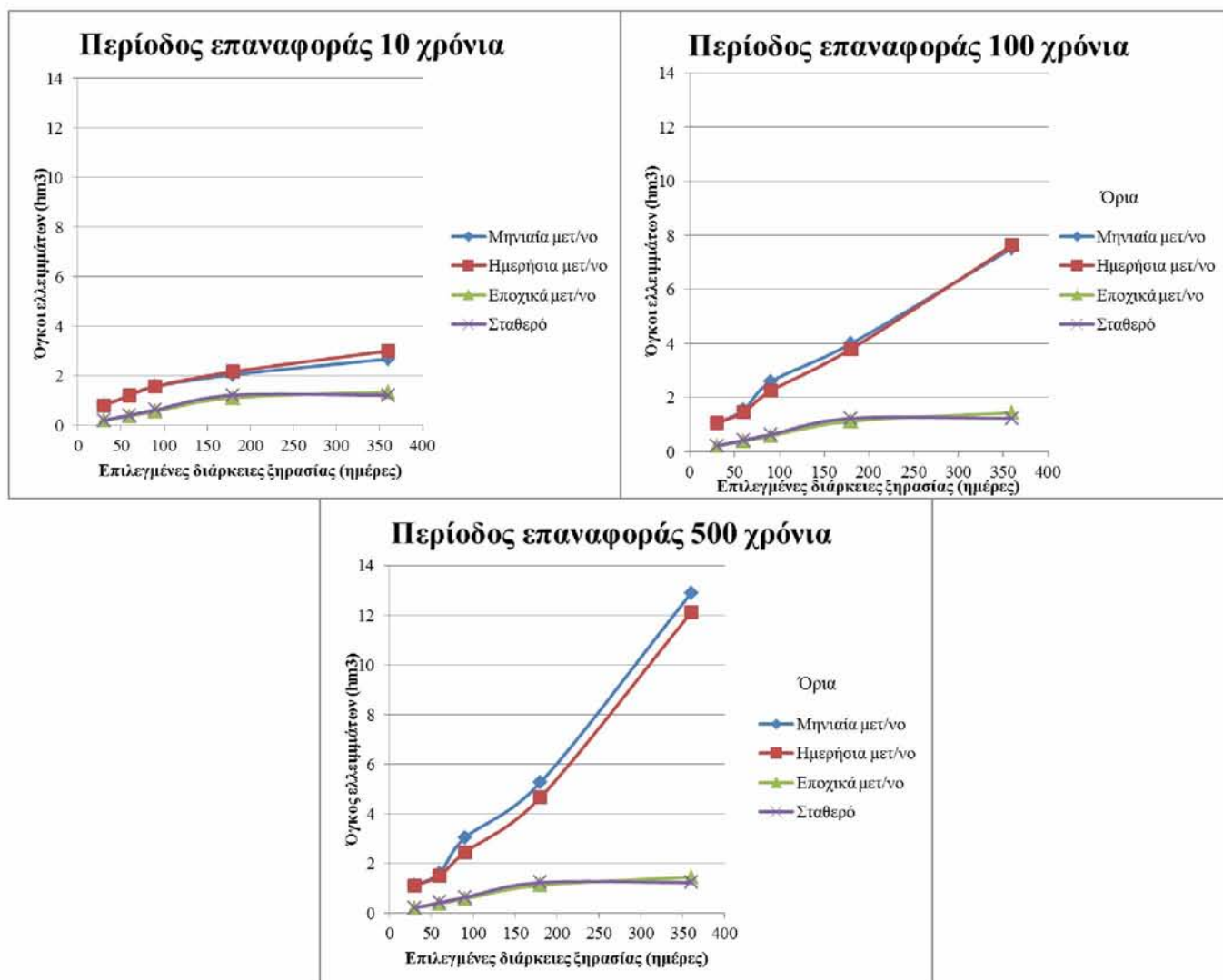
Παρατηρείται ότι για τις περιπτώσεις του σταθερού και εποχικά μεταβαλλόμενου ορίου για τις διάφορες περιόδους επαναφοράς υπάρχουν ελάχιστες διαφορές. Ενώ στις άλλες δύο περιπτώσεις έχουμε σημαντικές διαφορές. Αυτό συμβαίνει γιατί στις δύο πρώτες περιπτώσεις κυριαρχούν γεγονότα ξηρασίας με μεγάλες διάρκειες οπότε τα ελλείμματα τους για μικρότερες διάρκειες βρέθηκαν σύμφωνα με τη θεώρηση που αναφέρθηκε στην αρχή (κατά την εξαγωγή του δείγματος). Ενώ στις άλλες δύο περιπτώσεις δεν συμβαίνει αυτό.

Παρατηρείται ακόμη στις δύο τελευταίες περιπτώσεις ότι όσο αυξάνεται η περίοδος επαναφοράς αυξάνονται και οι όγκοι των ελλειμμάτων κάτι το οποίο είναι λογικό. Το ίδιο συμβαίνει όταν αυξάνεται η διάρκεια ξηρασίας. Ακόμη παρατηρείται ότι οι όγκοι των ελλειμμάτων που εκτιμούνται στις δύο πρώτες περιπτώσεις είναι πολύ



μικρότεροι συγκριτικά με τις άλλες δύο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι για μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο υπάρχουν περισσότερα γεγονότα.

Τέλος στο Σχήμα 5. 21 φαίνονται οι όγκοι ελλειμμάτων για διάφορες επιλεγμένες διάρκειες, για συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς. Στα διαγράμματα αυτά φαίνονται οι διαφορές για τα διαφορετικά όρια. Ενδεικτικά παρατίθενται τα διαγράμματα για περιόδους επαναφοράς 10, 100, 500 χρόνων. Στο παράρτημα δίνονται τα διαγράμματα για περιόδους επαναφοράς 20, 30, 50, 250 χρόνων.



Σχήμα 5. 21 Καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας για όλα τα όρια.

Παρατηρείται ότι για σταθερό και εποχικά μεταβαλλόμενο όριο δεν εμφανίζονται διαφορές. Το αντίστοιχο συμβαίνει για μηνιαίο και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο. Ακόμη φαίνεται ότι για μικρές περιόδους επαναφοράς και οι 4 περιπτώσεις ορίων δεν εμφανίζουν τεράστιες διαφορές. Όσο αυξάνει όμως η περίοδος επαναφοράς και η διάρκεια ξηρασίας αυξάνουν και οι διαφορές μεταξύ των ορίων. Επίσης για περιόδους επαναφοράς μέχρι 100 χρόνια φαίνεται ότι με το ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο υπολογίζονται μεγαλύτεροι όγκοι ελλείμματος, ενώ για περιόδους επαναφοράς μεγαλύτερες των 100 χρόνων αυτό αντιστρέφεται.

## 6. Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

### 6.1 Συμπεράσματα

#### Δείκτες χαμηλών παροχών

Από τους δείκτες μέσης απορροής και μέσων ετήσιων ελαχίστων συμπεραίνεται ότι το ποτάμι έχει αρκετές τιμές χαμηλών παροχών ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες κατά την διάρκεια δηλαδή της ξηρής περιόδου.

Όμως, το θετικό είναι ότι τα αποτελέσματα για τους δείκτες βασικής απορροής δείχνουν ότι η βασική απορροή αποτελεί ένα καλό ποσοστό της συνολικής απορροής που βοηθάει στο να διατηρείται το ποτάμι κατά τις ξηρές περιόδους.

Η ανάλυση ύφεσης έδειξε ότι η επιλογή της μεθόδου δεν παίζει τόσο μεγάλο ρόλο αφού τα αποτελέσματα δεν εμφανίζουν μεγάλες διαφορές παρά μόνο για όριο 50. Σαν καταλληλότερη μέθοδος για τη συγκεκριμένη περίπτωση μπορεί να επιλεγθεί η MRC καθώς τα αποτελέσματα της για τις σταθερές ύφεσης εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές σε σχέση με την IRS και αυτό φαίνεται να συμφωνεί περισσότερο με τις τιμές για την βασική απορροή. Αυτό γιατί μικρότερες σταθερές ύφεσης φανερώνουν ότι το ποτάμι βασίζεται περισσότερο στην βασική του απορροή. Ακόμη η μέθοδος IRS είναι πιο δύσχρηστη στην εφαρμογή της. Ακόμη στην μέθοδο της IRS κάθε μεμονωμένη καμπύλη μπορεί να έχει λίγες μόνο τιμές παροχής στις οποίες εφαρμόζει η καμπύλη και συνεπώς να μην είναι πολύ αντικειμενική η προσαρμογή της.

Στην καμπύλη διάρκειας-απορροής αποτυπώνεται μια μεγάλη ποικιλία τιμών απορροής αλλά και μια απότομη μείωση και σταθεροποίηση στην τιμή απορροής  $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ . Απ' αυτό συμπεραίνεται ότι υπάρχει μια ξηρή περίοδος με χαμηλές τιμές απορροής ενώ η μεγάλη ποικιλία τιμών απορροών καταδεικνύει μια έντονη υγρή περίοδο.

Από τα αποτελέσματα για τις τιμές απορροής που προκύπτουν για τα ποσοστημόρια απορροής για κάθε μήνα, το γεγονός ότι όσο μειώνεται το ποσοστημόριο αυξάνεται η μεταβλητότητα στις τιμές απορροής που προκύπτουν, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ποσοστημόρια του 40% και 50% είναι πιο κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν ως κατώφλι για την εύρεση των ελλειμμάτων και των χαρακτηριστικών τους. Αυτό διότι σε μια λεκάνη απορροής που ανήκει σε εύκρατο κλίμα οι χαμηλές παροχές είναι αναμενόμενες ειδικά σε ξηρές περιόδους, οπότε η μεταβλητότητα των τιμών απορροής εμφανίζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

#### Διερεύνηση μεθόδων συνένωση γεγονότων ξηρασίας

Από την διερεύνηση των τριών μεθόδων προέκυψε ένα χρήσιμο συμπέρασμα. Από τις τρεις μεθόδους αποδεικνύεται ότι η πιο αμερόληπτη είναι η μέθοδος του κριτηρίου χρόνου και όγκου. Αυτό γιατί αποδείχτηκε ότι δεν υπάρχουν ουσιώδεις διαφορές στην επιλογή του διαστήματος των ημερών ή του λόγου των όγκων. Ακόμη δεν εμφανίζεται υποκειμενικότητα όταν η μέθοδος εφαρμόζεται για διαφορετικά

ποσοστημόρια. Ενώ για τις άλλες δύο μεθόδους ισχύουν τα αντίθετα. Αυτή η μέθοδος λοιπόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχες λεκάνες απορροής με την ίδια αντικειμενικότητα.

#### Υπολογισμός και ανάλυση ελλειμμάτων

Από τον υπολογισμό των ελλειμμάτων εξάγονται επίσης χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχικά για σταθερό και εποχικά μεταβαλλόμενο όριο προκύπτουν λιγότερα γεγονότα με μεγαλύτερη διάρκεια ενώ για μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο προκύπτουν περισσότερα γεγονότα με μικρότερη διάρκεια. Δηλαδή για μεγαλύτερα χρονικά βήματα αποτυπώνονται κυρίως τα μεγαλύτερα και εποχικά ελλείμματα, που όμως είναι αναμενόμενα, ενώ με μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο καταγράφονται μικρότερα ελλείμματα που όμως συμβαίνουν και σε χειμερινούς μήνες και αυτό δεν είναι φυσιολογικό και πρέπει να προληφθούν.

Επίσης για τα ποσοστημόρια απορροής 50% και 70% η διαφορά εντοπίζεται ότι στο ποσοστημόριο ροής 70% προκύπτουν λιγότερα γεγονότα. όμως το μοτίβο που ακολουθούν είναι ίδιο, οπότε η επιλογή του ποσοστημορίου για τη συγκεκριμένη λεκάνη, δεν φαίνεται να επηρεάζει την συμπεριφορά των ελλειμμάτων παρά μόνο τον αριθμό που προκύπτει.

#### Πιθανοθεωρητική ανάλυση και ανάπτυξη καμπυλών όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας

Η πιθανοθεωρητική ανάλυση έδειξε ότι η πιο κατάλληλη κατανομή είναι η Pareto L-moments αφού παρουσιάζει την καλύτερη προσαρμογή στα σημεία της κατανομής weibull. Η ανάπτυξη των καμπυλών όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας έγινε για να ποσοτικοποιηθούν συγκεκριμένοι όγκοι ελλείμματος λαμβάνοντας υπ' όψιν τη διάρκεια και τη συχνότητα. Συγκρίνοντας τα 4 όρια (σταθερό, εποχικά, μηνιαία και ημερήσια μεταβαλλόμενο) βγαίνει το συμπέρασμα ότι για το ημερήσια και μηνιαία μεταβαλλόμενο όριο προβλέπονται μεγαλύτεροι όγκοι ελλειμμάτων απ' ότι για τα άλλα δύο όρια.

### **6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω έρευνα.

Τα αποτελέσματα των δεικτών βασικής απορροής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υδρολογική μοντελοποίηση μέσω της οποίας μπορεί να γίνει: εκτίμηση της ετήσιας ή και μακροπρόθεσμης επαναφόρτισης του υπόγειου υδροφορέα, να γίνει κατηγοριοποίηση του τύπου εδάφους για περιοχική ανάλυση πλημμυρών. (Boorman et al., 1995), να γίνει χαρτογράφηση των ζωνών επαναφόρτισης και αποφόρτισης, να εκτιμηθεί η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους υπόγειους υδατικούς πόρους (Piggott et al., 2005).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη ποσοτικών σχέσεων, για τα τους όγκους των ελλειμμάτων και τη διάρκεια των ελλειμμάτων, για διάφορες περιόδους επαναφοράς,

χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα για τα διάφορα όρια (σταθερό, εποχικά, μηνιαία, ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο). Η ανάπτυξη τέτοιων σχέσεων θα δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης όγκων ελλειμμάτων για συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς για κάποιο από τα όρια, όταν είναι γνωστό ένα συγκεκριμένο όριο.

Ακόμη, μια περεταίρω ανάλυση που έχει ενδιαφέρον να γίνει, είναι να γίνει, μέσω πιθανοθεωρητικής ανάλυσης, η ανάπτυξη ποσοτικών σχέσεων για τα διάφορα χαρακτηριστικά ξηρασίας χρησιμοποιώντας τα διάφορα όρια. Έτσι μπορεί να γίνει εκτίμηση ενός χαρακτηριστικού ξηρασίας, για συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς όταν είναι γνωστό κάποιο άλλο.

Ακόμη οι καμπύλες όγκου ελλείμματος-διάρκειας-συχνότητας μπορούν να επεκταθούν και να χρησιμοποιηθούν σε μελέτες περιοχικής ανάλυσης συχνότητας ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση των ελλειμμάτων και σε λεκάνες απορροής όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις.

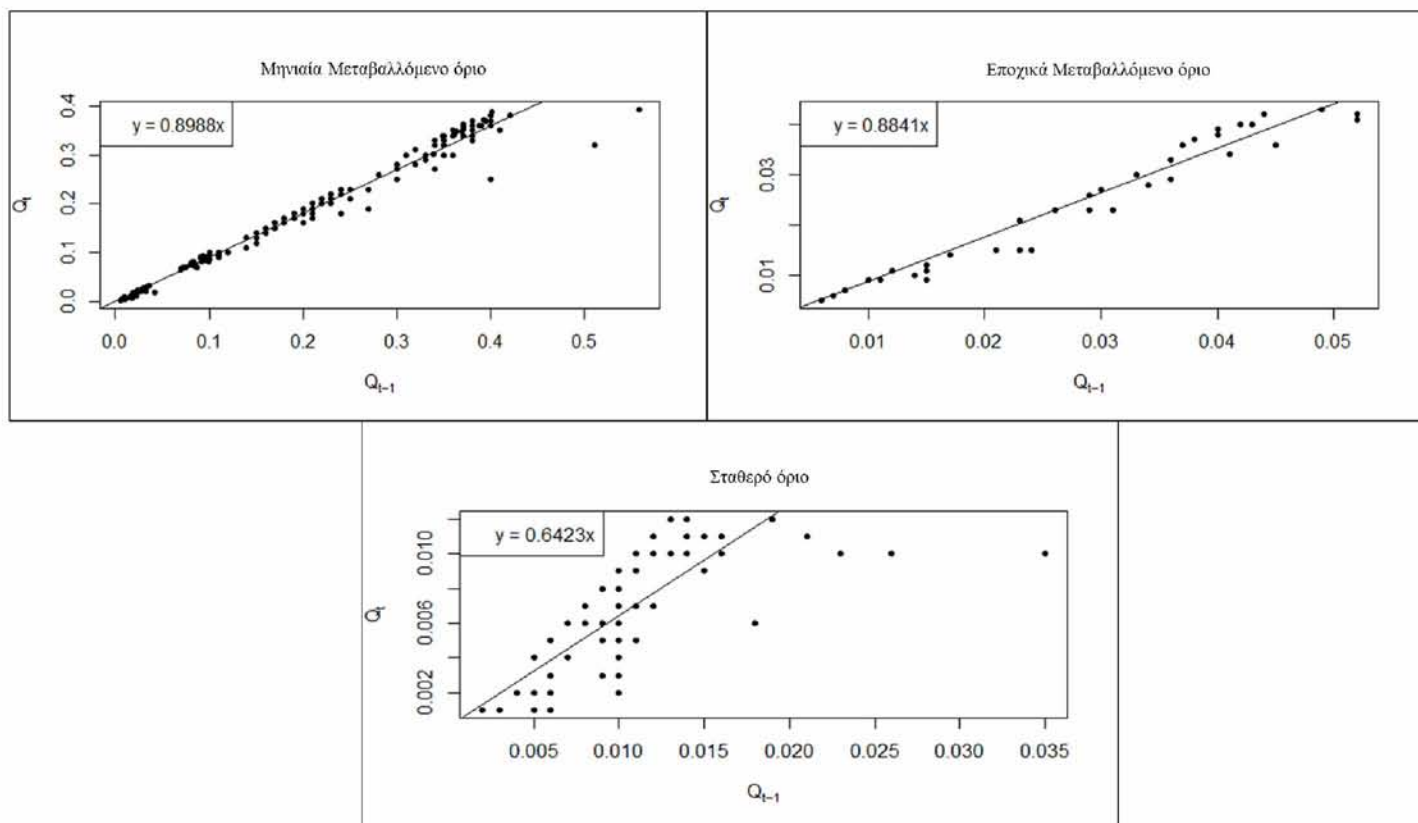
Επίσης τα αποτελέσματα των ελλειμμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει ολοκληρωμένη διαχείρισης λειτουργίας υπάρχοντος ταμιευτήρα.

## Παράρτημα

Παρακάτω δίνονται διαγράμματα που προέκυψαν κατά την ανάλυση ύφεσης με τη μέθοδο MRC. Ενδεικτικά δίνονται για όρια 50 και 70.

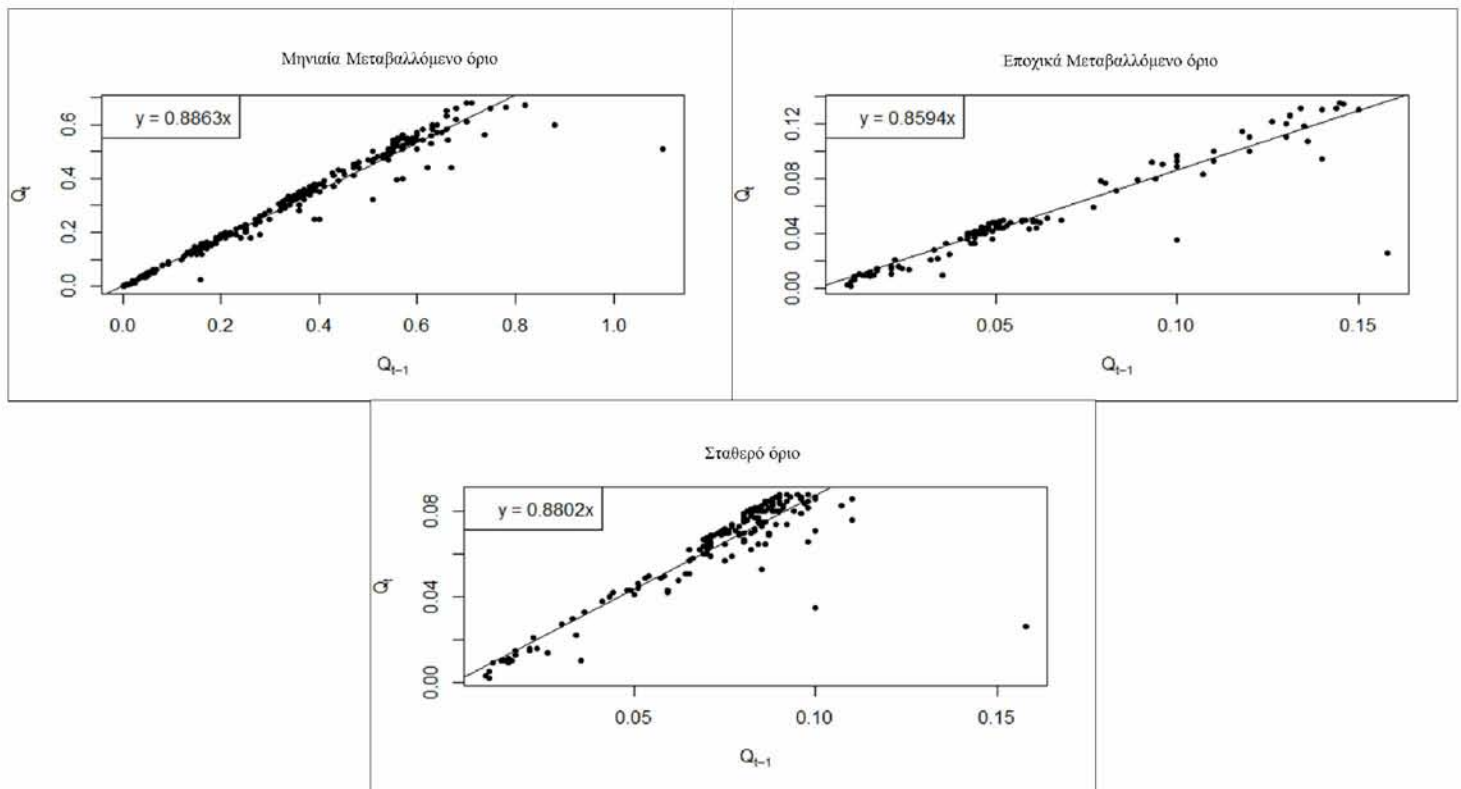
Διάστημα 4 ημερών :

Όριο 70:



Σχήμα 1. 1 Διαγράμματα μεθόδου MRC για μηνιαία, εποχικά και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για κατόφλι απορροής 70, για διάστημα ημερών ύφεσης 4.

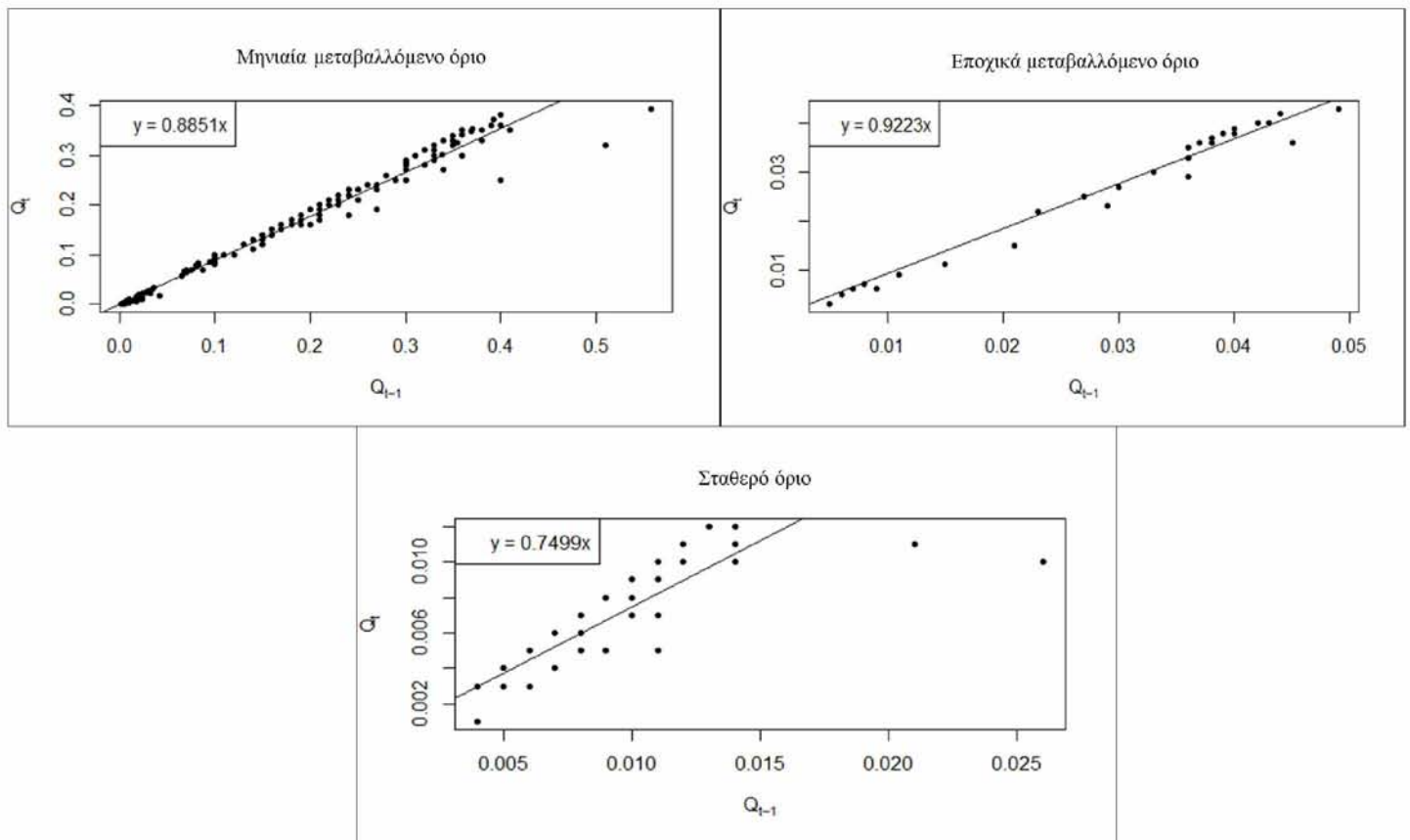
Όριο 50 :



Σχήμα 1. 2 Διαγράμματα μεθόδου MRC για μηνιαία, εποχικά και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για κατόφλι απορροής 70, για διάστημα ημερών ύφεσης 4.

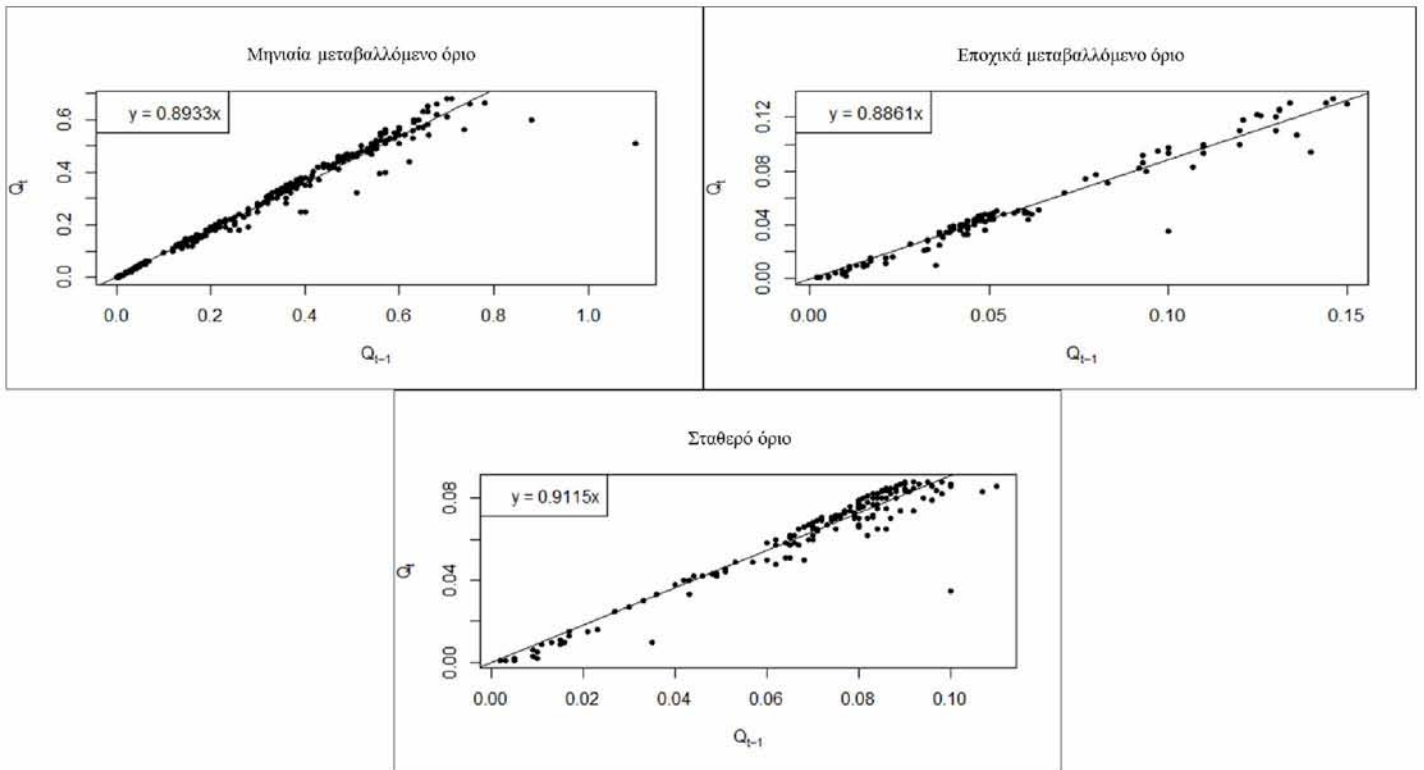
Διάστημα ημερών 5:

Όριο 70:



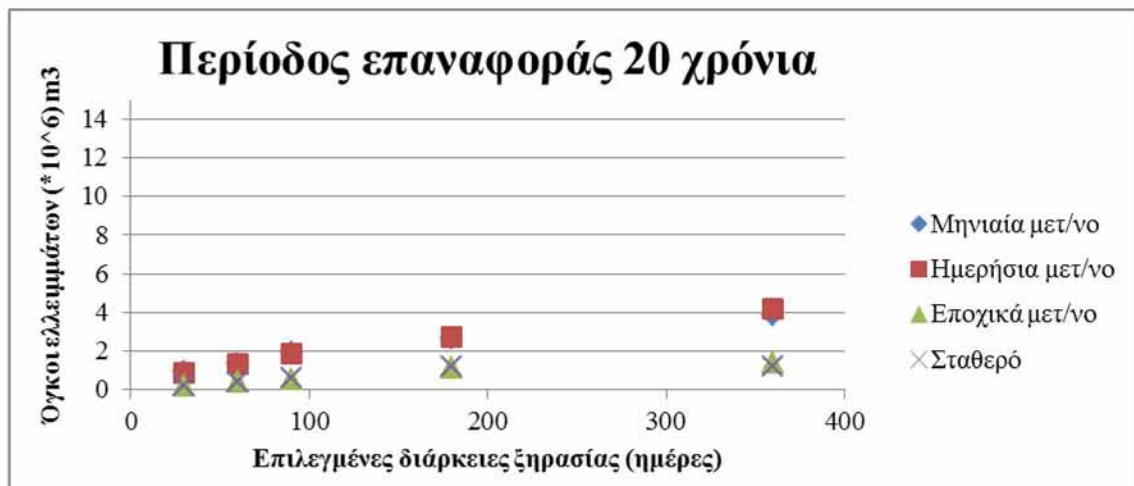
Σχήμα 1. 3 Διαγράμματα μεθόδου MRC για μηνιαία, εποχικά και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για κατώφλι απορροής 70, για διάστημα ημερών ύφεσης 5.

Όριο 50:



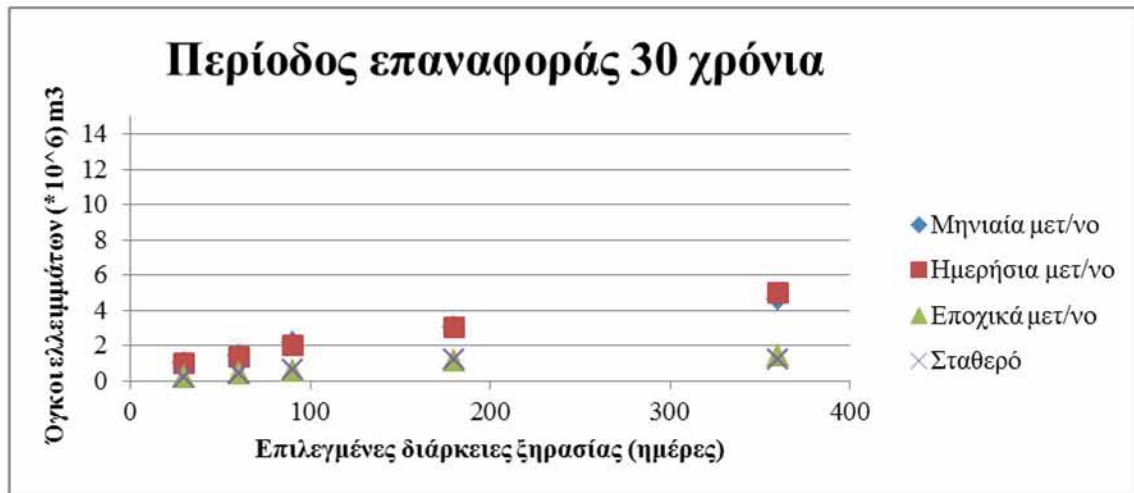
Σχήμα 1. 4 Διαγράμματα μεθόδου MRC για μηνιαία, εποχικά και ημερήσια μεταβαλλόμενο όριο για κατώφλι απορροής 70, για διάστημα ημερών ύφεσης 4.

Στη συνέχεια δίνονται τα διαγράμματα όγκου ελλείμματος-διάρκειας-συχνότητας για τις περιόδους επαναφοράς 20, 30, 50, 250 ετών.

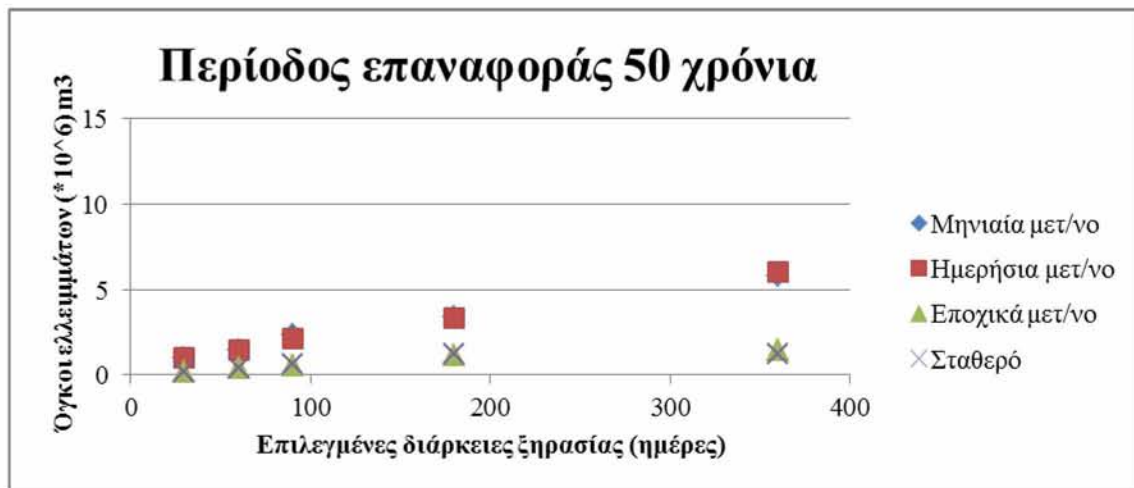


Σχήμα 1. 5 Καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας για όλα τα όρια για περίοδο επαναφοράς 20 χρόνια.

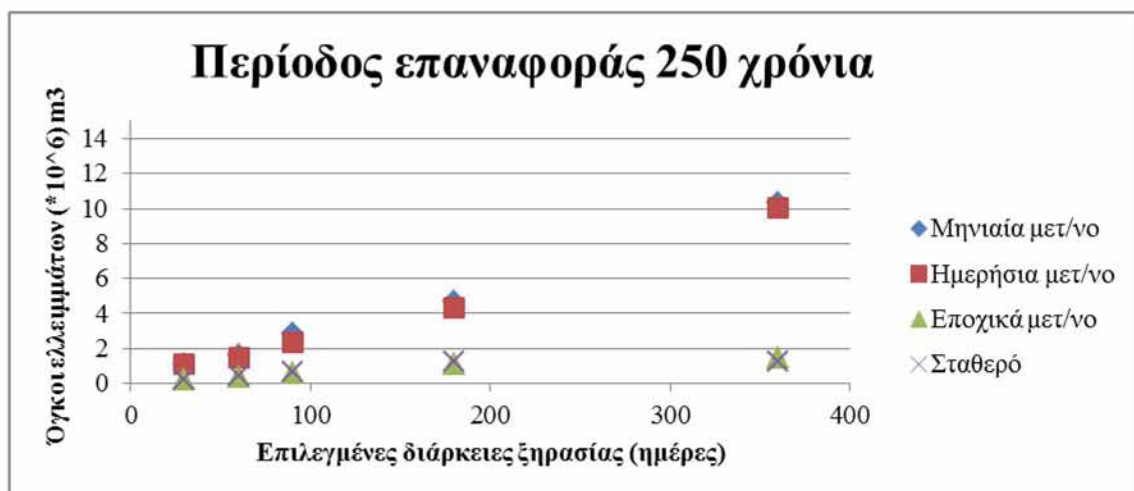




Σχήμα 1. 6 Καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας για όλα τα όρια για περίοδο επαναφοράς 30 χρόνια.



Σχήμα 1. 7 Καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας για όλα τα όρια για περίοδο επαναφοράς 50 χρόνια.



Σχήμα 1. 8 Καμπύλες όγκου ελλειμμάτων-διάρκειας-συχνότητας για όλα τα όρια για περίοδο επαναφοράς 250 χρόνια.

## Βιβλιογραφία

### Ελληνική Βιβλιογραφία :

- Παπαμιχαήλ, Δ. (2001), “Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων”, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη
- Τσακίρης, Γ. (1995), “Υδατικοί Πόροι: I. Τεχνική Υδρολογία”, Εκδόσεις Συμμετρία
- Ερευνητική ομάδα «Ιτιά», (2010), “Θεωρητική Τεκμηρίωση για το λογισμικό ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ, Αθήνα
- Σωκράτους Γ. , Όμορφος Χ. , Ιωάννου Αιμ. , (2001), “ Φράγματα της Κύπρου”, Κυπριακή Δημοκρατία, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων

### Ξένη Βιβλιογραφία :

- American Meteorological Society, (1997) Meteorological drought – Policy statement, B. Am. Meteorol. Soc., 78, 847–849.
- Beran, M.A., Gustard, A., (1977) A study into the low-flow characteristics of British rivers. J. Hydrol. 35, 147–157.
- Boorman, D.B., J.M. Hollis and A. Lilly, (1995), Hydrology of soil types: a hydrologically based classification of the soils of the United Kingdom. IH Report No. 126, Institute of Hydrology, Wallingford, United Kingdom.
- Brutsaert, W., Neiber, J.L., (1977), Regionalised drought flow hydrographs from a mature glaciated plateau, Water. Resour. Res. 13 (3), 637–643.
- Chapman, T.G., (1991), Comment on Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses by Nathan, R.J., McMahon, T.A. Water Resour. Res. 27 (7), 1783–1784.
- Dalezios, N., Loukas, A., Vasiliades, L., and Liakopoulos, E., (2000), Severity-duration-frequency analysis of droughts and wet periods in Greece, Hydrolog. Sci. J., 45, 751–769.
- Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson, E.G., (1980), On the definition of droughts, Water Resour. Res. 16 (2), 297–302.
- FRIEND, (1989), Flow Regimes From Experimental And Network Data, I: Hydrological Studies; II: Hydrological Data, Wallingford, UK.
- Greenwood, J.A., Landwehr, J.M., Matalas, N.C., and Wallis, J.R., (1979), Probability weighted moments: Definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. Water Resources Research, 15(5), 1049-1054.
- Gustard, A., (1983) Regional variability of soil characteristics for flood and low flow estimation, Agricultural Water Management, 6(2–3): 255–268.
- Gustard, A., A. Bullock and J.M. Dixon, (1992) Low Flow Estimation in the United Kingdom, Institute of Hydrology Report No. 108, Wallingford, United Kingdom.

- Hall, A.J., (1971), Baseflow recessions and baseflow hydrograph separation problem. Proceedings of the Hydrology Symposium, Institution of Engineers, Australia, Canberra, pp. 159–170.
- Hall, F.R., (1968), Base flow recessions — a review. *Water Resour. Res.* 4 (5), 973–983.
- Hosking, J.R.M., (1990), L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *J. R. Stat. Soc. Ser. B.*, vol. 52, 105-124.
- Institute of Hydrology, (1980) *Low Flow Studies (1–4)*, Wallingford, UK.
- Knisel, W.G., (1963), Baseflow recession analysis for comparison of drainage basins and geology. *J. Geophys. Res.* 68 (12), 3649–3653.
- Nathan, R.J., McMahon, T.A., (1990). Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resour. Res.* 26, 1465–1473.
- Piggott, A.R., S. Moin and C. Southam, (2005), A revised approach to the UKIH method for the calculation of baseflow. *Hydrological Sciences Journal*, 50: 911–920
- Sen, Z., (1980a) Statistical analysis of hydrological critical droughts, *J. Hydraul. Div., ASCE* 106 (HY1), 99–115.
- Smakhtin, V.U., (2000), *Low Flow Hydrology : A review*, *Journal of hydrology*, 147-186
- Sung, J.H., Chung, E.-S., (2014) Development of streamflow drought severity duration–frequency curves using the threshold level method, *Hydrology and Earth System Sciences*
- Vrochidou, A.-E.K., Tsanis, I.K., Grillakis, M.G., Koutroulis, A.G., (2012), The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale, *Journal of Hydrology*
- Tallaksen, L. M., van Lanen, H. A. J., (2004), *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*, *Developments in Water Science*, Elsevier Science B. V., Amsterdam.
- Tallaksen, L.M., Hisdal, H., (1997), Regional analysis of extreme streamflow drought duration and deficit volume. *FRIEND’97 – Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management*, IAHS Publication No. 246, pp. 141–150
- World Meteorological Organization, (2008), *Manual on low flow-Estimation and prediction*, *Operational Hydrology Reprint No 50*, Geneva.
- Yevjevich, V., (1967), *An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts*. Colorado State University, Fort Collins, *Hydrology Paper 23*, 18 pp.
- Yoo, C., Kim, D., Kim, T. W., and Hwang, K. N., (2008), Quantification of drought using a rectangular pulses Poisson process model, *J. Hydrol.*, 355, 34–48,



