

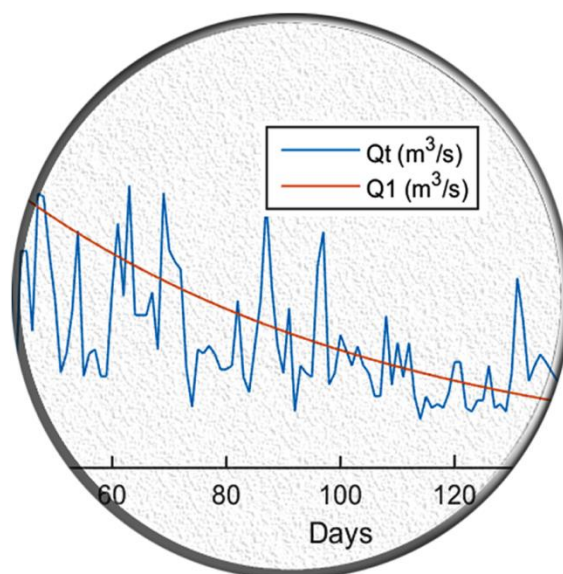


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ  
ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ  
ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΩΝ  
ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ανάπτυξη μοντέλου  
εκτίμησης χαμηλών ροών  
σε λεκάνες απορροής της  
περιοχής της Μεσογείου**



**Κωνσταντίνα Ρίσβα**

**Επιβλέπων: Ι. Ναλμπάντης  
Συνεπιβλέπων: Α. Ευστρατιάδης**

**Αθήνα, Οκτώβριος 2016**



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

**Ανάπτυξη μοντέλου εκτίμησης χαμηλών ροών σε λεκάνες  
απορροής της περιοχής της Μεσογείου**

Κωνσταντίνα Ρίσβα

Επιβλέπων: Ι. Ναλμπάντης  
Συνεπιβλέπων: Α. Ευστρατιάδης

Αθήνα, Οκτώβριος 2016



*« A river that  
forgets its source  
will soon dry up »*

*- Αφρικανική  
παροιμία των  
Yoruba*

# Ευχαριστίες

---

Καθώς αυτές είναι οι τελευταίες γραμμές που γράφω για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, νιώθω την ειλικρινή ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όλα τα πρόσωπα που συνέβαλλαν ουσιαστικά αλλά και ηθικά στην εκπόνησή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Ι. Ναλμπάντη, Επικ. Καθηγητή Ε.Μ.Π, που με τη την ιδιότητα του επιβλέποντος μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα. Οι κρίσιμες και επιστημονικά άρτιες συμβουλές του, οι παρατηρήσεις του και το συνεχές ενδιαφέρον του για την πρόοδο της διπλωματικής εργασίας, βοήθησαν στην ολοκλήρωσή της. Το ήθος του και το εξαιρετικό επιστημονικό του έργο αποτελούν πρότυπο για εμένα και έμπνευση για την συνέχιση των σπουδών μου στο αντικείμενο των Υδατικών Πόρων.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνεπιβλέποντα, κ. Α. Ευστρατιάδη, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό, μέλος ΕΔΙΠ στο ΕΜΠ, προς τον οποίον αισθάνομαι ευγνώμων για την υποστήριξη και την επιστημονική του καθοδήγηση σε όλα τα στάδια υλοποίησης της εργασίας.

Ευχαριστίες οφείλω ακόμη στους καθηγητές του Εργαστηρίου Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα Michele Giglioni για την προσφορά των δεδομένων του για την σικελική λεκάνη, το υλικό του οποίου ήταν αναγκαίο για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την εμπιστοσύνη και τις θυσίες τους για την ολοκλήρωση των σπουδών μου. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον αδερφό μου για την αδιάκοπη ηθική του στήριξη και για την πίστη που έδειχνε πάντα στο πρόσωπό μου. Ευχαριστώ το Διόνυση για την απεριόριστη βοήθεια και υποστήριξη που μου έδινε σε κάθε βήμα, χωρίς τον οποίον η παρούσα εργασία δεν θα ήταν ίδια.

Κωνσταντίνα Ρίσβα

Οκτώβριος 2016

## Περίληψη

---

Κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου κάθε υδρολογικού έτους, εμφανίζεται το φαινόμενο χαμηλών ροών σε υδατορεύματα. Οι αυξημένες ανάγκες σε νερό και η περιορισμένη διαθεσιμότητα αυτού προκαλούν, συνήθως, διαχειριστικά προβλήματα. Έτσι, η αξιόπιστη εκτίμηση της παροχής ενός ποταμού για το σύνολο της ξηρής περιόδου αποτελεί ένα φλέγον υδρολογικό ζήτημα. Η πρόγνωση, σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα, του υδατικού δυναμικού δίνει τη δυνατότητα προετοιμασίας και προγραμματισμού κατάλληλων δράσεων ώστε να βελτιωθεί η διαχείριση των πόρων. Σκοπός είναι η καλύτερη ικανοποίηση αναγκών των τοπικών κοινωνιών που αξιοποιούν το νερό, π.χ., για την άρδευση καλλιεργειών, αλλά και η διατήρηση καλής οικολογικής κατάστασης του υδάτινου σώματος. Παρά την προφανή σημασία του φαινομένου, στη διεθνή βιβλιογραφία δεν υπάρχουν πολλές μελέτες αποκλειστικά για τις χαμηλές ροές, αλλά, συνήθως, η αντιμετωπίζεται διαχειριστικά προβλήματα για το σύνολο της ροής. Αυτό οδηγεί συχνά στη χρήση περίπλοκων μοντέλων και μεθοδολογιών τα οποία, αν και πολλές φορές επιτυχημένα και στην περιγραφή των ξηρών περιόδων, απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό για την εφαρμογή.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός απλού μοντέλου εκτίμησης των χαμηλών ροών, κατάλληλο για χρήση χωρίς εξειδικευμένο λογισμικό και προσωπικό. Αξιοποιούνται δεδομένα από διάφορες μεσογειακές λεκάνες (δύο ελληνικές, δύο κυπριακές και μία ιταλική) με ημερήσιες μετρήσεις. Εφαρμόζονται διάφορες απλές τεχνικές επεξεργασίας των δεδομένων για εξομάλυνση τυχαίων πλημμυρικών γεγονότων και διατήρηση σχήματος της καμπύλης υποχώρησης της βασικής ροής. Τέλος, καταρτίζονται νομογραφήματα που περιγράφουν το φαινόμενο στις διάφορες λεκάνες.

# Abstract

---

Low-flows is a common phenomenon occurring in rivers during dry seasons within each hydrological year. Increased water demand and low availability during these seasons account for numerous water-resources management problems. Therefore, reliable flow estimation during dry seasons is an emerging topic in contemporary hydrology. Long term prognosis of river water potential helps stakeholders take better decisions for distributing resources (e.g. water for agriculture) and achieving good ecological status of the studied water body. Although low flows is a profoundly essential part of the hydrological cycle and can significantly affect management limited studies are found in literature. In contrast, most studies delve into resolving management problems by examining the water circle as a whole, including wet and dry seasons. This practice leads to the development of complex models and methodologies that are most often successful, but require expertise and specialized software.

The object of this thesis is to develop a simple yet efficient model for estimating low flows during dry seasons, suitable for use without specialized software or personnel. In order to design the model, daily runoff data from various Mediterranean basins are utilized (two from Greece, two from Cyprus, one from Italy). Runoff data are smoothed by simple signal processing techniques which filter the effect of flood events and retain the flow recession curve. Finally, models are presented in chart form for each one of the basin tested.





## Κατάλογος πινάκων

---

Πίνακας 3.1: Ετήσια ζήτηση νερού (Πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδα, 2014, μετά από τροποποίηση) .....	19
Πίνακας 3.2: Υπόγεια υδατικά συστήματα λεκάνης Αχελώου (Πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδα, 2014, μετά από τροποποίηση).....	22
Πίνακας 3.3: Σημαντικές πόλεις της ΛΑΠ Αχελώου .....	24
Πίνακας 3.4: Στατιστικά χαρακτηριστικά μέσω μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη των Κρεμαστών .....	25
Πίνακας 3.5: Στατιστικά χαρακτηριστικά ελαχίστων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη των Κρεμαστών .....	26
Πίνακας 3.6: Στατιστικά χαρακτηριστικά των μέσω μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη του Ευήνου .....	30
Πίνακας 3.7: Στατιστικά χαρακτηριστικά των ελαχίστων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη του Ευήνου.....	31
Πίνακας 3.8 : Στατιστικά χαρακτηριστικά μέσω μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη της Περιστερώνας.....	39
Πίνακας 3.9: Στατιστικά χαρακτηριστικά ελαχίστων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη της Περιστερώνας.....	40
Πίνακας 3.10 : Στατιστικά χαρακτηριστικά μέσω μηνιαίων τιμών της υπολεκάνης Λαζάρηδες .....	42
Πίνακας 3.11 : Στατιστικά χαρακτηριστικά ελαχίστων μηνιαίων τιμών της υπολεκάνης Λαζάρηδες .	42
Πίνακας 3.12: Στατιστικά χαρακτηριστικά μέσω μηνιαίων τιμών λεκάνης Imera Meridionale.....	46
Πίνακας 3.13: Στατιστικά χαρακτηριστικά ελαχίστων μηνιαίων τιμών λεκάνης Imera Meridionale ..	46
Πίνακας 7.1: Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορετικών αρχικών τιμών και σφαλμάτων για όλες τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών .....	90
Πίνακας 7.2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ετήσιου μοντέλου πρόγνωσης θερινής ροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως $Q_0$ η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου .....	90
Πίνακας 7.3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της θερινής ροής του κάθε έτους για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου .....	96
Πίνακας 7.4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της θερινής ροής του κάθε έτους για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου .....	102
Πίνακας 7.5: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της θερινής ροής του κάθε έτους για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου .....	108
Πίνακας 7.6: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της θερινής ροής του κάθε έτους για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου .....	114
Πίνακας 7.7: Οι παράμετροι του μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου $Q_0$ για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών .....	121
Πίνακας 7.8: Συνολικά σφάλματα για την εκτίμηση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου $Q_0$ για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών .....	122

Πίνακας 8.1: Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορετικών αρχικών τιμών και σφαλμάτων για όλες τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου .....	124
Πίνακας 8.2: Οι παράμετροι του μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου $Q_0$ για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου .....	139
Πίνακας 8.3: Συνολικά σφάλματα για την εκτίμηση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου $Q_0$ για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου .....	139
Πίνακας 8.4: Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορετικών αρχικών τιμών και σφαλμάτων για όλες τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale .....	142
Πίνακας 8.5: Οι παράμετροι του μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου $Q_0$ για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale .....	157
Πίνακας 8.6: Συνολικά σφάλματα για την εκτίμηση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου $Q_0$ για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale .....	158
Πίνακας 8.7: Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορετικών αρχικών τιμών και σφαλμάτων για όλες τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες .....	160
Πίνακας 8.8: Οι παράμετροι του μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου $Q_0$ για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες.....	174
Πίνακας 8.9: Συνολικά σφάλματα για την εκτίμηση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου $Q_0$ για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες.....	175
Πίνακας 8.10: Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορετικών αρχικών τιμών και σφαλμάτων για όλες τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα.....	176
Πίνακας 8.11: Οι παράμετροι του μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου $Q_0$ για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας.....	192
Πίνακας 8.12: Συνολικά σφάλματα για την εκτίμηση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου $Q_0$ για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας.....	193

## Κατάλογος σχημάτων

---

Σχήμα 2.1: Διάφορες συνιστώσες της επιφανειακής απορροής, όπου: $Q_p$ η άμεση βροχόπτωση στο υδατόρευμα, $Q_o$ η επίγεια ροή, $Q_i$ η υποδερμική ροή και $Q_g$ η υπόγεια ροή (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).....	4
Σχήμα 2.2: Υδρογράφημα όπου φαίνεται ο διαχωρισμός της επιφανειακής από τη βασική ροή (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).....	4
Σχήμα 2.3: Χαμηλές ροές τους καλοκαιρινούς μήνες στον ποταμό Stillwater, Montana (Πηγή: bigskyfishing).....	6
Σχήμα 2.4: Χαμηλές ροές τους χειμερινούς μήνες στον ποταμό Provo, Utah (Πηγή: atlantaflyfishingclub).....	6
Σχήμα 2.5: Αναπαράσταση χαμηλών ροών (Πηγή: slideshare).....	7
Σχήμα 2.6: Αναπαράσταση υδρολογικών διεργασιών λεκάνης απορροής (Πηγή: WMO, 2008).....	8
Σχήμα 2.7: Παραδείγματα καμπυλών διάρκειας-παροχής για την περίοδο 2003 - 2005 (Πηγή: Pushpalatha, 2013). .....	11
Σχήμα 2.8: Αξιοποίηση διάφορων δεικτών και μεθοδολογιών, μεταξύ των οποίων οι $Q_{90}$ και $QMNA_5$ , για την αξιολόγηση διάφορων πολιτικών οικολογικής παροχής στον ποταμό Αχελώο (Πηγή: Efstratiadis <i>et al</i> , 2014) .....	12
Σχήμα 2.9: Χωρική απεικόνιση των υπό μελέτη λεκανών (Πηγή: Chalise <i>et al.</i> , 2003) .....	15
Σχήμα 2.10: Κατανομή του δείκτη χαμηλής ροής $Q_{95}$ (Πηγή: Chalise <i>et al.</i> , 2003).....	15
Σχήμα 2.11: Καμπύλες διάρκειας ροής (Πηγή: Chalise <i>et al.</i> , 2003).....	16
Σχήμα 2.12: Η τοποθεσία των 183 λεκανών απορροής και η γεωλογία τους (Πηγή: Dijk, 2010) .....	17
Σχήμα 2.13: Παράδειγμα διαχωρισμού της βασικής ροής χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο γραμμικού ταμιευτήρα σε γραμμική κλίμακα (a) και λογαριθμική κλίμακα (b). Τα δεδομένα του ποταμού Molonglo αντιπροσωπεύουν 60 ημέρες του χειμώνα για το έτος 1990 (Πηγή: Dijk, 2010).....	18
Σχήμα 3.1: Αριστερά: Μορφολογικός χάρτης ΥΔ Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (Πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 2014) Δεξιά: λεπτομέρεια της λεκάνης Κρεμαστών που αποτελεί τη βασική λεκάνη εφαρμογής (Πηγή: Τζούκα, 2007).....	20
Σχήμα 3.2: Υδρογεωλογικός χάρτης του ΥΔ04 (Νικολόπουλος, 2015) .....	22
Σχήμα 3.3: Αναλυτική κατηγοριοποίηση χρήσεων γης στη ΛΑΠ Αχελώου με χρήση του Corine 2000 (Πηγή: Σταμούλη, 2012) .....	23
Σχήμα 3.4: Δήμοι της ΛΑΠ Αχελώου (Πηγή: Νικολόπουλος, 2015).....	24
Σχήμα 3.5: Ημερήσια χρονοσειρά απορροής σε $m^3/s$ για την υπολεκάνη των Κρεμαστών .....	25
Σχήμα 3.6: Καμπύλη διάρκειας παροχής για την υπολεκάνη των Κρεμαστών .....	25
Σχήμα 3.7: Χρονοσειρά μέσω μηνιαίων τιμών παροχής σε $m^3/s$ για την υπολεκάνη των Κρεμαστών .....	26
Σχήμα 3.8: Χρονοσειρά ελαχίστων μηνιαίων τιμών παροχής σε $m^3/s$ για την υπολεκάνη των Κρεμαστών .....	26
Σχήμα 3.9: Γεωγραφική θέση της λεκάνης απορροής του Ευήνου ποταμού στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή: Τζούκα, 2007) .....	27
Σχήμα 3.10: Ημερήσια χρονοσειρά απορροής σε $m^3/s$ για την υπολεκάνη του Ευήνου .....	30
Σχήμα 3.11: Καμπύλη διάρκειας παροχής για την υπολεκάνη του Ευήνου .....	30
Σχήμα 3.12: Χρονοσειρά μέσω μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη του Ευήνου.....	31

Σχήμα 3.13: Χρονοσειρά μέσων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη του Εύηνου.....	31
Σχήμα 3.14: Οι γεωλογικές ζώνες της Κύπρου (Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013) .....	32
Σχήμα 3.15: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ευρύτερης περιοχής του Τροόδους με παρουσίαση των λεκανών απορροής και τους σταθμούς μέτρησης παροχής ( Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013).....	33
Σχήμα 3.16: Εξεταζόμενες λεκάνες, Λαζάρηδες και Περιστερώνα (Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013) 34	
Σχήμα 3.17: Η λεκάνη απορροής του ποταμού Περιστερώνα με τους τρεις βροχομετρικούς και τον υδρομετρικό σταθμό (Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013) .....	35
Σχήμα 3.18: Είδη βλάστησης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Περιστερώνα (Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013).....	36
Σχήμα 3.19: Η λεκάνη απορροής του Ξερού ποταμού με τους τρεις βροχομετρικούς και τον υδρομετρικό σταθμό ( Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013) .....	37
Σχήμα 3.20: Η βλάστηση στη λεκάνη απορροής του Ξερού ποταμού. Η έκταση καλύπτεται σχεδόν αποκλειστικά από υψηλό δάσος (Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013) .....	38
Σχήμα 3.21: Ημερήσια χρονοσειρά απορροής σε m <sup>3</sup> /s για την υπολεκάνη της Περιστερώνας.....	39
Σχήμα 3.22: Καμπύλη διάρκειας παροχής για την υπολεκάνη της Περιστερώνας.....	39
Σχήμα 3.23: Χρονοσειρά μέσων μηνιαίων τιμών παροχής σε m <sup>3</sup> /s της υπολεκάνης Περιστερώνα .....	40
Σχήμα 3.24: Χρονοσειρά ελαχίστων μηνιαίων τιμών παροχής σε m <sup>3</sup> /s της υπολεκάνης Περιστερώνα.....	40
Σχήμα 3.25: Ημερήσια χρονοσειρά απορροής σε m <sup>3</sup> /s για την υπολεκάνη Λαζάρηδες .....	41
Σχήμα 3.26: Καμπύλη διάρκειας παροχής για την υπολεκάνη Λαζάρηδες .....	41
Σχήμα 3.27: Χρονοσειρά μέσων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη Λαζάρηδες.....	43
Σχήμα 3.28: Χρονοσειρά ελαχίστων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη Λαζάρηδες .....	43
Σχήμα 3.29: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της λεκάνης απορροής Imera Meridionale .....	44
Σχήμα 3.30: Ημερήσια χρονοσειρά παροχών σε m <sup>3</sup> /s λεκάνης Imera Meridionale.....	45
Σχήμα 3.31: Καμπύλη διάρκειας παροχής λεκάνης Imera Meridionale .....	45
Σχήμα 3.32: Χρονοσειρά μέσων μηνιαίων τιμών παροχής λεκάνης Imera Meridionale .....	47
Σχήμα 3.33: Χρονοσειρά ελαχίστων μηνιαίων τιμών παροχής λεκάνης Imera Meridionale.....	47
Σχήμα 4.1: Προσομοίωση και βελτιστοποίηση συστήματος (Πηγή: Μποναζούντας, 2001).....	49
Σχήμα 4.2: Καμπύλες διάρκειας ροής για δύο διαφορετικά καθεστώτα ροής (Πηγή: WHS HydroTools) .....	51
Σχήμα 4.3: Καμπύλες διάρκειας ροής σε διαφορετικούς ποταμούς (Πηγή: WMO, 2008).....	52
Σχήμα 4.4: Άντληση νερού με βάση την καμπύλη διάρκειας ροής (Πηγή: WMO, 2008).....	53
Σχήμα 4.5: Διαχωρισμός βασικής ροής για μια αδιαπέραστη (επάνω διάγραμμα) και μια διαπερατή (κάτω διάγραμμα) λεκάνη στο Ηνωμένο Βασίλειο (Πηγή: WMO, 2008) .....	54
Σχήμα 4.6: Θεωρητικό εύρος εφαρμογής των διαφόρων πτυχών της πρόβλεψης (WMO, 2008) .....	56
Σχήμα 5.1: Καμπύλη διάρκειας ροής για τη λεκάνη απορροής Κρεμαστών για τα έτη 1998-2001 .....	59
Σχήμα 5.2: Καμπύλη διάρκειας ροής για τη λεκάνη απορροής Ευήνου για τα έτη 1995-1998.....	59
Σχήμα 5.3: Καμπύλη διάρκειας ροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για τα έτη 1998-2001 .....	60
Σχήμα 5.4: Καμπύλη διάρκειας ροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνας για τα έτη 1996-1999. 60	
Σχήμα 5.5: Καμπύλη διάρκειας ροής για τη λεκάνη απορροής Ξερού για τα έτη 1996-1999.....	60
Σχήμα 5.6: Καμπύλη μέσης παροχής επτά ημερών της λεκάνης απορροής των Κρεμαστών .....	61
Σχήμα 5.7: Καμπύλη μέσης παροχής επτά ημερών της λεκάνης απορροής του Ευήνου .....	61
Σχήμα 5.8: Κυλιόμενοι μέσοι όροι για τις χρονικές κλίμακες των 7, 15, 30, 60 και 90 ημερών για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου.....	62
Σχήμα 5.9: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής ξεκινώντας από την εκτιμημένη ημέρα έναρξης της ξηρής περιόδου για τη λεκάνη των Κρεμαστών για το έτος 1967 .....	64
Σχήμα 5.10: Διάγραμμα ξηρής περιόδου για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1967 65	

Σχήμα 5.11: Διάγραμμα εφαρμογής γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972. Οι τιμές που υπερβαίνουν τις τιμές της ευθείας απομακρύνονται. ....	66
Σχήμα 5.12: Εξομάλυνση μεταξύ πέντε σημείων για διαφορετικούς βαθμούς πολυωνυμικής συνάρτησης $n = 0, 1$ και $2$ (Πηγή: Orphanides, 2010) .....	67
Σχήμα 5.13: Παράδειγμα εφαρμογής του φίλτρου Savitzky-Golay σε συνθετικό σήμα με προσθήκη θορύβου (αριστερά). Ο βαθμός του πολυωνύμου είναι $d = 2$ και το μήκος εξομάλυνσης είναι $N = 41$ . Δεξιά φαίνεται η πολύ καλή λειτουργία του φίλτρου σε σχέση με το αρχικό σήμα που σημειώνεται με διακεκομμένη γραμμή (Πηγή: Orphanides, 2010) .....	68
Σχήμα 5.14: Διάγραμμα μετρημένης απορροής ( $Q_t$ ), εξομαλυμένης ( $Q_{t-modified1}$ ) και εξομαλυμένης δεύτερη φορά ( $Q_{t-modified2}$ ) για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών το έτος 1972 .....	69
Σχήμα 7.1: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ) .....	92
Σχήμα 7.2: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{sim}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα .....	93
Σχήμα 7.3: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα .....	93
Σχήμα 7.4: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα .....	94
Σχήμα 7.5: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα .....	95
Σχήμα 7.6: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ) .....	97
Σχήμα 7.7: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση .....	98
Σχήμα 7.8: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση .....	98
Σχήμα 7.9: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση .....	99
Σχήμα 7.10: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση .....	99
Σχήμα 7.11: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση .....	100
Σχήμα 7.12: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση .....	100

Σχήμα 7.13: Διάγραμμα εξομαλυσμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση .....	101
Σχήμα 7.14: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{start day}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση .....	101
Σχήμα 7.15: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	104
Σχήμα 7.16: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{dry season}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ). Το μοντέλο προσαρμόζεται από την εκτιμημένη ξηρή περίοδο. ....	105
Σχήμα 7.17: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{dry season}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ). Το μοντέλο προσαρμόζεται από την εκτιμημένη ξηρή περίοδο. ....	105
Σχήμα 7.18: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{dry season}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ). Το μοντέλο προσαρμόζεται από την εκτιμημένη ξηρή περίοδο. ....	106
Σχήμα 7.19: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{dry season}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ). Το μοντέλο προσαρμόζεται από την εκτιμημένη ξηρή περίοδο. ....	107
Σχήμα 7.20: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	109
Σχήμα 7.21: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1972 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.....	110
Σχήμα 7.22: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{linear}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	110
Σχήμα 7.23: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1985 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.....	111
Σχήμα 7.24: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{linear}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	111
Σχήμα 7.25: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1993 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.....	112
Σχήμα 7.26: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{linear}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	112
Σχήμα 7.27: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 2006 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.....	113
Σχήμα 7.28: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{linear}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	113

Σχήμα 7.29: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	115
Σχήμα 7.30: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1972 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.....	116
Σχήμα 7.31: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	117
Σχήμα 7.32: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1985 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.....	117
Σχήμα 7.33: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	118
Σχήμα 7.34: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1993 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.....	118
Σχήμα 7.35: Σχήμα 7.35: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	119
Σχήμα 7.36: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 2006 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.....	120
Σχήμα 7.37: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	120
Σχήμα 7.38: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για ολόκληρη τη διαθέσιμη χρονοσειρά.....	122
Σχήμα 7.39: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_2$ ).....	123
Σχήμα 8.1: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	125
Σχήμα 8.2: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	126
Σχήμα 8.3: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	126
Σχήμα 8.4: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	127
Σχήμα 8.5: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση .....	128



Σχήμα 8.6: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	128
Σχήμα 8.7: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση.....	129
Σχήμα 8.8: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	129
Σχήμα 8.9: Γραμμικό Μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	130
Σχήμα 8.10: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	131
Σχήμα 8.11: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	131
Σχήμα 8.12: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	132
Σχήμα 8.13: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1995 για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου.....	133
Σχήμα 8.14: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	133
Σχήμα 8.15: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1997 για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου.....	134
Σχήμα 8.16: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	134
Σχήμα.8.17: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	135
Σχήμα 8.18: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1995 για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου.....	136
Σχήμα 8.19: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	137
Σχήμα 8.20: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1997 για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου.....	137
Σχήμα 8.21 : Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	138
Σχήμα.8.22: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για ολόκληρη τη διαθέσιμη χρονοσειρά.....	140

Σχήμα 8.23: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη του Ευήνου χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_2$ ).....	141
Σχήμα 8.24: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale, χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ) .....	143
Σχήμα 8.25: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	144
Σχήμα 8.26: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	144
Σχήμα 8.27: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale, χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ) .....	145
Σχήμα 8.28: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	146
Σχήμα 8.29: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	146
Σχήμα 8.30: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	147
Σχήμα 8.31: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	147
Σχήμα 8.32: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale, χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ) .....	148
Σχήμα 8.33: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	149
Σχήμα 8.34: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	149
Σχήμα 8.35: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale, χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	150
Σχήμα 8.36: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1954 για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale.....	151
Σχήμα 8.37: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	152
Σχήμα 8.38: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1967 για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale.....	152

Σχήμα 8.39: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	153
Σχήμα 8.40: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	154
Σχήμα 8.41: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1954 για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale .....	155
Σχήμα 8.42: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	155
Σχήμα 8.43: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1967 για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale .....	156
Σχήμα 8.44: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	156
Σχήμα 8.45: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για ολόκληρη τη διαθέσιμη χρονοσειρά .....	158
Σχήμα 8.46: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη της Imera Meridionale χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_2$ ).....	159
Σχήμα 8.47: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	161
Σχήμα 8.48: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	162
Σχήμα 8.49: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1980 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	163
Σχήμα 8.50: Λογαριθμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	164
Σχήμα 8.51: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	165
Σχήμα 8.52: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	165
Σχήμα 8.53: Εκθετικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	166
Σχήμα 8.54: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	167

Σχήμα 8.55: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1980 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	167
Σχήμα 8.56: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	168
Σχήμα 8.57: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1971 για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	169
Σχήμα 8.58: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	169
Σχήμα 8.59: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1980 για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	170
Σχήμα 8.60: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1980 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	170
Σχήμα 8.61: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	171
Σχήμα 8.62: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1971 για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες.....	172
Σχήμα 8.63: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	172
Σχήμα 8.64: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1980 για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες.....	173
Σχήμα 8.65: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1980 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	173
Σχήμα 8.66: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για ολόκληρη τη διαθέσιμη χρονοσειρά.....	175
Σχήμα 8.67: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_2$ ) .....	176
Σχήμα 8.68: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	177
Σχήμα 8.69: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	178
Σχήμα 8.70: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) .....	178
Σχήμα 8.71: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα, χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ) .....	179

Σχήμα 8.72: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	180
Σχήμα 8.73: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	180
Σχήμα 8.74: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	181
Σχήμα 8.75: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	182
Σχήμα 8.76: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	183
Σχήμα 8.77: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	184
Σχήμα 8.78: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	185
Σχήμα 8.79 Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	186
Σχήμα 8.80: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1969 για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	187
Σχήμα 8.81: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	187
Σχήμα 8.82: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1999 για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	188
Σχήμα 8.83: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ).....	188
Σχήμα 8.84: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου $Q_0$ με την παράμετρο $a$ , χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ ).....	189
Σχήμα 8.85: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1969 για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας.....	190
Σχήμα 8.86: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	190
Σχήμα 8.87: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1999 για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας.....	191

Σχήμα 8.88: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως $Q_0$ την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ) ...	191
Σχήμα 8.89: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας για ολόκληρη τη διαθέσιμη χρονοσειρά.....	193
Σχήμα 8.90: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη Περιστερώνα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_2$ ).....	194

## Πίνακας συμβόλων

---

$a$	Παράμετρος του διπαραμετρικού μοντέλου
$a_1$	Παράμετρος μοντέλου με χρήση του αθροιστικού τετραγωνικού σφάλματος
$a_2$	Παράμετρος μοντέλου με χρήση του αθροιστικού λογαριθμικού σφάλματος
$b$	Παράμετρος του διπαραμετρικού μοντέλου
$error_1$	Αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα
$error_2$	Αθροιστικό λογαριθμικό σφάλμα
$e_t$	Σφάλμα μεταξύ προσομοιωμένης και παρατηρημένης απορροής
$Q_0$	Αρχική τιμή του μοντέλου
$Q_{dry\ season}$	Εκτιμημένη απορροή (εκτίμηση ξηρής περιόδου)
$Q_{est}$	Εκτιμημένη απορροή
$Q_{linear}$	Εκτιμημένη απορροή (γραμμικό φίλτρο εξομάλυνσης)
$Q_{savitzky-golay}$	Εκτιμημένη απορροή (φίλτρο εξομάλυνσης Savitzky - Golay)
$Q_{start\ day}$	Εκτιμημένη απορροή (εκτίμηση έναρξης ξηρής περιόδου)
$Q_t$	Παρατηρημένη απορροή
$w_t$	Μετασχηματισμένη χρονοσειρά των λογαρίθμων του σφάλματος $e_t$

# Περιεχόμενα

---

Ευχαριστίες	iii
Περίληψη	iv
Abstract	v
Κατάλογος πινάκων	vii
Κατάλογος σχημάτων	ix
Πίνακας συμβόλων	xx
Περιεχόμενα	xxi
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Τοποθέτηση του προβλήματος	1
1.2 Διάρθρωση εργασίας	1
<b>2 Θεμελιώδεις έννοιες και μεθοδολογίες εκτίμησης βασικής ροής: Βιβλιογραφική επισκόπηση</b>	<b>3</b>
2.1 Εισαγωγή	3
2.2 Επίδραση χαρακτηριστικών λεκάνης απορροής στη βασική ροή	8
2.3 Ανθρωπογενείς παράγοντες που επιδρούν στη δίαιτα των χαμηλών ροών	9
2.3.1 Άμεσες επιδράσεις	9
2.3.2 Έμμεσες επιδράσεις	9
2.4 Πιθανές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην μελλοντική ροή ποταμών	9
2.5 Χαρακτηριστικά μεγέθη χαμηλών ροών	10
2.5.1 Περίοδος χαμηλής ροής	10
2.5.2 Καμπύλη διάρκειας-ροής	10
2.5.3 Μέση ελάχιστη ετήσια παροχή για διαφορετικές διάρκειες	11
2.5.4 Δείκτης βασικής ροής (BFI)	12
2.6 Υπολογισμοί δεικτών χαμηλής ροής	12
2.7 Διαχωρισμός βασικής ροής	13
2.8 Διεθνής πρωτοβουλία στη μελέτη χαμηλών ροών	13
2.8.1 Μελέτη περίπτωσης σε λεκάνες απορροής των Ιμαλαίων	14
2.8.2 Μελέτη περίπτωσης σε λεκάνες απορροής της Αυστραλίας	16



<b>3</b>	<b>Περιοχές μελέτης και δεδομένα</b>	<b>19</b>
3.1	Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας.....	19
3.2	Λεκάνη απορροής Αχελώου.....	20
3.2.1	Γενικά.....	20
3.2.2	Γεωλογικές Συνθήκες.....	20
3.2.3	Υπόγεια υδατικά συστήματα.....	22
3.2.4	Χρήσεις γης.....	22
3.2.5	Ανθρωπογενές περιβάλλον.....	24
3.2.6	Ιστορικά δεδομένα.....	24
3.3	Λεκάνη απορροής Ευήνου.....	27
3.3.1	Γενικά.....	27
3.3.2	Κλίμα.....	28
3.3.3	Γεωλογικές συνθήκες.....	28
3.3.4	Ιστορικά δεδομένα.....	29
3.4	Λεκάνες απορροής Κύπρου.....	32
3.4.1	Γενικά.....	32
3.4.2	Κλίμα.....	32
3.4.3	Λεκάνες απορροής Λαζάρηδες και Περιστερώνια.....	33
3.4.4	Ιστορικά δεδομένα υπολεκάνης Περιστερώνια.....	38
3.4.5	Ιστορικά δεδομένα υπολεκάνης Λαζάρηδες.....	40
3.5	Λεκάνη απορροής Imera Meridionale (Ποταμός Salso).....	43
3.5.1	Ιστορικά δεδομένα.....	44
<b>4</b>	<b>Θεωρητικό υπόβαθρο</b>	<b>48</b>
4.1	Βασικές έννοιες μοντελοποίησης.....	48
4.2	Καμπύλη διάρκειας ροής.....	50
4.3	Δείκτες χαμηλής ροής.....	53
4.4	Δείκτες χαμηλής ροής.....	54
4.4.1	Δείκτης $Q_{95}$ .....	54
4.4.2	Μέσο ετήσιο ελάχιστο: MAM (n-οστής μέρας).....	54
4.5	Μοντέλα πρόγνωσης βασικής ροής.....	55
4.5.1	Περίοδος πρόγνωσης.....	55
4.5.2	Ανάλυση καμπύλης στείρευσης.....	56
<b>5</b>	<b>Κατάρτιση μοντέλων πρόγνωσης χαμηλών ροών</b>	<b>58</b>
5.1	Προκαταρκτικές αναλύσεις.....	58
5.1.1	Καμπύλες διάρκειας ροής.....	58
5.1.2	Καμπύλες μέσωσ παροχών διαφόρων χρονικών κλιμάκων.....	61
5.2	Μοντελοποίηση χαμηλών ροών.....	62
5.2.1	Μαθηματική έκφραση καμπυλών στείρευσης.....	62
5.2.2	Εκτίμηση παραμέτρου στείρευσης.....	62
5.2.3	Υπολογισμός έναρξης της ξηρής περιόδου.....	63
5.2.4	Υπολογισμός λήξης ξηρής περιόδου.....	64

5.2.5	Εφαρμογή φίλτρου γραμμικής εξομάλυνσης .....	65
5.2.6	Εφαρμογή φίλτρου Savitzky-Golay .....	66
5.3	Προσδιορισμός καθολικού μοντέλου πρόγνωσης .....	69
<b>6</b>	<b>Υλοποίηση υπολογιστικής διαδικασίας σε περιβάλλον MATLAB</b>	<b>70</b>
6.1	Αρχική επεξεργασία .....	70
6.1.1	Εισαγωγή δεδομένων-Προκαθορισμός μεγέθους μητρώων.....	70
6.1.2	Καθορισμός αρχικής τιμής μοντέλου ( $Q_0$ ) και των παρατηρημένων τιμών της απορροής ( $Q_t$ ) .....	71
6.1.3	Βελτιστοποίηση και δημιουργία διαγραμμάτων .....	71
6.1.4	Συσχέτιση παραμέτρου στείρευσης ( $a$ ) και αρχικής παροχής ( $Q_0$ ).....	72
6.1.5	Διατύπωση στοχαστικής συνάρτησης.....	72
6.1.6	Υπολογισμός μέσου τετραγωνικού σφάλματος .....	72
6.1.7	Υπολογισμός λογαριθμικού σφάλματος .....	73
6.2	Υπολογισμός έναρξης ξηρής περιόδου .....	73
6.2.1	Εισαγωγή δεδομένων-Προκαθορισμός μεγέθους μητρώων.....	73
6.2.2	Καθορισμός αρχικής παροχής ( $Q_0$ ) και παρατηρημένων τιμών ( $Q_t$ ) .....	74
6.2.3	Βελτιστοποίηση με βάση το μέσο τετραγωνικό σφάλμα .....	75
6.2.4	Συσχέτιση παραμέτρου στείρευσης ( $a$ ) και αρχικής παροχής ( $Q_0$ ).....	75
6.2.5	Συνάρτηση minimize_error1dry .....	75
6.2.6	Συνάρτηση QmodificationA- Προκαθορισμός μητρώων .....	76
6.2.7	Συνάρτηση dry_season2.....	78
6.3	Υπολογισμός λήξης της ξηρής περιόδου.....	79
6.3.1	Βελτιστοποίηση με το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (totalerror1).....	79
6.3.2	Συσχέτιση παραμέτρου στείρευσης ( $a$ ) και της αρχικής παροχής ( $Q_0$ ) .....	80
6.3.3	Συνάρτηση Qmodification .....	80
6.3.4	Συνάρτηση dry_season2 .....	81
6.3.5	Συνάρτηση season_stop2 .....	82
6.4	Φίλτρο γραμμικής εξομάλυνσης.....	83
6.4.1	Προκαθορισμός μητρώων .....	83
6.4.2	Εφαρμογή γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης.....	84
6.5	Φίλτρο Savitzky-Golay.....	84
6.6	Μοντέλο ολικής βελτιστοποίησης (Global optimization model) .....	85
6.6.1	Εισαγωγή δεδομένων – προκαθορισμός μητρώων .....	85
6.6.2	Καθορισμός αρχικής τιμής του μοντέλου ( $Q_0$ ) και δεδομένων $Q_t$ .....	86
6.6.3	Εφαρμογή φίλτρου Savitzky-Golay .....	86
6.6.4	Μετατροπή των μητρώων δεδομένων σε χρονοσειρές .....	87
6.6.5	Υπολογισμός της ξηρής περιόδου.....	87
6.6.6	Βελτιστοποίηση με χρήση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος .....	87
6.6.7	Βελτιστοποίηση με χρήση του λογαριθμικού σφάλματος .....	88
<b>7</b>	<b>Αποτελέσματα εφαρμογής στη λεκάνη Αχελώου στα Κρεμαστά</b>	<b>89</b>
7.1	Προσαρμογή μοντέλου στην πλήρη χρονοσειρά παροχών ξηρής περιόδου .....	90
7.2	Αποτελέσματα έναρξης ξηρής περιόδου .....	95

7.3	Αποτελέσματα λήξης της ξηρής περιόδου .....	102
7.4	Αποτελέσματα φίλτρου γραμμικής εξομάλυνσης .....	107
7.5	Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay .....	114
7.6	Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης .....	121
<b>8</b>	<b>Αποτελέσματα υπολοίπων (πλην της λεκάνης του Αχελώου) λεκανών</b>	<b>124</b>
8.1	Αποτελέσματα λεκάνης απορροής του Ευήνου.....	124
8.1.1	Αποτελέσματα αρχικής επεξεργασίας.....	125
8.1.2	Αποτελέσματα έναρξης ξηρής περιόδου.....	127
8.1.3	Αποτελέσματα λήξης ξηρής περιόδου .....	130
8.1.4	Αποτελέσματα γραμμικής εξομάλυνσης.....	132
8.1.5	Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay .....	135
8.1.6	Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης.....	138
8.2	Αποτελέσματα της λεκάνης απορροής Imera Meridionale .....	142
8.2.1	Αποτελέσματα αρχικής επεξεργασίας.....	142
8.2.2	Αποτελέσματα έναρξης της ξηρής περιόδου .....	145
8.2.3	Αποτελέσματα λήξης της ξηρής περιόδου .....	148
8.2.4	Αποτελέσματα γραμμικής εξομάλυνσης.....	150
8.2.5	Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay .....	153
8.2.6	Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης.....	157
8.3	Αποτελέσματα της λεκάνης απορροής Λαζάρηδες .....	160
8.3.1	Αποτελέσματα αρχικής επεξεργασίας.....	160
8.3.2	Αποτελέσματα έναρξης της ξηρής περιόδου .....	163
8.3.3	Αποτελέσματα λήξης της ξηρής περιόδου .....	166
8.3.4	Αποτελέσματα γραμμικής εξομάλυνσης.....	168
8.3.5	Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay .....	171
8.3.6	Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης.....	174
8.4	Αποτελέσματα της λεκάνης απορροής Περιστερόνα.....	176
8.4.1	Αποτελέσματα αρχικής επεξεργασίας.....	177
8.4.2	Αποτελέσματα έναρξης της ξηρής περιόδου .....	179
8.4.3	Αποτελέσματα λήξης της ξηρής περιόδου .....	182
8.4.4	Αποτελέσματα γραμμικής εξομάλυνσης.....	185
8.4.5	Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay .....	189
8.4.6	Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης.....	192
<b>9</b>	<b>Συμπεράσματα - Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα</b>	<b>195</b>
<b>10</b>	<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>196</b>

# 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Τοποθέτηση του προβλήματος

Η περίοδος χαμηλών απορροών ενός ποταμού αποτελεί ένα εποχιακό φαινόμενο, το οποίο εμφανίζεται σχεδόν σε κάθε ποταμό. Κατά τη ξηρή περίοδο – ανάλογα με την κλιματική δίαυτα της λεκάνης απορροής, μπορεί να είναι το καλοκαίρι ή χειμώνα – οι βροχοπτώσεις είναι μειωμένες σε συχνότητα και ύψος υετού, με συνέπεια ο μοναδικός, πρακτικά, τροφοδότης του ποταμού να είναι η βασική απορροή που προέρχεται από υπόγεια ύδατα. Σε αντίθεση με την επιφανειακή απορροή, η οποία διέπεται από έντονη τυχαιότητα, καθώς η γενεσιουργός αιτία είναι η βροχή, η βασική απορροή έχει πιο αιτιοκρατική φύση. Έτσι, διάφορα απλά μοντέλα, όπως οι καμπύλες στείρευσης, εξηγούν με αποδοτικό τρόπο την εξέλιξη της βασικής απορροής. Η ιδέα αυτή ενέπνευσε την παρούσα διπλωματική εργασία, όπου επιχειρείται η κατάστρωση ενός απλού διαπαμετρικού μοντέλου πρόβλεψης της εξέλιξης της χαμηλής ροής ποταμών κατά την ξηρή τους περίοδο. Κατά τη γνωστή ρήση του Α. Einstein, τα μοντέλα πρέπει να είναι «όσο το δυνατόν πιο απλά γίνεται αλλά όχι απλούστερα». Έτσι, αν και το μοντέλο αυτό φαντάζει απλοϊκό σε σχέση με άλλα, πιο σύνθετα της διεθνούς βιβλιογραφίας τα οποία αξιοποιούν στοχαστικές, στατιστικές και άλλες μεθόδους, εντούτοις διατηρεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα: είναι εύχρηστο, καθώς δεν απαιτεί εκτενή δεδομένα, παρά μόνο ημερήσιες μετρήσεις μερικών ετών για τον προσδιορισμό δύο μόνο παμετρων, ενώ προσαρμόζεται με ευκολία σε διαφορετικές λεκάνες.

Η χρησιμότητα ενός τέτοιου μοντέλου γίνεται προφανής, αν αναλογιστεί κανείς πως οι ποταμοί αποτελούν μια από τις κύριες πηγές αρδευτικού και υδρευτικού νερού στις περισσότερες χώρες. Ειδικά κατά της περιόδους χαμηλής ροής, απαιτείται να μην υπάρξει σημαντικό έλλειμμα στην κάλυψη των αντίστοιχων αναγκών. Οι διάφοροι φορείς και χρήστες του νερού χρειάζονται απλά εργαλεία, ώστε να μπορούν να προγραμματίσουν τις διάφορες δραστηριότητές τους για την βέλτιστη χρήση νερού από ποτάμια και άλλες πηγές.

Οι χαμηλές ροές, γενικά, επηρεάζονται από ποικίλους παράγοντες, όπως την σύσταση και τη διηθητικότητα του εδάφους, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά και την έκταση των υδροφορέων, τα ποσοστά της εξατμοδιαπνοής από τη λεκάνη, τα είδη της υπάρχουσας βλάστησης, την τοπογραφία της περιοχής, τις κλιματικές συνθήκες, καθώς και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι δύο παράμετροι που αξιοποιούνται στο μοντέλο που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία προφανώς θα διαφοροποιούνται ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν σε κάθε υδρολογική λεκάνη. Για αυτό το λόγο, εξετάστηκαν πέντε διαφορετικές λεκάνες του Μεσογειακού χώρου (δύο ελληνικές, δύο κυπριακές και μια ιταλική), όπου υπάρχουν διαθέσιμες και αξιόπιστες ημερήσιες μετρήσεις, ώστε να αναδειχθεί αυτή η διαφοροποίηση.

## 1.2 Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει οκτώ κεφάλαια, στα οποία περιγράφονται η βιβλιογραφική επισκόπηση που πραγματοποιήθηκε, με θεμελιώδεις έννοιες και μεθοδολογίες εκτίμησης της βασικής ροής, οι περιοχές μελέτης και τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν. Στην συνέχεια αναλύεται η κατάρτιση των διαφορετικών μοντέλων ως προς τα θεωρητικά τους στοιχεία, η προ-

επεξεργασία που έγινε, η κατάρτιση των μοντέλων, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν και, τέλος, τα συμπεράσματα και οι προτάσεις.

### **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>**

Αποτελεί την εισαγωγή της διπλωματικής εργασίας, καθώς περιλαμβάνει τη γενική τοποθέτηση του προβλήματος και τον τρόπο διάρθρωσης της διπλωματικής εργασίας.

### **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>**

Παρουσιάζεται η βιβλιογραφική επισκόπηση που περιλαμβάνει γενικές έννοιες που αφορούν τις χαμηλές ροές και διάφορες μεθοδολογίες εκτίμησης της βασικής ροής.

### **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>**

Περιγράφονται οι λεκάνες απορροής που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

### **Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>**

Παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο για την κατάρτιση του μοντέλου.

### **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>**

Παρατίθενται οι επεξεργασίες που έγιναν για την εκτίμηση ορισμένων βασικών στοιχείων για τις υπό μελέτη λεκάνες. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν οι καμπύλες διάρκειας ροής, οι καμπύλες των επτά ημερών και οι καμπύλες στείρευσης.

### **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>**

Παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την κατάρτιση του μοντέλου, με όλα τα βήματα που ακολουθήθηκαν μέχρι την εξαγωγή της τελικής διαμόρφωσης του μοντέλου.

### **Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>**

Παρατίθενται, αναλυτικά, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας, μέχρι το τελικό μοντέλο.

### **Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup>**

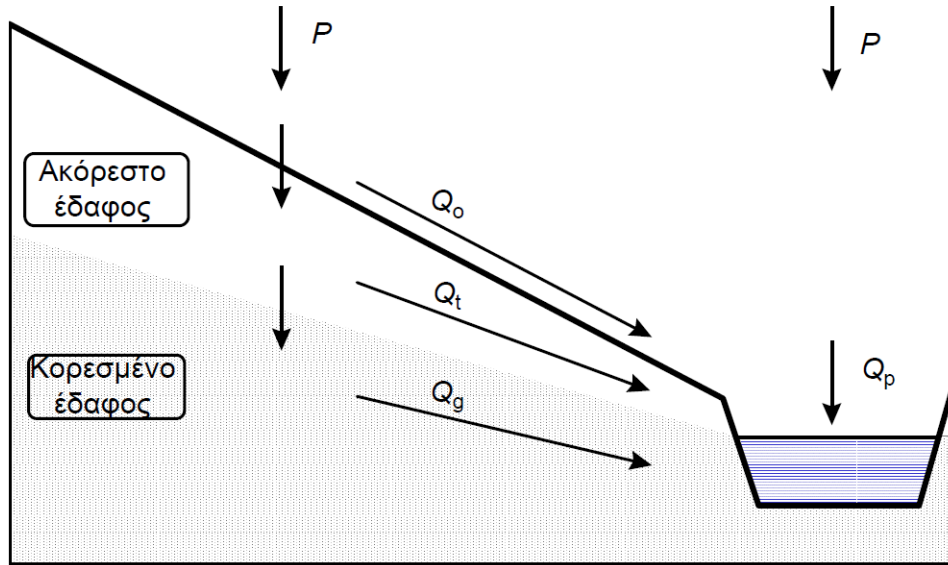
Παρουσιάζεται μια σύνοψη της διπλωματικής εργασίας, με όλα τα προβλήματα που ανέκυψαν, καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν.

## 2 Θεμελιώδεις έννοιες και μεθοδολογίες εκτίμησης βασικής ροής: Βιβλιογραφική επισκόπηση

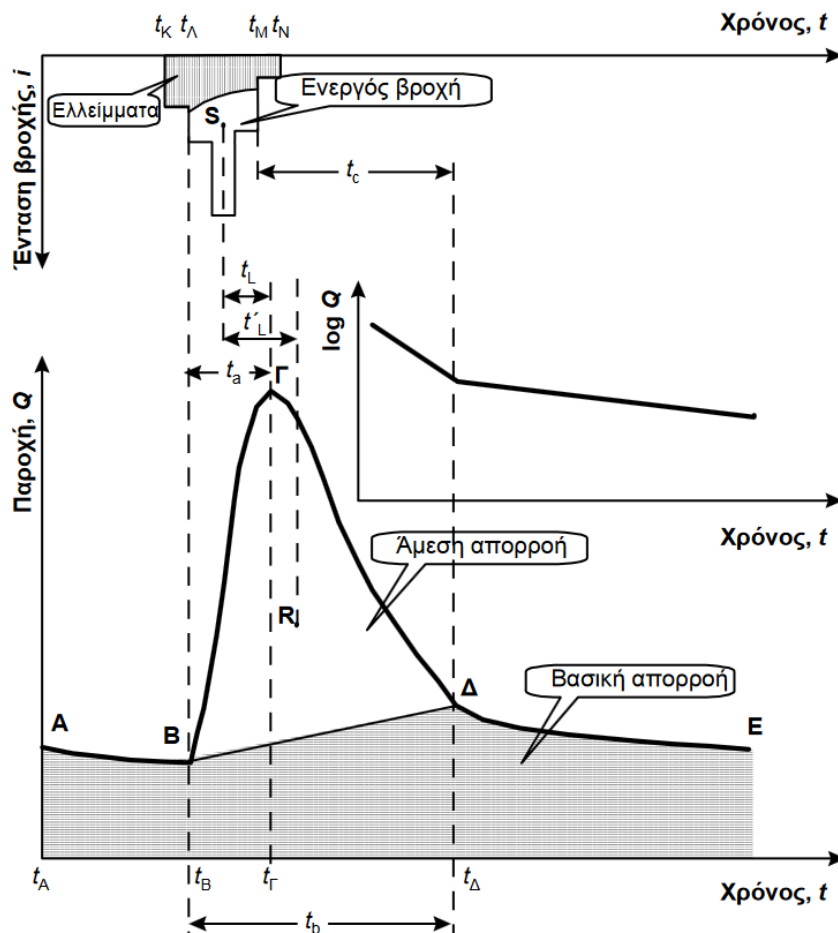
---

### 2.1 Εισαγωγή

Η επιφανειακή απορροή ορίζεται ως η ροή του νερού, υπό την επίδραση της βαρύτητας, κατά μήκος των φυσικών υδατορεμάτων (Ward & Robinson, 1989· Mosley & McKerchar, 1993). Η ποσοτική απεικόνιση της χρονικής μεταβολής της απορροής σε μια δεδομένη διατομή ενός ποταμού ονομάζεται υδρογράφημα. Στον καθορισμό της επιφανειακής απορροής συμβάλλουν πλήθος φυσικών διεργασιών, όπως τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, η επίγεια ροή, η υποδερμική ροή και η υπόγεια ροή. Στο Σχήμα 2.1 απεικονίζονται οι διαφορετικές προελεύσεις του νερού της επιφανειακής απορροής. Για τις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές, δεν είναι απαραίτητη η ακριβής μαθηματική αναπαράσταση όλων αυτών των διεργασιών για τη μελέτη της επιφανειακής απορροής. Αντίθετα, χρησιμοποιείται μια σχηματοποιημένη απλούστευσή της σε δύο συνιστώσες, που βασίζεται στο ρυθμό πραγματοποίησης τους, αντί στο μηχανισμό δημιουργίας τους. Έτσι, το συνολικό υδρογράφημα χωρίζεται στην άμεση και την βασική απορροή. Η άμεση απορροή εκφράζει την ταχεία απόκριση της λεκάνης στα κατακρημνίσματα, μέρος των οποίων ακολουθεί μια γρήγορη επίγεια ή υπόγεια πορεία προς τα υδατορεύματα. Αντίθετα, το γεγονός πως παρατηρείται συνεχής ροή σε ποτάμια ακόμα και σε περιόδους χωρίς βροχή δείχνει πως ένα άλλο μέρος των κατακρημνισμάτων ακολουθεί πολύ βραδεία υπόγεια πορεία προς τα υδατορεύματα (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999). Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται ένα τυπικό υδρογράφημα, με διαχωρισμό της άμεσης από την υπόγεια απορροή.



Σχήμα 2.1: Διάφορες συνιστώσες της επιφανειακής απορροής, όπου:  $Q_p$  η άμεση βροχοπτώση στο υδατόρευμα,  $Q_o$  η επίγεια ροή,  $Q_t$  η υποερμική ροή και  $Q_g$  η υπόγεια ροή (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)



Σχήμα 2.2: Υδρογράφημα όπου φαίνεται ο διαχωρισμός της επιφανειακής από τη βασική ροή (Πηγή: Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999)

Η χαμηλή ροή ενός ποταμού είναι ένα εποχιακό φαινόμενο και αναπόσπαστο στοιχείο του καθεστώτος ροής κάθε ποταμού (Smakhtin, 2001). Δεδομένου ότι οι ποταμοί αποτελούν μια από τις κύριες πηγές αρδευτικού και υδρευτικού νερού στις περισσότερες χώρες, απαιτείται προσοχή, ιδιαίτερα στις περιόδους χαμηλής ροής, έτσι ώστε να μην υπάρξει έλλειψη νερού. Οι χαμηλές ροές επηρεάζονται από ποικίλους παράγοντες, όπως την σύσταση και τη διηθητικότητα του εδάφους, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά και την έκταση των υδροφορέων, τα ποσοστά της εξατμοδιαπνοής από τη λεκάνη, τα είδη της υπάρχουσας βλάστησης, την τοπογραφία της περιοχής, τις κλιματικές συνθήκες, καθώς και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως είναι η αφαίρεση υλικού του πυθμένα του ποταμού και η αλλαγή των χρήσεων γης. Η εμφάνιση χαμηλών ροών επηρεάζει ιδιαίτερα τις αγροτικές δραστηριότητες, την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, την πλωτότητα του ποταμού, την αλιεία και άλλες οικιακές ή οικονομικές δραστηριότητες (Lefèvre, 1974). Το φαινόμενο των χαμηλών ροών έχει σοβαρό αντίκτυπο στην κοινωνία εξαιτίας του ιδιαίτερα σημαντικού ρόλου της σε ποικίλα θέματα διαχείρισης υδατικών πόρων (Stromberg, 2007). Η συχνή εμφάνιση χαμηλών ροών επηρεάζει οικιακές χρήσεις όπως την κατανάλωση νερού, τις γεωργικές δραστηριότητες, την παραγωγή ενέργειας και την πλωτότητα. Μακροχρόνιες χαμηλές ροές μπορεί να συνδεθούν με γεγονότα ξηρασίας, οι συνέπειες της οποίας είναι σοβαρότερες από αυτές των πλημμυρών. Επιπρόσθετα, χαμηλές παροχές μπορεί να επιδεινώσουν τις επιπτώσεις της ρύπανσης των υδάτων. Μια ακόμη επίπτωση αφορά τη χημική ποιότητα του νερού (Moatar, 2010). Αυτό είναι πιθανόν να επηρεάσει την κατανομή των διαφόρων ειδών στο οικοσύστημα, τον αριθμό τους και, γενικότερα, την οικολογική κατάσταση του ποταμού, επηρεάζοντας την αφθονία και την κατανομή των ψαριών, των φυκιών κ.α, με πιθανές κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις (Hamlet, 2002).

Στις φωτογραφίες των Σχημάτων 2.3 και 2.4 παρουσιάζονται παραδείγματα χαμηλών ροών, που εμφανίζονται άλλοτε τους καλοκαιρινούς μήνες (σε ξηρά κλίματα, λόγω της έλλειψης βροχοπτώσεων), και άλλοτε τους χειμερινούς (στα υγρά και ψυχρά κλίματα, λόγω της συσσώρευσης χιονιού). Στην τελευταία περίπτωση (Σχήμα 2.4), η περίοδος των υψηλών ροών παρατηρείται τους καλοκαιρινούς μήνες, με το λιώσιμο των πάγων.

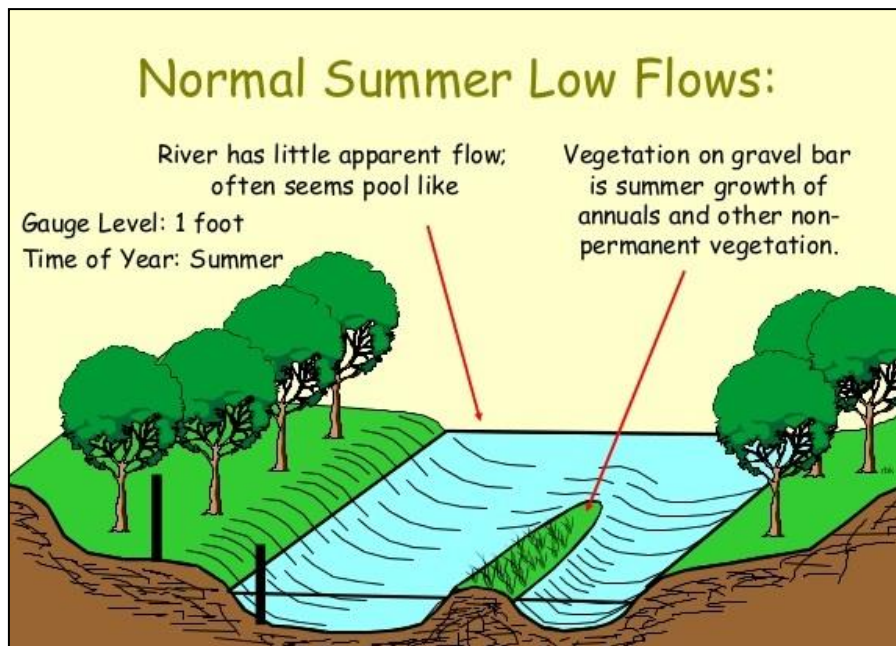




Σχήμα 2.3: Χαμηλές ροές τους καλοκαιρινούς μήνες στον ποταμό Stillwater, Montana (Πηγή: bigskyfishing)



Σχήμα 2.4: Χαμηλές ροές τους χειμερινούς μήνες στον ποταμό Provo, Utah (Πηγή: atlantaflyfishingclub)



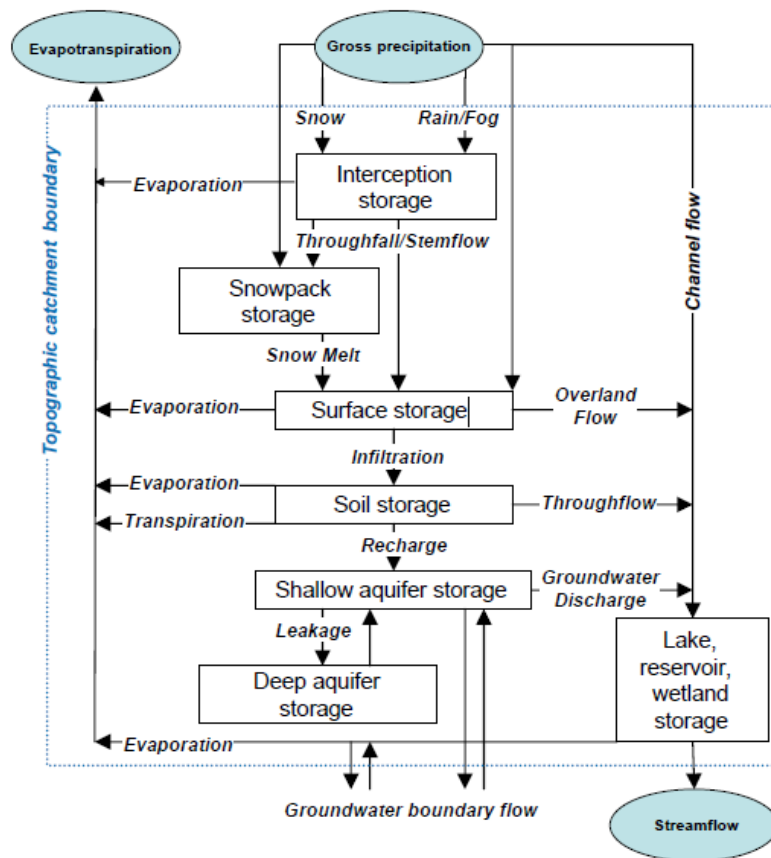
Σχήμα 2.5: Αναπαράσταση χαμηλών ροών (Πηγή: slideshare)

Αξίζει να σημειωθεί πως οι χαμηλές ροές διαφέρουν από τα φαινόμενα ξηρασίας, καθώς αναφέρονται σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Συγκεκριμένα, τα φαινόμενα ξηρασίας εμφανίζουν παρατεταμένες περιόδους ροών που είναι *συστηματικά* χαμηλότερες σε σχέση με τη συνήθη δίαιτα του ποταμού, σε αντίθεση με τις διαχρονικές εποχιακές περιόδους χαμηλής ροής, που δεν οφείλονται σε ξηρασίες, αλλά στις συνήθεις υδροκλιματικές διεργασίες της λεκάνης απορροής (Smakhtin, 2001).

Δεδομένου ότι τα ελλείμματα υδατικών πόρων δημιουργούνται, ως επί το πλείστον, κατά τις ξηρές περιόδους του έτους, όταν υπάρχει μειωμένη διαθεσιμότητα νερού και αυξημένη ζήτηση (κυρίως λόγω των αρδευτικών αναγκών), η συγκεκριμένη εργασία θα εστιάσει στην ποσοτική πρόβλεψη των χαμηλών ροών. Η ανάλυση και πρόβλεψη των περιόδων χαμηλών ροών μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη καλύτερων πολιτικών διαχείρισης υδατικών πόρων, γεγονός που μπορεί να μετριάσει αρκετά από τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν.

Γενικά, οι χαμηλές ροές τροφοδοτούνται είτε από την υπόγεια απορροή είτε από το λιώσιμο του χιονιού. Η συγκεκριμένη μελέτη επικεντρώνεται στις χαμηλές ροές τους καλοκαιρινούς μήνες, που αποτελεί την κύρια πηγή νερού για διάφορες χρήσεις στην Ελλάδα. Παρά την καλοκαιρινή ανομβρία, στα μεγάλα τουλάχιστον ελληνικά ποτάμια επιτυγχάνεται η διατήρηση της απορροής όλο το έτος, καθώς οι υδροφορείς επαναφορτίζονται εποχιακά το χειμώνα. Αυτό επιτρέπει τη διατήρηση υψηλής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα για την πλευρική τροφοδοσία του ποταμού από υπόγεια νερά, εφόσον ευνοεί και η γεωλογία της περιοχής.

Το μέγεθος και η μεταβλητότητα της ροής ενός ποταμού και, κατ' επέκταση, των περιόδων χαμηλών ροών, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, φυσικούς και ανθρωπογενείς. Οι φυσικοί παράγοντες σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης (ιδιότητες εδαφικού υλικού, χαρακτηριστικά υδροφορέα, τοπογραφία λεκάνης, χρήσεις γης) και τις κλιματικές συνθήκες (συνολικός υετός, εξατμοδιαπνοή). Στο Σχήμα 2.6 απεικονίζονται οι βασικές φυσικές υδρολογικές διαδικασίες που επηρεάζουν την δίαιτα ενός ποταμού. Ως προς τους ανθρωπογενείς παράγοντες, η βασική ροή επηρεάζεται από την κατασκευή ταμιευτήρων, τις απολήψεις υπογείου νερού που μεταβάλλουν την σχέση επιφανειακής και υπόγειας απορροής, τις εκτροπές μεταξύ λεκανών, την αστικοποίηση, κ.ά.



Σχήμα 2.6: Αναπαράσταση υδρολογικών διεργασιών λεκάνης απορροής (Πηγή: WMO, 2008)

## 2.2 Επίδραση χαρακτηριστικών λεκάνης απορροής στη βασική ροή

Η λεκάνη απορροής ενός ποταμού αποτελεί την χωρική μονάδα αναφοράς του υδρολογικού κύκλου. Οι χαμηλές ροές ενός ποταμού επηρεάζονται άμεσα από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, π.χ. τις κλίσεις του εδάφους, την κάλυψη γης, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά, και τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

Ειδικότερα, η γεωλογία της λεκάνης απορροής αποτελεί έναν από τους κυριότερους παράγοντες που ελέγχουν το καθεστώς ροής ενός ποταμού. Με τον όρο «γεωλογία», εδώ, νοούνται τα πρώτα γεωλογικά στρώματα που έχουν άμεση επίπτωση στην επιφανειακή απορροή. Μετά από βιβλιογραφική μελέτη, φαίνεται να υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της γεωλογίας της λεκάνης και του ρυθμού εκφόρτισης της εδαφικής υγρασίας σε περιόδους χαμηλών ροών. Για παράδειγμα, αναφέρεται ότι υπάρχει ισχυρή εξάρτηση των στατιστικών μεγεθών που αφορούν τις χαμηλές ροές από την υδρογεωλογία (Gustard *et al.*, 1992). Οι Ackroyd *et al.* (1967) ανέλυσαν την επιρροή των χαρακτηριστικών της λεκάνης στην συνεισφορά του υπογείου νερού και, συνακόλουθα, στην παροχή του ποταμού. Ρέματα με προσχωσιγενείς αποθέσεις επιτρέπουν τη διατήρηση μιας βιώσιμης παροχής τις ξηρές περιόδους, σε αντίθεση με ρέματα με κρυσταλλικές αποθέσεις (glacial deposits) που παρουσιάζουν διακυμάνσεις στη ροή (Schneider, 1957). Ο Smakhtin (2001) διατύπωσε την άποψη πως ρέματα με γεωλογία μη ενοποιημένων βράχων, διαφορετικού είδους, έχουν χαμηλές αποδόσεις κατά την περίοδο χαμηλών ροών, ενώ ρέματα που αποτελούνται από μεταμορφωμένα ιζηματογενή και πυριγενή πετρώματα έχουν μεγάλη ροή σε σχέση με το μέγεθος της λεκάνης απορροής τους.

## **2.3 Ανθρωπογενείς παράγοντες που επιδρούν στη δίαιτα των χαμηλών ροών**

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες μπορούν να επιφέρουν σοβαρές μεταβολές τόσο στην υδρολογία, όσο και στην μορφολογία του ποταμού, αφού επηρεάζουν είτε άμεσα είτε έμμεσα τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και, ως εκ τούτου, τις χαμηλές ροές του ποταμού.

### **2.3.1 Άμεσες επιδράσεις**

Οι άμεσες επιδράσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων αφορούν την απόληψη νερού για διάφορες χρήσεις, απόθεση αποβλήτων στην κοίτη του ποταμού, εξόρυξη άμμου, κατασκευή δεξαμενών ανάντη του ποταμού κ.ά. Μεταξύ αυτών, ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η κατασκευή αναρρυθμιστικών έργων (δεξαμενές, ταμιευτήρες), καθώς ανακόπτεται η φυσική ροή του ποταμού. Μερική λύση σε αυτό προσφέρεται μέσω της διατήρησης της λεγόμενης «οικολογικής παροχής». Ακόμη, η άντληση νερού για γεωργικούς, κυρίως, σκοπούς, μειώνει την παροχή, ιδιαίτερα σε ξηρές περιόδους (Eheart & Tornil, 1999). Τέλος, η απόθεση αποβλήτων οδηγεί στη ρύπανση του ποτάμιου οικοσυστήματος και αυξάνει τα φερτά που εναποθέτονται στην κοίτη (Lemarchand *et al.*, 2011).

### **2.3.2 Έμμεσες επιδράσεις**

Οι έμμεσες επιδράσεις οφείλονται σε μεταβολές των χρήσεων γης, λόγω εκτεταμένης δασοκομίας, αποψίλωσης των δασών, αλλαγές των γεωργικών πρακτικών, αστικοποίησης, κ.ά. Ειδικότερα, η δασοκομία μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ποικιλότητα της παροχής. Η κάλυψη με δασικές εκτάσεις μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της εξατμοδιαπνοής, που οδηγεί σε μείωση της αναπλήρωσης υπογείων υδάτων, λόγω της πρόσληψης νερού από τα δέντρα κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων. Γι' αυτό, η δασοκομία είναι πιθανόν να μειώσει τις ροές των ποταμών και να προκαλέσει πολύ πιο συχνά φαινόμενα χαμηλών ροών (Johnson, 1998). Ακόμη, η αποψίλωση δασών και οι δασικές πυρκαγιές έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή άμεσης απορροής στη λεκάνη, και, άρα, μειωμένη τροφοδοσία στον υπόγειο ορίζοντα που συντηρεί τη βασική απορροή.

Ωστόσο, είναι γενικά δύσκολο να βρεθεί σύνδεση μεταξύ της κάλυψης γης και των χαρακτηριστικών της ροής (Andréassian *et al.*, 2003). Ένας λόγος είναι ότι η επίδραση της δασικής κάλυψης διαφέρει μεταξύ λεκανών με συγκεκριμένα κλιματικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά (Andréassian, 2004).

## **2.4 Πιθανές επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην μελλοντική ροή ποταμών**

Οι Schaake και Chunzhen (1989) επισήμαναν ότι υπάρχουν ενδείξεις για πιθανόν μεγαλύτερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις χαμηλές ροές από ότι στις υψηλότερες. Ο Liebscher (1983) ανέδειξε τις διαφορετικές επιπτώσεις της κλιματικής διαφοροποίησης στις χαμηλές και υψηλές ροές. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην συχνότητα, στο μέγεθος, στη θέση και στη διάρκεια ακραίων υδρολογικών γεγονότων (Hoog, 1995· Cunderlik, 2005· Diaz-Nieto, 2005). Η μείωση των βροχοπτώσεων, η αύξηση της θερμοκρασίας και της εξατμοδιαπνοής μπορούν να προκαλέσουν μείωση στη μέση απορροή στις περιόδους χαμηλής ροής (de Wit *et al.*, 2007). Το γεγονός αυτό μπορεί να επηρεάσει σοβαρά την Ευρώπη, όπως για παράδειγμα με περισσότερα φαινόμενα χαμηλών ροών σε γαλλικές λεκάνες απορροής (Boé *et al.*, 2009).

Το ζήτημα των πιθανών επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος στην απορροή έχει εκτενώς ερευνηθεί τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, οι σχετικές μελέτες συνήθως επικεντρώνονται σε μακροπρόθεσμες μεταβολές των κλιματικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών.

Γενικά, οι μελέτες διεξάγονται σε δύο διακριτές κατευθύνσεις: είτε μέσα από την ανάλυση των διαθέσιμων ιστορικών στοιχείων ροής, είτε από την έρευνα των επιπτώσεων των διαφόρων πιθανών

σεναρίων κλιματικής αλλαγής για απορροή μέσω των υδρολογικών μοντέλων (Smakhtin, 2001). Για παράδειγμα, ο Liebscher (1983) επεσήμανε περιφερειακές διαφοροποιήσεις στις επιπτώσεις των κλιματικών μεταβολών στις απορροές σε διαφορετικά τμήματα της λεκάνης απορροής του ποταμού Ρήνου, χρησιμοποιώντας ιστορικά υδρολογικά στοιχεία που χρονολογούνται από τις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα. Ο Telis (1990) απέδειξε ότι τα κυκλικά πρότυπα απορροής αντιστοιχούν στα κυκλικά πρότυπα της βροχόπτωσης, προτείνοντας μια μέθοδο βελτίωσης των χαρακτηριστικών χαμηλής ροής, με βάση την πρόβλεψη των κλιματικών κύκλων.

Πιο πρόσφατα, δόθηκε βαρύτητα στη μελέτη των μοντέλων παγκόσμιας κυκλοφορίας GCM και τον καταβιβασμό της κλίμακας των σεναρίων σε αυτών της λεκάνης απορροής. Με τον τρόπο αυτό μελετάται η συμπεριφορά των συστημάτων λόγω της κλιματικής αλλαγής που επηρεάζει άμεσα τις βασικές παραμέτρους για την απορροή, δηλαδή την βροχόπτωση και την εξατμοδιαπνοή. Παράδειγμα μελέτης των χαμηλών ροών υπό το καθεστώς αβεβαιότητας της κλιματικής αλλαγής με καταβιβασμό κλίμακας από τα GCM έκαναν οι Willby και Harris (2006), για το ποταμό Τάμεση.

## **2.5 Χαρακτηριστικά μεγέθη χαμηλών ροών**

### **2.5.1 Περίοδος χαμηλής ροής**

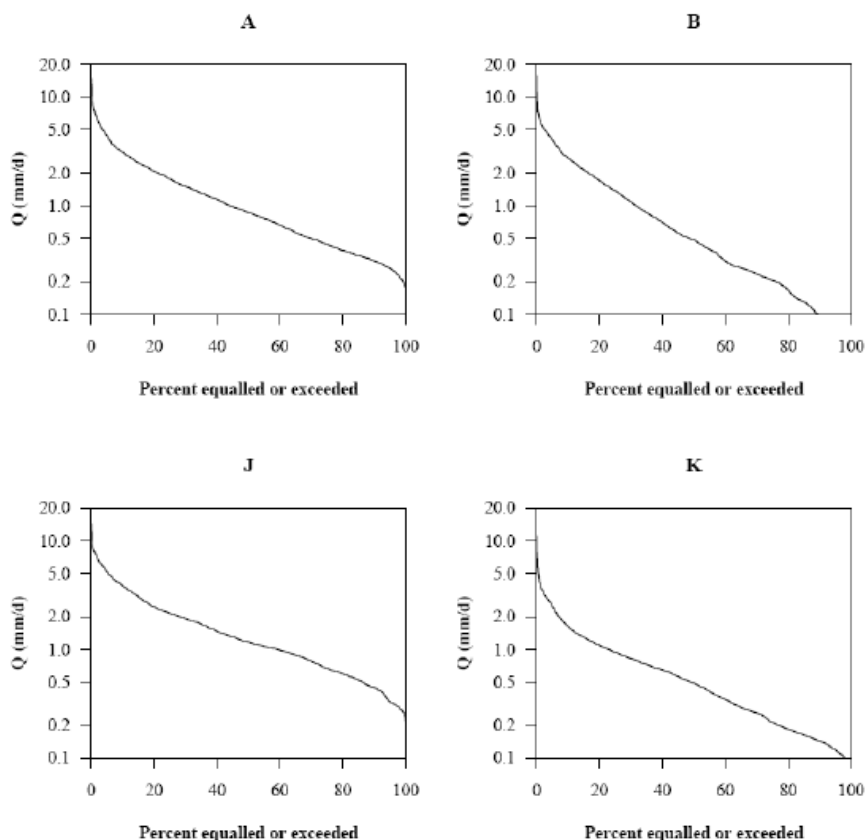
Η περίοδος χαμηλής ροής υποδεικνύει το χρονικό διάστημα κατά το οποίο οι παροχές είναι κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, η τιμή του οποίου εξαρτάται από τον σκοπό της μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί πως στην Ελλάδα, οι περίοδοι χαμηλών ροών είναι μεγάλης σημασίας, δεδομένου ότι, λόγω του ξηρού κλίματος, η ποσότητα υετού τους καλοκαιρινούς μήνες είναι χαμηλή. Ωστόσο, οι ανάγκες ύδρευσης και άρδευσης την ίδια περίοδο είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Βεβαίως, στα ρυθμιζόμενα ποτάμια συστήματα, οι ταμειυτήρες δημιουργούν ισορροπία μεταξύ των υψηλών και χαμηλών ροών. Σε κάθε περίπτωση, η γνώση της περιόδου χαμηλών ροών είναι αναγκαία από μηχανικούς για τον σχεδιασμό έργων υποδομής, καθώς μπορεί να έρχονται σε σύγκρουση διαφορετικοί στόχοι κάλυψης αναγκών (άρδευση, ύδρευση, παραγωγή Υ/Η ενέργειας, οικολογική παροχή).

### **2.5.2 Καμπύλη διάρκειας-ροής**

Η καμπύλη διάρκειας-παροχής (flow duration curve, FDC) αποτελεί έναν τρόπο απεικόνισης του πλήρους φάσματος της απορροής, από τις χαμηλές ροές έως και τα γεγονότα πλημμύρας, καθώς αναπαριστά το ποσοστό του χρόνου που η παροχή ξεπερνά μια δεδομένη τιμή (Iacovellis, 2008).

Εκτός από την καμπύλη διάρκειας ροής, στη βιβλιογραφία αναφέρεται και η καμπύλη συχνότητας χαμηλών ροών (low flow frequency curve, LFFC), που δείχνει την ετήσια συχνότητα υπέρβασης μιας τιμής, ή, ισοδύναμα, το μέσο χρονικό διάστημα υπέρβασης (Smakhtin, 2001· Vogel & Fennessey, 1994).

Στο Σχήμα 2.7 δίνονται παραδείγματα καμπυλών διάρκειας-παροχής. Η χαμηλή κλίση του τμήματος χαμηλής ροής δείχνει, γενικά, σταθερή χαμηλή απορροή στις λεκάνες Α (ποταμός Moselle) και J (ποταμός Aber Wraich). Αντίθετα, στις λεκάνες Β (ποταμός Meuse) και Κ (ποταμός La Sauldre), η καμπύλη δείχνει περιόδους με πολύ χαμηλές ροές, καθώς η ημερήσια απορροή του ποταμού είναι μικρότερη από 0.1 mm για το 15% και 5% των ημερών αντίστοιχα. Αυτό δείχνει την εμφάνιση σοβαρών χαμηλών ροών στις λεκάνες Β και Κ. Κατά συνέπεια, αυτές οι καμπύλες είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό των συνθηκών ροής της λεκάνης απορροής (Pushpalatha, 2013).



Σχήμα 2.7: Παραδείγματα καμπυλών διάρκειας-παροχής για την περίοδο 2003 - 2005 (Πηγή: Pushpalatha, 2013).

### 2.5.3 Μέση ελάχιστη ετήσια παροχή για διαφορετικές διάρκειες

Η μέση ετήσια ελάχιστη παροχή μπορεί να προέρχεται από σειρές ημερήσιων μετρήσεων, επιλέγοντας την μικρότερη παροχή από κάθε έτος και υπολογίζοντας την αντίστοιχη μέση τιμή. Τα ελάχιστα από διαφορετικές διάρκειες μπορεί να καθοριστούν για ροές κατά μέσο όρο σε 1, 3, 7, 10, 30 και 90 ημέρες. Αυτοί οι δείκτες χαμηλής ροής χρησιμοποιούνται ευρέως στην εκτίμηση χαρακτηριστικών υδρολογικών μεγεθών. Για παράδειγμα, ο δείκτης των επτά ημερών (Mean Annual Minimum for seven day period -  $MAM_7$ ) αποτελεί έναν από τους πιο γνωστούς δείκτες στις περισσότερες χώρες, ο οποίος μπορεί να εξαλείψει τις μεταβολές από μέρα σε μέρα στη ροή του ποταμού. Επισημαίνεται ότι οι Smakhtin & Toulouse (1998) υποστήριξαν την εφαρμογή του συγκεκριμένου δείκτη στο Ηνωμένο Βασίλειο για την αδειοδότηση υδροληψιών. Ένας ακόμη δείκτης που χρησιμοποιείται ευρέως είναι ο  $QMNA_5$  - Minimum Monthly flow with a return period of five years. Πρόκειται για την ελάχιστη μηνιαία παροχή για περίοδο επαναφοράς πέντε χρόνων. Αυτές οι ελάχιστες τιμές (δείκτες) χρησιμοποιούνται σε μελέτες διαχείρισης ταμιευτήρων, σε μελέτες αρδευτικών έργων καθώς και σε μελέτες εκτίμησης των περιβαλλοντικών ροών. Για παράδειγμα οι Efstratiadis *et al.* (2014) αξιοποίησαν διάφορους δείκτες μαζί με άλλες μεθοδολογίες για την αξιολόγηση διάφορων πολιτικών οικολογικής παροχής κατάντη του ταμιευτήρα Στράτου στον Αχελώο (Σχήμα 2.8)

Method	Stratos	Estuary	Remarks
5-year minimum monthly flow (EIA study, 1995)	–	21.3	Legislative constraint, incorporated within outflow policy of Stratos reservoir
5-year minimum monthly flow (updated data)	21.1	22.2	Statistical analysis of annual minimum monthly flows (1965–2008)
Tennant method (10–30% MAF, for dry/wet months)	13.0–39.1	13.7–41.1	Poor conditions are assumed since the river system is heavily modified
French freshwater fishing law (2.5% MAF)	3.3	3.5	1/40 of mean annual flow is assumed for existing works
UK standards ( $Q_{95}$ )	18.0	18.9	Estimated on the basis of empirical flow-duration curves of daily flow data
$Q_{90}$	21.8	22.9	
$Q_{364}$	11.3	11.9	
BFM, basic flow ( $Q_b$ )	13.3	14.0	Estimated through statistical analysis of daily to up to 100-day moving average flow time series
BFM, basic maintenance flow, seasonally varying	16.8–32.5	17.6–34.1	
RVA, 25% quantile of monthly discharge	14.6–135.3	15.3–142.1	Main indicators of hydrological alteration, computed by the IHA/RVA 7.0 package
RVA, 75% quantile of monthly discharge	35.3–390.1	37.1–409.6	
Wetted perimeter–discharge		13.1–20.4	Breakpoint analysis at five characteristic cross-sections, between Stratos and estuary

Σχήμα 2.8: Αξιοποίηση διάφορων δεικτών και μεθοδολογιών, μεταξύ των οποίων οι  $Q_{90}$  και  $QMNA_5$ , για την αξιολόγηση διάφορων πολιτικών οικολογικής παροχής στον ποταμό Αχελώο (Πηγή: Efstratiadis *et al.*, 2014)

#### 2.5.4 Δείκτης βασικής ροής (BFI)

Ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης για τον καθορισμό της συνεισφοράς των υπογείων υδάτων στα υδατορεύματα είναι ο δείκτης βασικής ροής (BFI), που εκφράζει την αναλογία της βασικής ροής προς την συνολική απορροή. Ο συγκεκριμένος δείκτης μπορεί να αξιοποιηθεί ως περιγραφικός δείκτης διαφόρων υδρολογικών φαινομένων, ως εργαλείο για την επιλογή των διαστάσεων των λεκανών απορροής, καθώς και για την εκτίμηση της ετήσιας και μακροπρόθεσμης επαναφόρτισης υπογείων υδάτων (Pushralatha, 2013). Στη βιβλιογραφία συναντώνται διάφορες τεχνικές και μεθοδολογίες για τον υπολογισμό του δείκτη BFI από το παρατηρημένο υδρογράφημα (Szilagyi & Parlange, 2008).

## 2.6 Υπολογισμοί δεικτών χαμηλής ροής

Στο υποκεφάλαιο αυτό δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των υπολογισμών ορισμένων χαρακτηριστικών μεγεθών χαμηλής ροής.

Η μέση ελάχιστη μηνιαία παροχή χρησιμοποιείται προκειμένου να χαρακτηριστεί η συχνότητα των χαμηλών ροών. Στις περισσότερες λεκάνες απορροής οι χαμηλές ροές εμφανίζονται μεταξύ Αυγούστου και Σεπτεμβρίου. Ωστόσο, για κάποιες λεκάνες, οι χαμηλές ροές διατηρούνται έως το Νοέμβριο, υποδεικνύοντας έτσι καθυστερημένη έναρξη της υγρής περιόδου, εξαιτίας της ιδιαίτερα αργής ανάκαμψης του υδροφορέα.

Η κλίση της καμπύλης διάρκειας-παροχής παρέχει χρήσιμη πληροφορία για την συμβολή της βασικής ροής. Συγκεκριμένα, καμπύλες με σταθερή και μικρή κλίση αντιπροσωπεύουν συνεχή συνεισφορά της βασικής ροής. Αντίθετα, καμπύλες με απότομη κλίση αντιπροσωπεύουν μικρή συνεισφορά του επιφανειακού νερού και ως εκ τούτου οι χαμηλές ροές παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα.

Παρά το γεγονός ότι διαφορετικοί δείκτες περιγράφουν διαφορετικές πτυχές του καθεστώτος χαμηλών ροών ενός ποταμού, οι περισσότεροι συσχετίζονται αρκετά μεταξύ τους. Ποτάμια με σταθερή στο χρόνο ροή και με μεγάλη συνεισφορά από τα υπόγεια στρώματα συνήθως έχουν μεγαλύτερους δείκτες βασικής ροής, χαμηλή διαφοροποίηση των ημερήσιων παροχών και, κατά συνέπεια, υψηλές τιμές χαμηλών ροών με διαφορετική πιθανότητα υπέρβασης. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν συναντάται σε ποτάμια που παρουσιάζουν διαλείπουσα ροή στη διάρκεια του έτους, τα οποία

έχουν μη βιώσιμη συνεισφορά στη βασική ροή, που μπορεί να οδηγήσει ακόμη και σε μηδενικές τιμές στις χαμηλές ροές (Smakhtin, 2001).

Άλλες σημαντικές πληροφορίες μπορεί να προκύψουν από την καμπύλη διάρκειας παροχής, αξιοποιώντας τους δείκτες  $Q_{90}$  και  $Q_{50}$  (Smakhtin, 2001). Ο δείκτης  $Q_{50}$  αντιπροσωπεύει την παροχή με πιθανότητα υπέρβασης 50%. Οι παροχές των ποταμού που είναι μικρότερες του  $Q_{50}$  αντιπροσωπεύουν συνθήκες χαμηλής ροής, ενώ παροχές που είναι μεγαλύτερες από το  $Q_{50}$  εκφράζουν συνθήκες υψηλής ροής. Ο δείκτης  $Q_{90}$  αποτελεί ένδειξη συνθηκών σοβαρών χαμηλών ροών. Η δυναμική της συνεισφοράς των υπογείων υδάτων είναι επίσης δυνατόν να χαρακτηριστεί από τον δείκτη  $Q_{90}/Q_{50}$ , που αποτελεί έναν ευρέως χρησιμοποιούμενο δείκτη για τον χαρακτηρισμό των χαμηλών ροών (Tsakiris *et al.*, 2011).

## 2.7 Διαχωρισμός βασικής ροής

Η βασική ροή αποτελεί σημαντική συνιστώσα της απορροής, που προέρχεται από τα αποθέματα των υπογείων υδάτων και από άλλες πηγές με υστέρηση, όπως πχ το λιώσιμο χιονιού ή παγετώνων (delayed sources). Καθ' όλη τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, η εκροή αποτελείται εξ ολοκλήρου από τη βασική ροή. Αντιθέτως, στην υγρή περίοδο η εκροή αποτελείται από τη βασική και την άμεση που αντιπροσωπεύει την ταχεία απόκριση της λεκάνης απορροής σε φαινόμενα βροχόπτωσης.

Η βασική ροή μπορεί να χαρακτηριστεί από το υδρογράφημα που προέρχεται από το υδρογράφημα συνολικής απορροής, με διάφορες τεχνικές διαχωρισμού της βασικής ροής (Hall, 2001). Οι περισσότερες μέθοδοι αφορούν το διαχωρισμό της βασικής ροής με βάση ένα υδρογράφημα πλημμύρας, συχνά με εκτίμηση της επιφανειακής απορροής που είναι βασικό συστατικό της πλημμύρας.

Χρησιμοποιούνται αναλυτικές μέθοδοι, μαθηματικές συναρτήσεις, και άλλοι αλγόριθμοι για τον υπολογισμό της βασικής απορροής, απευθείας από την συνολική απορροή του ποταμού. Οι πιο γνωστές μέθοδοι επιδιώκουν τον διαχωρισμό του υδρογραφήματος σε δύο συνιστώσες, τη βασική ροή και την άμεση απορροή. Είναι αναλυτικές ή μέθοδοι εξομάλυνσης που υποθέτουν ότι το υδρογράφημα βασικής απορροής αποτελεί τη συνιστώσα του υδρογραφήματος συνολικής απορροής με τη χαμηλότερη συχνότητα (Lott, 2016). Τα πλεονεκτήματά τους είναι η αυτοματοποίηση της διαδικασίας διαχωρισμού βασικής ροής, η εύκολη αναπαραγωγή των αποτελεσμάτων (Arnold, 1999) καθώς και η χρήση όλων των δεδομένων απορροής. Ωστόσο, οι περισσότερες αναλυτικές μέθοδοι είναι μη βαθμονομημένες μαθηματικές συναρτήσεις ή αλγόριθμοι που υπολογίζουν απευθείας τη βασική ροή από την συνολική (Eckhardt, 2005), χωρίς να γίνεται αναφορά σε κάποια μεταβλητή της λεκάνης απορροής πέραν από την απορροή και την περιοχή της λεκάνης.

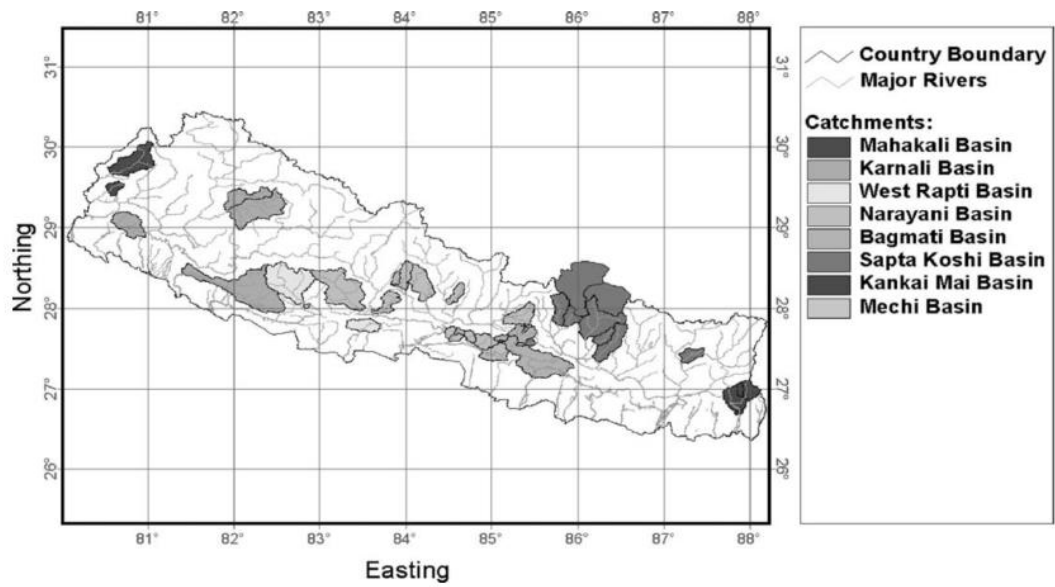
## 2.8 Διεθνής πρωτοβουλία στη μελέτη χαμηλών ροών

Οι παραδοσιακές μέθοδοι πρόβλεψης χαμηλών ροών καθώς και η ανάλυσή τους διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα. Επιτυχής προσπάθεια παρουσίασης του συνόλου των μεθόδων για την πρόβλεψη χαμηλών ροών έγινε από τους McMahon & Arenas (1982). Από τότε, οι έρευνες επικεντρώθηκαν στην εύρεση των καλύτερων χαρακτηριστικών χαμηλής ροής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες περιοχές (Smakhtin, 2001). Κατά κανόνα, στις μικρές λεκάνες δεν πραγματοποιούνται μετρήσεις> Παρόλα αυτά, είναι γνωστό πως εμφανίζουν περιόδους χαμηλών ροών και η μειωμένη διαθεσιμότητα του νερού έχει αντίκτυπο σε τοπικές χρήσεις. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα συχνό στην Μεσόγειο, όπου, λόγω κλίματος, υπάρχουν έντονες ξηρές περιόδους, και σε πολλές χώρες όπως και η Ελλάδα, οι σταθμοί μετρήσεων είναι λίγοι. Οι Bangash *et al.* (2012) ερευνήσαν τις χαμηλές ροές σε καθεστώς μη διαθεσιμότητας δεδομένων σε λεκάνες στην Ισπανία, τυπικές για το μεσογειακό χώρο.

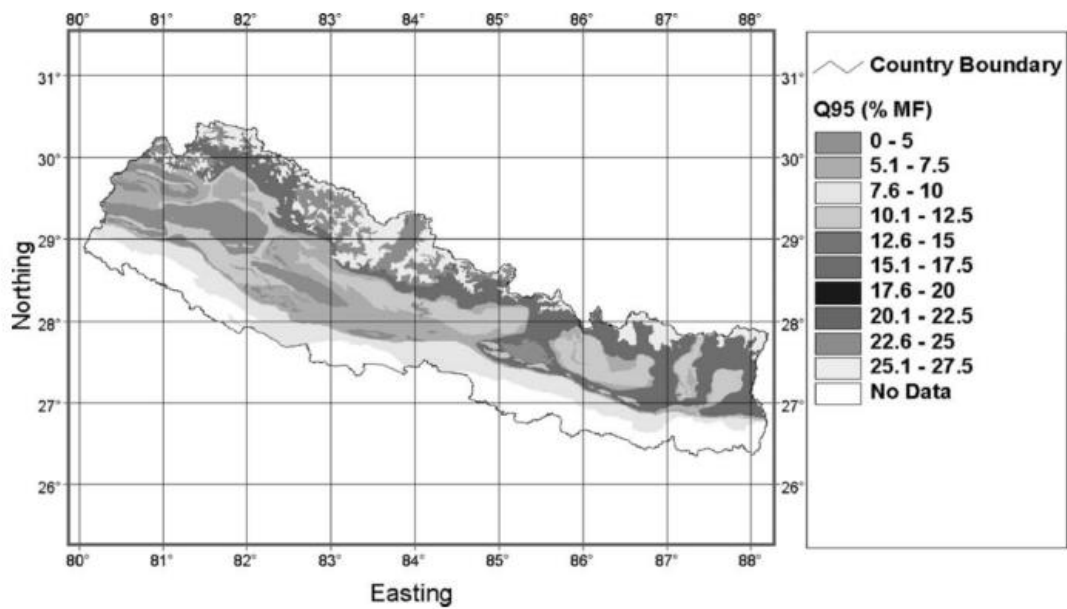


### 2.8.1 Μελέτη περίπτωσης σε λεκάνες απορροής των Ιμαλαίων

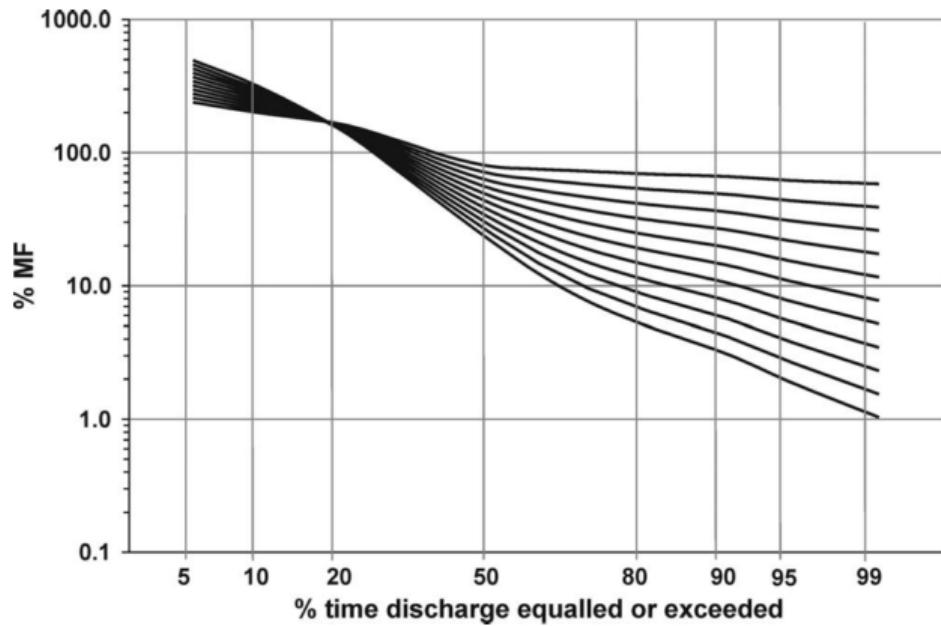
Σε διεθνές επίπεδο, οι Chalise *et al.* (2003) ασχολήθηκαν με τη διαχείριση των υδατικών πόρων και την εκτίμηση των χαμηλών ροών για τις διάφορες λεκάνες απορροής των Ιμαλαίων στο Νεπάλ. Οι αξιόπιστες προβλέψεις χαμηλών ροών είναι εξαιρετικά σημαντικές για τις ορεινές περιοχές Hindu Kush στα Ιμαλαία που χαρακτηρίζονται από μουσώνες, καθώς εκεί οι κάτοικοι αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα τις περιόδους χαμηλών ροών, τόσο στην ποσότητα, όσο και στην ποιότητα του διαθέσιμου νερού. Επιπλέον, έχουν αναφερθεί από διάφορες πηγές πολλές ενδείξεις μείωσης του χιονιού και υποχώρησης των παγετώνων στα Ιμαλαία, λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη, γεγονός που επηρεάζει την χαμηλή ροή στην περιοχή. Ωστόσο, αξιόπιστες μέθοδοι για την εκτίμηση των χαμηλών ροών είναι δύσκολο να βρεθούν και η έλλειψη υδρομετεωρολογικών δεδομένων έχει παρεμποδίσει την ανάπτυξη τέτοιων μεθόδων. Αυτό έχει δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στη διαχείριση των συστημάτων υδατικών πόρων στην περιοχή εξαιτίας των χαμηλών ροών. Για τον σκοπό αυτό, αξιοποιώντας δεδομένα από 37 λεκάνες απορροής, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο χρησιμοποιώντας μια μέθοδο παλινδρόμησης που λαμβάνει ως μεταβλητές την ετήσια βροχόπτωση, το μέσο υψόμετρο, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της εξόδου της λεκάνης και το δείκτη  $Q_{95}$ . Ως αποτέλεσμα εξήχθη η μέση ετήσια απορροή (ARR) για ολόκληρη την περιοχή του Νεπάλ μέσω της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων απορροής. Ο τυποποιημένος δείκτης χαμηλής ροής  $Q_{95}$ , επηρεάζεται ιδιαίτερα από τη γεωλογία της λεκάνης. Το μοντέλο προσδιορίστηκε με πολυπαραγοντική γραμμική παλινδρόμηση για τις μετρούμενες λεκάνες, έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι σχέσεις με τη λιθολογία της λεκάνης απορροής, το μόνιμο χιόνι και την κάλυψη από παγετώνες (Chalise *et al.*, 2003). Οι τιμές των παραμέτρων  $Q_{95}$  κυμαίνονται από 5.5 έως 26.3%, με συντελεστή συσχέτισης 0.45. Χρησιμοποιώντας εκτιμήσεις των παραμέτρων για κάθε γεωλογική ομάδα, τα πλέγματα (grid) των τυποποιημένων τιμών  $Q_{95}$  χαρτογραφήθηκαν σε ανάλυση πλέγματος  $1 \times 1 \text{ km}^2$  (Σχήμα 2.10). Τέλος, με βάση τα δεδομένα από τις 37 λεκάνες απορροής, εξήχθησαν οι καμπύλες διάρκειας ροής, χαρακτηρίζοντας το πλήρες φάσμα της λεκάνης απορροής. Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζονται οι λεκάνες απορροής που εξετάστηκαν, και στο Σχήμα 2.11 παρουσιάζεται η μορφή των καμπυλών διάρκειας ροής που εξήχθησαν.



Σχήμα 2.9: Χωρική απεικόνιση των υπό μελέτη λεκανών (Πηγή: Chalise *et al.*, 2003)



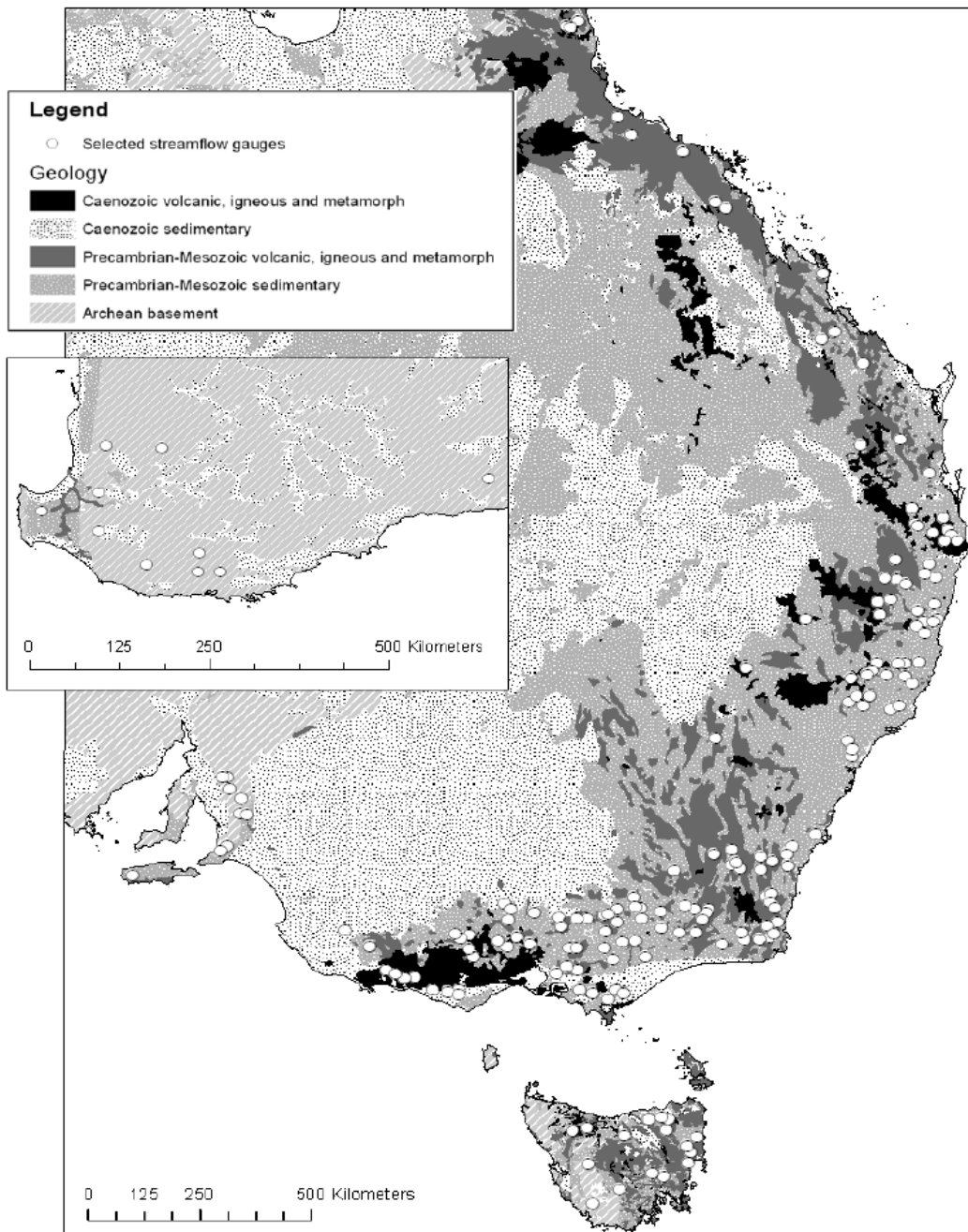
Σχήμα 2.10: Κατανομή του δείκτη χαμηλής ροής  $Q_{95}$  (Πηγή: Chalise *et al.*, 2003)



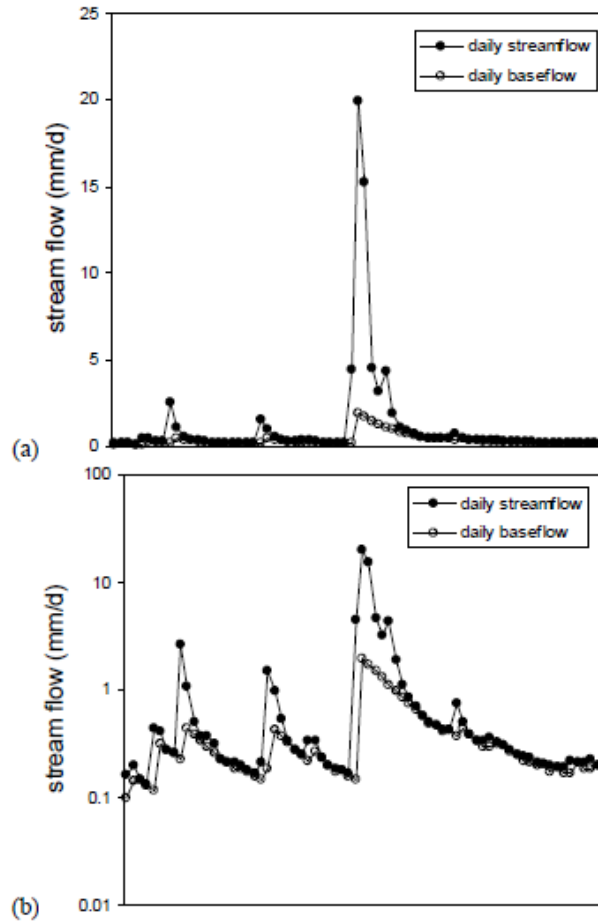
Σχήμα 2.11: Καμπύλες διάρκειας ροής (Πηγή: Chalise *et al.*, 2003)

## 2.8.2 Μελέτη περίπτωσης σε λεκάνες απορροής της Αυστραλίας

Αναλύθηκαν ημερήσια δεδομένα απορροής για να εκτιμηθεί ποιοι παράγοντες του κλίματος και του εδάφους εξηγούν την απορροή σε 183 αυστραλιανές λεκάνες απορροής (Σχήμα 2.12). Εξήχθησαν οι παράμετροι του προσαρμοσμένου μοντέλου βασικής ροής, και ο δείκτης βασικής ροής (BFI), η μέση άμεση απορροή και η μέση βασική ροή που προέρχεται από διαχωρισμό βασικής ροής. Η διακύμανση στην απόκριση μεταξύ των λεκανών αναλύθηκε με βάση τους δείκτες κλίματος, μορφολογίας, γεωλογίας, εδαφών και χρήσης γης. Ένα μοντέλο γραμμικού ταμειυτήρα (μίας παραμέτρου) παρήγαγε εκτιμήσεις βασικής ροής εξίσου καλές με εκείνες που προέρχονται χρησιμοποιώντας έναν μη γραμμικό ταμειυτήρα (δύο παράμετροι). Για την εύρεση των παραμέτρων του γραμμικού και μη γραμμικού μοντέλου ταμειυτήρα χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο το μέσο σχετικό σφάλμα με χρήση ενός αλγόριθμου απότομης κατάβασης πολλαπλών σημείων εκκίνησης. Χρησιμοποιώντας το μοντέλο που επιλέχθηκε με βάση το κριτήριο FPEC (Akaike's Final Prediction Error Criterion) και τις τιμές των παραμέτρων, η συνιστώσα της βασικής ροής προήλθε με συνδυασμό από αναδρομικά φίλτρα (forward and backward). Θεωρήθηκε ότι η πρώτη και η τελευταία τιμή της παροχής στη χρονοσειρά εκφράζουν τη βασική ροή μόνο (τα σφάλματα που συσχετίζονται αγνοήθηκαν). Στο Σχήμα 2.13 φαίνεται ένα παράδειγμα διαχωρισμού της ημερήσιας απορροής σε βασική και άμεση απορροή χρησιμοποιώντας το μοντέλο γραμμικού ταμειυτήρα.



Σχήμα 2.12: Η τοποθεσία των 183 λεκανών απορροής και η γεωλογία τους (Πηγή: Dijk, 2010)



Σχήμα 2.13: Παράδειγμα διαχωρισμού της βασικής ροής χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο γραμμικού ταμειυτήρα σε γραμμική κλίμακα (a) και λογαριθμική κλίμακα (b). Τα δεδομένα του ποταμού Molonglo αντιπροσωπεύουν 60 ημέρες του χειμώνα για το έτος 1990 (Πηγή: Dijk, 2010)

### 3 Περιοχές μελέτης και δεδομένα

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται αναλυτικά στοιχεία που αφορούν τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για την δημιουργία του μοντέλου χαμηλών ροών. Οι λεκάνες απορροής που διερευνήθηκαν στην εργασία ανήκουν στο μεσογειακό χώρο. Συγκεκριμένα, δύο ανήκουν στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, μία στη Σικελία και δύο στη Κύπρο. Η βασική λεκάνη που αξιοποιήθηκε για τη ανάπτυξη της μεθοδολογίας είναι η λεκάνη ανάντη του φράγματος Κρεμαστών και, στη συνέχεια, η μεθοδολογία εφαρμόστηκε και στις υπόλοιπες λεκάνες.

#### 3.1 Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας

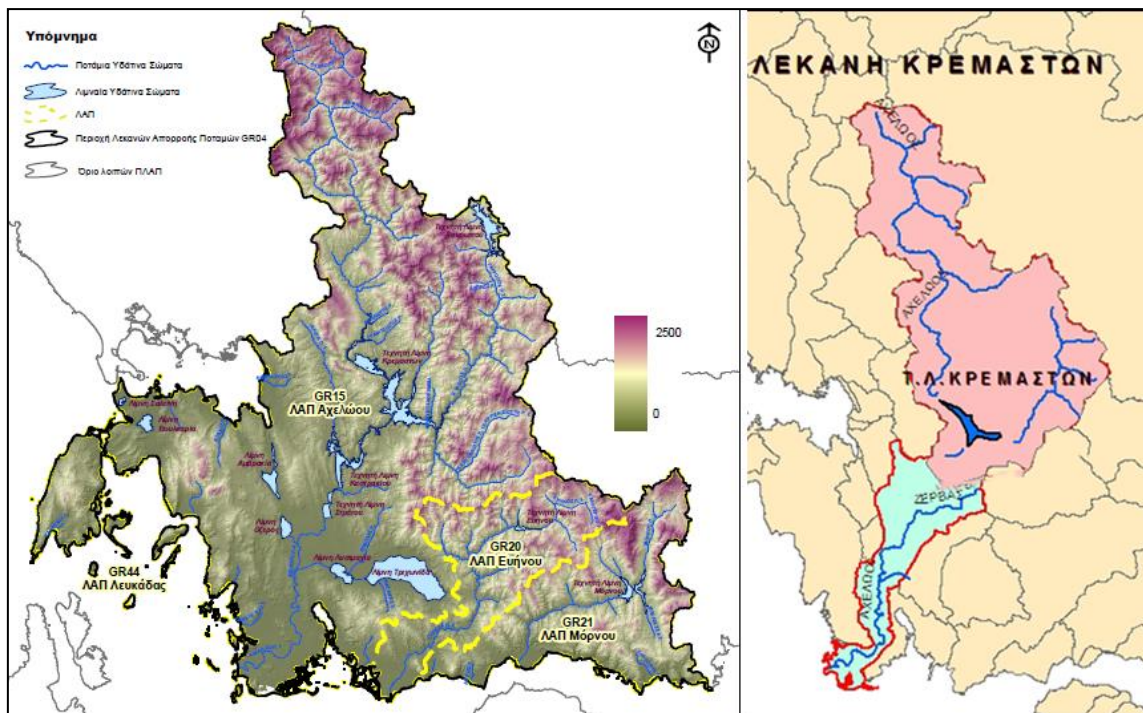
Το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (GR04, σύμφωνα με την κωδική του αρίθμηση) αποτελεί ένα από τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1, εκτείνεται στο βόρειο τμήμα της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας, στην οποία εμπίπτει και η μεγαλύτερη του έκταση. Περιλαμβάνει, ακόμη, μέρος των Περιφερειών Στερεάς Ελλάδας και Ιονίων Νήσων, μικρό μέρος της Περιφέρειας Θεσσαλίας, και ελάχιστο μέρος της Περιφέρειας Ηπείρου. Τα γεωγραφικά του όρια αποτελούν το όρος Λάκμος προς τα βορειοδυτικά, ο ορεινός όγκος της Πίνδου, των Βαρδουσίων και της Γκιώνας προς τα ανατολικά, τα όρη Βάλτου και Αθαμανικά, ο Αμβρακικός Κόλπος και το Ιόνιο Πέλαγος προς τα δυτικά, ο Κορινθιακός Κόλπος και ο Πατραϊκός κόλπος προς τα νότια. Η συνολική έκταση του διαμερίσματος είναι 10 199 km<sup>2</sup>, από τα οποία τα 303 km<sup>2</sup> ανήκουν στη Λευκάδα και τα 53 km<sup>2</sup> σε άλλα, μικρά νησιά.

Το ύψος των κατακρημνισμάτων στη λεκάνη είναι ιδιαίτερα υψηλό με εύρος 800-1000 mm στα παράκτια και πεδινά, ενώ σε ορεινές περιοχές ο μέσος όρος φτάνει τα 1400 mm και σε ψηλά υψόμετρα, ξεπερνάει τα 1800 mm. Ως εκ τούτου, το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι πλούσιο, με πολλούς ποταμούς και λίμνες, και τον μεγαλύτερο σε παροχή ποταμό της χώρας, τον Αχελώο.

Οι χρήσεις νερού διακρίνονται στην ύδρευση και τον τουρισμό, που αφορούν πόσιμο νερό, την άρδευση, την κτηνοτροφία και τη βιομηχανία. Η σημαντικότερη ζήτηση αντιστοιχεί στις αρδεύσεις και, κατά δεύτερο λόγο, το πόσιμο νερό. Οι ζητήσεις της βιομηχανίας και της κτηνοτροφίας είναι πολύ μικρότερες. Στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις για τη ζήτηση νερού στο Υδατικό Διαμέρισμα Δ. Στερεάς Ελλάδας.

Πίνακας 3.1: Ετήσια ζήτηση νερού (Πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 2014, μετά από τροποποίηση)

Χρήση	Ημερήσια ζήτηση (hm <sup>3</sup> )
Άρδευση για το σύνολο των αρδεύσιμων εκτάσεων	555
Άρδευση για τις εκτάσεις που αρδεύτηκαν το 2007	340
Πόσιμο νερό (ύδρευση και τουρισμός)	44



Σχήμα 3.1: Αριστερά: Μορφολογικός χάρτης ΥΔ Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (Πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 2014) Δεξιά: λεπτομέρεια της λεκάνης Κρεμαστών που αποτελεί τη βασική λεκάνη εφαρμογής (Πηγή: Τζούκα, 2007)

## 3.2 Λεκάνη απορροής Αχελώου

### 3.2.1 Γενικά

Τα όρια της λεκάνης απορροής Αχελώου καθορίζονται από τις οροσειρές Θύαμο, Μακρύ, Βάλτος, Αθαμάνια (Δυτικά), Λάκμος (Βορειοδυτικά), και Πίνδος, Τυμφρηστός, Οζιά, Παναϊτωλικό Ανατολικά. Η λεκάνη απορροής του Αχελώου έχει επιφάνεια 7531 km<sup>2</sup> και περιλαμβάνει τους κύριους ποταμούς

- Αχελώο με μήκος 220 km
- Αγραφιώτη με μήκος 33 km
- Ταυρωπό με μήκος 52 km
- Ίναχο με μήκος 35 km και
- Κρικελιώτη με μήκος 37 km.

Η μέση κλίση των ορεινών λεκανών των ποταμών αυτών κυμαίνεται από 18 έως 30%.

Ακόμη η λεκάνη απορροής Αχελώου περιλαμβάνει, τις φυσικές λίμνες Τριχωνίδα, Λυσιμαχία, Οζερό, Βουλκαριά, Αμβρακία, Σαλτίνη και τις τεχνητές λίμνες Κρεμαστών, Ταυρωπού, Καστρακίου και Στράτου. Ανάντη της θέσης του φράγματος Κρεμαστών, στην περιοχή ενδιαφέροντος, η λεκάνη απορροής (Σχήμα 3.1) έχει επιφάνεια 3570 km<sup>2</sup>.

### 3.2.2 Γεωλογικές Συνθήκες

Στη λεκάνη απορροής του Αχελώου συναντώνται οι παρακάτω γεωτεκτονικές ζώνες: Ιόνιος Ζώνη στο δυτικό τμήμα της, Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης σε μικρή έκταση στο νοτιοανατολικό άκρο, Ζώνη Πίνδου σε μεγάλη έκταση στα ανατολικά και βορειοανατολικά της λεκάνης. Στα βυθίσματα των λεκανών έχουν αποθεθεί νεογενείς σχηματισμοί με κυριότερη την εμφάνιση βόρεια της

λιμνοθάλασσας του Αιτωλικού και τεταρτογενείς αποθέσεις με σημαντικές εμφανίσεις στην πεδιάδα του Αγρινίου καθώς και στο δέλτα του π. Αχελώου.

Η λιθοστρωματική ανάπτυξη της περιοχής ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου. Η γεωλογική διαμόρφωση της περιοχής, καθώς και όλης της Πίνδου, συντελέστηκε κατά την περίοδο του «καινοζωικού αιώνα», δηλαδή πριν από περίπου 60 εκατομμύρια χρόνια, αλλά οι μεταβολές σε ό,τι αφορά κυρίως τα πετρώματα, συνεχίστηκαν και μέχρι την εποχή του λίθου. Τα πετρώματα είναι ιζηματογενή, κυρίως ασβεστόλιθοι, αργιλικόι σχιστόλιθοι και φλύσχη, ενώ τα γαιώδη και αλλουβιακά σε αναβαθμίδες στις όχθες και την κοίτη του Αχελώου και των παραποτάμων του περιλαμβάνουν περιορισμένης έκτασης άργιλο και χαλίκια. Κατά περιοχές, υπάρχουν πλευρικά κορήματα που ίσως έχουν αρκετό πάχος κατά τόπους, ενώ δε λείπουν και παγετώδεις αποθέσεις, όπως τροχάλιοι και υπερμεγέθεις κροκάλες. Πηγές κυρίως επαφής ή ρηξιγενείς, απαντώνται χαμηλότερα ή ψηλότερα στην κοιλάδα κατά μήκος του Αχελώου.

Νερά κατεβαίνουν από όλους σχεδόν τους πλευρικούς χείμαρρους, στις όχθες κατά μήκος του ποταμού που, κατά τη γνώμη ειδικών επιστημόνων, δείχνουν ότι ο υδρογεωλογικός χαρακτήρας των παρόχθιων μαζών ελέγχεται από την τοπογραφία και στρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής. Ωστόσο, οι μάζες του φλύσχη προκαλούν αστάθεια στην περιοχή, η οποία χαρακτηρίζεται και από αυξημένη σεισμικότητα, καθώς βρίσκεται ανατολικά και σε κοντινή απόσταση (60-100 km) από την «Ελληνική τάφρο» στο Ιόνιο πέλαγος. Η αστάθεια αυτή, λόγω του φλύσχη, προκαλεί κατολισθήσεις, οι οποίες εντάσσονται υπό την επίδραση της τεχνητής λίμνης (Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 2014).

Ειδικότερα για τις συνθήκες του φράγματος της Μεσοχώρας, πρόκειται για φλύσχη της ζώνης Πίνδου και αργιλιτή ραδιολαριτικής σειράς, ενώ στη Γλύστρα επικρατούν κρητικοί ασβεστόλιθοι. Ασβεστολιθικά και φλυσιγενή είναι και τα εδάφη των ορέων που περιβάλλουν την ευρύτερη περιοχή της Μεσοχώρας, όπως άλλωστε όλης της χώρας των Αθαμάνων, από το Γαρδίκι μέχρι τα Άγραφα.

Τα εδάφη της Μεσοχώρας κατά το μεγαλύτερο μέρος προέρχονται από ετερόχθονα εδάφη. Οι τύποι των εδαφών είναι προσχλωσιγενείς από φερτά υλικά, τα οποία εναποτίθενται στις όχθες του Αχελώου ποταμού, καθώς και φερτά των χειμάρρων που καταλήγουν επίσης στο ποτάμι. Υπάρχουν όμως και αυτόχθονα εδάφη που έχουν σχηματισθεί στα προηγούμενα πετρώματα από την αποσάθρωση αυτών και την ανάπτυξη πάνω σε αυτά φυτικής βλάστησης. Έτσι, οι τύποι των εδαφών διακρίνονται σε χουμόδη εδάφη και σε ερυθρογαίες. Τα παρόχθια εδάφη χαρακτηρίζονται ως αργιλόδη και αργιλοαμμώδη. Το βάθος ή το πάχος του εδάφους είναι άνω του ενός μέτρου, ενώ στα αυτόχθονα εδάφη το βάθος είναι πολύ μικρό.

Μέσα από αυτές τις διαδοχικές εξελίξεις εδαφών και πετρωμάτων, διαμορφώθηκαν μακροχρόνια οι σημερινές εκτάσεις των βοσκοτόπων, καθώς και εκτάσεις γεωργικής γης, προσχλωσιγενείς και μη, στην περιοχή της Μεσοχώρας. Έτσι, οι εδαφικοί πόροι της Μεσοχώρας, σύμφωνα με την υπάρχουσα κατάσταση, κατανέμονται σε γεωργική γη, βοσκοτόπους (λιβάδια), δάση, εκτάσεις καλυπτόμενες από νερά και σε εκτάσεις οικισμών (Γκάνιας, 2008).

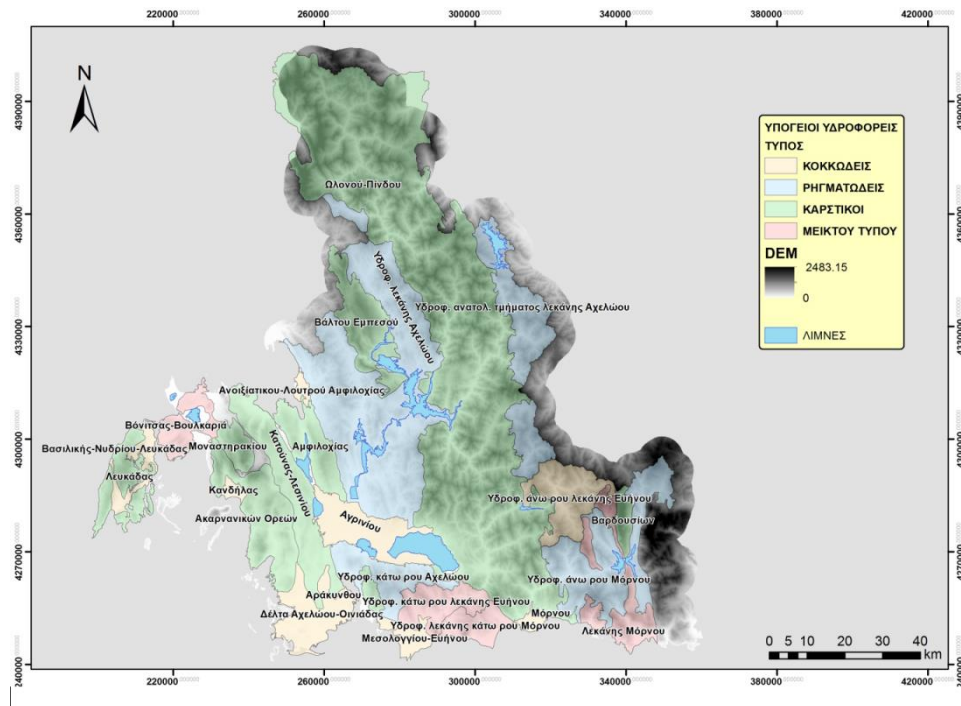
### **Υδρογεωλογικές Συνθήκες**

Οι κυριότερες υπόγειες υδροφορίες αναπτύσσονται στους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης και της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης. Στους ανθρακικούς σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου, λόγω των πυριτικών – κερατολιθικών παρεμβολών, αναπτύσσονται επιμέρους διαφορετικής κάθε φορά έκτασης, υδρογεωλογικές λεκάνες και, κατ' επέκταση, και ανάλογης δυναμικότητας υδροφορίες. Σημαντικής δυναμικότητας υδροφορίες αναπτύσσονται επίσης στους κοκκώδεις σχηματισμούς των τεταρτογενών αποθέσεων, το δυναμικό των οποίων εξαρτάται από την κοκκομετρία τους και τις συνθήκες τροφοδοσίας. Στις εμφανίσεις του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικής



σημασίας υδροφορίες, μικρής δυναμικότητας που καλύπτουν τοπικές υδρευτικές, αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες.

Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζεται ο υδρογεωλογικός χάρτης του ΥΔ, και, ειδικότερα, το επεξεργασμένο επίπεδο GWB (ground water bodies).



Σχήμα 3.2: Υδρογεωλογικός χάρτης του ΥΔ04 (Νικολόπουλος, 2015)

### 3.2.3 Υπόγεια υδατικά συστήματα

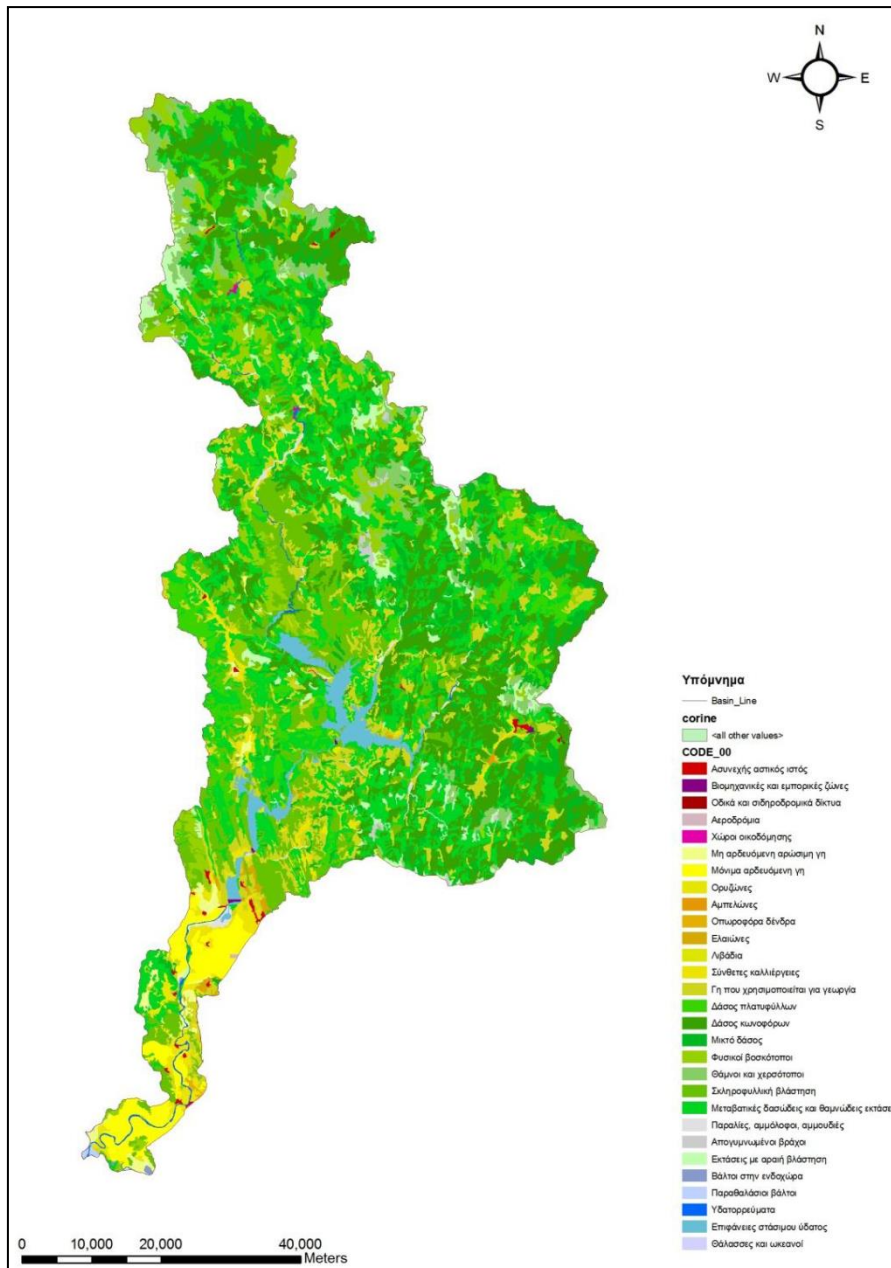
Στον Πίνακα 3.2 δίνεται ο αριθμός των υπόγειων υδατικών συστημάτων, η συνολική τους έκταση καθώς και ο αριθμός των συστημάτων που είναι άμεσα συσχετιζόμενα με επιφανειακά νερά ή χερσαία οικοσυστήματα στη λεκάνη απορροής Αχελώου.

Πίνακας 3.2: Υπόγεια υδατικά συστήματα λεκάνης Αχελώου (Πηγή: Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 2014, μετά από τροποποίηση)

Αριθμός ΥΥΣ	Έκταση ΥΥΣ (m <sup>2</sup> ) (Συνολικό)	Έκταση ΥΥΣ (m <sup>2</sup> ) (Μέγιστο)	Έκταση ΥΥΣ (m <sup>2</sup> ) (Ελάχιστο)	Αριθμός των ΥΥΣ τα οποία είναι άμεσα συσχετιζόμενα με επιφανειακά νερά ή χερσαία οικοσυστήματα
15	8.351.908.059	3.907.166.240	24.978.023	15

### 3.2.4 Χρήσεις γης

Μετά από εφαρμογή του προγράμματος Corine Land Cover 2000 για την καταγραφή των χρήσεων γης στη λεκάνη απορροής του Αχελώου, προέκυψε ο παρακάτω χάρτης, όπου παρουσιάζονται οι χρήσεις γης που συναντώνται στην περιοχή.



Σχήμα 3.3: Αναλυτική κατηγοριοποίηση χρήσεων γης στη ΛΑΠ Αχελώου με χρήση του Corine 2000 (Πηγή: Σταμούλη, 2012)

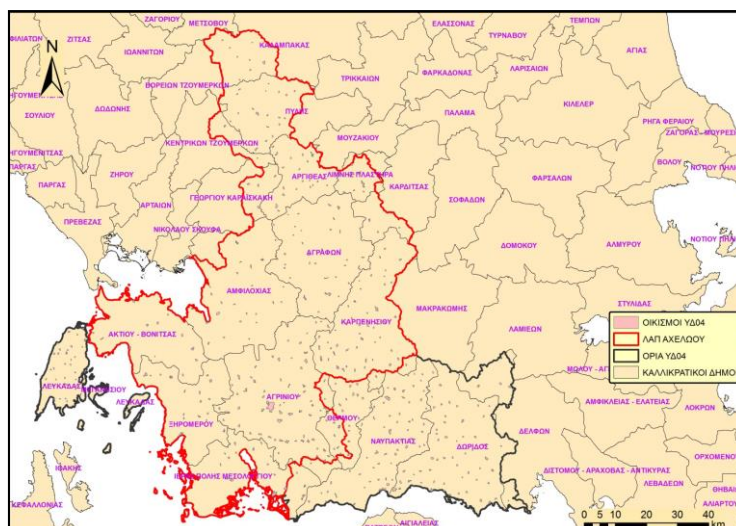
Όπως γίνεται σαφές από το Σχήμα 3.3, το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχής καλύπτεται από δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις. Συγκεκριμένα, οι δασικές εκτάσεις (κωνοφόρα, πλατύφυλλα και μικτά δάση) καταλαμβάνουν το 31% περίπου της περιοχής, ενώ η θαμνώδης βλάστηση καλύπτει ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής έκτασης της τάξης του 16% (Σταμούλη, 2012). Το συνολικό ποσοστό των δασικών και θαμνωδών εκτάσεων ανέρχεται στο 70% της συνολικής έκτασης, ενώ οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις καταλαμβάνουν μόλις το 15% της συνολικής γης και συναντώνται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους στην περιοχή του κάτω ρου του ποταμού (Σταμούλη, 2012). Τέλος, οι αστικές επιφάνειες και οι ανθρωπογενείς κατασκευές εντοπίζονται διάσπαρτες και καλύπτουν πολύ μικρό ποσοστό της λεκάνης.

### 3.2.5 Ανθρωπογενές περιβάλλον

Ο μόνιμος πληθυσμός του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Ελλάδας, σύμφωνα με την απογραφή της ΕΣΥΕ το 2001, ήταν 312516 κάτοικοι. Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες πόλεις στο ΥΔ04 σύμφωνα με στοιχεία της απογραφής της ΕΣΥΕ για το 2011. Οι αντίστοιχοι Καλλικρατικοί Δήμοι παρουσιάζονται στον χάρτη του Σχήματος 3.4 (Νικολόπουλος, 2015).

Πίνακας 3.3: Σημαντικές πόλεις της ΛΑΠ Αχελώου

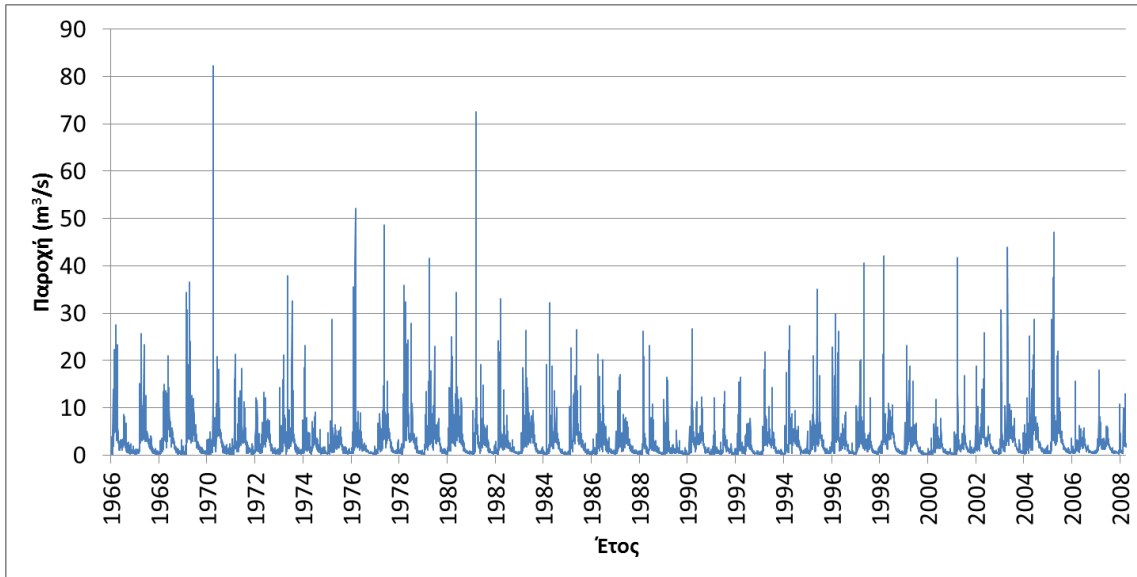
Πόλη	Πληθυσμός (2011) (κάτοικοι)
Αγρίνιο	46 899
Ναύπακτος	13 785
Μεσολόγγι	12 785
Καρπενήσι	7 183
Βόνιτσα	4 703
Αιτωλικό	4 012
Αμφιλοχία	3 827



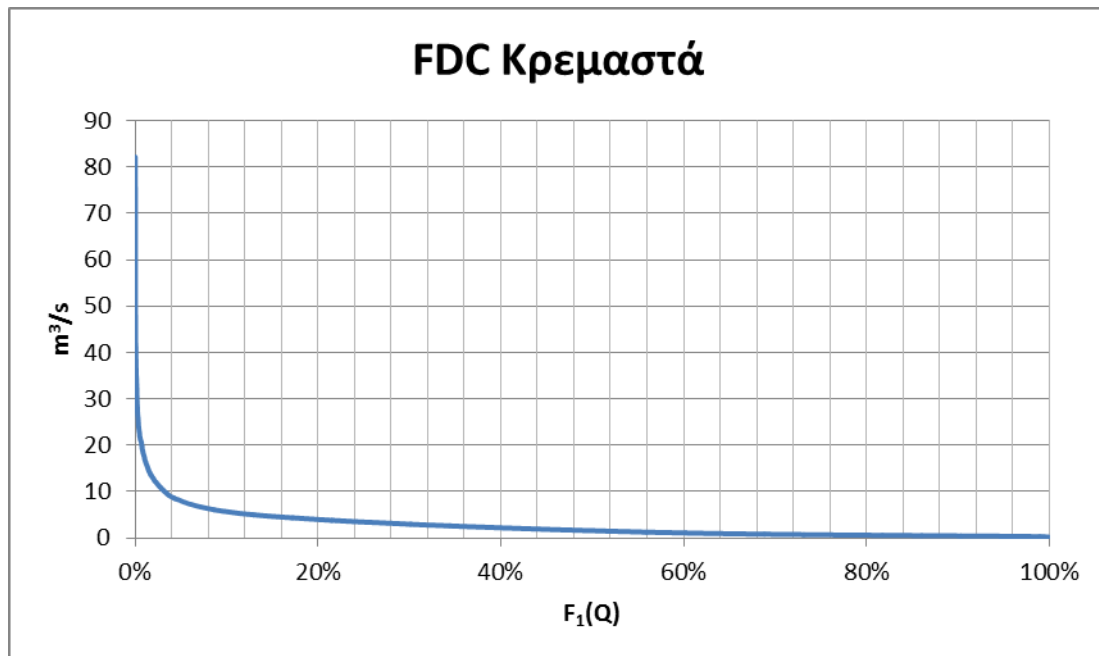
Σχήμα 3.4: Δήμοι της ΛΑΠ Αχελώου (Πηγή: Νικολόπουλος, 2015)

### 3.2.6 Ιστορικά δεδομένα

Τα ημερήσια ιστορικά δεδομένα που αξιοποιούνται αφορούν την περίοδο 1967-2008 και παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.5. Η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας απεικονίζεται στο Σχήμα 3.6. Στους Πίνακες 3.4 και 3.5 δίνονται τα μηνιαία στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος για συνάθροιση των μέσων και ελαχίστων τιμών αντίστοιχα. Στα Σχήματα 3.7 και 3.8 παρουσιάζονται οι μηνιαίες χρονοσειρές των μέσων μηνιαίων και ελαχίστων μηνιαίων τιμών αντίστοιχα.



Σχήμα 3.5: Ημερήσια χρονοσειρά απορροής σε  $m^3/s$  για την υπολεκάνη των Κρεμαστών



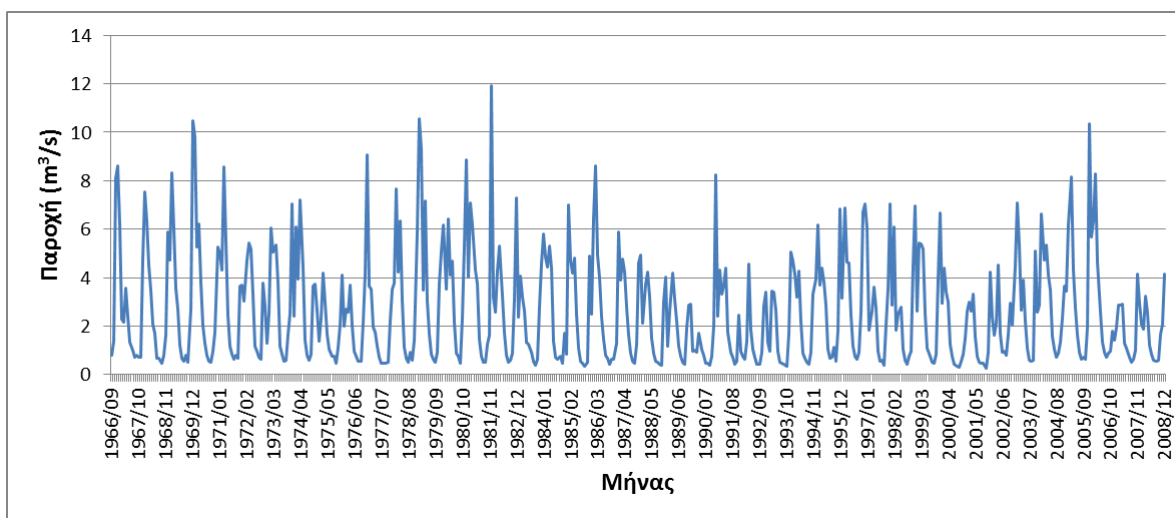
Σχήμα 3.6: Καμπύλη διάρκειας παροχής για την υπολεκάνη των Κρεμαστών

Πίνακας 3.4: Στατιστικά χαρακτηριστικά μέσω μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη των Κρεμαστών

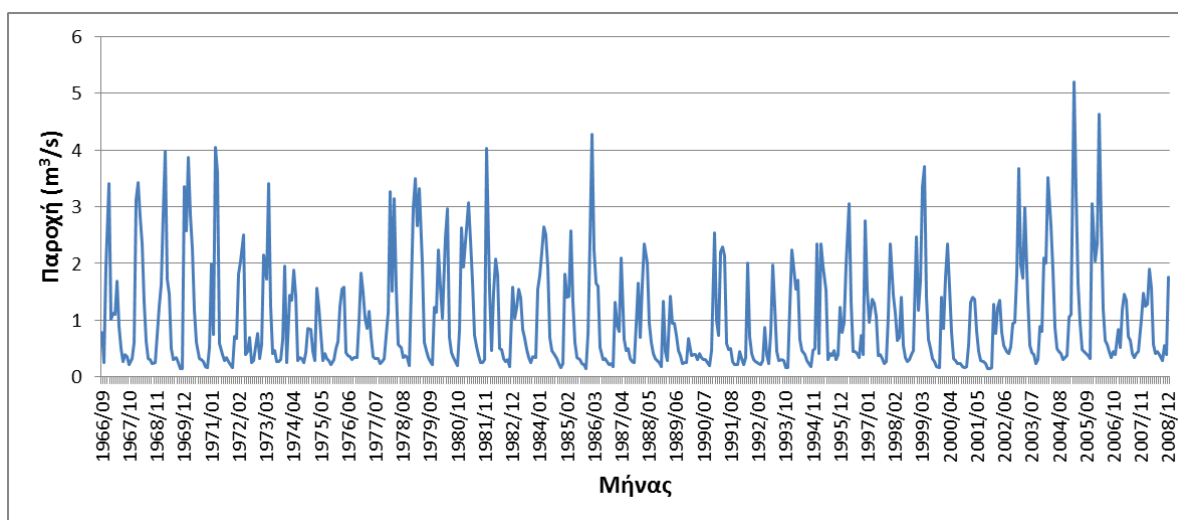
	Χαρακτηριστικά μεγέθη μέσω μηνιαίων τιμών											
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
<b>mean</b>	4.11	4.43	4.17	4.07	2.53	1.22	0.74	0.58	0.61	1.27	2.87	5.09
<b>stddev</b>	2.36	2.14	1.77	1.22	0.94	0.32	0.16	0.11	0.26	1.03	1.53	2.77
<b>Var Coeff</b>	0.57	0.48	0.43	0.3	0.37	0.26	0.21	0.18	0.42	0.81	0.53	0.54
<b>#values</b>	42	42	42	42	42	42	42	42	42	43	43	42
<b>MAX</b>	10.54	9.32	8.58	7.22	4.68	2.18	1.06	0.78	1.68	5.08	8.12	11.93
<b>MIN</b>	0.75	0.62	0.94	1.72	1.05	0.72	0.41	0.35	0.29	0.28	0.65	0.84

Πίνακας 3.5: Στατιστικά χαρακτηριστικά ελαχίστων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη των Κρεμαστών

Χαρακτηριστικά μεγέθη ελαχίστων μηνιαίων τιμών												
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
<b>mean</b>	1.4	1.56	2.01	2.09	1.2	0.53	0.41	0.34	0.3	0.31	0.49	1.38
<b>stdev</b>	0.84	1.02	1.11	0.8	0.54	0.15	0.09	0.06	0.07	0.16	0.39	0.99
<b>Var Coeff</b>	0.6	0.65	0.55	0.38	0.45	0.28	0.23	0.17	0.24	0.51	0.79	0.72
<b>#values</b>	42	42	42	42	42	42	42	42	42	43	43	42
<b>MAX</b>	3.68	4.28	5.19	3.71	2.96	0.95	0.7	0.51	0.54	0.95	1.96	4.03
<b>MIN</b>	0.26	0.22	0.34	0.31	0.4	0.29	0.27	0.23	0.23	0.15	0.14	0.17



Σχήμα 3.7: Χρονοσειρά μέσων μηνιαίων τιμών παροχής σε  $m^3/s$  για την υπολεκάνη των Κρεμαστών



Σχήμα 3.8: Χρονοσειρά ελαχίστων μηνιαίων τιμών παροχής σε  $m^3/s$  για την υπολεκάνη των Κρεμαστών

### 3.3 Λεκάνη απορροής Ευήνου

#### 3.3.1 Γενικά

Τα όρια της λεκάνης του Ευήνου καθορίζονται από τις ακόλουθες οροσειρές: Παναιτωλικό (Βόρεια, βορειοδυτικά), Βαρδούσια (Βορειοανατολικά), και όρη Ναυπακτίας και Αράκυνθος (Νοτιοανατολικά).

Η συνολική λεκάνη απορροής του Ευήνου έχει επιφάνεια 1164 km<sup>2</sup>, ενώ ανάντη του υδρομετρικού σταθμού έχει έκταση 974 km<sup>2</sup>. Η κλίση στο ορεινό τμήμα της λεκάνης είναι 24%. Περιλαμβάνει κυρίως τον ποταμό Ευήνο με μήκος 93 km. Περιλαμβάνει επίσης την τεχνητή λίμνη Ευήνου, με έκταση 2.9 km<sup>2</sup>.

Στο Σχήμα 3.9 απεικονίζεται η γεωγραφική θέση της λεκάνης απορροής του Ευήνου ποταμού. Το τμήμα της λεκάνης του Ευήνου που εξετάζεται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι η υπολεκάνη ανάντη της θέσης Πόρου Ρηγανίου.



Σχήμα 3.9: Γεωγραφική θέση της λεκάνης απορροής του Ευήνου ποταμού στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή: Τζούκα, 2007)

Ο ποταμός Εύηνος πηγάζει από τον ορεινό όγκο των Βαρδουσίων και αφού διανύσει διαδρομή περίπου 110 km, εκβάλλει στις βόρειες ακτές του Πατραϊκού κόλπου. Έχει διαμορφώσει μια εκτεταμένη, επιμήκη λεκάνη απορροής, με κύριο άξονα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Οριοθετείται στα ανατολικά από τους ορεινούς όγκους των Βαρδουσίων (2 286 m), των ορέων της Ναυπακτίας (1 469 m) και της Βαράσοβας (914 m), βόρεια από το όρος Οξυά (1 926 m) και το Παναιτωλικό όρος (1 924 m), και δυτικά από το Παναιτωλικό όρος (1662 m), το Ξηροβούνι (906 m), τη Μακρυνά Ράχη (620 m), και το όρος Αράκυνθος (982 m) (Καρυμπάλης, 1996).

### 3.3.2 Κλίμα

Το κλίμα της ποικίλει από πολύ θερμά καλοκαίρια, με θερμοκρασίες που συχνά ξεπερνούν τους 40°C, με πολλή υγρασία σε ήπιους χειμώνες στις χαμηλού υψομέτρου περιοχές. Κρύοι χειμώνες κυριαρχούν στις ορεινές περιοχές, ενώ σε ακόμα μεγαλύτερα υψόμετρα, χιόνια καθώς και κρύος καιρός χαρακτηρίζουν τους χειμερινούς μήνες, ενώ τα καλοκαίρια είναι δροσερά. Όπως συμβαίνει με τους περισσότερους κλιματικούς τύπους της χώρας, έτσι και στην περιοχή του Εύηνου, ο χειμώνας είναι η υγρότερη εποχή του έτους και το καλοκαίρι η ξηρότερη, ενώ το φθινόπωρο υπερέρχει από πλευράς ύψους βροχής έναντι της άνοιξης. Αξιοσημείωτο είναι οι μεγάλες βροχοπτώσεις που σημειώνονται στη λεκάνη, με ετήσιες τιμές που ξεπερνούν κατά πολύ τα 1200 mm, με εξαίρεση τη χαμηλή πεδινή περιοχή των εκβολών του ποταμού, όπου η μέση ετήσια τιμή βροχόπτωσης είναι 750 mm. Το μεγάλο ποσοστό βροχής οφείλεται στην επίδραση του προσανατολισμού των ορεινών όγκων της ευρύτερης περιοχής στους υετοφόρους ανέμους. Η δυτική υδροκριτική γραμμή της λεκάνης, νότια του Παναιτωλικού όρους, βρίσκεται σε μικρότερο υψόμετρο από την αντίστοιχη ανατολική, που φθάνει τα 2 400 m στα Βαρδουσία όρη, με αποτέλεσμα να επιτρέπεται στις κατευθυνόμενες από Δ προς Α υετοφόρες αέριες μάζες να εισέλθουν στην περιοχή. Οι αέριες αυτές μάζες κινούμενες συναντούν κάθετα τους ορεινούς όγκους, οπότε ανέρχονται και ψύχονται, με αποτέλεσμα τη συμπύκνωση των υδρατμών και την εμφάνιση της βροχής. Το μεγαλύτερο μέρος της υγρασίας χάνεται στις δυτικές περιοχές, που αποτελούν την ομβροπλευρά, στην οποία ανήκει η περιοχή μελέτης, αφήνοντας λιγότερες βροχές για τα ανατολικά τμήματα (ομβροσκιά) (Καρυμπάλης, 1996).

### 3.3.3 Γεωλογικές συνθήκες

Η διάταξη των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν τη λεκάνη απορροής του Εύηνου ποταμού, καθώς και των τεκτονικών δομών έχει επηρεάσει άμεσα την εξέλιξη του υδρογραφικού δικτύου και τη σημερινή μορφολογία του ανάγλυφου.

Οι άξονες των συγκλινικών και αντικλινικών πτυχών ΒΒΔ – ΝΝΑ διεύθυνσης, που χαρακτηρίζουν την ευρύτερη περιοχή μελέτης, συμπίπτουν με τη γενική διάταξη των κύριων μορφολογικών χαρακτηριστικών (οροσειρές, κοιλάδες) ενώ ο ρηγματογόνος τεκτονισμός έχει επηρεάσει τη διεύθυνση ροής τμήματος του Εύηνου ποταμού και παραποτάμων του νοτιότερα, που τέμνουν σε ορθή γωνία τους Αλπικούς σχηματισμούς (Καρυμπάλης, 1996).

Στη λεκάνη απορροής του Εύηνου συναντώνται οι παρακάτω γεωτεκτονικές ζώνες:

- ΖΩΝΗ ΓΑΒΡΟΒΟΥ -ΤΡΙΠΟΛΗΣ: Αναπτύσσεται σε μικρή έκταση στο βόρειο και νότιο άκρο του διαμερίσματος
- ΖΩΝΗ ΠΙΝΔΟΥ: Καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης

Στους παραπάνω σχηματισμούς έχουν αποθεθεί τεταρτογενείς αποθέσεις, με σημαντική εμφάνιση στην πεδιάδα του Εύηνου.

Η ενότητα του Γαβρόβου περιορίζεται στο ΝΔ τμήμα της λεκάνης καταλαμβάνοντας περίπου το ένα πέμπτο της συνολικής της έκτασης και εκπροσωπείται σχεδόν αποκλειστικά από τον φλύσχη ενώ

υπάρχει μια μόνο εμφάνιση ασβεστόλιθων ηλικίας Άνω Κρητιδικού. Κύρια χαρακτηριστικά της ενότητας αυτής είναι η συνεχής νηρητική ανθρακική ιζηματογένεση και η ύπαρξη ασυμφωνιών στο διάστημα Άνω Κρητιδικό - Ηώκαινο (Παπανικολάου, 1986).

Οι σχηματισμοί της ενότητας Γαβρόβου, που απαντώνται στην περιοχή είναι (από τους παλαιότερους προς τους νεότερους):

- Νηρητικοί ασβεστόλιθοι Άνω Κρητιδικού
- Φλύσχης Ανωτέρου Ηωκαίνου
- Κλαστικά ιζήματα όπως ψαμμίτες και αργιλικό σχιστόλιθοι
- Λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι ηλικίας Ιουρασικού
- Λεπτοπλακώδεις κερατόλιθοι
- Λεπτοπλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι Ανωκρητιδικής ηλικίας

Κατά μήκος της κοίτης του Εύηνου ποταμού παρατηρούνται ασύνδετα υλικά, κυρίως άμμοι και κροκάλες ασβεστολιθικής, κερατολιθικής και σχιστολιθικής σύστασης. Το πάχος τους στην περιοχή κατασκευής του φράγματος Αγίου Δημητρίου φθάνει τα 23 m, βάσει στοιχείων γεωτρήσεων και γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων (Ι.Γ.Μ.Ε., 1990). Παρόμοια υλικά βρίσκονται στις κοίτες μικρότερων παραποτάμων και χειμάρρων, η σύστασή τους όμως ποικίλλει ανάλογα με τη λιθολογία των λεκανών απορροής τους. Τα υλικά αυτά υπόκεινται σε περιοδική μεταφορά από την κινητική ενέργεια του νερού των ρευμάτων.

Μεγάλοι κώνοι κορημάτων Πλειστοκαινικής ηλικίας καλύπτουν τις Δ και ΒΔ πλευρές της Βαράσοβας. Αποτελούνται από ασβεστολιθικά τεμάχια και λατύπες ποικίλων διαστάσεων που προέρχονται από τον ασβεστολιθικό όγκο του βουνού. Η πιθανή τους ηλικία τοποθετείται στην τελευταία παγετώδη εποχή. Η ισχυρή τεκτονική καταπόνηση των πετρωμάτων της ενότητας Πίνδου και οι κλιματολογικές συνθήκες ευνόησαν το σχηματισμό πλευρικών κορημάτων. Πρόκειται για ασύνδετα μεταξύ τους γωνιώδη θραύσματα ποικίλου μεγέθους και σύστασης που εξαρτάται από τη λιθολογία της εκάστοτε περιοχής. Παρατηρούνται στις πολύ απότομες κλιτύες των ορεινών όγκων που δομούνται από την ενότητα της Πίνδου και στα μέτωπα των επιπεύσεων (Καρυμπάλης 1996).

#### **Υδρογεωλογικές Συνθήκες**

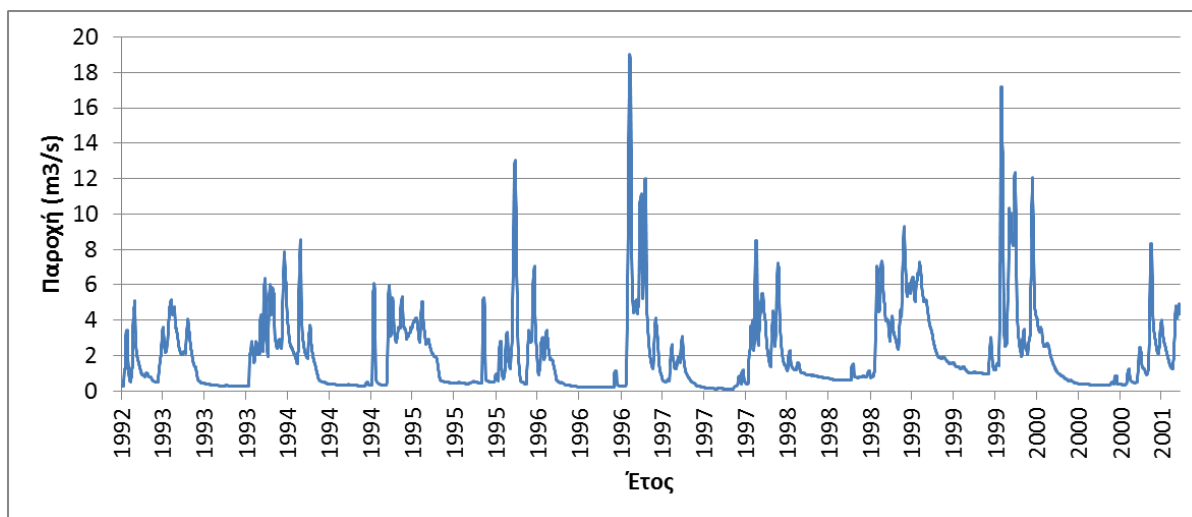
Οι κυριότερες υπόγειες υδροφορίες αναπτύσσονται στους καρστικούς ανθρακικούς σχηματισμούς της ζώνης της Πίνδου. Στους ανθρακικούς σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου λόγω των πυριτικών – κερατολιθικών παρεμβολών αναπτύσσονται επιμέρους διαφορετικής κάθε φορά έκτασης, υδρογεωλογικές λεκάνες και κατ' επέκταση και ανάλογης δυναμικότητας υδροφορίες. Σημαντικής δυναμικότητας υδροφορίες αναπτύσσονται επίσης στους κοκκώδεις σχηματισμούς των τεταρτογενών αποθέσεων, το δυναμικό των οποίων εξαρτάται από την κοκκομετρία και τις συνθήκες τροφοδοσίας τους.

Στις εμφανίσεις του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικής σημασίας υδροφορίες, μικρής δυναμικότητας που καλύπτουν τοπικές υδρευτικές, αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες.

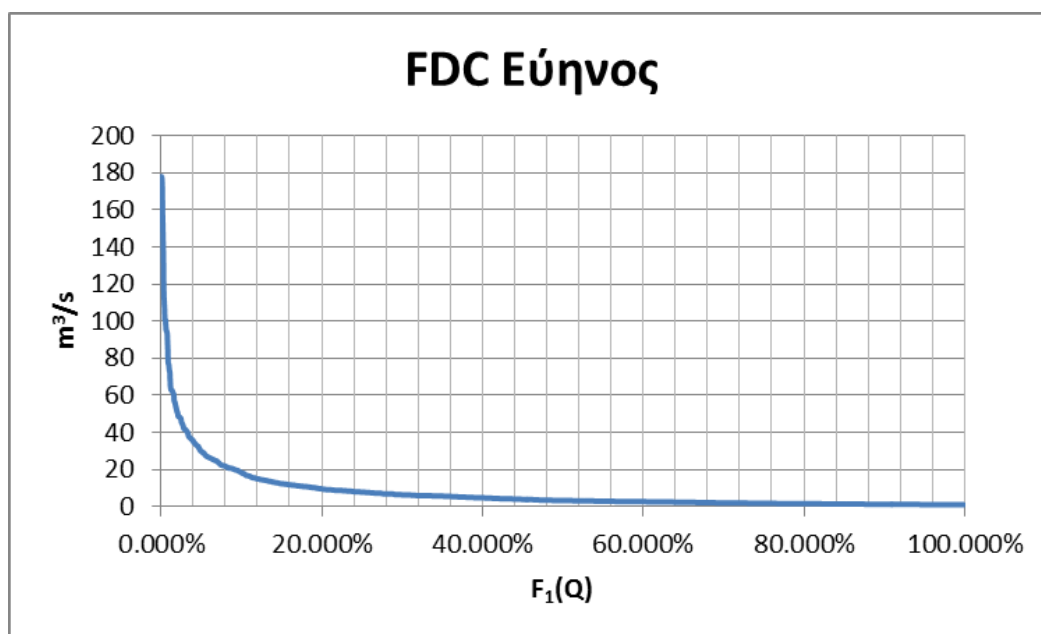
#### **3.3.4 Ιστορικά δεδομένα**

Τα ημερήσια ιστορικά δεδομένα που αξιοποιούνται αφορούν την περίοδο 1993-2000 και παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.10. Η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας απεικονίζεται στο Σχήμα 3.11. Στους Πίνακες 3.6 και 3.7 δίνονται τα μηνιαία στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος για συνάθροιση των μέσων και ελαχίστων τιμών αντίστοιχα. Στα Σχήματα 3.12 και 3.13 παρουσιάζονται οι μηνιαίες χρονοσειρές των μέσων μηνιαίων και ελαχίστων μηνιαίων τιμών αντίστοιχα.





Σχήμα 3.10: Ημερήσια χρονοσειρά απορροής σε  $m^3/s$  για την υπολεκάνη του Εύηνου



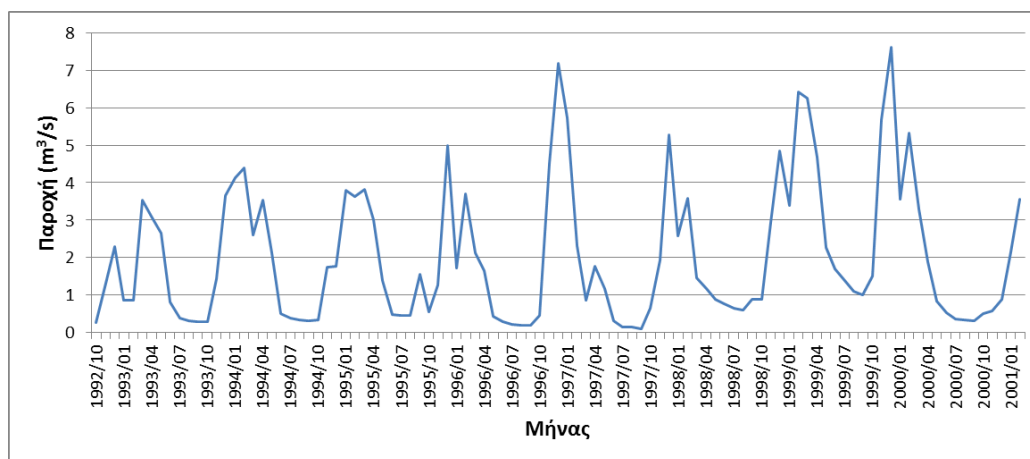
Σχήμα 3.11: Καμπύλη διάρκειας παροχής για την υπολεκάνη του Εύηνου

Πίνακας 3.6: Στατιστικά χαρακτηριστικά των μέσων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη του Εύηνου

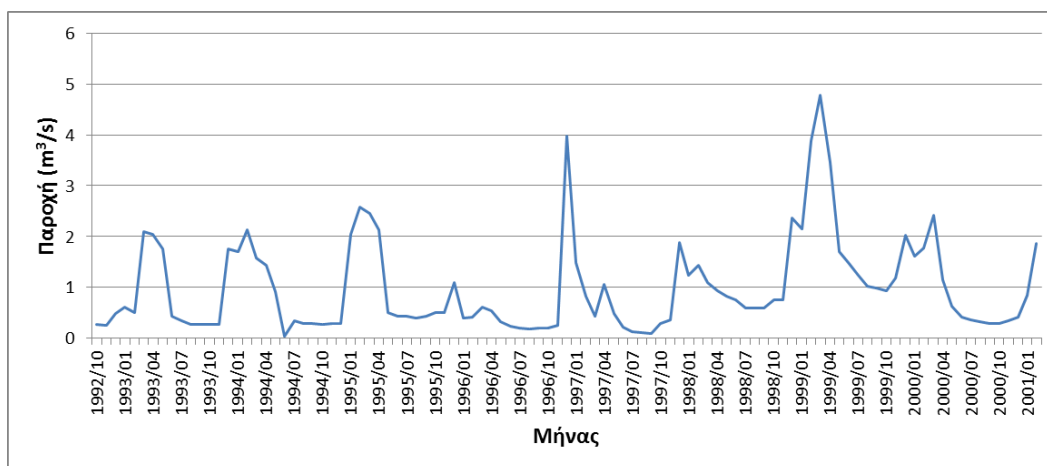
Χαρακτηριστικά μεγέθη μέσων μηνιαίων τιμών												
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
<b>mean</b>	3.23	3.78	3	2.64	1.48	0.68	0.51	0.44	0.59	0.65	2.51	5.04
<b>stdev</b>	1.5	1.71	1.67	1.21	0.79	0.46	0.39	0.31	0.51	0.39	1.75	1.99
<b>Var Coeff</b>	0.47	0.45	0.56	0.46	0.54	0.67	0.77	0.71	0.87	0.6	0.7	0.39
<b>#values</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7
<b>MAX</b>	5.72	6.43	6.26	4.69	2.65	1.71	1.4	1.11	1.56	1.5	5.67	7.6
<b>MIN</b>	0.87	0.87	0.86	1.18	0.43	0.29	0.16	0.14	0.11	0.29	0.57	1.78

Πίνακας 3.7: Στατιστικά χαρακτηριστικά των ελαχίστων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη του Εύηνου

Χαρακτηριστικά μεγέθη ελαχίστων μηνιαίων τιμών												
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
mean	1.41	1.69	1.94	1.59	0.89	0.5	0.46	0.4	0.4	0.44	0.5	1.92
stdev	0.63	1.17	1.38	0.92	0.55	0.45	0.34	0.29	0.28	0.27	0.32	1.14
Var Coeff	0.45	0.69	0.71	0.58	0.61	0.89	0.75	0.71	0.7	0.6	0.64	0.59
#values	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7
MAX	2.15	3.88	4.78	3.45	1.75	1.49	1.24	1.02	0.98	0.94	1.19	3.98
MIN	0.4	0.42	0.44	0.55	0.32	0.05	0.13	0.11	0.1	0.2	0.26	0.3



Σχήμα 3.12: Χρονοσειρά μέσω μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη του Εύηνου



Σχήμα 3.13: Χρονοσειρά μέσω μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη του Εύηνου

### 3.4 Λεκάνες απορροής Κύπρου

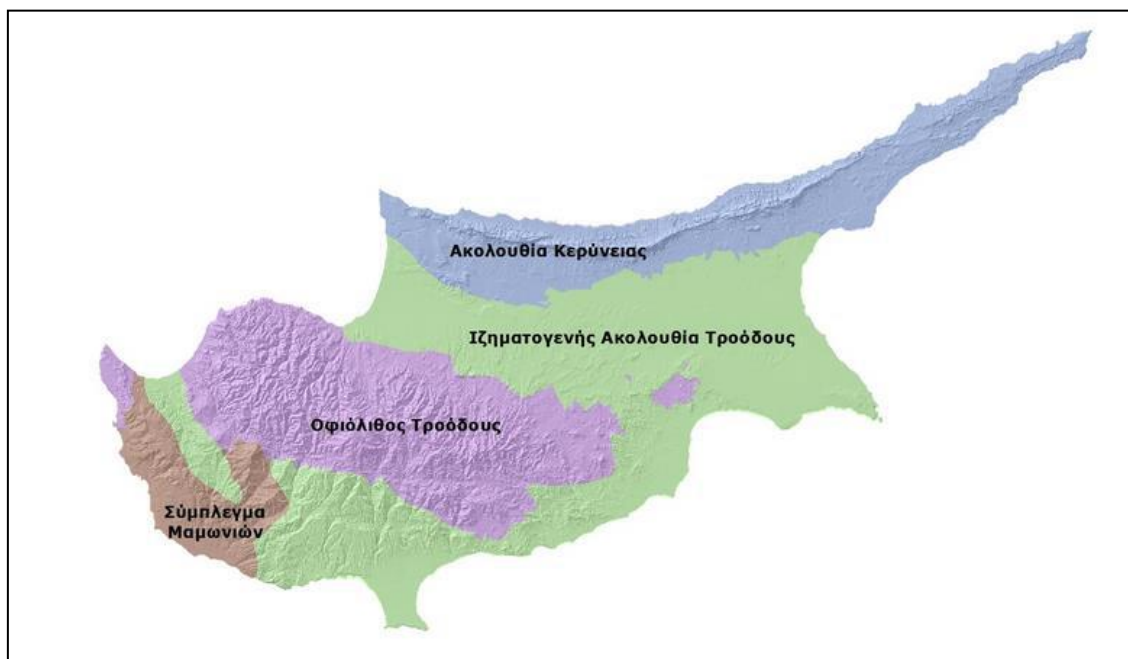
#### 3.4.1 Γενικά

Η Κύπρος έχει έκταση 9254 km<sup>2</sup> και διακρίνεται σε τέσσερις φυσικές περιοχές:

- Την οροσειρά του Τροόδους, που βρίσκεται στο κεντρικό-δυτικό μέρος του νησιού και η ψηλότερη βουνοκορφή της, ο Όλυμπος, έχει ύψος 1951 m.
- Την οροσειρά του Πενταδακτύλου, που έχει σχετικά μικρό πλάτος και εκτείνεται κατά μήκος των βόρειων ακτών του νησιού με κορυφές μέχρι 1000 m περίπου.
- Την πεδιάδα της Μεσαορίας, που βρίσκεται μεταξύ των οροσειρών του Τροόδους και του Πενταδακτύλου και έχει γενικά χαμηλό υψόμετρο, το οποίο στην περιοχή της Λευκωσίας δεν ξεπερνά τα 180 m.
- Τις παράλιες πεδιάδες και κοιλάδες κατά μήκος των ακτών.

Σύμφωνα με το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρου, η Κύπρος διακρίνεται γεωλογικά σε τέσσερις ζώνες (Σχήμα 3.14):

- την Ακολουθία Κερύνειας
- τον Οφιόλιθο Τροόδους
- το Σύμπλεγμα Μαμωνιών και
- την Ιζηματογενή Ακολουθία Τροόδους



Σχήμα 3.14: Οι γεωλογικές ζώνες της Κύπρου (Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013)

#### 3.4.2 Κλίμα

Η Κύπρος, που βρίσκεται κατά μέσο όρο σε βόρειο γεωγραφικό πλάτος 35<sup>0</sup> και ανατολικό γεωγραφικό μήκος 33<sup>0</sup> και περιβάλλεται από την ανατολική Μεσόγειο θάλασσα, διαθέτει τα κύρια χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος. Συγκεκριμένα έχει ζεστό και ξηρό καλοκαίρι από τα μέσα Μαΐου ως τα μέσα Σεπτεμβρίου, βροχερό αλλά ήπιο χειμώνα από τα μέσα Νοεμβρίου ως τα μέσα Μαρτίου και δύο ενδιάμεσες μεταβατικές εποχές, το φθινόπωρο και την άνοιξη. Η μέση ετήσια βροχόπτωση σε ολόκληρη την Κύπρο είναι περίπου 480 mm (μέση τιμή για την περίοδο 1951-1980).

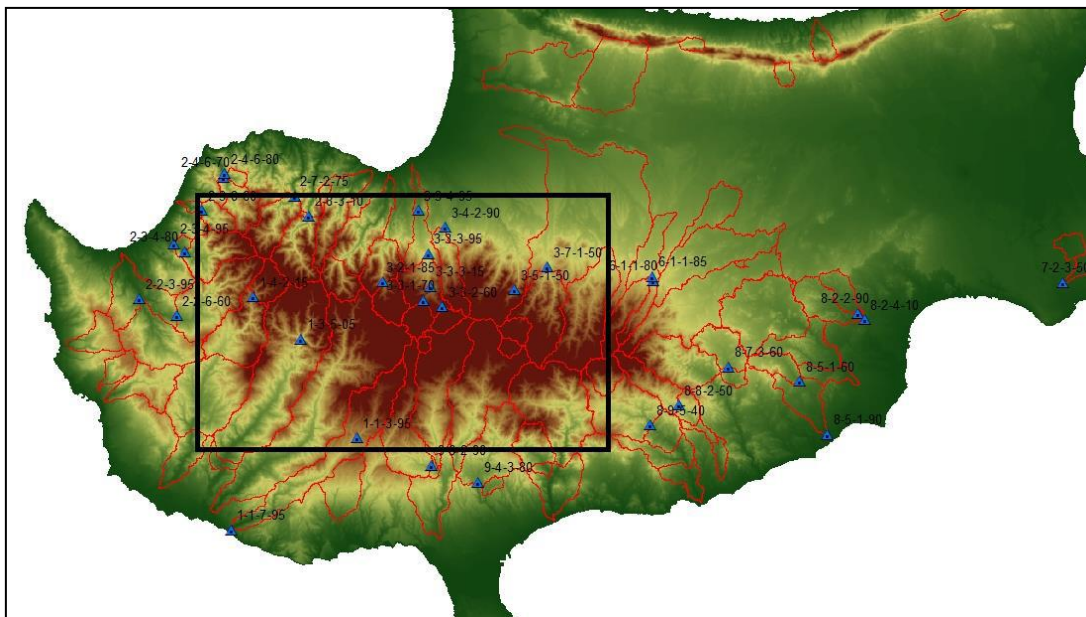
Από τα διαθέσιμα δεδομένα φαίνεται πως η πιο χαμηλή ετήσια βροχόπτωση στην Κύπρο ήταν 182 mm κατά το υδρολογικό έτος 1972-73, και η πιο ψηλή 759 mm το 1968-69.

Στη διάρκεια του καλοκαιριού οι βροχοπτώσεις στην Κύπρο είναι πολύ χαμηλές, με μέση τιμή που δεν ξεπερνά το 5% της μέσης ολικής ετήσιας βροχόπτωσης, ενώ τα φαινόμενα έχουν συνήθως τοπικό χαρακτήρα.

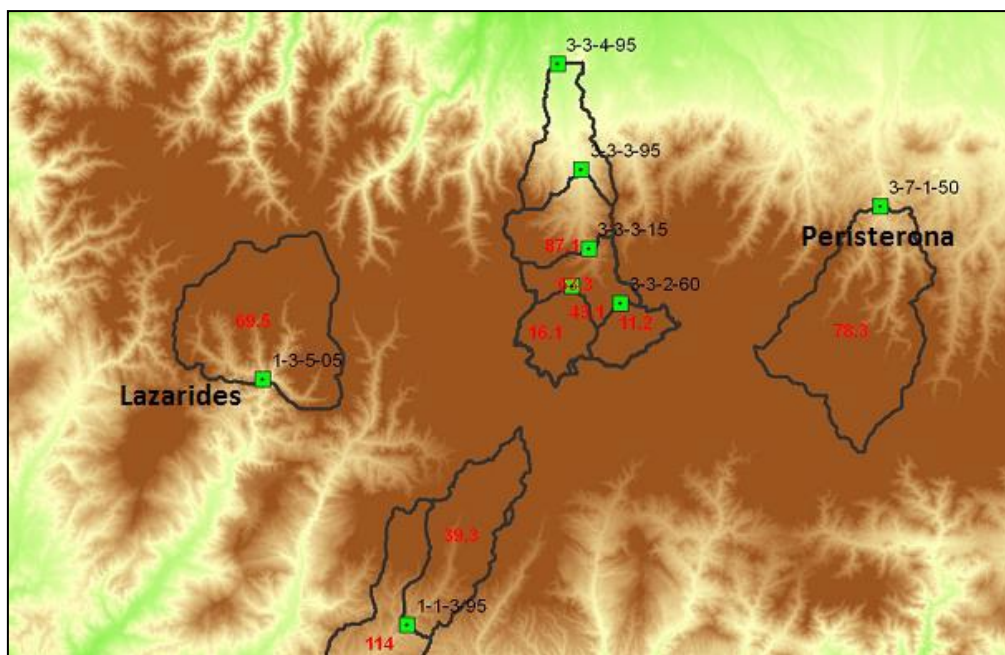
Τον χειμώνα η Κύπρος επηρεάζεται από το συχνό πέρασμα μικρών υφέσεων και μετώπων που κινούνται στη Μεσόγειο με κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Οι καιρικές αυτές διαταραχές διαρκούν συνήθως από μια μέχρι τρεις μέρες κάθε φορά και δίνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες βροχής. Η συνολική μέση βροχόπτωση στους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο αντιστοιχεί περίπου με το 60% της βροχόπτωσης του χρόνου ολόκληρου (Μαστροθεόδωρος, 2013).

### 3.4.3 Λεκάνες απορροής Λαζάρηδες και Περιστερώνα

Στο πλαίσιο της εργασίας ελήφθησαν δεδομένα απορροής σε δύο υδρολογικές λεκάνες της ευρύτερης περιοχής του όρους Τροόδος. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν οι λεκάνες απορροής των ποταμών Περιστερώνα και Ξερού (Ασπρόκρεμμυ) ανάντη των θέσεων Γεφύρι Παναγιάς και Αλωνούδι, αντίστοιχα. Τα στοιχεία ελήφθησαν από το Τμήμα Ανάπτυξης Υδάτων Κύπρου, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του δικτύου υδρομετρικών σταθμών που παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.15. Με μαύρο πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή του Τροόδους, όπου αναπτύσσονται οι δύο εξεταζόμενες λεκάνες.



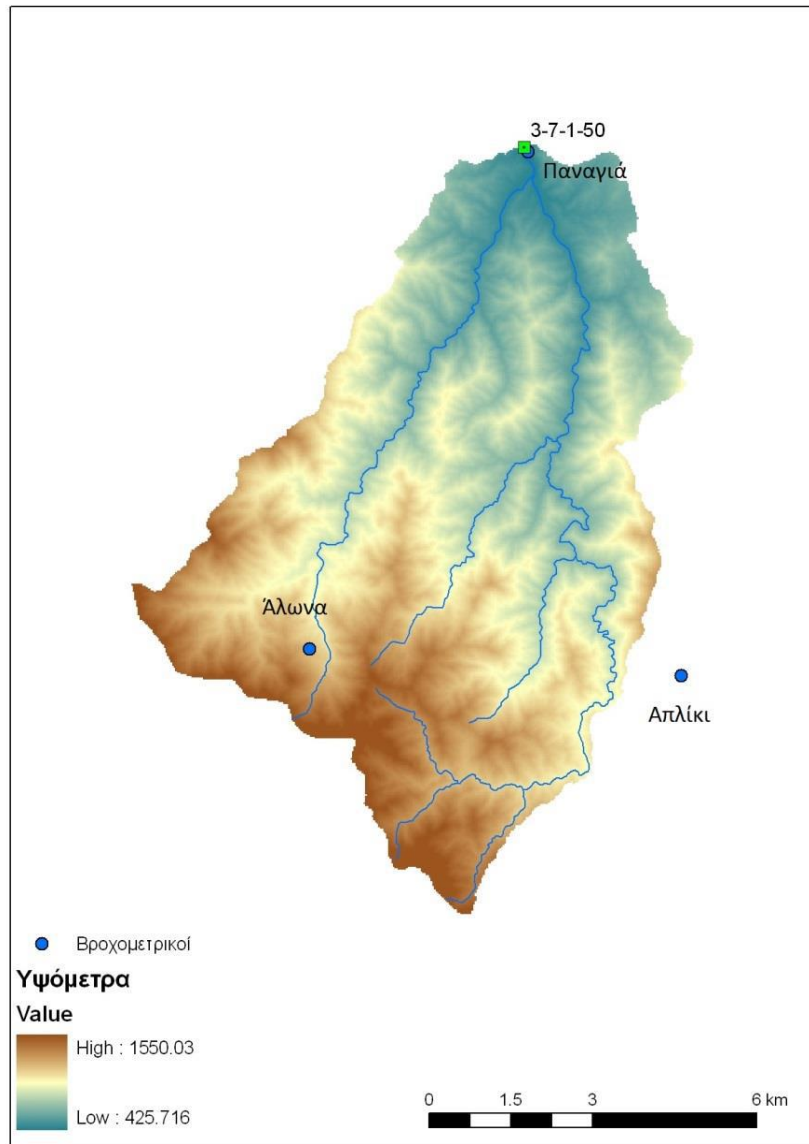
Σχήμα 3.15: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ευρύτερης περιοχής του Τροόδους με παρουσίαση των λεκανών απορροής και τους σταθμούς μέτρησης παροχής ( Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013)



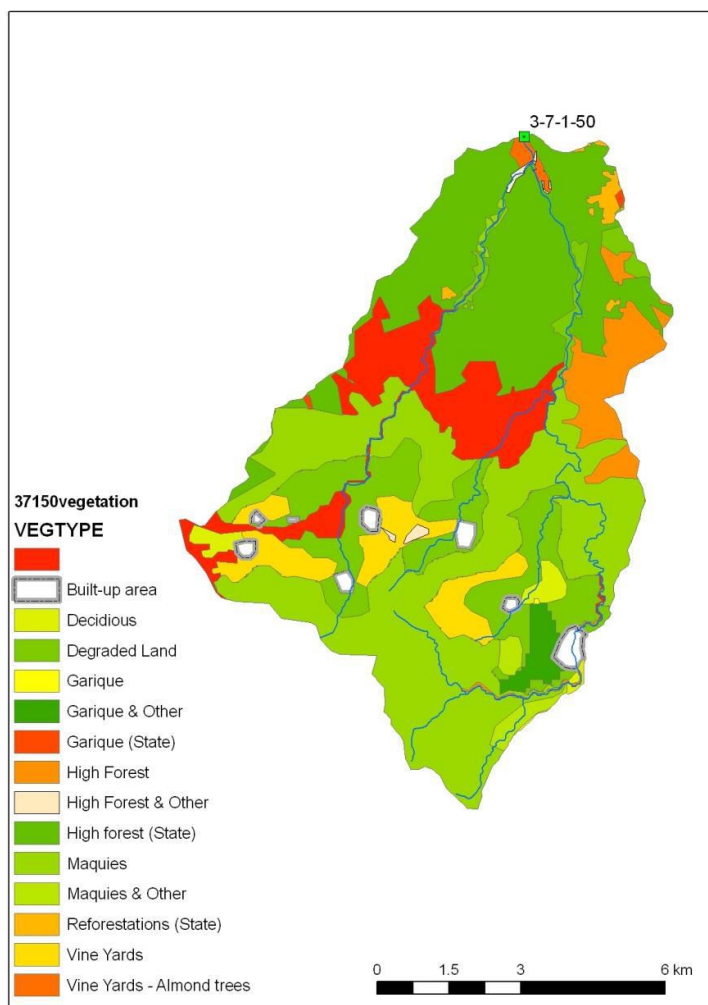
Σχήμα 3.16: Εξεταζόμενες λεκάνες, Λαζάρηδες και Περιστερώνα (Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013)

Στο Σχήμα 3.16 απεικονίζονται οι δύο υδρομετρικοί σταθμοί από τους οποίους ελήφθησαν τα δεδομένα απορροής. Αυτοί είναι ο σταθμός στη θέση Λαζάρηδες (ή Αλωνούδι), με κωδικό 1-3-5-05, και ο σταθμός στη θέση Γεφύρι Παναγιάς, με κωδικό 3-7-1-50.

Ο ποταμός Περιστερώνας είναι από τους κύριους παραπόταμους του Σερράχη ποταμού. Ο τελευταίος, με μήκος 55 km αποτελεί τον τρίτο μεγαλύτερο σε μήκος ποταμό του νησιού. Ο υδρομετρικός σταθμός από τον οποίο ελήφθησαν τα δεδομένα απορροής βρίσκεται στο γεφύρι της Παναγιάς σε υψόμετρο 430 m περίπου. Το μέγιστο υψόμετρο στη λεκάνη απορροής συναντάται στην κορυφή Παπούτσα στα 1554 m, στην κορυφογραμμή του όρους Τρόδος, ανατολικά της κορυφής Όλυμπος. Η έκταση της λεκάνης είναι 77 km<sup>2</sup>, το σχήμα της είναι περίπου τριγωνικό και κάπως επίμηκες και ο προσανατολισμός είναι βόρειος. Όσον αφορά τη γεωλογία της περιοχής κυριαρχεί ο διαβάσης και ο βασάλτης ενώ στα μεγαλύτερα υψόμετρα συναντώνται εμφανίσεις γάβρου, παλαιογρανίτη και βερλίτη (Μαστροθεόδωρος, 2013). Οι πιο ορεινές περιοχές της λεκάνης καλύπτονται από λίγα δάση και κυρίως μακία βλάστηση, ενώ στα χαμηλότερα υψόμετρα κυριαρχούν οι φρυγανότοποι. Γύρω από τα χωριά υπάρχουν καλλιεργημένες εκτάσεις με αμπέλια και αμυγδαλιές κυρίως. Στο Σχήμα 3.17 παρουσιάζεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Περιστερώνα και στο Σχήμα 3.18 ο χάρτης χρήσεων γης της λεκάνης απορροής του ποταμού.

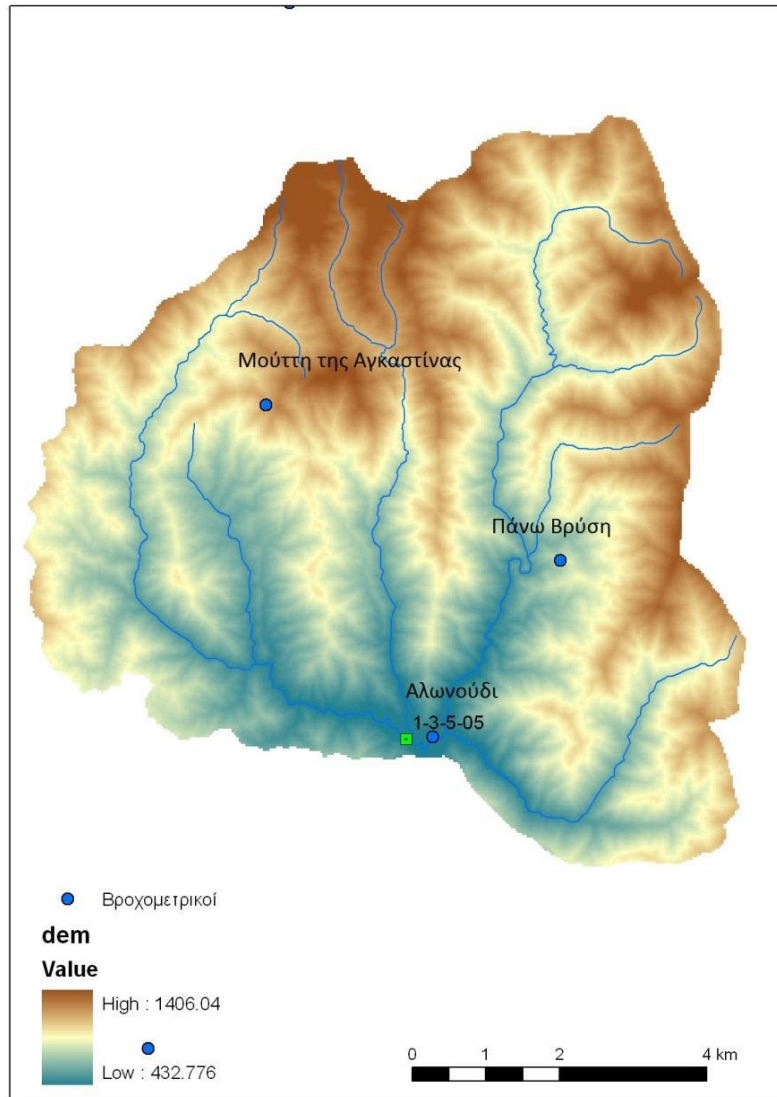


Σχήμα 3.17: Η λεκάνη απορροής του ποταμού Περιστερόνα με τους τρεις βροχομετρικούς και τον υδρομετρικό σταθμό (Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013)



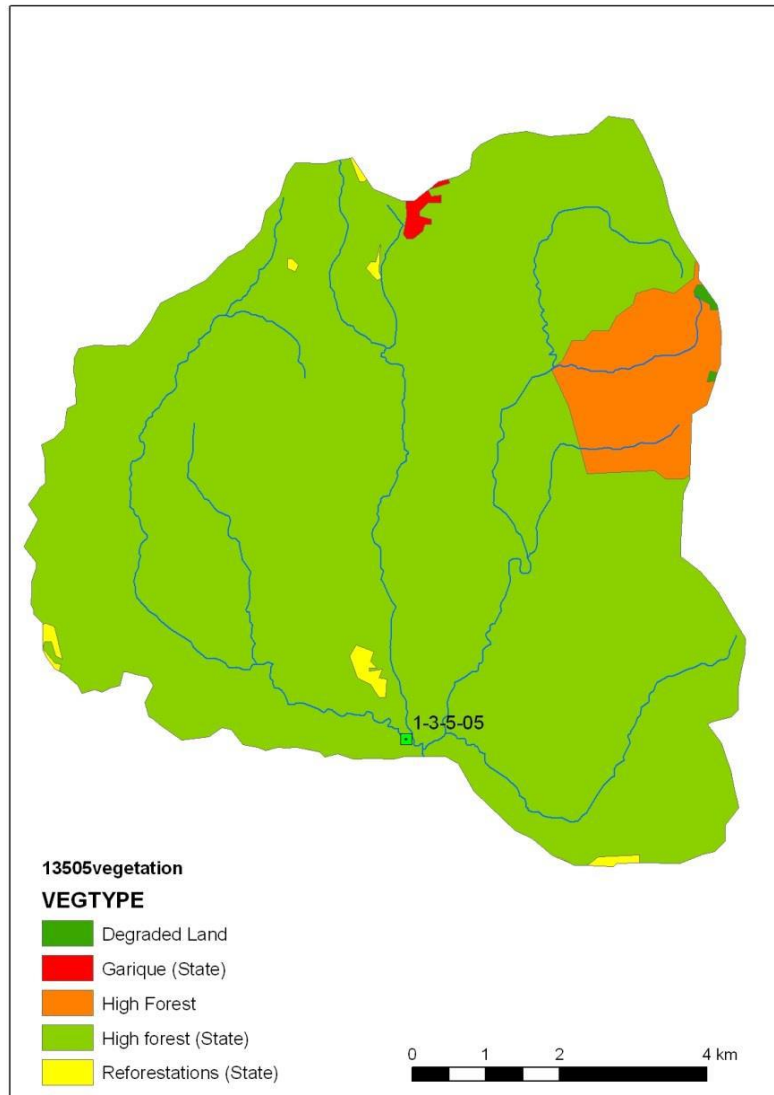
Σχήμα 3.18: Είδη βλάστησης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Περιστερώνα (Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013)

Ο Ασπρόκρεμμος ή Ξερός ποταμός είναι ο πέμπτος σε μήκος ποταμός της Κύπρου (41.5 km). Πηγάζει από το όρος Τρόδος δυτικά-βορειοδυτικά της κορυφής του Ολύμπου και μέρος της λεκάνης του αποτελεί τη γνωστή κοιλάδα των κέδρων που καλύπτεται από δάση μεγάλης οικολογικής σπουδαιότητας με σπάνια και ενδημικά είδη χλωρίδας. Ο υδρομετρικός σταθμός βρίσκεται σε υψόμετρο 430 m περίπου σε γέφυρα στην τοποθεσία Αλωνούδι της περιοχής Λαζάρηδες, ακριβώς κατάντη της συμβολής των τεσσάρων υδατορρευμάτων που δημιουργούν τον Ξερό ποταμό (από δυτικά προς ανατολικά: Αργάκι των Γεφυρκών, Αργάκι τους Αθανάσηδες, Αργάκι του Σκούλουδρου και Αργάκι τους Λαζάρηδες) (Μαστροθεόδωρος 2013). Από εκεί ο ποταμός ρέει προς τα νοτιοδυτικά, ενώ τα νερά του συλλέγονται σε ταμιευτήρα χωρητικότητας 52 hm<sup>3</sup>. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί δύο φορές υπερχείλιση του φράγματος, το 2004 και το 2012. Ολόκληρη η λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού, με συνολική έκταση 68.5 km<sup>2</sup>, καλύπτεται από δάση κωνοφόρων με κυρίαρχα είδη τα *Pinus brutia* (τραχεία πεύκη) και την ενδημική βελανιδιά *Quercus alnifolia* στον υπόροφο, ενώ στην κορυφή του Τριπύλου βρίσκεται το μοναδικό δάσος του ενδημικού κυπριακού κέδρου *Cedrus brevifolia*, συστάδες του οποίου συναντώνται και χαμηλότερα (Υπουργείο Γεωργίας, αγροτικής ανάπτυξης και περιβάλλοντος). Στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζεται η λεκάνη απορροής του Ξερού ποταμού και στο Σχήμα 3.20 ο χάρτης χρήσεων γης.



Σχήμα 3.19: Η λεκάνη απορροής του Ξερού ποταμού με τους τρεις βροχομετρικούς και τον υδρομετρικό σταθμό ( Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013)

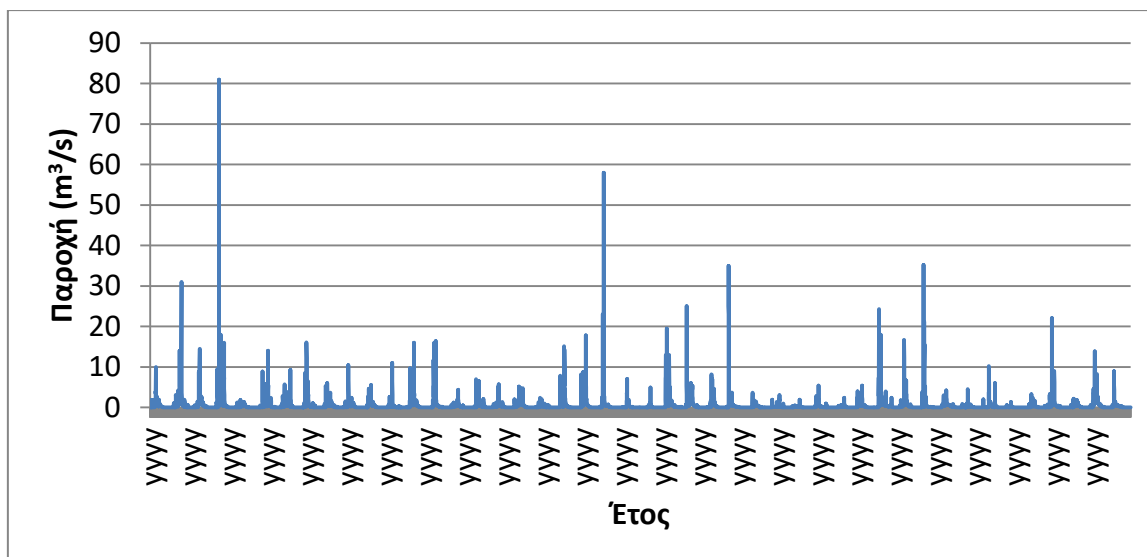




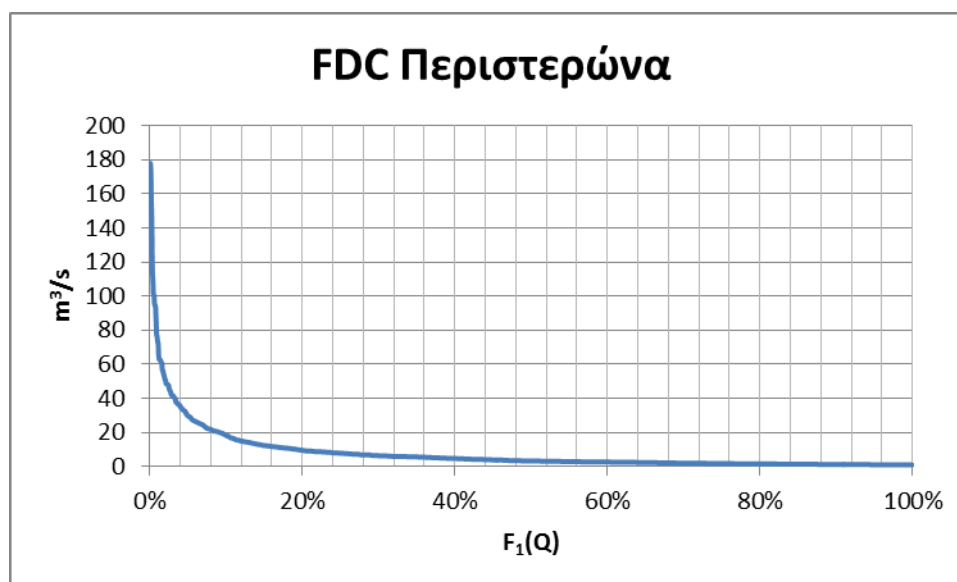
Σχήμα 3.20: Η βλάστηση στη λεκάνη απορροής του Ξερού ποταμού. Η έκταση καλύπτεται σχεδόν αποκλειστικά από υψηλό δάσος (Πηγή: Μαστροθεόδωρος, 2013)

#### 3.4.4 Ιστορικά δεδομένα υπολεκάνης Περιστερώννα

Τα ιστορικά ημερήσια δεδομένα που αξιοποιούνται αφορούν την περίοδο 1965-2013 και παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.21. Η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας απεικονίζεται στο Σχήμα 3.22. Στους Πίνακες 3.9 και 3.10 δίνονται τα μηνιαία στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος για συνάθροιση των μέσων και ελαχίστων τιμών αντίστοιχα. Στα Σχήματα 3.23 και 3.24 παρουσιάζονται οι μηνιαίες χρονοσειρές των μέσων μηνιαίων και ελαχίστων μηνιαίων τιμών αντίστοιχα.



Σχήμα 3.21: Ημερήσια χρονοσειρά απορροής σε  $m^3/s$  για την υπολεκάνη της Περιστερώνας



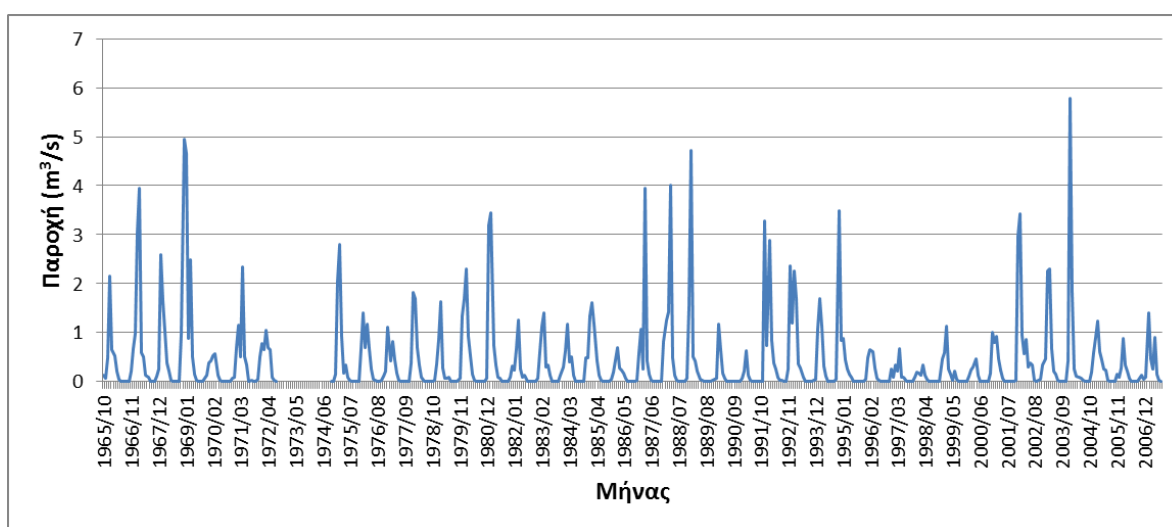
Σχήμα 3.22: Καμπύλη διάρκειας παροχής για την υπολεκάνη της Περιστερώνας

Πίνακας 3.8 : Στατιστικά χαρακτηριστικά μέσων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη της Περιστερώνας

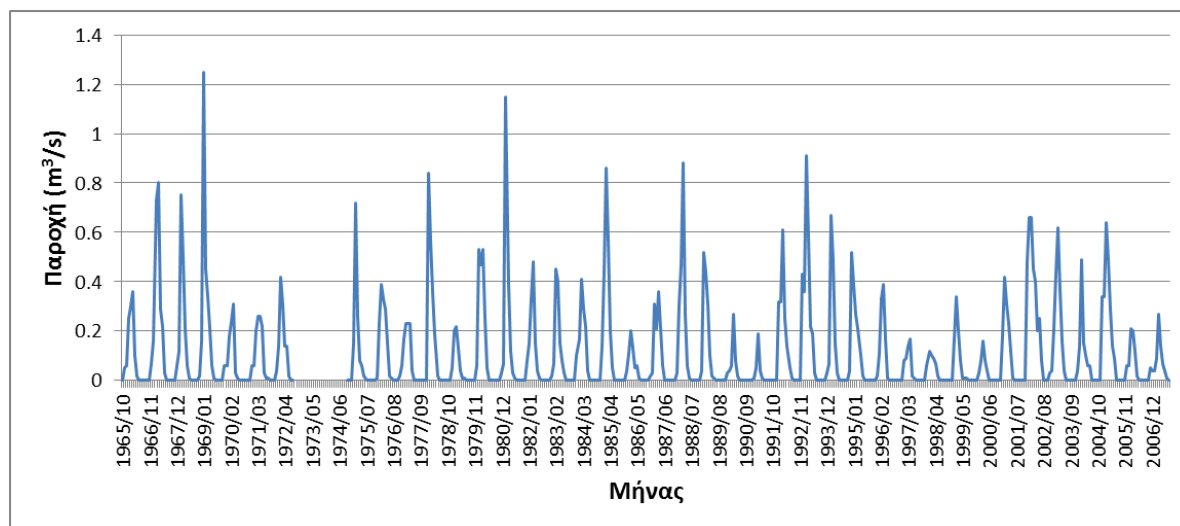
Χαρακτηριστικά μεγέθη μέσων μηνιαίων τιμών												
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
mean	1.29	1.23	0.98	0.4	0.18	0.07	0.02	0	0	0.01	0.16	0.67
stdev	1.35	0.84	0.95	0.35	0.17	0.09	0.05	0.01	0.01	0.02	0.52	0.97
Var Coeff	1.04	0.68	0.97	0.88	0.95	1.22	3.12	3.22	5.14	2.7	3.18	1.44
#values	46	46	46	46	46	46	46	46	44	46	46	46
MAX	5.78	3.44	4	2.34	0.9	0.38	0.33	0.03	0.05	0.13	3.48	4.94
MIN	0.06	0.13	0.11	0.02	0.01	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 3.9: Στατιστικά χαρακτηριστικά ελαχίστων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη της Περιστερώνας

Χαρακτηριστικά μεγέθη ελαχίστων μηνιαίων τιμών												
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
mean	0.25	0.41	0.36	0.17	0.07	0.02	0	0	0	0	0.01	0.08
stdev	0.24	0.26	0.19	0.1	0.06	0.04	0.01	0	0	0	0.02	0.12
Var Coeff	0.98	0.64	0.53	0.56	0.94	2.08	4.17	4.23	3.9	4.89	2.13	1.53
#values	46	46	46	46	46	46	46	46	44	46	46	46
#missvalues	3	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	3
MAX	1.25	1.15	0.88	0.4	0.22	0.25	0.08	0.01	0	0.01	0.06	0.52
MIN	0.01	0.05	0.05	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0



Σχήμα 3.23: Χρονοσειρά μέσω μηνιαίων τιμών παροχής σε  $m^3/s$  της υπολεκάνης Περιστερώνας

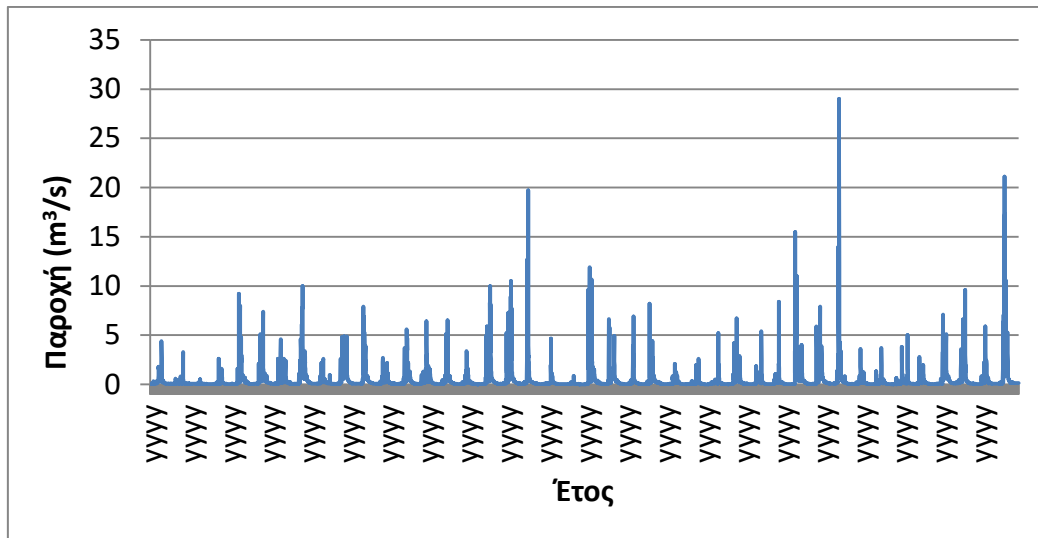


Σχήμα 3.24: Χρονοσειρά ελαχίστων μηνιαίων τιμών παροχής σε  $m^3/s$  της υπολεκάνης Περιστερώνας

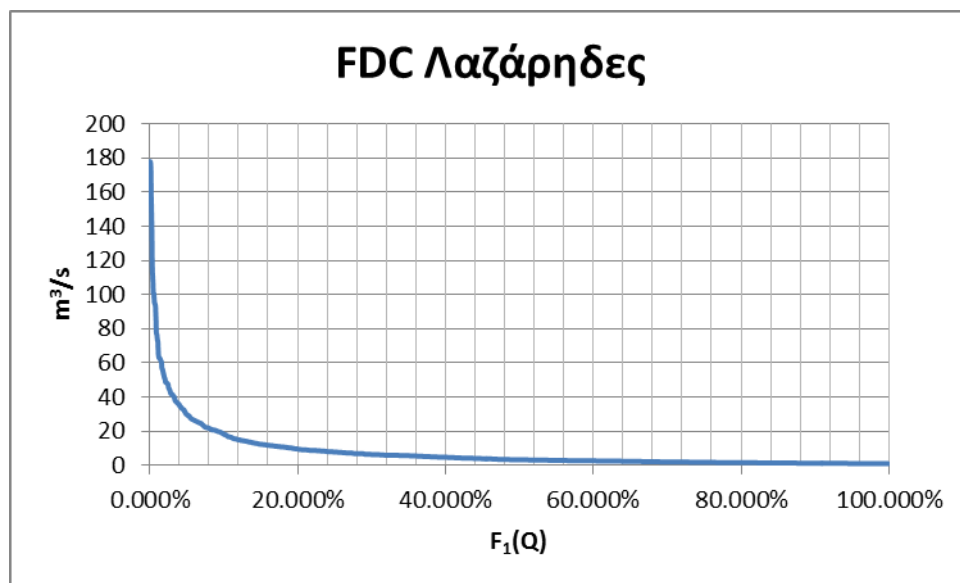
### 3.4.5 Ιστορικά δεδομένα υπολεκάνης Λαζάρηδες

Τα ιστορικά ημερήσια δεδομένα που αξιοποιούνται αφορούν την περίοδο 1970-2012 και παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.25. Η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας απεικονίζεται στο Σχήμα 3.26. Στους Πίνακες 3.11 και 3.12 δίνονται τα μηνιαία στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος για

συνάθροιση των μέσων και ελαχίστων τιμών αντίστοιχα. Στα Σχήματα 3.27 και 3.28 παρουσιάζονται οι μηνιαίες χρονοσειρές των μέσων μηνιαίων και ελαχίστων μηνιαίων τιμών αντίστοιχα.



Σχήμα 3.25: Ημερήσια χρονοσειρά απορροής σε  $m^3/s$  για την υπολεκάνη Λαζάρηδες



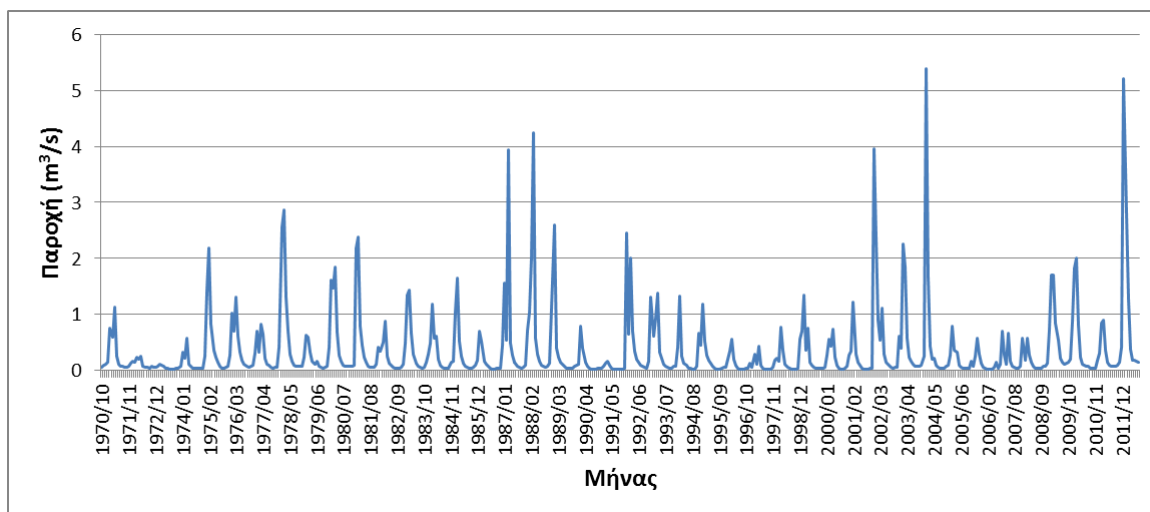
Σχήμα 3.26: Καμπύλη διάρκειας παροχής για την υπολεκάνη Λαζάρηδες

Πίνακας 3.10 : Στατιστικά χαρακτηριστικά μέσων μηνιαίων τιμών της υπολεκάνης Λαζάρηδες

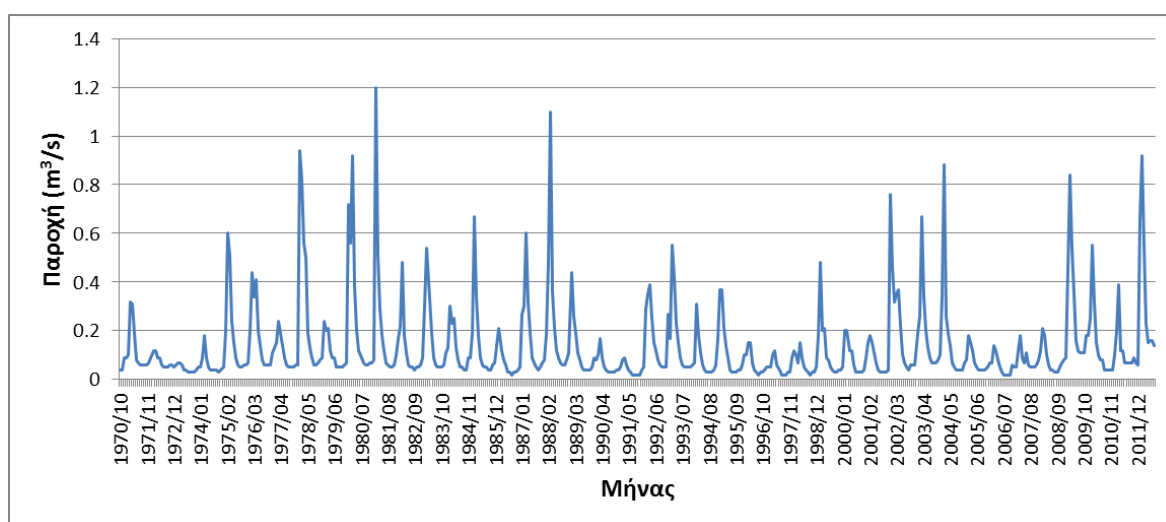
Χαρακτηριστικά μεγέθη μέσων μηνιαίων τιμών												
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
<b>mean</b>	0.98	1.06	0.84	0.4	0.19	0.1	0.07	0.05	0.05	0.06	0.1	0.46
<b>stdev</b>	1.21	0.76	0.88	0.28	0.12	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02	0.1	0.72
<b>Var Coeff</b>	1.24	0.72	1.05	0.7	0.65	0.49	0.46	0.47	0.39	0.33	0.99	1.57
<b>#values</b>	42	42	42	42	42	42	42	42	41	42	42	42
<b>MAX</b>	5.39	2.87	4.24	1.14	0.66	0.22	0.16	0.15	0.13	0.14	0.66	3.96
<b>MIN</b>	0.06	0.11	0.1	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05

Πίνακας 3.11 : Στατιστικά χαρακτηριστικά ελαχίστων μηνιαίων τιμών της υπολεκάνης Λαζάρηδες

Χαρακτηριστικά μεγέθη ελαχίστων μηνιαίων τιμών												
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
<b>mean</b>	0.2	0.34	0.33	0.21	0.12	0.08	0.06	0.05	0.04	0.05	0.06	0.1
<b>stdev</b>	0.19	0.26	0.24	0.12	0.07	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.11
<b>Var Coeff</b>	0.95	0.78	0.72	0.61	0.54	0.48	0.49	0.48	0.41	0.37	0.42	1.17
<b>#values</b>	42	42	42	42	42	42	42	42	41	42	42	42
<b>MAX</b>	0.94	1.2	1.1	0.54	0.35	0.16	0.16	0.14	0.11	0.11	0.18	0.76
<b>MIN</b>	0.05	0.05	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04



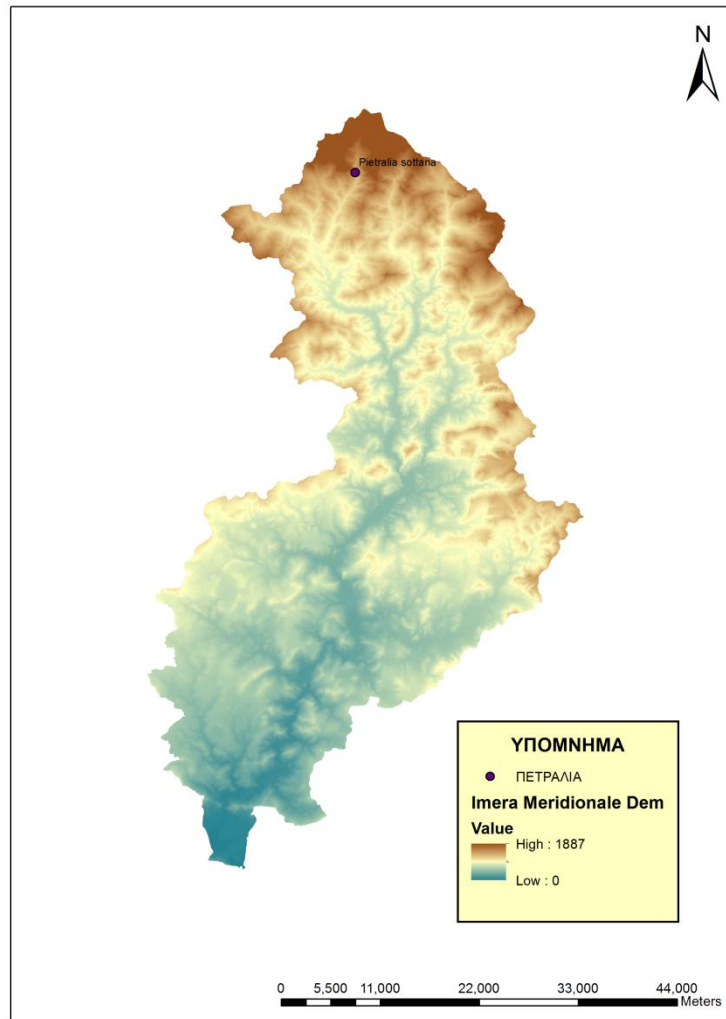
Σχήμα 3.27: Χρονοσειρά μέσων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη Λαζάρηδες



Σχήμα 3.28: Χρονοσειρά ελαχίστων μηνιαίων τιμών για την υπολεκάνη Λαζάρηδες

### 3.5 Λεκάνη απορροής Imera Meridionale (Ποταμός Salso)

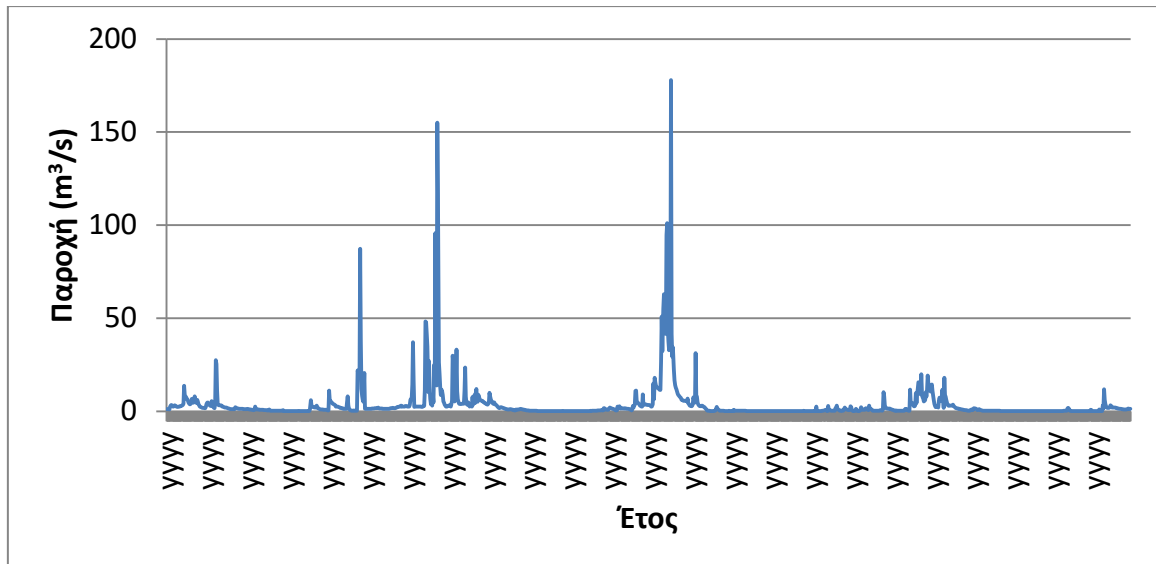
Ο ποταμός Salso (γνωστός και ως Imera Meridionale) βρίσκεται στην κεντρική Σικελία. Πηγάζει από την οροσειρά Madonie και διασχίζοντας τις περιοχές Enna και Caltanissetta εκβάλλει στη Μεσόγειο και, συγκεκριμένα, στο δυτικό άκρο του κόλπου της Gela, στο λιμάνι της Licata, της επαρχίας Agrigento. Το μικρό σύστημα δέλτα του ποταμού κυριαρχείται από τις θαλάσσιες διεργασίες παρά από ποτάμια. Ο ποταμός Salso αποτελεί έναν εποχιακό χειμάρρο, με σύντομες αλλά σφοδρές πλημμύρες κατά τη διάρκεια των χειμερινών βροχών (από τον Νοέμβριο έως τον Φεβρουάριο), και ξηρό καλοκαίρι. Αποτελεί τον μεγαλύτερο σε μήκος ποταμό της Σικελίας (144 km) και πηγάζει από το Pizzo Catarinenci (1660 m). Η συνολική επιφάνεια της λεκάνης απορροής είναι 2014 km<sup>2</sup> και αποτελεί τη δεύτερη σε μέγεθος λεκάνη απορροής στην ευρύτερη περιοχή. Εκεί, συναντώνται δύο τεχνητές λίμνες η Olivo και η Villarosa. Η λεκάνη παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.30.



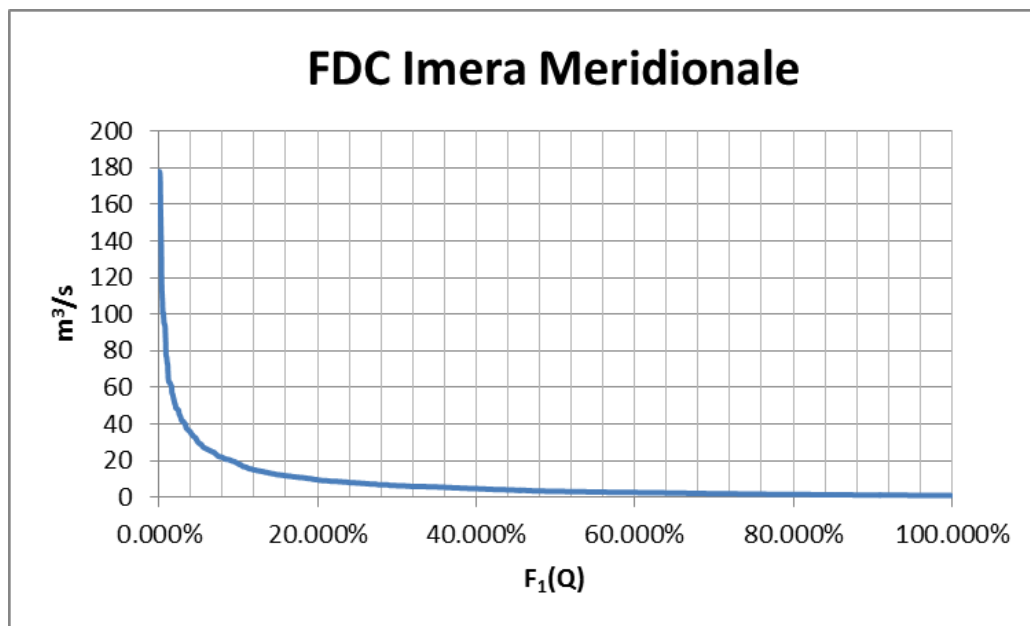
Σχήμα 3.29: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της λεκάνης απορροής Imera Meridionale

### 3.5.1 Ιστορικά δεδομένα

Τα ημερήσια ιστορικά δεδομένα που αξιοποιούνται αφορούν την περίοδο 1953-2005, με αρκετές περιόδους μη μετρήσεων και παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.30. Η αντίστοιχη καμπύλη διάρκειας απεικονίζεται στο Σχήμα 3.31. Στους Πίνακες 3.13 και 3.14 δίνονται τα μηνιαία στατιστικά χαρακτηριστικά του δείγματος για συνάθροιση των μέσων και ελαχίστων τιμών αντίστοιχα. Στα Σχήματα 3.32 και 3.33 παρουσιάζονται οι μηνιαίες χρονοσειρές των μέσων μηνιαίων και ελαχίστων μηνιαίων τιμών αντίστοιχα.



Σχήμα 3.30: Ημερήσια χρονοσειρά παροχών σε  $m^3/s$  λεκάνης Imera Meridionale



Σχήμα 3.31: Καμπύλη διάρκειας παροχής λεκάνης Imera Meridionale

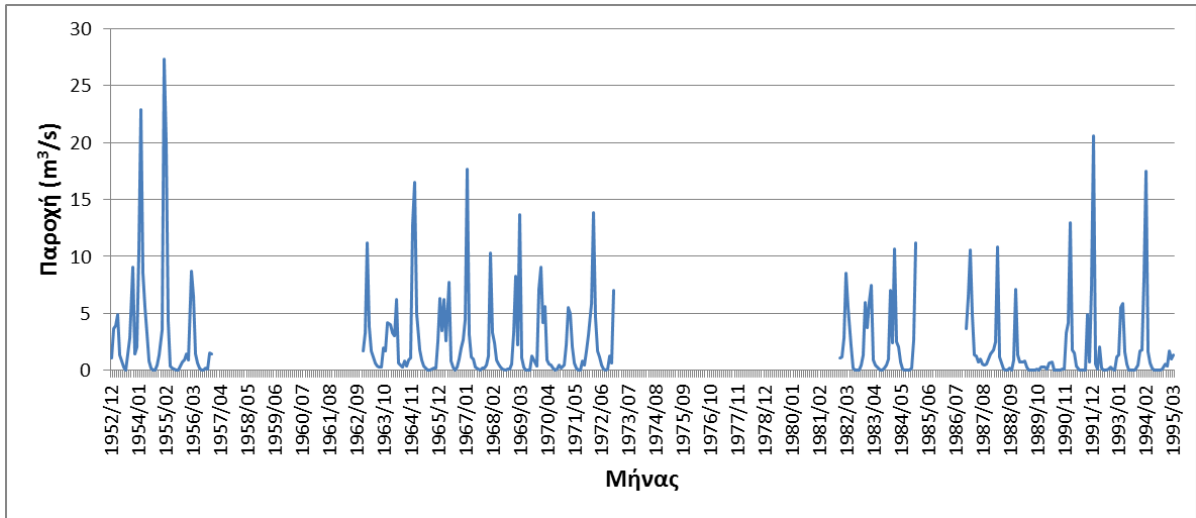


Πίνακας 3.12: Στατιστικά χαρακτηριστικά μέσων μηνιαίων τιμών λεκάνης Imera Meridionale

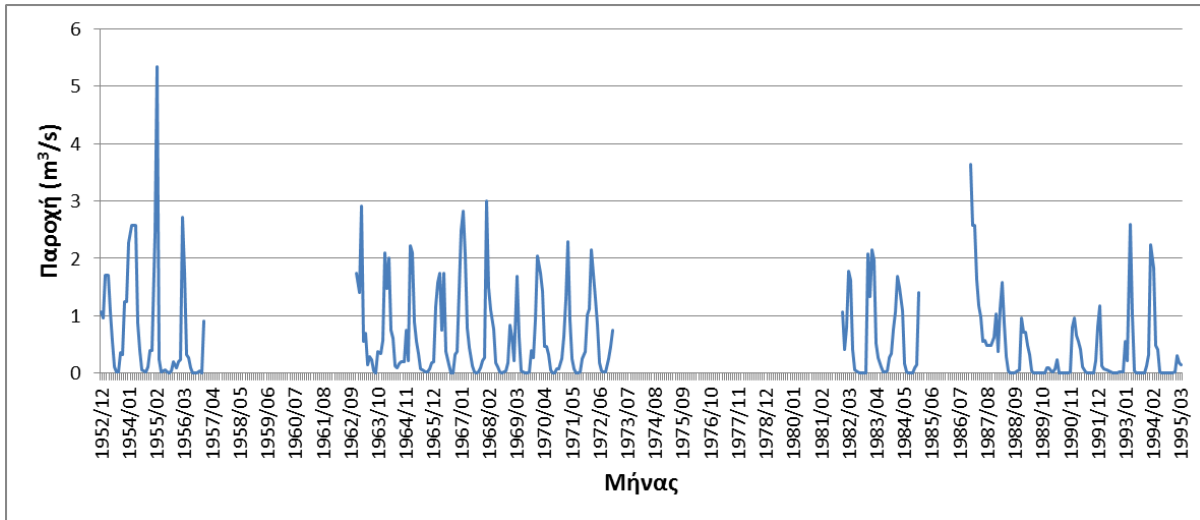
Χαρακτηριστικά μεγέθη μέσων μηνιαίων τιμών												
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
<b>mean</b>	6.16	7.46	4.65	1.97	0.89	0.23	0.1	0.13	0.3	1.07	1.24	3.23
<b>stdev</b>	6.17	6.79	4.57	2.01	1.39	0.24	0.19	0.3	0.55	1.96	2.15	3
<b>Var Coeff</b>	1	0.91	0.98	1.02	1.56	1.06	1.88	2.27	1.82	1.84	1.73	0.93
<b>#values</b>	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	28
<b>#missvalues</b>	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	23
<b>MAX</b>	27.34	22.91	22.82	9.47	7.76	0.82	1	1.43	2.9	9.03	12.6	12.75
<b>MIN</b>	0.31	0.23	0.1	0.18	0.06	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0.16

Πίνακας 3.13: Στατιστικά χαρακτηριστικά ελαχίστων μηνιαίων τιμών λεκάνης Imera Meridionale

Χαρακτηριστικά μεγέθη ελαχίστων μηνιαίων τιμών												
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
<b>mean</b>	1.24	1.69	1.34	0.67	0.31	0.11	0.05	0.03	0.04	0.12	0.39	0.56
<b>stdev</b>	1.06	1.65	1.15	0.55	0.36	0.13	0.11	0.09	0.1	0.14	1.02	0.51
<b>Var Coeff</b>	0.85	0.97	0.86	0.82	1.17	1.25	2.24	2.85	2.43	1.15	2.59	0.9
<b>#values</b>	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	28
<b>#missvalues</b>	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	23
<b>MAX</b>	4.67	8.28	5.81	2.58	1.74	0.55	0.57	0.48	0.48	0.48	5.87	2.08
<b>MIN</b>	0.09	0.04	0.03	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0.02



Σχήμα 3.32: Χρονοσειρά μέσων μηνιαίων τιμών παροχής λεκάνης Imera Meridionale



Σχήμα 3.33: Χρονοσειρά ελαχίστων μηνιαίων τιμών παροχής λεκάνης Imera Meridionale

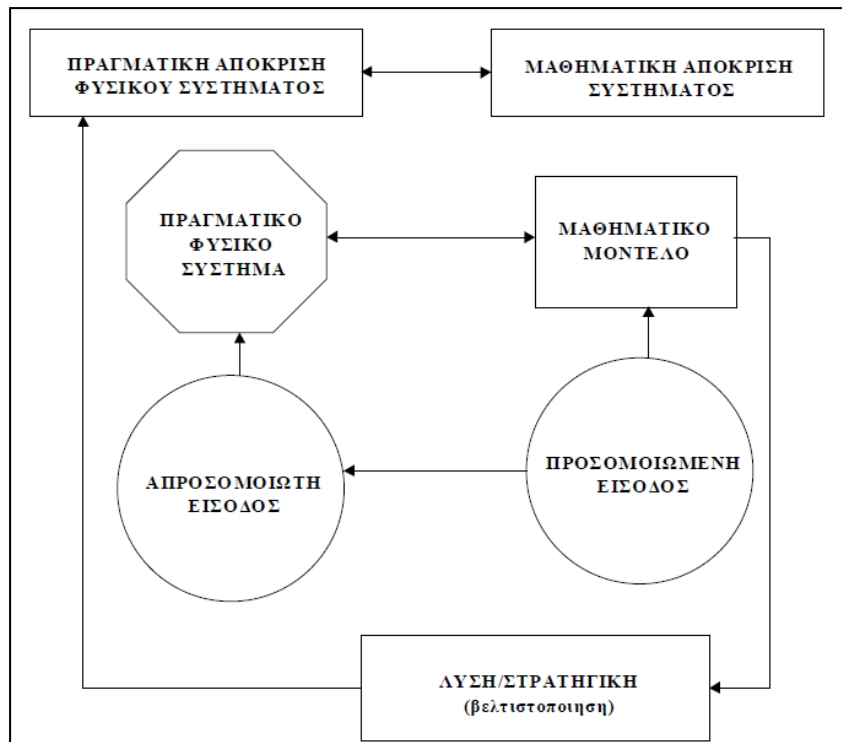
## 4 Θεωρητικό υπόβαθρο

---

### 4.1 Βασικές έννοιες μοντελοποίησης

Ως μοντέλο ενός συστήματος ορίζεται ένα σύνολο εξισώσεων που αναπαριστά και περιγράφει το σύστημα. Το σύστημα των εξισώσεων περιγράφει τις διάφορες όψεις του προβλήματος, προσδιορίζει τις συναρτησιακές σχέσεις ανάμεσα στα στοιχεία του συστήματος και του περιβάλλοντος του, και κατ' αυτόν τον τρόπο, προσφέρει μια ποιοτική και ποσοτική αποτύπωση του προβλήματος, ενώ συγχρόνως υποδεικνύει ποια στοιχεία πρέπει να συλλεχθούν για την ποσοτικοποίηση του προβλήματος.

Στο Σχήμα 4.1 αναπαριστάται η διαδικασία της προσομοίωσης και βελτιστοποίησης ενός φυσικού συστήματος. Το πραγματικό σύστημα προσομοιώνεται με ένα μαθηματικό μοντέλο. Η ίδια είσοδος (input) πραγματικού συστήματος και μαθηματικού μοντέλου οδηγεί σε δύο διαφορετικές αποκρίσεις (system output, model output). Αν οι δυο αποκρίσεις είναι ταυτόσημες, τότε το μοντέλο που προσομοιώνει το σύστημα είναι αξιόπιστο και μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν τέλειο. Συνήθως, οι δύο αποκρίσεις δεν είναι ταυτόσημες, και έτσι προκύπτει ένα σφάλμα. Σκοπός μιας μαθηματικής ανάλυσης είναι η κατάστρωση ενός μοντέλου που ελαχιστοποιεί το σφάλμα αυτό. Η σχέση των δυο αποκρίσεων εκφράζει την καταλληλότητα και την αξιοπιστία (validity) του μοντέλου (Μποναζούντας, 2001). Το Σχήμα 4.1 αναπαριστά επίσης τις στρατηγικές επίλυσης ή τις τεχνικές βελτιστοποίησης και προσομοίωσης του μαθηματικού μοντέλου. Βέλτιστη θεωρείται η απόφαση που τελικά θα εφαρμοστεί για το φυσικό σύστημα (Μποναζούντας, 2001).



Σχήμα 4.1: Προσομοίωση και βελτιστοποίηση συστήματος (Πηγή: Μπωναζούντας, 2001)

Ο όρος υδρολογικό μοντέλο αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών που χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τους φυσικούς μηχανισμούς, με στόχο την ποσοτική εκτίμηση υδρολογικών μεταβλητών που είναι πρακτικά αδύνατο να μετρηθούν στο πεδίο. Τα μοντέλα αυτά περιγράφουν μεμονωμένα γεγονότα, όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημμύρας όπου, η αναπαράσταση του γεγονότος γίνεται μέσω εμπειρικών, συνήθως, προσεγγίσεων (π.χ. ορθολογική μέθοδος, μοναδιαίο υδρογράφημα), στις οποίες αγνοούνται οι διεργασίες του υδρολογικού κύκλου που δεν ενδιαφέρουν στη μελέτη, όπως η εξάτμιση και η διήθηση. Ακόμη περιγράφουν τη διαχρονική εξέλιξη του ισοζυγίου των υδατικών πόρων μιας πεπερασμένης χωρικής ενότητας (π.χ. μιας λεκάνης απορροής), όπου η διαδικασία διέπεται, εν μέρει από κάποιο φυσικό υπόβαθρο και χρησιμοποιούνται εργαλεία προσομοίωσης, μέσω των οποίων αναπαρίστανται υπόψη οι κύριες, τουλάχιστον, διεργασίες που επηρεάζουν τον κύκλο του νερού (Ευστρατιάδης, 2009).

Η υδρολογική μοντελοποίηση στοχεύει στην κατανόηση και την ερμηνεία της συμπεριφοράς της υπό μελέτη υδρολογικής λεκάνης απορροής. Επίσης, χρησιμοποιείται για να αντιμετωπίσει μια σειρά από πρακτικά ζητήματα, από την εκτίμηση πλημμυρών, μέχρι τη διαχείριση υδατικών πόρων και την πρόβλεψη χαμηλών ροών. Όποια και αν είναι το μοντέλο που πρόκειται να εφαρμοστεί ο χρήστης χρειάζεται κατάλληλους και ουσιαστικούς δείκτες για να ενημερωθεί σχετικά με την πραγματική ικανότητα του μοντέλου (Pushpalatha, 2013).

Ωστόσο, η αξιολόγηση της καλής προσαρμογής ενός μοντέλου δεν είναι τόσο απλή όσο μπορεί να φαίνεται με την πρώτη ματιά. Φυσικά, η απόδοση ενός μοντέλου μπορεί πρώτα να αξιολογηθεί από την οπτική σύγκριση των παρατημένων και προσομοιωμένων υδρογραφημάτων απορροής, αλλά αυτό εξακολουθεί να είναι εξαιρετικά εξαρτώμενο από την εμπειρία αξιολογητή (Chiew & McMahon, 1993). Ένας πιο αντικειμενικός τρόπος για να αξιολογήσει κανείς την απόδοση του μοντέλου είναι να

χρησιμοποιήσει αριθμητικά κριτήρια, αλλά στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να αντιμετωπίσει δυσκολίες στα πιθανά κριτήρια. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι που επεξηγούν γιατί η επιλογή αυτή είναι ιδιαίτερα δύσκολη (Pushpalatha, 2013):

- Οι απορροές διαφέρουν από αρκετές τάξεις μεγέθους που μπορεί να μην είναι εξίσου χρήσιμο για τον δημιουργό του μοντέλου
- Τα υδρολογικά μοντέλα παράγουν συχνά ετεροσκεδαστικά (heteroscedastic) λάθη, δηλαδή η διακύμανσή τους δεν είναι ανεξάρτητη από την τιμή της απορροής
- Το εύρος των παρατηρημένων απορροών μπορεί να διαφέρει σημαντικά μεταξύ των περιόδων αξιολόγησης
- Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές, οι οποίες μπορεί να απαιτούν συγκεκριμένα κριτήρια

Για τους λόγους αυτούς, έχει προταθεί και χρησιμοποιηθεί με τα χρόνια μια μεγάλη ποικιλία των κριτηρίων υδρολογικών μοντέλων, όπως φαίνεται για παράδειγμα από τους καταλόγους κριτηρίων που δίνεται από τους ASCE (1993), Dawson (2007), Moriasi (2007) και Reusser (2009). Μεταξύ αυτών των κριτηρίων, μερικά είναι απόλυτα, όπως το ευρέως χρησιμοποιούμενο μέσο τετραγωνικό σφάλμα, ενώ άλλα είναι σχετικά (κανονικοποιημένα), όπως το κριτήριο αποτελεσματικότητας (NSE) των Nash & Sutcliffe (1970). Στην τελευταία περίπτωση, τα σφάλματα του μοντέλου συγκρίνονται με τα σφάλματα αναφοράς. Αυτό παρέχει μια χρήσιμη ποσοτικοποίηση επιδόσεων του μοντέλου που δείχνει σε ποιο βαθμό το μοντέλο είναι καλύτερο (ή χειρότερο) σε σχέση με το μοντέλο αναφοράς (Pushpalatha, 2013). Επίσης, διευκολύνει τη σύγκριση των επιδόσεων μεταξύ μοντέλων διαφορετικών λεκανών απορροής. Ωστόσο, η επιλογή μιας αναφοράς είναι δύσκολη: διαφορετικά σημεία αναφοράς είναι περισσότερο ή λιγότερο απαιτητικά, ανάλογα με τον τύπο του υδρολογικού καθεστώτος ή τον τύπο της εφαρμογής του μοντέλου. Αυτό μερικές φορές καθιστά δύσκολη τη ερμηνεία των σχετικών κριτηρίων για έναν άπειρο χρήστη, ο οποίος μπορεί απλά να θέλει να γνωρίζει αν το μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ως «καλό», «αποδεκτό» ή «κακό». Για τους παραπάνω λόγους, η χρήση κανονικοποιημένων κριτηρίων σφάλματος βρήκε εκτεταμένη εφαρμογή στην έρευνα αλλά και την εκπαίδευση μηχανικών (Ναλμπάντης, 2007).

Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει ένα ενιαίο κριτήριο που μπορεί να αξιολογήσει τις επιδόσεις μοντέλο σε όλες τις περιπτώσεις (Jain & Sudheer, 2008). Πολλοί χρησιμοποιούν ταυτόχρονα διάφορα κριτήρια, στο πλαίσιο των πολλαπλών στόχων βαθμονόμησης (π.χ. Efstratiadis & Koutsoyiannis, 2010). Ωστόσο, οι προσεγγίσεις αυτές δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής της παρούσας μελέτης.

## 4.2 Καμπύλη διάρκειας ροής

Η καμπύλη διάρκειας ροής (flow duration curve, FDC) είναι ένα διάγραμμα της απορροής του ποταμού συναρτήσει της συχνότητας υπέρβασης και συνήθως προέρχεται από μια πλήρη χρονοσειρά των παρατηρημένων ροών του ποταμού. Δεδομένου ότι η σύνταξη ενός τέτοιου διαγράμματος είναι αρκετά εύκολη, η καμπύλη διάρκειας χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές της διαχείρισης υδατικών πόρων σε ολόκληρο το εύρος ροής του ποταμού. Η κατασκευή του διαγράμματος βασίζεται στην κατάταξη των δεδομένων (συνήθως ημερήσιων μετρήσεων) και τον υπολογισμό της συχνότητας υπέρβασης για κάθε τιμή. Έτσι, αναδιοργανώνει αποτελεσματικά το υδρογράφημα από μια σειρά με βάση το χρόνο σε μια σειρά κατά μέγεθος. Το ποσοστό του χρόνου που η απορροή έχει υπερβεί κάποια συγκεκριμένη τιμή, μπορεί να εκτιμηθεί από το διάγραμμα. Μια περιεκτική περίληψη σχετικά με την καμπύλη διάρκειας ροής δίνεται από τους Vogel & Fennessey (1995), ενώ ειδικά για τις χαμηλές ροές από τον Hisdal (2004). Τα βήματα υπολογισμών περιλαμβάνουν τα πρακάτω:

- Για κάθε έτος, γίνεται κατάταξη των μετρημένων απορροών σε φθίνουσα σειρά

- Η συχνότητα υπέρβασης δίνεται από την εξίσωση:

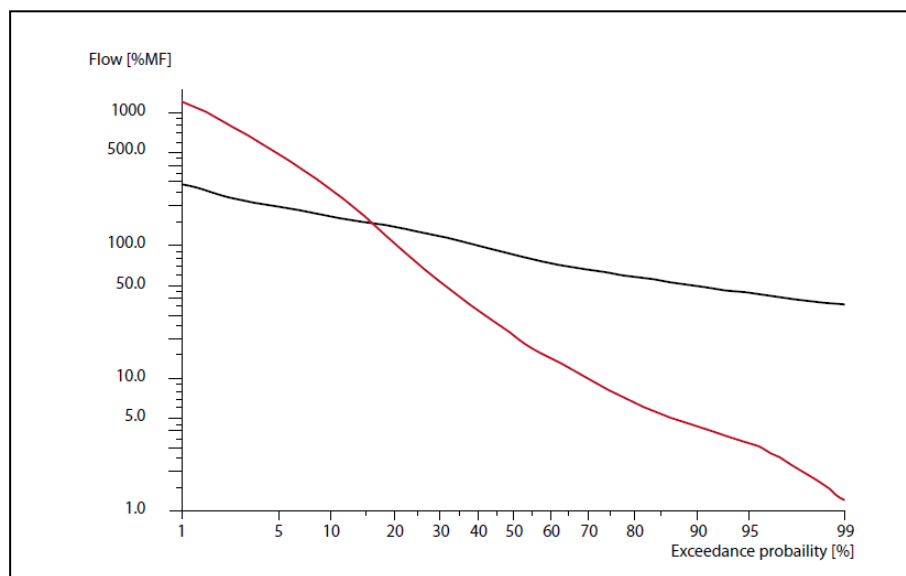
$$EF_{Qi} = i / N \quad (4.1)$$

όπου  $i$ : η τάξη των απορροών και  $N$  ο αριθμός των ημερών του εξεταζόμενου έτους.

- Το διάγραμμα FDC κατασκευάζεται με οριζόντιο άξονα την πιθανότητα υπέρβασης και κατακόρυφο τις τιμές της απορροής

Για να βελτιωθεί η αναγνωσιμότητα της καμπύλης, η απορροή συνήθως αποδίδεται σε λογαριθμική κλίμακα και σε ορισμένες χώρες χρησιμοποιείται μια κανονική κλίμακα πιθανοτήτων για τον άξονα οριζόντιας συχνότητας. Εάν το λογάριθμο-κανονικό χαρτί δεν είναι διαθέσιμο, είναι εφικτό να δημιουργηθεί η καμπύλη να γίνει μετατροπή της πιθανότητας υπέρβασης χρησιμοποιώντας τη λειτουργία της τυπικής κανονικής κατανομής πιθανότητας (WMO, 2008).

Η καμπύλη διάρκειας ροής χρησιμοποιείται συχνά για να συγκρίνει το καθεστώς διαφορετικών λεκανών και αυτό γίνεται πιο εύκολο από την τυποποίηση της απορροής από το δείκτη του μέσου όρου ή της διάμεσης ροής, ή ως ροή ανά μονάδα επιφάνειας. Για παράδειγμα, το Σχήμα 4.2 δείχνει τις καμπύλες διάρκειας ροής σε δύο ποτάμια με διαφορετικό υδρολογικό καθεστώς, με την απορροή στον κάθετο άξονα να εκφράζεται ως ποσοστό της μέσης τιμής της ροής. Το σχήμα του FDC αντανακλά το συνδυασμένο αποτέλεσμα των φυσιογραφικών και κλιματολογικών επιρροών στη ροή του ποταμού, στην απόκριση της λεκάνης απορροής (WMO, 2008). Μια χρονοσειρά με χαμηλή μεταβλητότητα αντανακλάται ως μια επίπεδη καμπύλη, χαρακτηριστικό της ροής σε περατά εδάφη (Σχήμα 4.2), ή με μια ισχυρή κανονιστική επίδραση που σχετίζεται με την αποθηκευτικότητα της λεκάνης.

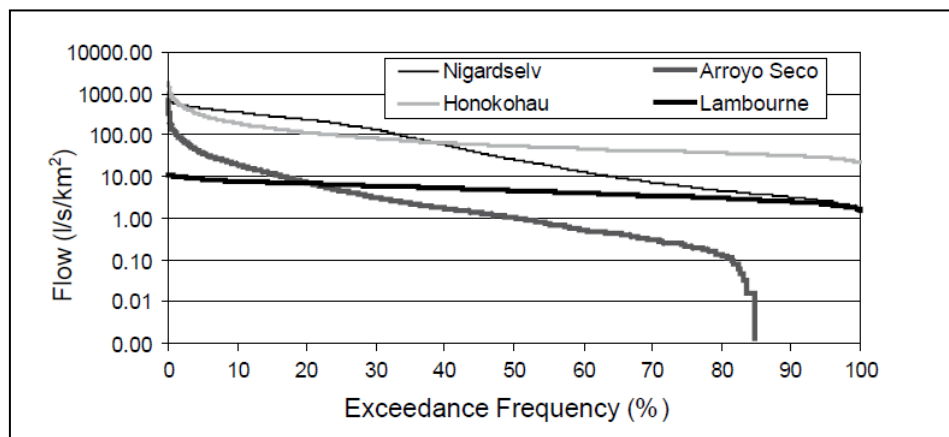


Σχήμα 4.2: Καμπύλες διάρκειας ροής για δύο διαφορετικά καθεστώτα ροής (Πηγή: WHS HydroTools)

Το Σχήμα 4.3 δείχνει παραδείγματα καμπυλών διάρκειας (FDC) από ποταμούς διαφορετικών κλιματικών περιοχών. Ο ποταμός Honokohau στο Maui (Χαβάη) ανήκει στις τροπικές περιοχές με θερμό και υγρό κλίμα όπου κυριαρχούν οι βροχοπτώσεις και δεν υπάρχει διακριτή ξηρή περίοδος. Η FDC δείχνει ότι αυτό το ποτάμι που έχει ολόκληρο το χρόνο νερό, έχει μεγάλη μεταβλητότητα στις ποτάμιες ροές και υψηλές τιμές χαμηλής ροής. Για το εύκρατο καλοκαίρι στα ξηρά κλίματα, για παράδειγμα, το Arroyo Seco (Soledad) στην Καλιφόρνια, η βροχόπτωση παρουσιάζει σημαντική ημερολογιακή μεταβλητότητα, και σε μερικά χρόνια το ποτάμι μπορεί να στερέψει για αρκετούς

μήνες. Αυτό αντανακλάται στην απότομη καμπύλη διάρκειας ροής που δείχνει ότι περίπου το 15% του συνόλου των ημερών έχουν μηδενική ροή. Ο ποταμός Lambourn, στο Shaw, στο Ηνωμένο Βασίλειο, βρίσκεται σε ένα εύκρατο κλίμα χωρίς διακριτή ξηρή περίοδο. Παρά το γεγονός ότι παρατηρείται πολύ χαμηλή βροχόπτωση το καλοκαίρι λόγω των υψηλών απωλειών από εξάτμιση, η FDC δείχνει ότι υπάρχει μικρή μεταβλητότητα στην παροχή του ποταμού. Αυτό συμβαίνει επειδή το καλοκαίρι οι χαμηλές ροές που υποστηρίζονται από την εκροή από έναν μεγάλο υδροφόρο ορίζοντα διατηρώντας τη βασική ροή (WMO, 2008).

Ο ποταμός Nigardselv (Nigardsbrevatn) στη Νορβηγία έχει ένα ψυχρό κλίμα με καμία διακριτή ξηρή περίοδο. Η λεκάνη απορροής καλύπτεται κατά 75% με παγετώνες και, μετά από το λιώσιμο του χιονιού παρατηρούνται πλημμύρες στις αρχές του καλοκαιριού και νερό από την τήξη του παγετώνα συμβάλλει σημαντικά στις τελευταίες καλοκαιρινές ροές. Η FDC είναι απότομη, που αντικατοπτρίζει τη μεταβλητότητα υψηλής ροής με υψηλές πλημμύρες λόγω των πάγων που λιώνουν, και χαμηλές ροές το χειμώνα, όταν τα κατακρημνίσματα αποθηκεύονται ως χιόνι και πάγος (WMO, 2008).



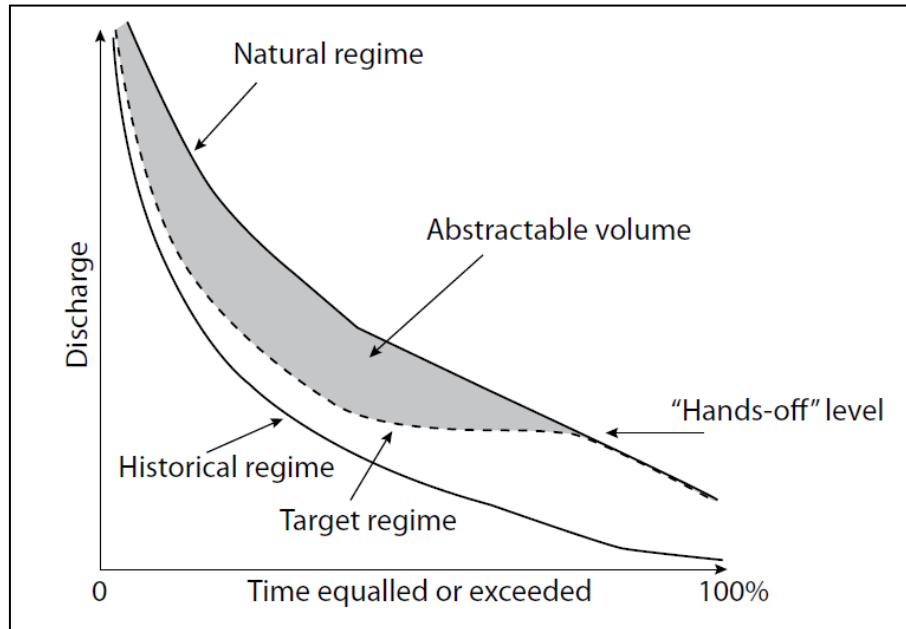
Σχήμα 4.3: Καμπύλες διάρκειας ροής σε διαφορετικούς ποταμούς (Πηγή: WMO, 2008)

Οι καμπύλες διάρκειας συνήθως προέρχονται από το συνολικό δείγμα παροχών, αλλά αυτό δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ετήσια και εποχιακή μεταβλητότητα της απορροής ή την αβεβαιότητα στην εκτίμηση της FDC από το συγκεκριμένο μήκος της χρονοσειράς των δεδομένων. Οι Vogel και Fennessey (1994) πρότειναν την κατασκευή ξεχωριστής καμπύλης διάρκειας ροής για κάθε έτος και μετά τον υπολογισμό της μέσης ροής με κάθε πιθανότητα υπέρβασης. Το αποτέλεσμα είναι η καμπύλη να επηρεάζεται λιγότερο από την περίοδο των δεδομένων. Με βάση τις ετήσιες FDCs, είναι επίσης δυνατό να κατασκευαστούν διαστήματα εμπιστοσύνης και να αξιολογηθεί η αβεβαιότητα των εκτιμώμενων μέσων FDC. Η καμπύλη διάρκειας ροής μπορεί να προσδιοριστεί για συγκεκριμένες περιόδους (που ορίζεται από μέρες, μήνες ή μια ομάδα των μηνών) του έτους. Για παράδειγμα, για άρδευση, η καλλιεργητική περίοδος για ένα συγκεκριμένο είδος καλλιέργειας μπορεί να καθορίσει την καταλληλότερη περίοδο για την ανάλυση (WMO, 2008).

Η καμπύλη διάρκειας ροής αποτελεί βασικό εργαλείο για την αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων. Η διαχείριση των απολήψεων συνήθως απαιτεί την εκτίμηση της FDC από μετρημένα δεδομένα ή, σε μη μετρούμενες περιοχές, από στατιστικές προσεγγίσεις ή μοντέλα προσομοίωσης που λαμβάνουν υπόψη το φυσικό καθεστώς ροής, καθώς και τον αντίκτυπο των αντλήσεων και των εκροών που επιστρέφουν στο ποτάμι.

Ο καθορισμός των FDC (Σχήμα 4.4) επιτρέπει στην αντίστοιχη ρυθμιστική αρχή να εκτιμήσει τον λεγόμενο "απολήψιμο όγκο" και τη "ροή hands-off", με στόχο τη διατήρηση της περιβαλλοντικής κατάστασης του ποταμού σε αποδεκτά επίπεδα. Ο απολήψιμος όγκος είναι ο μέγιστος όγκος νερού

που μπορεί να αντληθεί από το ποτάμι χωρίς να οδηγεί σε μια υποβάθμιση στην οικολογία ή αρνητικές επιπτώσεις στους μεταγενέστερους χρήστες νερού. Η ροή hands-off είναι η απορροή κατά την οποία πρέπει να σταματήσει η απόληψη. Για παράδειγμα, στην Αγγλία και την Ουαλία, η διαχείριση των απολήψεων είναι νομικά δεσμευτική και ελέγχεται μέσω μιας άδειας για αφαίρεση νερού, η οποία περιορίζει την συνολική ποσότητα νερού που μπορεί να αποληφθεί, το μέγιστο ποσοστό και το χρονικό πλαίσιο (συνήθως εποχής).



Σχήμα 4.4: Άντληση νερού με βάση την καμπύλη διάρκειας ροής (Πηγή: WMO, 2008)

### 4.3 Δείκτες χαμηλής ροής

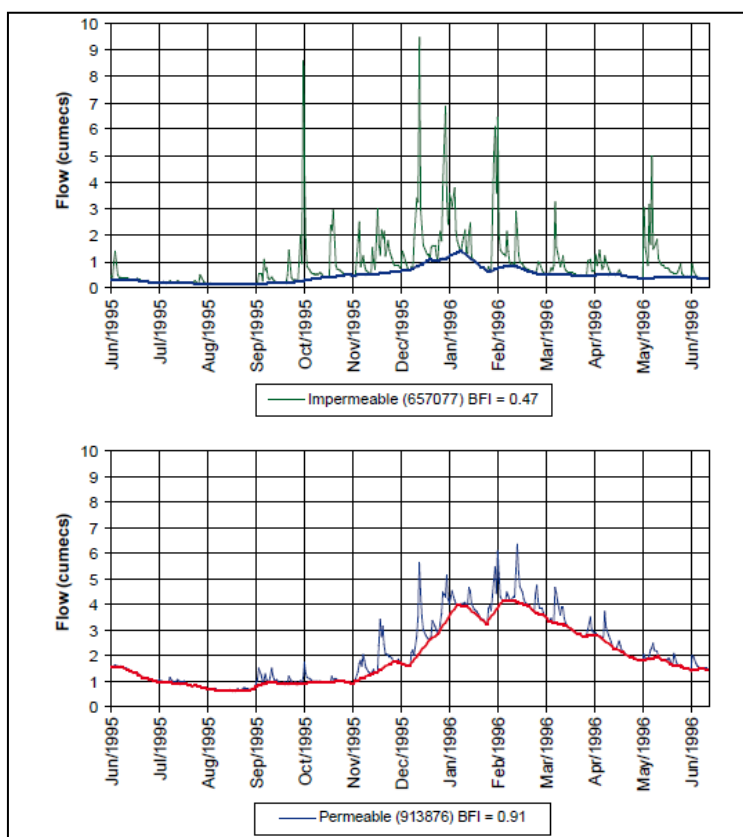
Υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί τρόποι για την ανάλυση των χρονοσειρών των ημερήσιων απορροών για την εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων για την περιγραφή του καθεστώτος χαμηλών ροών. Οι διαφορετικές μέθοδοι είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών ορισμών για τη χαμηλή ροή, των διαφορετικών μεθόδων έκφρασης της έννοιας της συχνότητας, διαφορετικές χρονικές διάρκειες κατά μέσο όρο. Πολλές εφαρμογές απαιτούν πληροφορίες πάνω από ένα σύνολο της περιόδου αναφοράς, όπως επτά ή τριάντα ημέρες.

Οι τεχνικές διαχωρισμού του υδρογραφήματος διαιρούν γενικά την συνολική απορροή σε μια γρήγορη συνιστώσα και μια βραδεία ή καθυστερημένη συνιστώσα. Η καθυστερημένη συνιστώσα της ροής, συνήθως αναφέρεται ως βασική ροή  $Q_b$  και αντιπροσωπεύει το ποσοστό της ροής που προέρχεται από αποθήκευση στο έδαφος. Ένας υψηλός δείκτης της βασικής ροής θα σήμαινε ότι η λεκάνη απορροής είναι σε θέση να διατηρήσει τη ροή του ποταμού κατά τη διάρκεια παρατεταμένων ξηρών περιόδων. Ο δείκτης βασικής ροής (BFI) παρουσιάζεται παρακάτω και μια επισκόπηση των εναλλακτικών διαδικασιών αυτοματοποιημένου διαχωρισμού μπορεί να βρεθεί στους Nathan & McMahon (1990).

Ο δείκτης BFI είναι ο λόγος της βασικής ροής προς την συνολική ροή και υπολογίζεται από μια διαδικασία διαχωρισμού υδρογραφήματος (WMO, 2008). Αρχικά, είχε αναπτυχθεί σε μια μελέτη χαμηλής ροής στο Ηνωμένο Βασίλειο (Gustard, 1992) για τον χαρακτηρισμό της υδρολογικής απόκρισης των εδαφών της λεκάνης απορροής. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 0,15 έως 0,2 για μια αδιαπέραστη λεκάνη, έως πάνω από 0,95 για λεκάνες απορροής με υψηλή αποθηκευτικότητα και ένα σταθερό καθεστώς ροής. Αξίζει να σημειωθεί, ότι ο δείκτης πρέπει να ερμηνεύονται με προσοχή .



Για παράδειγμα, αυτός είναι ιδιαίτερος τροποποιημένος κατάντη των λιμνών και ταμιευτήρων. Σε τροπικά κλίματα, ο δείκτης επηρεάζεται από το εποχιακό κλιματικό καθεστώς και υψηλές τιμές του δείκτη μπορεί να παρατηρηθούν στα κατάντη των παγετώνων. Παραδείγματα διαχωρισμού της βασικής ροής για δύο λεκάνες για το Ηνωμένο Βασίλειο παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5: Διαχωρισμός βασικής ροής για μια αδιαπέραστη (επάνω διάγραμμα) και μια διαπερατή (κάτω διάγραμμα) λεκάνη στο Ηνωμένο Βασίλειο (Πηγή: WMO, 2008)

## 4.4 Δείκτες χαμηλής ροής

### 4.4.1 Δείκτης $Q_{95}$

Αποτελεί έναν από τους πιο κοινούς δείκτες χαμηλής ροής που χρησιμοποιείται επιχειρησιακά, και ορίζεται ως την υπέρβαση της ροής για 95% του χρόνου. Μπορεί να προσδιορισθεί κατατάσσοντας τις ημερήσιες απορροές και βρίσκοντας αυτές με συχνότητα υπέρβασης 95%. Ο δείκτης  $Q_{95}$  μπορεί επίσης να προέρχεται από μεμονωμένους μήνες ή ομάδα μηνών ή, γενικά, περίοδο. Άλλα ποσοστά μπορεί, παρομοίως, να εξαχθούν από την καμπύλη διάρκειας ροής και να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές.

### 4.4.2 Μέσο ετήσιο ελάχιστο: MAM (n-οστής μέρας)

Το ετήσιο ελάχιστο μπορεί να προέρχεται από ημερήσια χρονοσειρά, επιλέγοντας τη χαμηλότερη ροή κάθε χρόνο και το μέσο των υπολογισμένων ελαχίστων. Ελάχιστα διαφορετικών διαρκειών μπορούν να προσδιοριστούν με 1, 7, 10, 30 και 90 ημέρες. Το ετήσιο ελάχιστο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί μια συνάρτηση κατανομής για την εκτίμηση της συχνότητας ή περιόδου επαναφοράς των χαμηλών ροών. Σε εύκρατα κλίματα, ο δείκτης  $MAM_7$  είναι σχεδόν ταυτόσημος με τον  $Q_{95}$ .

## 4.5 Μοντέλα πρόγνωσης βασικής ροής

Η πρόγνωση της απορροής αποτελεί κεντρικό αντικείμενο της υδρολογίας. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η κατάρτιση ενός πολύ απλού υδρολογικού μοντέλου για την πρόγνωση των χαμηλών (θερινών) ροών στις υπό μελέτη λεκάνες απορροής, λαμβάνοντας υπόψη το καθεστώς ροής κατά τη λήξη της υγρής περιόδου (Απρίλιος).

Γενικά, ο κύριος στόχος της πρόβλεψης των χαμηλών ροών ενός ποταμού είναι η αξιολόγηση των συνεπειών των ροών σε συνδυασμό με την μελλοντική ζήτηση νερού, δεδομένου ενός συνόλου λεκανών απορροής, κλιματικών συνθηκών και υγρασίας, σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Ο χρονικός ορίζοντας πρόβλεψης της χαμηλής ροής είναι, γενικά, πολύ μεγαλύτερος από ότι για την πρόβλεψη των πλημμυρών, καθώς κυμαίνεται από μερικές εβδομάδες έως μερικούς μήνες. Δεδομένου ότι υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα για τις μελλοντικές μετεωρολογικές συνθήκες, χρησιμοποιούνται τόσο η αιτιοκρατική όσο και η πιθανολογική πρόβλεψη (WMO, 2008).

### 4.5.1 Περίοδος πρόγνωσης

Αν και υπάρχουν πολλοί τρόποι για την ομαδοποίηση των μεθόδων πρόγνωσης, μια χρήσιμη προσέγγιση είναι να χαρακτηριστεί η αντίστοιχη περίοδος σε βραχυπρόθεσμη, μεσοπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη. Η αποτελεσματικότητα των διαφορετικών μεθόδων και η συνάφεια των διαφόρων υδροκλιματικών μεταβλητών ποικίλλουν ανάλογα με το μήκος της περιόδου πρόγνωσης.

Ο βαθμός στον οποίο η απορροή και οι προγενέστερες συνθήκες έχουν σχέση με την πρόγνωση των μελλοντικών απορροών, διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος και τη φύση της λεκάνης απορροής. Ωστόσο, σε γενικές γραμμές, τέτοιου είδους πληροφορίες αφορούν τις βραχυπρόθεσμες προβλέψεις με διάρκεια περίπου επτά ημέρες (WMO, 2008). Οι πληροφορίες σχετικά με τις επιφανειακές θερμοκρασίες, τις υδρομετεωρολογικές παρατηρήσεις είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία μεσοπρόθεσμων προβλέψεων από τρεις έως έξι μήνες. Οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις βασίζονται κυρίως σε στατιστικά στοιχεία που προέρχονται από εκτεταμένες ιστορικές παρατηρήσεις. Είναι αναγκαίο να λαμβάνεται υπόψη ολόένα και περισσότερο η αλλαγή του κλίματος καθώς και οι τοπικές μεταβολές για τις μακροπρόθεσμες προβλέψεις.

Λόγω των διαφόρων πηγών πληροφόρησης, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές μέθοδοι βασισμένες στην ανάλυση των παροχών, οι οποίες παρέχουν μια συντηρητική πρόβλεψη των βραχυπρόθεσμων συνθηκών. Για τις μεσοπρόθεσμες προβλέψεις, είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη προγνώσεις καιρού οι οποίες, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη παλινδρόμησης ή απλές προβλέψεις συναρτήσεων-μεταφοράς (simple transfer function predictions) των μελλοντικών ροών. Η φύση και ο βαθμός πολυπλοκότητας των μοντέλων που χρησιμοποιούνται για πιο μακροπρόθεσμες προβλέψεις ποικίλλουν, γεγονός που αντικατοπτρίζει την πολυμορφία της αποτελεσματικότητας ενός μεγάλου φάσματος διαφορετικών παραγόντων διαμόρφωσης κλίματος. Το εύρος της εφαρμογής ορισμένων πηγών δεδομένων και μεθόδων εφαρμογής παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6.

Forecast period	1– 7 days	1– 4 weeks	1– 3 months	6– 18 months
	Short	Medium		Long
Predictive variates	Current streamflow			
	Antecedent hydroclimatic conditions			
	Weather forecasts			
	Synoptic scale indicators			
		Intercontinental scale indicators		Long-term climatology
Typical modelling approaches	Recession analysis			
	Regression analysis			
		Non-parametric data analyses		
		Long-term climatology		
		Global climate modelling		Paleohydrological techniques
Nature of uncertainty	Analytical and quantifiable			Speculative and scenario-based

Σχήμα 4.6: Θεωρητικό εύρος εφαρμογής των διαφόρων πτυχών της πρόβλεψης (WMO, 2008)

#### 4.5.2 Ανάλυση καμπύλης στείρευσης

Η σταδιακή εξάντληση του αποθηκευμένου νερού σε μια λεκάνη κατά τη διάρκεια περιόδων με μικρή ή καθόλου ποσότητα ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων αντανάκλαται στην μορφή της καμπύλης στείρευσης, που αποτελεί το πτωτικό σκέλος του υδρογραφήματος (Σχήμα 4.6). Η καμπύλη στείρευσης περιγράφει κατά τρόπο ολοκληρωμένο πως μεταβάλλεται, για διαφορετικές χωρητικότητες της λεκάνης, η εκροή του ποταμού. Ποτάμια με έναν αργό ρυθμό έχουν συνήθως υπόγεια ύδατα ή κυριαρχούνται συνήθως από λίμνη, ενώ ο γρήγορος ρυθμός είναι χαρακτηριστικό ποταμών που αποστραγγίζουν αδιαπέραστες λεκάνες απορροής με περιορισμένη αποθήκευση (WMO, 2008).

Η ποσοτικοποίηση της καμπύλης στείρευσης έχει αποδειχθεί χρήσιμη σε πολλούς τομείς της διαχείρισης των υδατικών πόρων, συμπεριλαμβανομένης της πρόβλεψης χαμηλής ροής και της εκτίμησης των μεταβλητών χαμηλής ροής σε μη μετρούμενες λεκάνες. Στην τελευταία περίπτωση, ο ρυθμός στείρευσης χρησιμοποιείται ως δείκτης της αποθήκευσης της απορροής.

Η αριθμητική εκτίμηση των δεικτών στείρευσης συνεπάγεται την επιλογή μιας αναλυτικής έκφρασης που να ταιριάζει με την καμπύλη, τον προσδιορισμό ενός χαρακτηριστικού στείρευσης και τη βελτιστοποίηση των σχετικών παραμέτρων. Μια συνολική περίληψη της ανάλυσης στείρευσης παρέχεται από τους Hall (1968) και Tallaksen (1995).

Κατά την κατάρτιση του μοντέλου πρόβλεψης, κρίθηκε αναγκαίο να ληφθούν τρεις εναλλακτικοί τρόποι υπολογισμού της αρχικής τιμής της απορροής ( $Q_0$ ), ώστε να επιλεγεί αυτός που εξασφαλίζει την καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα.

Οι βροχοπτώσεις διακόπτουν συχνά την περίοδο ύφεσης και μια σειρά από τμήματα ύφεσης με ποικίλα αποτελέσματα διάρκειας (Σχήμα 4.6). Τα τμήματα αυτά αντιπροσωπεύουν διαφορετικά στάδια της διαδικασίας εκροής και τα χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται επίσης από το συγκεκριμένο μοντέλο και τον υπολογισμό διαδικασίας που ακολουθήθηκε. Εποχιακές διακυμάνσεις προσθέτουν περαιτέρω στην μεταβλητότητα του ρυθμού ύφεσης. Γενικά, πιο απότομες καμπύλες εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των περιόδων με υψηλή εξατμοδιαπνοή κατά την περίοδο ανάπτυξης, με ανάλογη μείωση της βασικής ροής. Η υψηλή μεταβλητότητα έχει καταστήσει δύσκολο να βρεθεί ένας τρόπος για την επιλογή τμημάτων ύφεσης από μια συνεχή χρονοσειρά. Ως αποτέλεσμα, έχουν αναπτυχθεί διάφορες διαδικασίες για τον εντοπισμό και την παραμετροποίηση των διεργασιών ύφεσης της ροής (WMO, 2008).

## 5 Κατάρτιση μοντέλων πρόγνωσης χαμηλών ροών

---

Παρουσιάζεται η κατάρτιση των μοντέλων πρόγνωσης των χαμηλών ροών, δηλαδή των διεργασιών στείρευσης της απορροής κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου του υδρολογικού έτους. Η χρονική περίοδος που θεωρείται αντιπροσωπευτική για τη μελέτη της ξηρής περιόδου είναι το διάστημα 15 Απριλίου έως 15 Οκτωβρίου, καθώς εμφανίζεται με σαφήνεια η τάση μείωσης των παροχών και συμπίπτει με την εποχή των αρδεύσεων στον ελληνικό χώρο.

Σημειώνεται ότι αρχικά επιχειρήθηκε να δημιουργηθεί ένα μοντέλο πρόγνωσης των χαμηλών ροών της λεκάνης λαμβάνοντας κάθε υδρολογικό έτος ξεχωριστά. Σε πρώτο στάδιο, εκτιμήθηκε η παράμετρος στείρευσης των μοντέλων εφαρμόζοντας μια χωρίς περιορισμούς μη γραμμική βελτιστοποίηση. Ως κριτήρια προσαρμογής χρησιμοποιήθηκαν το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και μια τροποποιημένη εκδοχή του, με χρήση λογαρίθμων, που αποδίδει ίσο βάρος σε όλα τα δεδομένα. Κατά την συγκεκριμένη διαδικασία, δεδομένου ότι δεν απομονώνονται τα πλημμυρικά γεγονότα από τη χρονοσειρά παροχών της ξηρής περιόδου, παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν έτη που λόγω των τέτοιων γεγονότων, περιορίζεται δραστικά η αξιοπιστία του μοντέλου. Δεδομένου ότι ο στόχος είναι η πρόγνωση της βασικής απορροής της ξηρής περιόδου, εφαρμόστηκαν διάφορες προσεγγίσεις ώστε να εξομαλυνθούν οι διακυμάνσεις της απορροής και να απαλειφθεί ο θόρυβος λόγω της παρεμβολής θερινών πλημμυρικών παροχών στο δείγμα.

Αρχικά, περιγράφονται οι προκαταρκτικές επεξεργασίες, προκειμένου να εξαχθούν ορισμένα γενικά συμπεράσματα για τα διαθέσιμα δεδομένα και για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής, και στη συνέχεια, εξηγούνται το μεθοδολογικό πλαίσιο και τα αντίστοιχα υπολογιστικά βήματα.

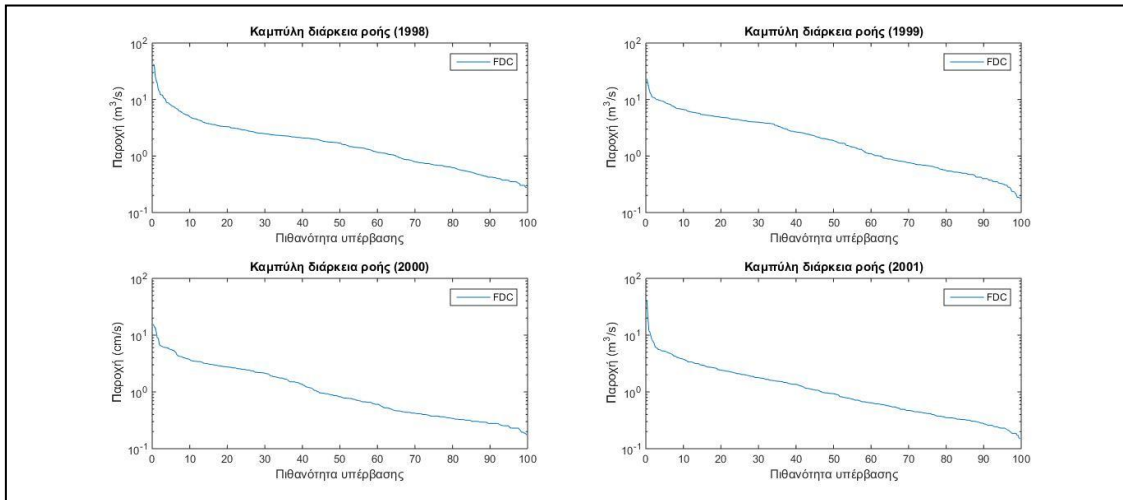
### 5.1 Προκαταρκτικές αναλύσεις

#### 5.1.1 Καμπύλες διάρκειας ροής

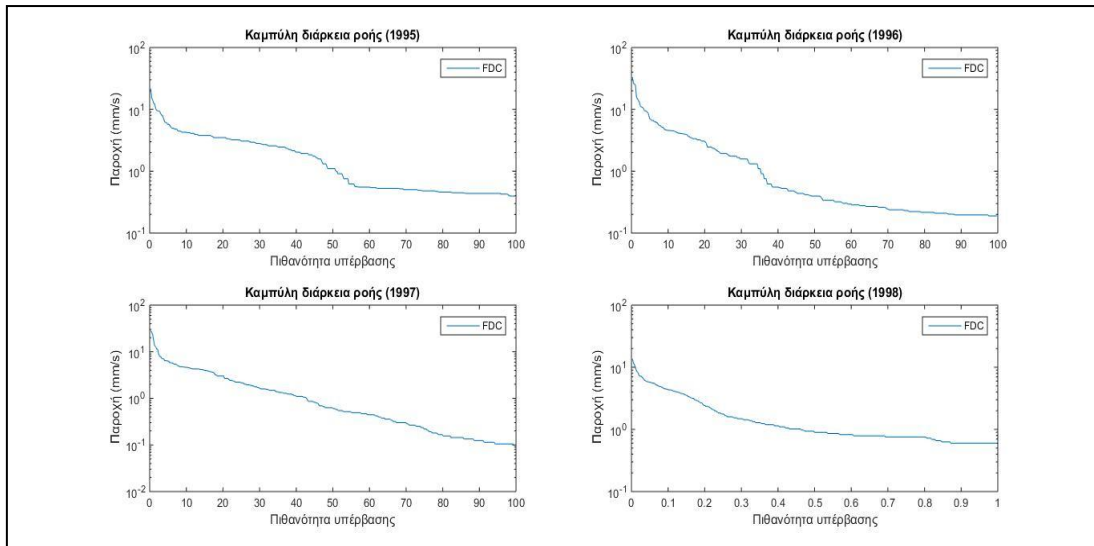
Όπως αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η καμπύλη ροής διάρκειας είναι μια αθροιστική καμπύλη συχνοτήτων που δείχνει το ποσοστό του χρόνου που οι απορροές είναι ίσες ή μεγαλύτερες από την τιμή αναφοράς, κατά τη διάρκεια μιας δεδομένης περιόδου. Εάν η περίοδος στην οποία βασίζεται η καμπύλη αντιπροσωπεύει την μακροπρόθεσμη ροή ενός ρεύματος, η καμπύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλεφθεί η κατανομή των μελλοντικών ροών για διάφορες χρήσεις νερού (παραγωγή ενέργειας, ύδρευση, περιβαλλοντικές χρήσεις).

Στα σχήματα 5.1 έως 5.5 απεικονίζονται, ενδεικτικά, οι καμπύλες διάρκειας ροής για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής, για τέσσερα διαδοχικά υδρολογικά έτη. Με βάση τις καμπύλες αυτές μπορεί να εκτιμηθεί η απορροή που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο ποσοστό του χρόνου ( $Q_{90}$ ), για το αντίστοιχο έτος. Εάν η απαιτούμενη συχνότητα δεν δίνεται ακριβώς, οι τιμές μπορεί να ληφθούν ως η τιμή του  $Q$  που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη τιμή του EFQ<sub>i</sub> (Exceedance Frequency, πιθανότητα υπέρβασης) που είναι μικρότερη ή ίση με την απαιτούμενη τιμή του EFQ<sub>i</sub>. Εναλλακτικά, αν υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ διαδοχικών τιμών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια γραμμική παρεμβολή.

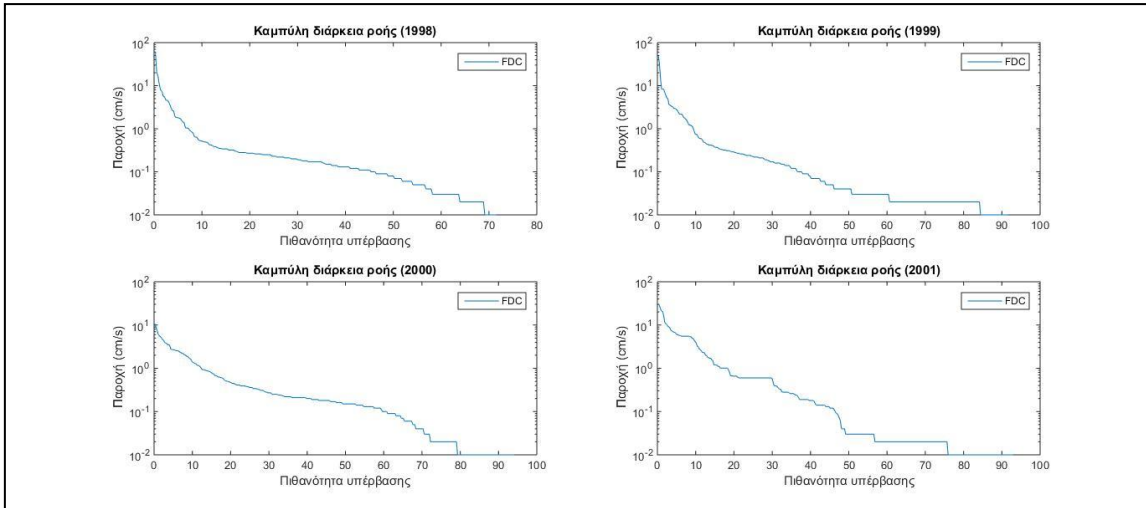
Είναι σαφές ότι η κλίση της FDC παρέχει πληροφορίες για τη συνεισφορά της βασικής ροής. Οι καμπύλες που παρουσιάζονται φαίνεται να έχουν μικρή κλίση γεγονός που υποδεικνύει λιγότερη ή περισσότερη σταθερή συνεισφορά της βασικής ροής. Στις υπό μελέτη λεκάνες απορροής, φαίνεται πως υπάρχουν περίοδοι με αρκετά χαμηλές ροές, καθώς η παροχή του ποταμού είναι πολύ μικρή. Αυτό υποδεικνύει την εμφάνιση σοβαρών φαινομένων χαμηλών ροών κατά τις ξηρές περιόδους.



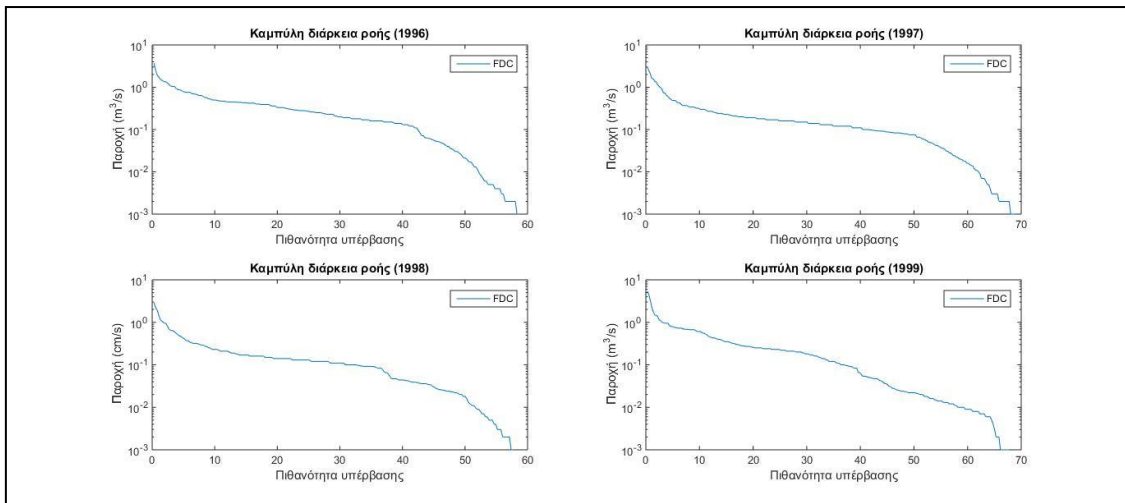
Σχήμα 5.1: Καμπύλη διάρκειας ροής για τη λεκάνη απορροής Κρεμαστών για τα έτη 1998-2001



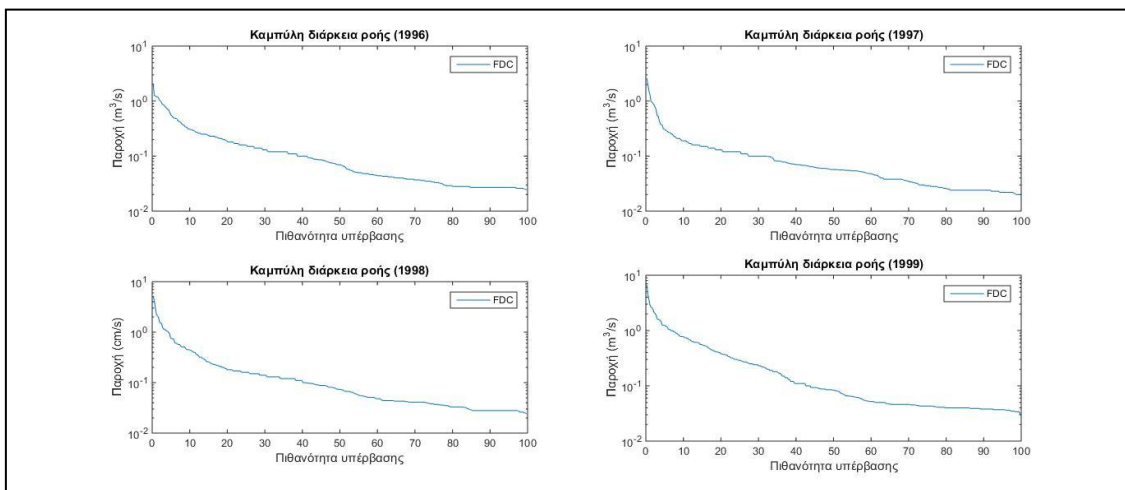
Σχήμα 5.2: Καμπύλη διάρκειας ροής για τη λεκάνη απορροής Ευήνου για τα έτη 1995-1998



Σχήμα 5.3: Καμπύλη διάρκειας ροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για τα έτη 1998-2001



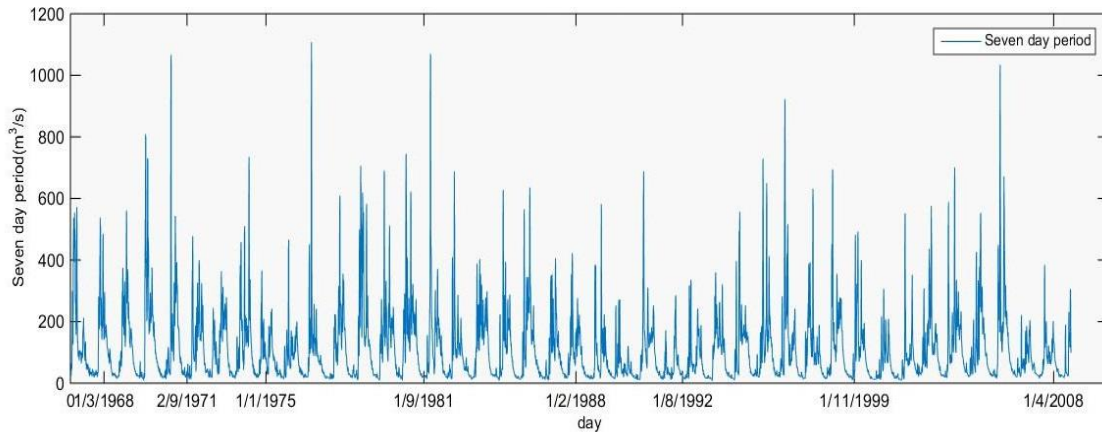
Σχήμα 5.4: Καμπύλη διάρκειας ροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνας για τα έτη 1996-1999



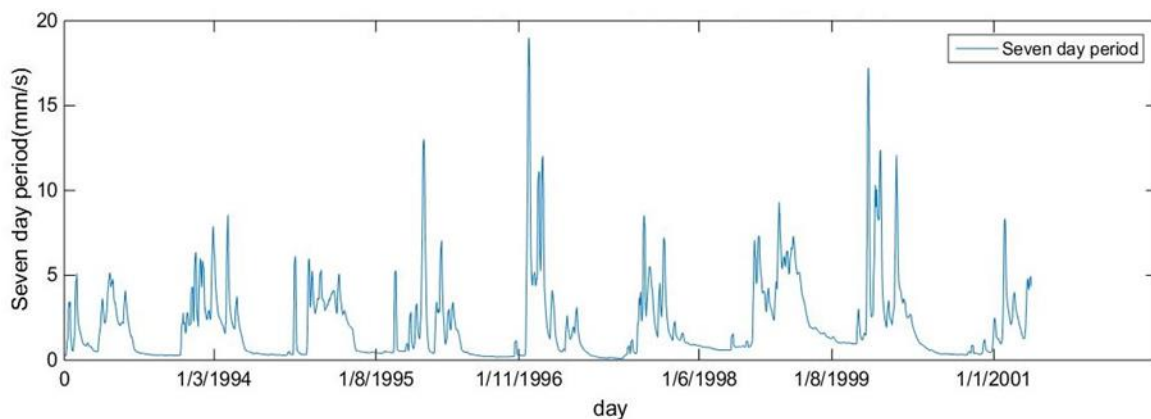
Σχήμα 5.5: Καμπύλη διάρκειας ροής για τη λεκάνη απορροής Ξερού για τα έτη 1996-1999

### 5.1.2 Καμπύλες μέσων παροχών διαφόρων χρονικών κλιμάκων

Στα σχήματα 5.6 και 5.7 παρουσιάζονται οι χρονοσειρές των μέσων παροχών των επτά ημερών για τις λεκάνες απορροής των Κρεμαστών και του Ευήνου, αντίστοιχα. Ειδικότερα, στο Σχήμα 5.8 απεικονίζονται οι κυλιόμενοι μέσοι όροι της λεκάνης απορροής του Ευήνου, για διαφορετικές χρονικές κλίμακες. Το συγκεκριμένο διάγραμμα παρέχει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την διακύμανση της παροχής στην συγκεκριμένη λεκάνη απορροής.

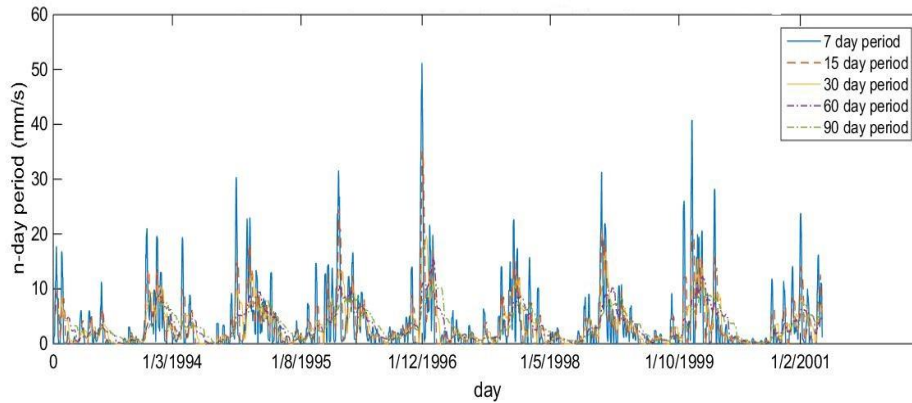


Σχήμα 5.6: Καμπύλη μέσης παροχής επτά ημερών της λεκάνης απορροής των Κρεμαστών



Σχήμα 5.7: Καμπύλη μέσης παροχής επτά ημερών της λεκάνης απορροής του Ευήνου





Σχήμα 5.8: Κυλιόμενοι μέσοι όροι για τις χρονικές κλίμακες των 7, 15, 30, 60 και 90 ημερών για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου

## 5.2 Μοντελοποίηση χαμηλών ροών

### 5.2.1 Μαθηματική έκφραση καμπυλών στείρευσης

Η καμπύλη στείρευσης διαμορφώνεται με την προσαρμογή μιας αναλυτικής έκφρασης εκτίμησης του ρυθμού μείωσης της βασικής ροής συναρτήσει του χρόνου. Ειδικότερα, η χαμηλή παροχή που οφείλεται στη βασική απορροή αναπαρίσταται ως εκροή από έναν γραμμικό ταμιευτήρα δεδομένης αρχικής αποθήκευσης και μηδενικής εισροής. Με την παραπάνω υπόθεση, ο ρυθμός ύφεσης της ροής ακολουθεί την απλή εκθετική εξίσωση:

$$Q_{est} = Q_0 * \exp(-at) \quad (5.1)$$

όπου  $Q_{est}$  είναι η πρόγνωση της απορροής τη χρονική στιγμή  $t$ ,  $Q_0$  είναι η απορροή στην αρχή της περιόδου προσομοίωσης, και  $a$  είναι παράμετρος στείρευσης. Η παραπάνω σχέση επιλύεται σε διακριτά χρονικά βήματα,  $\Delta t$ , που είναι συνήθως της τάξης των ημερών.

Σημειώνεται πως στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας θεωρήθηκε ως  $Q_0$ :

1. Η μέση τιμή παροχής των δεκαπέντε πρώτων ημερών του μήνα Απριλίου
2. Η διάμεση τιμή των δεκαπέντε πρώτων ημερών του μήνα Απριλίου
3. Η ελάχιστη τιμή των δεκαπέντε πρώτων ημερών του μήνα Απριλίου

Η χρήση διαφορετικών ορισμών της αρχικής παροχής ήταν αναγκαία προκειμένου να αποφευχθεί η υπερεκτίμηση της τιμής του  $Q_0$  λόγω της ύπαρξης πλημμυρικών παροχών στο πρώτο δεκαπενθήμερο του Απριλίου. Θεωρητικά, η πλέον συντηρητική θεώρηση είναι η ελάχιστη τιμή, που ωστόσο μπορεί να μην είναι πάντοτε αντιπροσωπευτική, αν υπάρχουν σφάλματα μετρήσεων στο δείγμα.

### 5.2.2 Εκτίμηση παραμέτρου στείρευσης

Για κάθε υδρολογικό έτος, για δεδομένη αρχική παροχή  $Q_0$ , η παράμετρος στείρευσης  $a$  εκτιμήθηκε με προσαρμογή της εξίσωσης (4.5) στο δείγμα δεδομένων της περιόδου χαμηλών ροών, διατυπώνοντας ένα πρόβλημα μη γραμμικής βελτιστοποίησης χωρίς περιορισμούς. Αρχικά, ως δείγμα αναφοράς ελήφθη η πλήρης χρονοσειρά ημερήσιων παροχών του χρονικού διαστήματος από 15/4 έως 15/10 (δηλαδή, ελήφθη συγκεκριμένο πλήθος τιμών), ενώ στη συνέχεια έγιναν τροποποιήσεις στο δείγμα αναφοράς, είτε με αποκοπή ή απομάκρυνση ορισμένων υψηλών τιμών, που προφανώς αναφέρονται σε πλημμυρικές παροχές, είτε με χρήση φίλτρων εξομάλυνσης. Οι σχετικές επεξεργασίες εξηγούνται στο επόμενο εδάφιο.

Σε όλες τις περιπτώσεις, εξετάστηκαν δύο κριτήρια προσαρμογής. Το πρώτο είναι το αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα, που αποτελεί τυπικό μέτρο καλής προσαρμογής μη γραμμικών μοντέλων, και εκτιμάται από τη σχέση:

$$\varepsilon = \sum(Q - Q_{est})^2 \quad (5.2)$$

όπου  $Q$  η παρατηρούμενη τιμή της απορροής και  $Q_{est}$  η υπολογισμένη τιμή από την σχέση 5.1.

Προκειμένου να εξασφαλιστούν τα επιθυμητά στατιστικά χαρακτηριστικά του σφάλματος που εισάγεται στη συνάρτηση προσαρμογής (Efstratiadis *et al.*, 2015), εξετάζεται μια εναλλακτική διατύπωση. Αρχικά, ορίζεται το σφάλμα μεταξύ προσομοιωμένης και παρατηρημένης απορροής ως ο παρακάτω λόγος:

$$e_t = \frac{Q_0 \exp(-at)}{Q_t} \quad (5.3)$$

Προφανώς, είναι επιθυμητό η τιμή του σφάλματος να είναι κοντά στη μονάδα. Λαμβάνοντας τους φυσικούς λογαρίθμους της χρονοσειράς σφαλμάτων  $e_t$ , δημιουργείται η μετασχηματισμένη χρονοσειρά των λογαρίθμων του σφάλματος  $w_t$ , η οποία είναι:

$$w_t = \ln(e_t) = \ln(Q_0) - at - \ln(Q_t) \quad (5.4)$$

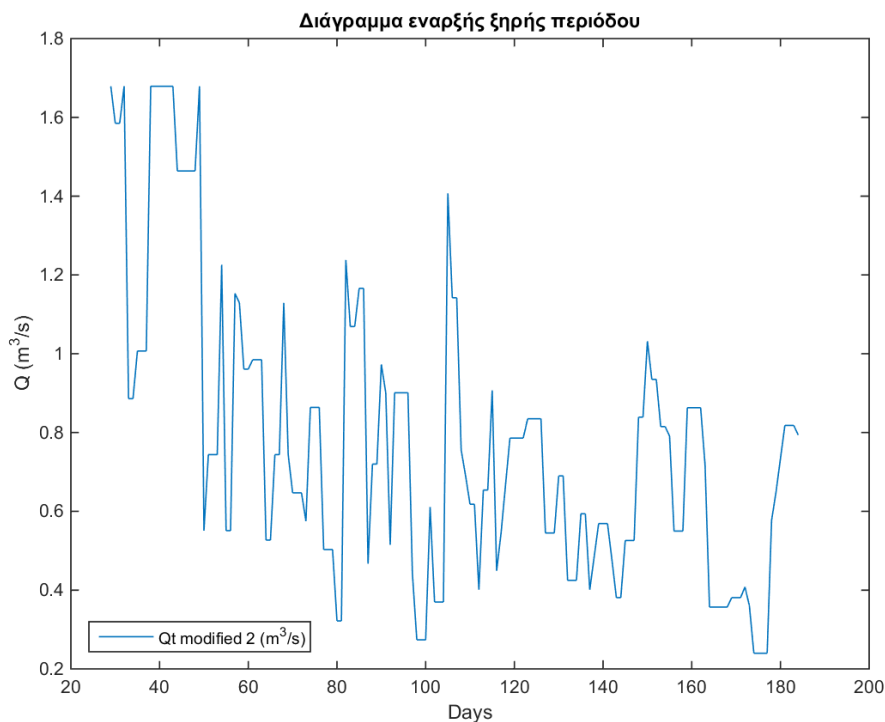
Ως μέτρο καλής προσαρμογής, λαμβάνεται το άθροισμα των μετασχηματισμένων σφαλμάτων  $w_t$ .

### 5.2.3 Υπολογισμός έναρξης της ξηρής περιόδου

Στη συνέχεια εφαρμόζονται διάφορες προσεγγίσεις για την απομάκρυνση ή εξομάλυνση των τιμών απορροής που δεν παράγονται μέσω των μηχανισμών στείρευσης, καθώς στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εστίαση στις χαμηλές τιμές απορροής και όχι στα πλημμυρικά γεγονότα.

Η πρώτη προσέγγιση αφορά στον καθορισμό της ημερομηνίας έναρξης της ξηρής περιόδου, που συμβατικά λαμβάνεται η 15<sup>η</sup> Απριλίου. Στο πλαίσιο αυτό, γίνεται σύγκριση όλων των τιμών με την αρχική τιμή  $Q_0$ , και οποιαδήποτε επόμενη τιμή την ξεπερνά εξισώνεται με την  $Q_0$ . Στην συνέχεια, οι μεγαλύτερες τιμές της απορροής αποκτούν τιμή ίση με την προηγούμενη κατά σειρά τιμή, έτσι ώστε να μην υπάρξει αλλοίωση των μετρημένων μεγεθών, όμως να μειωθούν αρκετά οι ακραίες τιμές.

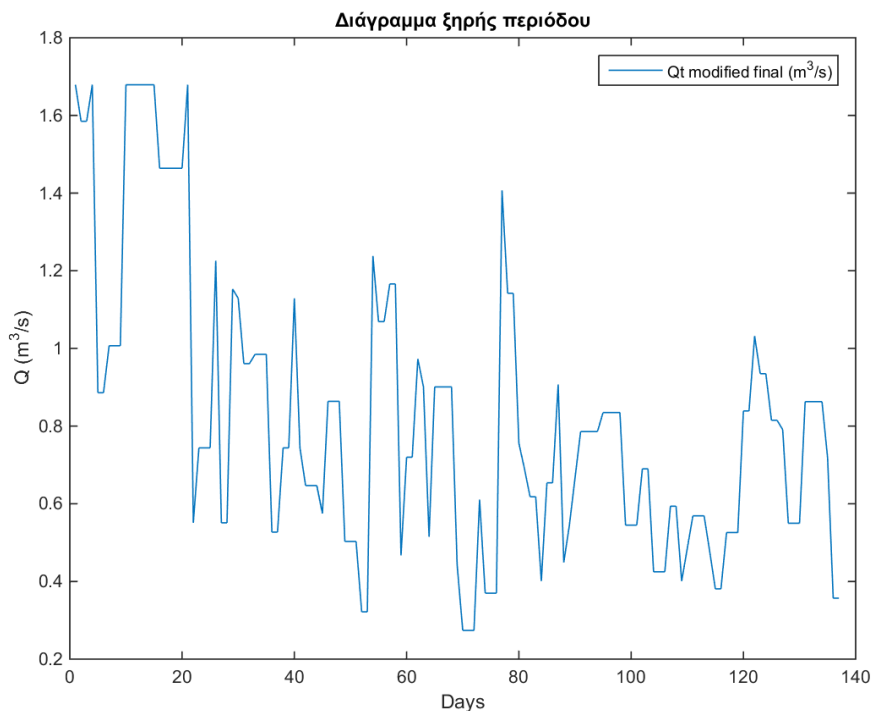
Όπως φαίνεται στο παράδειγμα του Σχήματος 5.9, με την εφαρμογή του φίλτρου αυτού, αφενός αθροίζεται η περίοδος έναρξης της στείρευσης της ροής, και αφετέρου αποκόπτονται όλες οι μεταγενέστερες τιμές απορροής που εμφανώς οφείλονται σε γεγονότα έντονης βροχόπτωσης.



Σχήμα 5.9: Διάγραμμα εξομαλυσμένης απορροής ξεκινώντας από την εκτιμημένη ημέρα έναρξης της ξηρής περιόδου για τη λεκάνη των Κρεμαστών για το έτος 1967

#### 5.2.4 Υπολογισμός λήξης ξηρής περιόδου

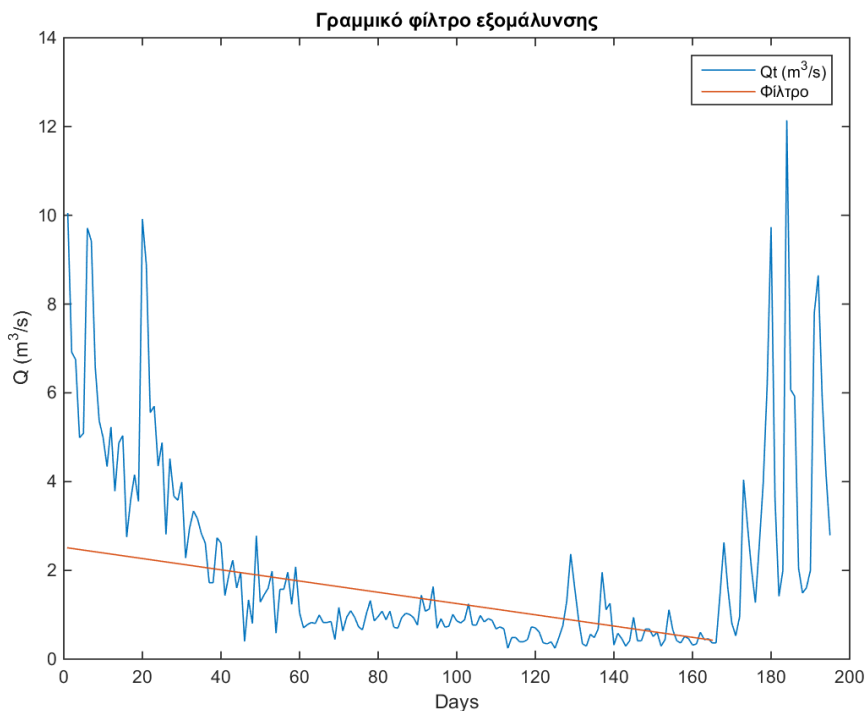
Αφού έχει καθοριστεί η ημέρα έναρξης της ξηρής περιόδου, κρίνεται αναγκαίο να προσδιοριστεί και η λήξη της, άρα και η διάρκεια ισχύος της καμπύλης στείρευσης. Για τον σκοπό αυτό, κάθε χρονική περίοδος χωρίζεται σε διαστήματα μήκους 15 ημερών και ελέγχεται αν ο μέσος όρος ημερήσιων παροχών του τελευταίου δεκαπενθημέρου είναι μεγαλύτερος από τον προηγούμενο. Με αυτόν τον τρόπο, εντοπίζεται το τελευταίο δεκαπενθήμερο της ξηρής περιόδου και, κατ' επέκταση, η λήξη της ξηρής περιόδου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα δίνεται στο Σχήμα 5.10, που απεικονίζει την χρονοσειρά απορροής των Κρεμαστών κατά την ξηρή περίοδο του έτους 1967. Εφαρμόζοντας την παραπάνω διαδικασία προκύπτει ότι η ξηρή περίοδος ολοκληρώνεται περίπου την 138<sup>η</sup> ημέρα.



Σχήμα 5.10: Διάγραμμα ξηρής περιόδου για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1967

### 5.2.5 Εφαρμογή φίλτρου γραμμικής εξομάλυνσης

Στο επόμενο στάδιο πραγματοποιείται περαιτέρω διόρθωση (εξομάλυνση) του δείγματος παροχών της ξηρής περιόδου, χρησιμοποιώντας ένα στοιχειώδες γραμμικό φίλτρο. Αρχικά, χαράσσεται η ευθεία που συνδέει την αρχική και τελική τιμή της παροχής, που αντιστοιχούν στις επαναπροσδιορισμένες ημερομηνίες έναρξης και λήξης της ξηρής περιόδου. Στη συνέχεια, απομακρύνονται όσες τιμές παροχής υπερβαίνουν την τιμή που αντιστοιχεί στην ευθεία, η οποία καθορίζει το θεωρητικό άνω όριο της παροχής στέρευσης (στην οριακή περίπτωση, η καμπύλη στέρευσης μεταπίπτει σε ευθεία). Στο Σχήμα 5.11 παρουσιάζεται ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του συγκεκριμένου φίλτρου για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.



Σχήμα 5.11: Διάγραμμα εφαρμογής γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972. Οι τιμές που υπερβαίνουν τις τιμές της ευθείας απομακρύνονται.

### 5.2.6 Εφαρμογή φίλτρου Savitzky-Golay

Το φίλτρο Savitzky-Golay είναι ένα ψηφιακό φίλτρο που εφαρμόζεται ευρέως σε τεχνικές επεξεργασίας σήματος (Orfanidis, 2010). Το φίλτρο μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα σύνολο σημείων ενός σήματος, το οποίο περιγράφει μια ακολουθία τιμών ή μετρήσεων, με σκοπό την εξομάλυνση των δεδομένων, δηλαδή, να αυξηθεί ο λόγος σήματος προς το θόρυβο (signal to noise ratio, S/N) σε μεγάλο βαθμό χωρίς να υπάρξει στρέβλωση του σήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με μια διαδικασία γνωστή ως συνέλιξη, δηλαδή την προσαρμογή διαδοχικών συνόλων γειτονικών σημείων με ένα πολυώνυμο χαμηλού βαθμού χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων. Η μέθοδος βασίζεται σε καθιερωμένες μαθηματικές διαδικασίες και έγινε γνωστή από τους Abraham Savitzky και Marcel J.E Golay, οι οποίοι δημοσίευσαν πίνακες των συντελεστών συνέλιξης για διάφορα πολυώνυμα και μεγέθη υποσυνόλων (Savitzky & Golay, 1964). Οι ερευνητές έδειξαν πως η πολυωνυμική προσαρμογή μπορεί να εφαρμοστεί όπως ένα φίλτρο κυλιόμενων μέσων όρων με βάρη, καθώς οι συντελεστές τις διαδικασίες εξομάλυνσης είναι ίδιοι για όλες τις τιμές της εξομαλυμένης σειράς. Έτσι, η εξομάλυνση με τη χρήση φίλτρων Savitzky-Golay είναι απλή σχετικά διαδικασία. Επίσης ο ίδιος αλγόριθμος μπορεί να εφαρμοστεί για την εξομάλυνση της πρώτης και της δεύτερης παραγώγου της σειράς του σήματος. Τα φίλτρα Savitzky-Golay πλεονεκτούν έναντι άλλων φίλτρων εξομάλυνσης, όπως κυλιόμενων μέσων όρων, καθώς διατηρούν καλύτερα το υψηλής συχνότητας περιεχόμενο, αν και απομακρύνουν λιγότερο θόρυβο. Η μέθοδος έχει επεκταθεί και για εφαρμογή σε δεδομένα δύο και τριών διαστάσεων (Schafer, 2011).

Οι εξομαλυμένες τιμές λαμβάνονται από τη προσαρμογή θέση προς θέση σε κάθε σημείο του δείγματος μιας  $n$ -οστού βαθμού πολυωνυμικής συνάρτησης σε  $n$  γειτονικά σημεία εκατέρωθεν του σημείου αναφοράς (σύνολο  $2n + 1$  σημεία). Η προσαρμογή γίνεται με μια υπόθεση ελαχίστων τετραγώνων μεταξύ του μητρώου των σημείων  $x$ , του διανύσματος εξομαλυμένων σημείων  $y$  και του πίνακα συντελεστών  $b$ :

$$y = xb \tag{5.5}$$

Το μέτρο επίδοσης  $J$  γράφεται:

$$J = \sum_{m=-n}^n e_m^2 = \sum_{m=-n}^n (x_m - (c_0 + c_1 m + \dots + c_m m^n))^2 = \min \tag{5.6}$$

όπου  $e_m$  το σφάλμα στο σημείο προσαρμογής  $y_m - x_m$ ,  $c_m$  οι συντελεστές που βελτιστοποιούνται για την προσαρμογή,  $m$  το σημείο προσαρμογής, και  $n$  ο βαθμός της πολυωνυμικής συνάρτησης.

Μέσω βελτιστοποίησης προκύπτει η σχέση:

$$b = (x^T x)^{-1} x^T y \tag{5.7}$$

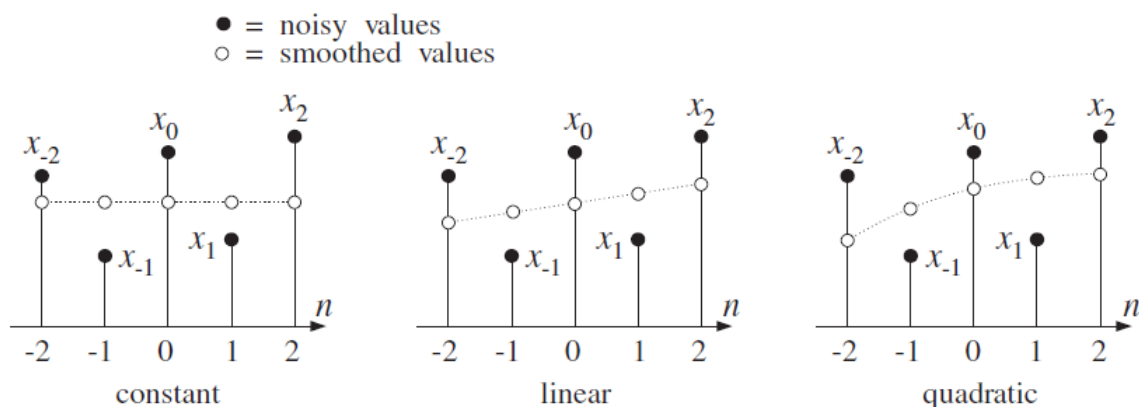
Τελικά, οι τιμές της εξομαλυσμένης σειράς εκφράζονται από τη σχέση:

$$y = xb = x(x^T x)^{-1} x^T y = Hy \tag{5.8}$$

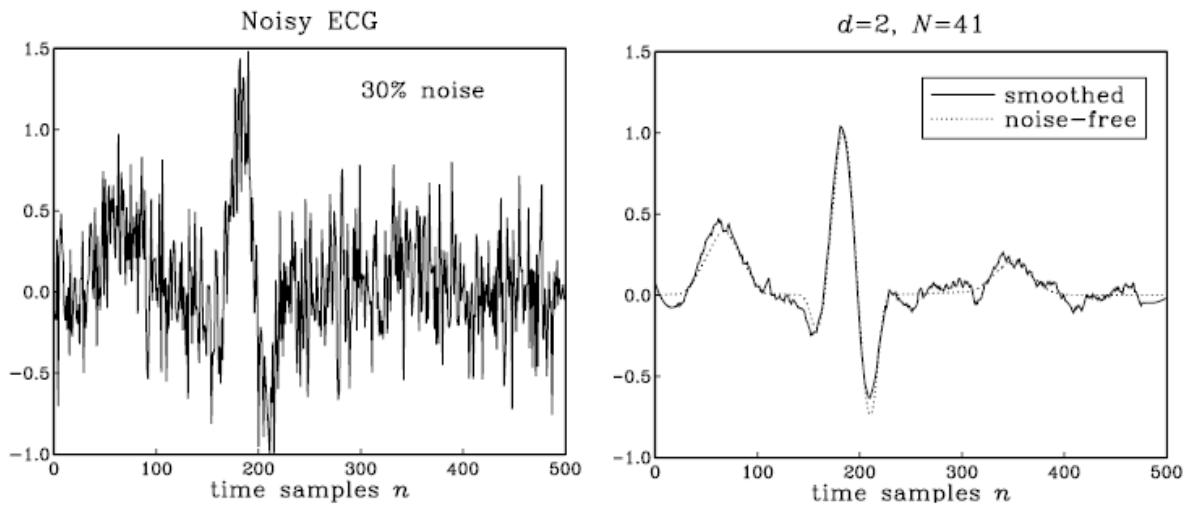
όπου το γινόμενο:

$$H = x(x^T x)^{-1} x^T \tag{5.9}$$

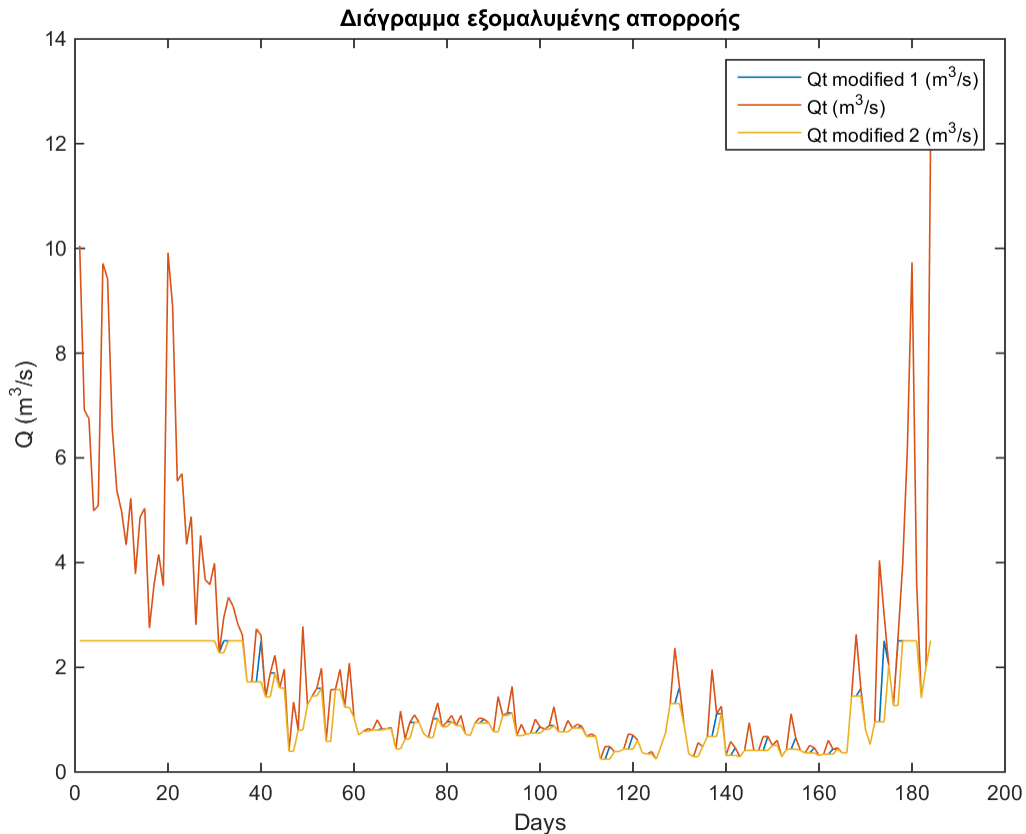
είναι το γνωστό *hat* μητρώο, και είναι το ίδιο για κάθε  $y$  για ορισμένη πολυωνυμική συνάρτηση. Το μητρώο  $x$  είναι γνωστό και ως μητρώο Vandermond. Η  $n + 1$  σειρά του μητρώου  $H$  ουσιαστικά δίνει πινακοποιημένους τους συντελεστές που χρησιμοποιεί το φίλτρο Savitzky-Golay. Η προσαρμογή γίνεται κινούμενη γύρω από κάθε σημείο θεωρώντας το κεντρικό. Για τα σημεία στα άκρα της σειράς του σήματος αξιοποιούνται οι συντελεστές που δίνονται διαδοχικά στις άλλες σειρές του μητρώου  $H$ . Οι Savitzky and Golay (1964) εφάρμοσαν το φίλτρο τους και για διάφορους βαθμούς συναρτήσεων  $n$  και για διαφορετικά μήκη  $l$ , οπότε στη γενική περίπτωση το μήκος  $l$  που εφαρμόζεται η εξομάλυνση δεν είναι απαραίτητα ίσο με  $2n + 1$ , αρκεί όμως να είναι μεγαλύτερο. Έτσι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.12, το μέγεθος  $n$  επηρεάζει τη ποιότητα της εξομάλυνσης, ενώ το μήκος  $l$  είναι το μήκος επιρροής της εξομάλυνσης. Αξίζει να σημειωθεί πως για  $n = 0$  το φίλτρο Savitzky-Golay μεταπίπτει σε φίλτρο κυλιόμενου μέσου όρου. Στο Σχήμα 5.13 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εξομάλυνσης ενός θορυβώδους σήματος με το φίλτρο Savitzky-Golay.



Σχήμα 5.12: Εξομάλυνση μεταξύ πέντε σημείων για διαφορετικούς βαθμούς πολυωνυμικής συνάρτησης  $n = 0, 1$  και  $2$  (Πηγή: Orphanides, 2010)



Σχήμα 5.13: Παράδειγμα εφαρμογής του φίλτρου Savitzky-Golay σε συνθετικό σήμα με προσθήκη θορύβου (αριστερά). Ο βαθμός του πολυωνόμου είναι  $d = 2$  και το μήκος εξομάλυνσης είναι  $N = 41$ . Δεξιά φαίνεται η πολύ καλή λειτουργία του φίλτρου σε σχέση με το αρχικό σήμα που σημειώνεται με διακεκομμένη γραμμή (Πηγή: Orphanides, 2010)



Σχήμα 5.14: Διάγραμμα μετρημένης απορροής ( $Q_t$ ), εξομαλυμένης ( $Q_{t\text{-modified}1}$ ) και εξομαλυμένης δεύτερη φορά ( $Q_{t\text{-modified}2}$ ) για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών το έτος 1972

### 5.3 Προσδιορισμός καθολικού μοντέλου πρόγνωσης

Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω εφαρμόζεται για κάθε υδρολογικό έτος, οπότε εξάγεται μια βέλτιστη τιμή της παραμέτρου στείρευσης. Ωστόσο, προκειμένου να μπορεί να γίνει χρήση του μοντέλου για επιχειρησιακούς σκοπούς, είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός μιας καθολικής τιμής της παραμέτρου, για όλα τα υδρολογικά έτη. Η τιμή μπορεί να προσδιοριστεί μέσω βελτιστοποίησης, χρησιμοποιώντας το σύνολο των δεδομένων όλων των ξηρών περιόδων (μετά τις διορθώσεις και εξομαλύνσεις). Προφανώς, στην περίπτωση αυτή, η προσαρμογή του μοντέλου αναμένεται να είναι λιγότερο καλή σε σχέση με την εφαρμογή «τοπικών» τιμών στείρευσης (διαφορετικών ανά έτος).

Όπως αναδεικνύεται στις αναλύσεις που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 7, σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της βέλτιστης τοπικής παραμέτρου στείρευσης και της αρχικής παροχής κατά την έναρξη της ξηρής περιόδου. Αυτό επιτρέπει την διατύπωση στατιστικών σχέσεων, με βάση τις οποίες η τιμή του τοπικού συντελεστή εξάγεται με βάση την τιμή της αρχικής παροχής, η οποία είναι άμεσα μετρήσιμο μέγεθος. Με την προσέγγιση αυτή, εξασφαλίζεται καλύτερη προγνωστική ικανότητα σε σχέση με τη χρήση μιας καθολικής παραμέτρου στείρευσης για όλα τα υδρολογικά έτη.



## 6 Υλοποίηση υπολογιστικής διαδικασίας σε περιβάλλον MATLAB

Η επεξεργασία των δεδομένων και η κατάρτιση των μοντέλων που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο γίνεται με χρήση του λογισμικού MATLAB. Στο κεφάλαιο αυτό, παρατίθενται αποσπάσματα του κώδικα (code snippets) καθώς και σχετικά σχόλια.

### 6.1 Αρχική επεξεργασία

#### 6.1.1 Εισαγωγή δεδομένων-Προκαθορισμός μεγέθους μητρώων

##### Data insert-matrix pre-allocation

```
prompt= 'doste xronoseires dedomenon';
data=xlsread('kremasta_dedomena.xlsx','Sheet1','A1:AP367');
years=size(data,2);
headers=data(1,:);
data=data(2:367,:);
Q0=zeros(1,years);
Qt=zeros(184,years);
a1=zeros(1,years);
a2=zeros(1,years);
Q1=zeros(184,years);
Q2=zeros(184,years);
totalerror1=zeros(1,years);
totalerror2=zeros(1,years);
x=1:184;
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα εκτελούνται οι εξής ενέργειες:

- Εισαγωγή στο χώρο εργασίας του MATLAB των δεδομένων από υπολογιστικό φύλλο MS Excel σε μορφή δυδιάστατου ετήσιου πίνακα, όπου στις στήλες είναι καταχωρημένα τα έτη και στις γραμμές οι ημερήσιες μετρήσεις απορροής. Επίσης εισάγονται οι επικεφαλίδες του πίνακα σε αλφαριθμητική μορφή (π.χ. «1967») και στην μεταβλητή *years* εκχωρείται το πλήθος των διαθέσιμων ετών
- Προκαθορισμός του μεγέθους των μητρώων που χρησιμοποιούνται στην συνέχεια με σκοπό την αύξηση της υπολογιστικής ταχύτητας. Τα μητρώα αυτά είναι:
  - $Q_0$ : η απορροή του μοντέλου στην αρχή της περιόδου σύμφωνα με το *εδάφιο 5.3*
  - $Q_t$ : η μετρημένη απορροή του χρονικού διαστήματος 15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου
  - $a_1$ : η παράμετρος  $a$  του μοντέλου που προκύπτει από βελτιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος
  - $a_2$ : η παράμετρος  $a$  του μοντέλου που προκύπτει από βελτιστοποίηση του σφάλματος  $w_i$  σύμφωνα με την *εξίσωση 5.3*
  - $Q_1$ : η εκτιμημένη απορροή του χρονικού διαστήματος 15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου έπειτα από την εφαρμογή του μοντέλου με χρήση της παραμέτρου  $a_1$
  - $Q_2$ : η εκτιμημένη απορροή του χρονικού διαστήματος 15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου έπειτα από την εφαρμογή του μοντέλου με χρήση της παραμέτρου  $a_2$

- `totalerror1`: το άθροισμα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος ανά έτος, με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση
- `totalerror2`: το άθροισμα του σφάλματος  $w_t$  ανά έτος, με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση
- $x$ : διάνυσμα με τους δείκτες των ημερών της χρονικής περιόδου που εξετάζεται

### 6.1.2 Καθορισμός αρχικής τιμής μοντέλου ( $Q_0$ ) και των παρατηρημένων τιμών της απορροής ( $Q_t$ )

#### $Q_0 - Q_t$ determination

```
for j=1:years
    if isnan(data(366,j))
        Q0(1,j)=min(data(91:104,j));
        Qt(:,j)=data(105:288,j);
    else
        Q0(1,j)=min(data(92:105,j));%υπολογισμος Q0
        Qt(:,j)=data(106:289,j);
    end
end
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα:

- Καθορίζεται η τιμή  $Q_0$  που λαμβάνεται στο συγκεκριμένο απόσπασμα ως η ελάχιστη τιμή των δεκαπέντε πρώτων ημερών του Απριλίου. Όπως προαναφέρθηκε στο εδάφιο 5.3, η τιμή του  $Q_0$  λαμβάνει διαφορετικές τιμές προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα μετέπειτα ως προς το ποια τιμή θεωρείται βέλτιστη
- Καθορίζεται το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα (15 Απριλίου - 15 Οκτωβρίου) των παρατηρημένων τιμών της απορροής

Σημειώνεται ότι η παραπάνω διαδικασία εφαρμόζεται και για τα δίσεκτα έτη.

### 6.1.3 Βελτιστοποίηση και δημιουργία διαγραμμάτων

#### Optimization using `totalerror1` and plotting

```
options = optimset('MaxFunEvals',1000);
a1(1,j) = fminsearch(@(a) minimize_error1(a, Q0(1,j), Qt(:,j)),0.01);
[totalerror1(1,j),Q1(:,j)]=minimize_error1(a1(1,j),Q0(1,j),Qt(:,j));
figure
diagr=plot(x,Qt(:,j),x,Q1(:,j));
title('Διάγραμμα μετρημένης και υπολογισμένης απορροής')
xlabel('Days') % x-axis label
ylabel('Q') % y-axis label
legend('Qt','Q1','Location','southwest')
temp=[num2str(headers(j)),'.pdf'];
saveas(gcf,temp);
close all;
end
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα πραγματοποιούνται τα εξής:

- Προκαθορίζεται ο αριθμός των εκτιμήσεων της συνάρτησης που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της παραμέτρου  $a_1$  (και  $a_2$  αντίστοιχα)

- Υπολογίζεται η παράμετρος  $a_1$  (και  $a_2$  αντίστοιχα) με βάση μια συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση. Αναλυτικότερα γίνεται αναφορά για αυτήν στο εδάφιο 6.1.5
- Αναπαριστάται σε διάγραμμα η παρατηρημένη και η εκτιμημένη τιμή της απορροής, προκειμένου να φανεί εποπτικά κατά πόσο το μοντέλο που εκτιμάται ακολουθεί τη μορφή των παρατηρημένων τιμών της απορροής

#### 6.1.4 Συσχέτιση παραμέτρου στείρευσης ( $a$ ) και αρχικής παροχής ( $Q_0$ )

##### Plotting and R-squared estimation

```
createfigure_eq(a1,Q0)
title('Διάγραμμα συσχέτισης συντελεστή a1 και Q0')
xlabel('a1') % x-axis label
ylabel('Q0') % y-axis label
legend('a1','Q0','Location','southwest')
r2=fitlm(a1,Q0);
r2.Rsquared.Ordinary
saveas(gcf,'model_eq.pdf')
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα υπολογίζεται ο βαθμός συσχέτισης των τιμών της παραμέτρου  $a_1$  (και  $a_2$  αντίστοιχα) με την τιμή  $Q_0$ . Ο συντελεστής συσχέτισης δείχνει το ποσοστό της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής που είναι προβλέψιμη από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Τέλος, παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις εκτιμημένες παραμέτρους και την τιμή  $Q_0$ .

#### 6.1.5 Διατύπωση στοιχικής συνάρτησης

##### Function Pre-allocation

```
function [totaler1] = minimize_error1( a, Q0, Qt )
Q=zeros(numel(Qt),1);
error1=zeros(numel(Qt),1);
```

Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση είναι η `fminsearch`, που βρίσκεται ενσωματωμένη στο MATLAB και βρίσκει το ελάχιστο ενός στοιχείου (scalar) πολλών μεταβλητών, ξεκινώντας από μια αρχική εκτίμηση. Αυτό αναφέρεται γενικά ως χωρίς περιορισμούς μη γραμμική βελτιστοποίηση. Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως ορίσματα τη τιμή της παραμέτρου  $a$  (τυχαία τιμή), την τιμή  $Q_0$  και την μετρημένη απορροή  $Q_t$ . Επιστρέφει το άθροισμα του σφάλματος που χρησιμοποιείται.

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα γίνεται προκαθορισμός των μεταβλητών που θα αξιοποιηθούν στην συνάρτηση, όπου:

- $Q$ : η μετρημένη απορροή του χρονικού διαστήματος 15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου
- $error_1$ : το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ανά έτος, με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση

Σημειώνεται ότι αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για το λογαριθμικό σφάλμα ( $error_2$ )

#### 6.1.6 Υπολογισμός μέσου τετραγωνικού σφάλματος

##### Function model estimation and error calculation

```
for i=1:numel(Qt)
Q(i)=Q0*exp(-a*i);
```

```

error1(i)=(Qt(i)-Q(i))^2;

end
totaler1=sqrt(sum(error1));

end

```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα, για όλες τις τιμές της παρατηρημένης απορροής, εκτελούνται τα εξής:

- Με βάση την εξίσωση 5.1 λαμβάνεται η υπολογισμένη τιμή της απορροής  $Q_i$
- Υπολογίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα  $error_1$ , καθώς και η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματός του,  $totaler_1$

### 6.1.7 Υπολογισμός λογαριθμικού σφάλματος

#### Model estimation and error calculation using logarithmic error

```

for i=1: numel(Qt)
Q(i)=Q0*exp(-a*i);
error2(i)=(log(Q(i)/Qt(i)))^2;

end
totaler2=sqrt(sum(error2));

end

```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα παρουσιάζεται ο υπολογισμός της εκτιμημένης απορροής, του λογαριθμικού σφάλματος με βάση την εξίσωση 5.3, καθώς και της τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των σφαλμάτων αυτών για όλα τα εξεταζόμενα έτη. Η εύρεση της παραμέτρου  $a$  πραγματοποιήθηκε και σε αυτή την περίπτωση με χρήση της συνάρτησης `fminsearch` σε περιβάλλον MATLAB.

## 6.2 Υπολογισμός έναρξης ξηρής περιόδου

### 6.2.1 Εισαγωγή δεδομένων-Προκαθορισμός μεγέθους μητρώων

#### Data insert-matrix pre-allocation

```

1. prompt= 'doste xronoseires dedomenon'
data=xlsread('Evinos_dedomena.xlsx','Sheet1','A1:AP367');
years=size(data,2);
headers=data(1,:);
data=data(2:367,:);
Q0=zeros(1,years);
Qt=zeros(184,years);
a1=zeros(1,years);
Q1=zeros(184,years);
Q2=zeros(184,years);
Qt_modified2=zeros(184,years);
totalerror1=zeros(1,years);
totalerror2=zeros(1,years);
x=1:184;

```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα εκτελούνται οι εξής ενέργειες:

- Εισαγωγή στο χώρο εργασίας του MATLAB των δεδομένων από υπολογιστικό φύλλο MS Excel σε μορφή δυσδιάστατου ετήσιου πίνακα, όπου στις στήλες είναι καταχωρημένα τα έτη και στις γραμμές οι ημερήσιες μετρήσεις απορροής. Επίσης εισάγονται οι επικεφαλίδες του πίνακα σε αλφαριθμητική μορφή και στην μεταβλητή *years* εκχωρείται το πλήθος των διαθέσιμων ετών
- Προκαθορισμός του μεγέθους των μητρώων που χρησιμοποιούνται στην συνέχεια με σκοπό την αύξηση της υπολογιστικής ταχύτητας. Τα μητρώα αυτά είναι:
  - $Q_0$ : η απορροή του μοντέλου στην αρχή της περιόδου σύμφωνα με το εδάφιο 5.3
  - $Q_t$ : η μετρημένη απορροή του χρονικού διαστήματος 15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου
  - $a_1$ : η παράμετρος  $a$  του μοντέλου που προκύπτει από βελτιστοποίηση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος
  - $Q_1$ : η εκτιμημένη απορροή του χρονικού διαστήματος 15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου έπειτα από την εφαρμογή του μοντέλου με χρήση της παραμέτρου  $a_1$
  - $Q_2$ : η εκτιμημένη απορροή του χρονικού διαστήματος 15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου έπειτα από την εφαρμογή του μοντέλου με χρήση της παραμέτρου  $a_2$
  - $Qt\_modified_2$ : η εξομαλυσμένη απορροή που προέκυψε ύστερα από εφαρμογή του φίλτρου εξομάλυνσης κορυφών, που αναπτύσσεται αναλυτικά στο εδάφιο 6.2.5
  - $totalerror_1$ : το άθροισμα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος ανά έτος, με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση
  - $totalerror_2$ : το άθροισμα του σφάλματος  $w_t$  ανά έτος, με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση
  - $x$ : διάνυσμα με τους δείκτες των ημερών της χρονικής περιόδου που εξετάζεται

## 6.2.2 Καθορισμός αρχικής παροχής ( $Q_0$ ) και παρατηρημένων τιμών ( $Q_t$ )

### $Q_0 - Q_t$ determination

```

for j=1:years
if isnan(data(366,j))
    Q0(1,j)=mean(data(91:104,j));
Qt(:,j)=data(105:288,j);
else
    Q0(1,j)=mean(data(92:105,j));%ypologismos Q0
    Qt(:,j)=data(106:289,j);
end
Qt_modified2(:,j)=Q_modificationA( Qt(:,j), Q0(1,j), headers(j) );

startday=dry_season2( Qt_modified2(:,j), Q0(1,j), headers(j) );

```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα:

- Καθορίζεται η τιμή  $Q_0$  που λαμβάνεται στο συγκεκριμένο απόσπασμα ως η μέση τιμή των δεκαπέντε πρώτων ημερών του Απριλίου. Όπως προαναφέρθηκε στο εδάφιο 5.3 η τιμή του  $Q_0$  λαμβάνει διαφορετικές τιμές προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα μετέπειτα ως προς το ποια τιμή θεωρείται βέλτιστη
- Καθορίζεται το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα (15 Απριλίου ως 15 Οκτωβρίου) των παρατηρημένων τιμών της απορροής
- Καλούνται οι συναρτήσεις  $Q\_modificationA$  και  $dry\_season2$  ο ρόλος των οποίων περιγράφεται αναλυτικά στα παρακάτω εδάφια.

Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόζεται και για τα δίσεκτα έτη.

### 6.2.3 Βελτιστοποίηση με βάση το μέσο τετραγωνικό σφάλμα

#### Optimization using totalerror1

```
[a,fval] = fminsearch(@(a) minimize_error1dry (a, Q0(1,j), Qt_modified2(:,j),startday), 0.01);  
a1(1,j)=a;  
[totalerror1(1,j)]=minimize_error1dry(a1(1,j), Q0(1,j),Qt_modified2(:,j),startday);  
[Qsim]=Qsimulated(a1(1,j),Q0(1,j),Qt_modified2(:,j));  
  
end
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα πραγματοποιούνται τα εξής:

- Υπολογίζεται η παράμετρος  $a_1$  (και  $a_2$  αντίστοιχα) με βάση μια συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση (εδάφιο 6.1.5)
- Υπολογίζεται η εκτιμημένη απορροή με βάση μια συνάρτηση που αναπτύσσεται αναλυτικότερα στο εδάφιο 6.1.6
- Υπολογίζεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (αντίστοιχα το λογαριθμικό)

### 6.2.4 Συσχέτιση παραμέτρου στείρευσης ( $a$ ) και αρχικής παροχής ( $Q_0$ )

#### Plotting and R-squared estimation

```
x=1:184;  
figure  
diagr=plot(x,Qt(:,j),x,Qsim);  
title('Διάγραμμα μετρημένης και υπολογισμένης απορροής')  
xlabel('Days') % x-axis label  
ylabel('Q (m3/s)') % y-axis label  
legend('Qt (m3/s)', 'Q1 (m3/s)')  
temp=[num2str(headers(j)), '.png'];  
saveas (gcf,temp);  
close all;  
  
createfigure_eq(a1,Q0)  
title('Διάγραμμα συσχέτισης Q0 και συντελεστή a1')  
xlabel('Q0 (m3/s)') % x-axis label  
ylabel('a1') % y-axis label  
legend('Q0 (m3/s)', 'a1')  
r2=fitlm(a1,Q0);  
r2.Rsquared.Ordinary  
saveas (gcf, 'model_eq.png')
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα αρχικά δημιουργούνται τα διαγράμματα με την μετρημένη και εκτιμημένη απορροή, στην συνέχεια υπολογίζεται ο βαθμός συσχέτισης των τιμών της παραμέτρου  $a_1$  (και  $a_2$  αντίστοιχα) με την τιμή  $Q_0$ . Ο συντελεστής συσχέτισης δείχνει το ποσοστό της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής που είναι προβλέψιμη από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Τέλος, παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις εκτιμημένες παραμέτρους και την τιμή  $Q_0$ .

### 6.2.5 Συνάρτηση minimize\_error1dry

```
function [totaler1 , Q] = minimize_error1dry(a, Q0, Qt, startday)
```

```

Q=zeros(numel(Qt),1);
error1=zeros(numel(Qt),1);
for i=1:numel(Qt)
Q(i)=Q0*exp(-a*i);
if i >= startday
    error1(i)=(Q(i)-Qt(i))^2;
end
end
totaler1=sqrt(sum(error1));

end

```

Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση είναι η *fminsearch* που βρίσκεται ενσωματωμένη στο MATLAB και βρίσκει το ελάχιστο ενός στοιχείου (scalar) πολλών μεταβλητών, ξεκινώντας από μια αρχική εκτίμηση. Αυτό αναφέρεται γενικά ως χωρίς περιορισμούς μη γραμμική βελτιστοποίηση. Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως ορίσματα τη τιμή της παραμέτρου  $a$  (τυχαία τιμή), την τιμή  $Q_0$  και την μετρημένη απορροή  $Q_i$  και την ημέρα έναρξης της ξηρής περιόδου (startday). Επιστρέφει το άθροισμα του σφάλματος που χρησιμοποιείται. Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα γίνεται προκαθορισμός των μεταβλητών που θα αξιοποιηθούν στην συνάρτηση, όπου:

- $Q$ : η μετρημένη απορροή του χρονικού διαστήματος 15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου
- error1: το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ανά έτος, με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση
- totaler1: το άθροισμα των τετραγωνικών σφαλμάτων με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση

Στην συνέχεια, με βάση την εξίσωση 5.1 υπολογίζεται η εκτιμημένη τιμή της απορροής  $Q_i$  και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα error1, καθώς και η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματός του, totaler1 μόνο στην περίπτωση που η τιμή της απορροής είναι μετά την έναρξη της ξηρής περιόδου. Σημειώνεται ότι αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για το λογαριθμικό σφάλμα (error2)

## 6.2.6 Συνάρτηση QmodificationA- Προκαθορισμός μητρώων

### Function “Qmodification” pre-allocation

```
function [ Qt_modified2 ] = Q_modificationA( Qt, Q0, headers )
```

```
Qt_modified=Qt;
```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα παρουσιάζεται η συνάρτηση «Qmodification», που αποτελεί ένα απλό φίλτρο εξομάλυνσης των παρατηρημένων τιμών απορροής. Ως αρχικό βήμα πραγματοποιείται ο προκαθορισμός των τιμών  $Q_{t-modified}$  ως τις παρατηρημένες τιμές.

### Εύρεση μέγιστων τιμών απορροής

```
[pks,locs,w,p]=findpeaks(Qt);
```

Στο τμήμα αυτό γίνεται εύρεση των μεγίστων τιμών της παρατηρημένης απορροής, καθώς και η ακριβής μέρα που εμφανίζεται κάθε κορυφή.

## Εφαρμογή φίλτρου εξομάλυνσης (V.1)

```
for i=1: numel(Qt)
    if Qt(i)>Q0
        Qt_modified(i)=Q0;
    end
end
for i=1: numel(pks)
    if pks(i)>Qt(locs(i)-1)
        Qt_modified(locs(i))=Qt(locs(i)-1);
    end
end
for i=1: numel(Qt)
    if Qt_modified(i)>Q0
        Qt_modified(i)=Q0;
    end
end
x=(1:1: numel(Qt))
figure
plot(x,Qt_modified,x,Qt);
```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα γίνεται εφαρμογή ενός απλού φίλτρου εξομάλυνσης των κορυφών των παρατηρημένων τιμών της απορροής. Το συγκεκριμένο φίλτρο βρίσκει ουσιαστικά τα τοπικά ακρότατα. Συγκεκριμένα, για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο (15 Απριλίου- 15 Οκτωβρίου), κάθε τιμή που υπερβαίνει την αρχική τιμή του μοντέλου, γίνεται  $Q_0$ . Ακόμη, αρχειοθετούνται οι θέσεις (ημέρες) που οι μετρημένες τιμές ξεπερνούν την αρχική τιμή του μοντέλου.

## Εφαρμογή φίλτρου εξομάλυνσης (V.2)

```
Qt_modified2=Qt_modified;
[pks2, locs2,w2,p2]=findpeaks(Qt_modified);
for i=1: numel(pks2)
    if pks2(i)>Qt_modified(locs2(i)-1)
        Qt_modified2(locs2(i))=Qt_modified(locs2(i)-1);
    end
end
```

Ακολουθεί μια δεύτερη εφαρμογή του φίλτρου που περιγράφηκε παραπάνω, προκειμένου οι μετρημένες τιμές της απορροής να εξομαλυνθούν ακόμη περισσότερο. Η δεύτερη εφαρμογή γίνεται προκειμένου να υπάρξουν καλύτερα αποτελέσματα.

## Παρουσίαση διαγραμμάτων εξομαλυμένης απορροής

```
figure
plot(x,Qt_modified,x,Qt,x,Qt_modified2);
title('Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής')
xlabel('Days') % x-axis label
ylabel('Q (m^3/s)') % y-axis label
legend('Qt modified 1 (m^3/s)', 'Qobserved (m^3/s)', 'Qt modified 2 (m^3/s)')
temp=['Qt_modified ', num2str(headers), '.png'];
```



```
saveas(gcf,temp);
close all;
```

Μ βάση τη διαδικασία που περιγράφηκε στο εδάφιο 6.2.5, εξάγεται ένα διάγραμμα που αναπαριστά τις δύο εφαρμογές του φίλτρου εξομάλυνσης.

### 6.2.7 Συνάρτηση `dry_season2`

Αξιοποιώντας την συνάρτηση αυτή γίνεται εκτίμηση της έναρξης της ξηρής περιόδου. Θεωρείται ότι η ξηρή περίοδος ξεκινά την πρώτη μέρα που οι εξομαλυμένες τιμές της απορροής ( $Q_{t-modified2}$ ) ξεπεράσουν την τιμή  $Q_0$ .

#### Προκαθορισμός μητρώου

```
function [startday] = dry_season( Qt_modified2, Q0, headers )
```

```
i=1;
startday=1;
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα παρουσιάζονται τα ορίσματα που δέχεται η παραπάνω συνάρτηση. Τα ορίσματα αυτά είναι:

- $Q_{t-modified2}$ : Η εξομαλυμένες τιμές της παρατηρημένης απορροής ύστερα από εφαρμογή του φίλτρου που περιγράφηκε στο εδάφιο 6.2.5 δύο φορές
- $Q_0$ : η απορροή του μοντέλου στην αρχή της περιόδου σύμφωνα με το υποκεφάλαιο 5.3
- *headers*: οι επικεφαλίδες των διαθέσιμων δεδομένων σε αλφαριθμητική μορφή (π.χ. «1967»)

Η συνάρτηση επιστρέφει την ημέρα που θεωρείται ότι ξεκινά η υγρή περίοδος. Αρχικά, γίνεται αρχικοποίηση των τιμών για λόγους οικονομίας χρόνου.

#### Εύρεση της ημέρας έναρξης της ξηρής περιόδου

```
while Qt_modified2(i)==Q0 && i<numel(Qt_modified2)
    startday=i;
    i=i+1;
end
```

Κάθε εξομαλυμένη μετρημένη απορροή ελέγχθηκε αν ταυτίζεται με την αρχική απορροή  $Q_0$  (βλ. εδάφιο 6.2.5). Η πρώτη τιμή που θα διαφέρει από το  $Q_0$  θεωρείται ότι αποτελεί την έναρξη της ξηρής περιόδου.

#### Διάγραμμα έναρξης της ξηρής περιόδου

```
x=(startday:1:numel(Qt_modified2));
figure
plot(x,Qt_modified2(startday:numel(Qt_modified2)));
title('Διάγραμμα έναρξης ξηρής περιόδου')
xlabel('Days') % x-axis label
ylabel('Q (m^3/s)') % y-axis label
legend('Qt modified 2 (m^3/s)')
temp=['Q_dry ',num2str(headers),'.png'];
```

```
saveas(gcf,temp);
close all;
```

```
end
```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα γίνεται γραφική απεικόνιση των εξομαλυμένων παρατηρημένων τιμών απορροής ξεκινώντας από την εκτιμημένη ημέρα έναρξης της ξηρής περιόδου. Σημειώνεται ότι η διαδικασία για την εκτίμηση του μοντέλου καθώς και η βελτιστοποίηση με βάση την απόκλιση της εκτιμημένης από την παρατηρημένη απορροή είναι όμοια με εκείνη που περιγράφηκε στο εδάφιο 6.1.7.

## 6.3 Υπολογισμός λήξης της ξηρής περιόδου

### Estimating $Q_{\text{modified2}}$ and dry season duration using functions

```
Qt_modified2(:,j)=Q_modificationA( Qt(:,j), Q0(1,j), headers(j) );
startday(:,j)=dry_season2( Qt_modified2(:,j), Q0(1,j), headers(j) );
[stopday,~]=season_stop2( Qt_modified2(:,j), headers(j), startday );
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα καλούνται οι συναρτήσεις που θα αξιοποιηθούν για την εύρεση της έναρξης και λήξης της ξηρής περιόδου καθώς και για την εφαρμογή του φίλτρου εξομάλυνσης κορυφών. Πιο συγκεκριμένα καλούνται οι παρακάτω συναρτήσεις:

- *QmodificationA*: Η συνάρτηση αυτή εφαρμόζει το φίλτρο που αναπτύχθηκε διεξοδικά στο εδάφιο 6.2.5. Σημειώνεται ότι για αυτή την προσέγγιση η χρονική περίοδος που χρησιμοποιείται είναι από τις 15 Απριλίου έως 26 Οκτωβρίου προκειμένου να εκτιμηθεί έπειτα η λήξη της ξηρής περιόδου με μεγαλύτερη ακρίβεια, δεδομένου ότι σε ορισμένα έτη είναι πιθανόν η ξηρή περίοδος να επεκτείνεται έως το τέλος Οκτωβρίου. Ταυτόχρονα, η επιλογή αυτή διευκόλυνε και την διαδικασία εύρεσης της λήξης της ξηρής περιόδου που περιγράφεται στο επόμενο εδάφιο
- *dry season2*: Γίνεται εύρεση της έναρξης της ξηρής περιόδου με την ίδια διαδικασία που περιγράφεται στο εδάφιο 6.2.6
- *season stop2*: Εκτιμάται η λήξη της ξηρής περιόδου

#### 6.3.1 Βελτιστοποίηση με το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (totalerror1)

##### Optimization using totalerror1

```
[a,fval] = fminsearch(@(a) minimize_error1dry_stop (a, Q0(1,j),
Qt_modified2(:,j),startday,stopday),0.01);
a1(1,j)=a;
[totalerror1(1,j)]=minimize_error1dry_stop(a1(1,j),
Q0(1,j),Qt_modified2(:,j),startday,stopday);
[Qsim]=Qsimulated(a1(1,j),Q0(1,j),Qt_modified2(:,j));
```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα υπολογίζεται η τιμή της παραμέτρου  $a$  με τη διαδικασία που αναπτύσσεται στο εδάφιο 6.2.3. Στον υπολογισμό του ολικού σφάλματος λαμβάνονται οι τιμές που είναι εντός της εκτιμημένης ξηρής περιόδου. Για τις υπόλοιπες δεν υπολογίζεται σφάλμα. Ακόμη, υπολογίζεται η εκτιμημένη απορροή όπως αναφέρεται αναλυτικά στα εδάφια 6.1.5, 6.1.6 και 6.1.7.

### 6.3.2 Συσχέτιση παραμέτρου στείρευσης ( $a$ ) και της αρχικής παροχής ( $Q_0$ )

```
x=(startday(j):(startday(j)+numel(Qsim(:,j))-1));
```

```
stopday(j)=(numel(Qsim)-1)+startday(j);  
x=(startday(j):stopday(j));  
y=(1:195);  
figure  
diagr=plot(y,Qt(:,j),x,Qsim);  
title('Διάγραμμα μετρημένης και υπολογισμένης απορροής')  
xlabel('Days') % x-axis label  
ylabel('Q (m^3/s)') % y-axis label  
legend('Qt (m^3/s)', 'Qsim (m^3/s)')  
temp=[num2str(headers(j)), '.png'];  
saveas(gcf,temp);  
close all;
```

```
end  
createfigure_eq(Q0,a1)  
title('Διάγραμμα συσχέτισης Q0 και συντελεστή a1')  
xlabel('Q0') % x-axis label  
ylabel('a1') % y-axis label  
legend('Q0', 'a1')  
r2=fitlm(Q0,a1);  
r2.Rsquared.Ordinary  
saveas(gcf,'model_eq.png')
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα δημιουργείται το διάγραμμα μετρημένης και υπολογισμένης απορροής και υπολογίζεται ο βαθμός συσχέτισης των τιμών της παραμέτρου  $a_1$  (και  $a_2$  αντίστοιχα) με την τιμή  $Q_0$ . Ο συντελεστής συσχέτισης δείχνει το ποσοστό της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής που είναι προβλέψιμη από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Τέλος, παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις εκτιμημένες παραμέτρους και την τιμή  $Q_0$ .

### 6.3.3 Συνάρτηση Qmodification

Η συγκεκριμένη συνάρτηση εφαρμόζει ένα απλό φίλτρο εξομάλυνσης των μεγαλύτερων τιμών της παρατηρημένης απορροής δύο φορές. Αναλυτικότερα για αυτήν γίνεται αναφορά στο εδάφιο 6.2.5.

#### Προκαθορισμός μητρώου

```
function [ Qt_modified2 ] = Q_modificationA( Qt, Q0, headers )
```

```
Qt_modified=Qt;
```

#### Εύρεση των μέγιστων τιμών της απορροής

```
[pks,locs,w,p]=findpeaks(Qt);
```

### Εφαρμογή φίλτρου εξομάλυνσης (V.1)

```
for i=1:numel(Qt)
    if Qt(i)>Q0
        Qt_modified(i)=Q0;
    end
end
for i=1:numel(pks)
    if pks(i)>Qt(locs(i)-1)
        Qt_modified(locs(i))=Qt(locs(i)-1);
    end
end
for i=1:numel(Qt)
    if Qt_modified(i)>Q0
        Qt_modified(i)=Q0;
    end
end
```

### Διάγραμμα εξομαλυμένων τιμών απορροής;

```
x=(1:1:195);
figure
plot(x,Qt_modified,x,Qt);
```

### Εφαρμογή φίλτρου εξομάλυνσης (V.2)

```
Qt_modified2=Qt_modified;
[pks2, locs2, w2, p2]=findpeaks(Qt_modified);
for i=1:numel(pks2)
    if pks2(i)>Qt_modified(locs2(i)-1)
        Qt_modified2(locs2(i))=Qt_modified(locs2(i)-1);
    end
end

figure
plot(x,Qt_modified,x,Qt,x,Qt_modified2);
title('Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής')
xlabel('Days') % x-axis label
ylabel('Q') % y-axis label
legend('Qt modified 1','Qt modified 2')
temp=['Qt_modified ',num2str(headers),'.png'];
saveas(gcf,temp);
close all;

end
```

#### 6.3.4 Συνάρτηση *dry season2*

Χρησιμοποιώντας την συνάρτηση αυτή γίνεται μια εκτίμηση της έναρξης της ξηρής περιόδου. Θεωρείται ότι η ξηρή περίοδος ξεκινά την πρώτη μέρα που οι εξομαλυμένες τιμές της απορροής (Qt\_modified2) ξεπεράσουν την τιμή Q0. Εκτενέστερη αναφορά γίνεται στο εδάφιο 6.2.6.

### Προκαθορισμός μητρώου τιμών

```
function [startday] = dry_season2( Qt_modified2, Q0, headers )  
  
i=1;  
startday=1;
```

### Εύρεση της ημέρας έναρξης της ξηρής περιόδου

```
while Qt_modified2(i)==Q0 && i<numel(Qt_modified2)  
    startday=i;  
    i=i+1;  
end
```

### Διάγραμμα έναρξης της ξηρής περιόδου

```
x=(startday:1:numel(Qt_modified2));  
figure  
plot(x,Qt_modified2(startday:numel(Qt_modified2)));  
title('Διάγραμμα έναρξης ξηρής περιόδου')  
xlabel('Days') % x-axis label  
ylabel('Q (m^3/s)') % y-axis label  
legend('Qt modified 2 (m^3/s)')  
temp=['Q_dry ',num2str(headers),'.png'];  
saveas(gcf,temp);  
close all;  
  
end
```

### 6.3.5 Συνάρτηση season\_stop2

Χρησιμοποιώντας την συνάρτηση αυτή γίνεται προσπάθεια εκτίμησης της λήξης της ξηρής περιόδου. Ακολουθούν τμήματα κώδικα καθώς και αναλυτικές επεξηγήσεις για την ακριβή μεθοδολογία που εφαρμόστηκε.

### Υπολογισμός κυλιόμενου μέσου όρου των δεκαπέντε ημερών

```
function [ Qt_modified_final ] = season_stop( Qt_modified2, headers, startday )  
  
j=1;  
for i=1:15:181  
    Av_15(j)=mean(Qt_modified2(i:(i+14)));  
    j=j+1;  
end
```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα υπολογίζεται ο κυλιόμενος μέσος όρος των δεκαπέντε ημερών για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο (15 Απριλίου-26 Οκτωβρίου).

## Εκτίμηση λήξης ξηρής περιόδου

```
l=j-1;
k=0;

check=true

while check==true && k<l
    k=k+1;
    j=(k+1):l;
    check=any(Av_15(k)>Av_15(j))
end
```

Ξεκινώντας από το πρώτο δεκαπενθήμερο, γίνεται έλεγχος αν έστω ένα από τα επόμενα είναι μικρότερο. Στην παρούσα μελέτη θεωρείται ότι το σύνολο δεκαπέντε ημερών που θα είναι μεγαλύτερο θα σημάνει και τη λήξη της ξηρής περιόδου, δεδομένου ότι θα έχουν ξεκινήσει φαινόμενα έντονης βροχόπτωσης. Στην συνέχεια, δημιουργείται το διάγραμμα ξηρής περιόδου, λαμβάνοντας υπόψη την έναρξη και λήξης της.

## Διάγραμμα ξηρής περιόδου

```
Qt_modified_final=Qt_modified2(startday:(k*15));
x=(1:numel(Qt_modified_final));
figure
plot(x,Qt_modified_final);
title('Διάγραμμα έναρξης και λήξης της ξηρής περιόδου')
xlabel('Days') % x-axis label
ylabel('Q (m^3/s)') % y-axis label
legend('Qt modified final (m^3/s)')
temp=['Q_season_stop ',num2str(headers),'.png'];
saveas(gcf,temp);
close all;
stopday=k*15;

end
```

## 6.4 Φίλτρο γραμμικής εξομάλυνσης

### 6.4.1 Προκαθορισμός μητρώων

```
function [totaler2, Q] = minimize_error2dry_stop_linear(a, Q0, Qt, startday, stopday)
Q=zeros(numel(Qt),1);
error2=zeros(numel(Qt),1);
```

Η συνάρτηση αυτή δέχεται ως ορίσματα την παράμετρο του μοντέλου ( $a$ ), την αρχική τιμή της απορροής του μοντέλου ( $Q_0$ ), την ημέρα έναρξης ( $startday$ ) και την ημέρα λήξης ( $stopday$ ) της ξηρής περιόδου. Τα στοιχεία που προκαθορίζονται είναι:

- $Q$ : Οι εκτιμημένες τιμές της απορροής
- $error2$ : Το λογαριθμικό σφάλμα

#### 6.4.2 Εφαρμογή γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης

```
c=(Qt(stopday)-Q0)/(stopday-1);
b=Qt(stopday)-c*(stopday);
for i=1:numel(Qt)
Q(i)=Q0*exp(-a*i);
if i >= startday
    if i<=stopday
        if Qt(i)<= (c*i+b)
            error2(i)=(log(Q(i)/Qt(i)))^2;
        end
    end
end
totaler2=sqrt(sum(error2));
end
```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα παρουσιάζεται η εφαρμογή του γραμμικού φίλτρου. Οι τιμές που λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό του σφάλματος είναι εκείνες που βρίσκονται κάτω από την ευθεία γραμμή που έχει οριστεί ως κατώφλι. Κάθε τιμή της μετρημένης απορροής ελέγχεται αν υπερβαίνει τις τιμές της ευθείας. Στην περίπτωση που ισχύει κάτι τέτοιο, δεν λαμβάνεται υπόψη στην κατάρτιση του μοντέλου.

### 6.5 Φίλτρο Savitzky-Golay

Στην προηγούμενη ενότητα χρησιμοποιήθηκε ένα απλό γραμμικό φίλτρο για την εξομάλυνση των μεγίστων ακραίων τιμών. Στο παρόν υποκεφάλαιο αξιοποιήθηκε το φίλτρο εξομάλυνσης Savitzky-Golay για τον ίδιο σκοπό. Αναλυτικά για το συγκεκριμένο φίλτρο γίνεται αναφορά στην ενότητα 4.6. Ως χρονική περίοδος αναφοράς επιλέχθηκε το διάστημα 15 Απριλίου έως 14 Οκτωβρίου, δεδομένου ότι προϋπόθεση για την εφαρμογή ήταν ο περιττός αριθμός του διαστήματος. Η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε είναι όμοια με του προηγούμενου εδαφίου με τη μόνη διαφορά να είναι το φίλτρο εξομάλυνσης που χρησιμοποιήθηκε. Ο κώδικας της συνάρτησης του γενικού φίλτρου Savitzky-Golay ανακτήθηκε από τον Shao Ying Huang (2012) και αξιοποιείται με τροποποιήσεις στην παρούσα εργασία.

```
order=3;
vIN=Qt(:,j);
interval=59;
vOUT=savitzkyGolay1D_rle( vIN,order,interval );
figure
x=1:numel(vIN);
plot(x,vIN, x, vOUT);
title('Διάγραμμα φίλτρου Savitzky-Golay')
xlabel('Days') % x-axis label
ylabel('Q (m^3/s)') % y-axis label
legend('Μετρημένη απορροή (m^3/s)', 'Εξομαλυμένη απορροή (m^3/s)')
temp=['SG', num2str(headers(j)), '.png'];
saveas(gcf,temp);
close all;
```

```
[a, fval] = fminsearch(@(a) minimize_error1dry_stop(a, Q0(1,j), vOUT, startday, stopday), 0.01);
a1(1,j)=a;
[totalerror1(1,j)]=minimize_error1dry_stop(a1(1,j), Q0(1,j), vOUT, startday, stopday);
[Qsim]=Qsimulated(a1(1,j), Q0(1,j), Qt(:,j));
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα παρουσιάζεται το διάγραμμα φίλτρου Savitzky-Golay. Για την εφαρμογή του φίλτρου χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση *savitzkyGolayID\_rle*, όπου:

- *vIN*: το διάνυσμα με τις μετρημένες τιμές της απορροής
- *order*: ο βαθμός του πολυωνύμου που θα χρησιμοποιηθεί για την εξομάλυνση
- *interval*: το μέγεθος του παραθύρου (είναι να απαραίτητο να είναι άρτιος αριθμός και να έχει μέγεθος μικρότερο από το διάνυσμα *vIN*)
- *vOUT*: το εξαγόμενο διάνυσμα μετά από εφαρμογή του φίλτρου

## 6.6 Μοντέλο ολικής βελτιστοποίησης (Global optimization model)

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες ενότητες όπου οι επεξεργασίες που έγιναν αναφέρονται σε κάθε εξεταζόμενο έτος της λεκάνης ξεχωριστά, στην ενότητα αυτή δημιουργήθηκε ένα μοντέλο ολικής βελτιστοποίησης δύο παραμέτρων για κάθε λεκάνη στο σύνολό της, έτσι ώστε να προκύψει από τη βελτιστοποίηση σύνδεση των χαρακτηριστικών της λεκάνης (γεωμορφολογικών, κλιματικών κ.α.) με τις εκτιμημένες παραμέτρους του μοντέλου. Το συγκεκριμένο μοντέλο αξιοποιεί όλες τις προηγούμενες μεμονωμένες επεξεργασίες για την ποιοτική επιλογή του καταλληλότερου συνδυασμού αρχικής τιμής ( $Q_0$ ) και τρόπου υπολογισμού σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο είναι της μορφής:

$$Q(t, T) = Q_0(T) * \exp(-k(Q_0 * t)) \quad (6.1)$$

$$k(Q_0) = a + b * Q_0(T) \quad (6.2)$$

Όπου:

$Q_0(T)$ : η τιμή της απορροής του μοντέλου στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου (15 Απριλίου- 15 Οκτωβρίου). Η τιμή αυτή είναι συνάρτηση του κάθε υδρολογικού έτους

$a$ : παράμετρος του μοντέλου

$b$ : παράμετρος του μοντέλου

$T$ : υδρολογικό έτος

$t$ : ημέρα για την χρονική περίοδο από 15 Απριλίου έως 15 Οκτωβρίου

Στα επόμενα εδάφια παρατίθενται και εξετάζονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εξαγωγή του μοντέλου, μαζί με αποσπάσματα κώδικα (code snippet). Σημειώνεται ότι παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και για τις υπόλοιπες τιμές αρχικής τιμής και σφάλματος.

### 6.6.1 Εισαγωγή δεδομένων – προκαθορισμός μητρώων

```
prompt= 'dwste xronoseires dedomenwn'
data=xlsread('peristerona_dedomena.xlsx', 'Sheet1', 'A1:AP367');
years=size(data, 2);
headers=data(1, :);
data=data(2:367, :);
Q0=zeros(1, years);
Qt=zeros(195, years);
Q1=zeros(195, years);
Q2=zeros(195, years);
Qt_modified2=zeros(195, years);
```



```
totalerror1=zeros(1,years);

startday=zeros(years,1);
stopday=zeros(years,1);
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα εκτελούνται οι εξής ενέργειες:

- Εισαγωγή στο χώρο εργασίας του MATLAB των δεδομένων από υπολογιστικό φύλλο MS Excel σε μορφή δυσδιάστατου ετήσιου πίνακα, όπου στις στήλες είναι καταχωρημένα τα έτη και στις γραμμές οι ημερήσιες μετρήσεις απορροής. Επίσης εισάγονται οι επικεφαλίδες του πίνακα σε αλφαριθμητική μορφή (π.χ. «1967») και στην μεταβλητή years εκχωρείται το πλήθος των διαθέσιμων ετών
- Προκαθορισμός του μεγέθους των μητρώων που χρησιμοποιούνται στην συνέχεια με σκοπό την αύξηση της υπολογιστικής ταχύτητας. Τα μητρώα αυτά είναι:
  - $Q_0$  : η απορροή του μοντέλου στην αρχή της περιόδου σύμφωνα με το εδάφιο 5.3
  - $Q_t$  : η μετρημένη απορροή του χρονικού διαστήματος 15 Απριλίου-30 Οκτωβρίου

### 6.6.2 Καθορισμός αρχικής τιμής του μοντέλου ( $Q_0$ ) και δεδομένων $Q_t$

```
for j=1:years
    if isnan(data(366,j))
        q0(1,j)=mean(data(91:104,j));
        qt(:,j)=data(105:299,j);
    else
        q0(1,j)=mean(data(92:105,j));%υπολογισμος q0
        qt(:,j)=data(106:300,j);
    end
end
```

Στην συνέχεια, καθορίζεται η τιμή  $Q_0$  ως η μέση τιμή των δεκαπέντε πρώτων ημερών του Απριλίου και εκχωρούνται οι παρατηρημένες τιμές της απορροής για το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα. Αναλυτικά, η διαδικασία περιγράφεται στο εδάφιο 6.1.2.

### 6.6.3 Εφαρμογή φίλτρου Savitzky-Golay

```
for j=1:years
    order=3;
    vIN=qt(:,j);
    interval=59;
    vOUT=savitzkyGolay1D_rle( vIN,order,interval );
    figure
    x=1: numel(vIN);
    plot(x,vIN, x, vOUT);
    title('Διάγραμμα φίλτρου Savitzky-Golay')
    xlabel('Days') % x-axis label
    ylabel('Q (m^3/s)') % y-axis label
    legend('Μετρημένη απορροή (m^3/s)', 'Εξομαλυμένη απορροή (m^3/s)')
    temp=['SG',num2str(headers(j)),'.png'];
    saveas(gcf,temp);
    close all;
    Qsg(:,j)=vOUT;
end
Qsg(Qsg<=0)=0.001;
```

Στο παραπάνω απόσπασμα κώδικα γίνεται εφαρμογή του φίλτρου εξομάλυνσης Savitzky-Golay όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο εδάφιο .Ακόμη, ελέγχεται το κάτω όριο των τιμών της παροχής, θέτοντας ως κατώφλι τη τιμή  $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 6.6.4 Μετατροπή των μητρώων δεδομένων σε χρονοσειρές

```
Tin=reshape(Qt, [numel(Qt),1]);
Sgin=reshape(Qsg, [numel(Qsg),1]);
```

Γίνεται μετατροπή των μητρώων δεδομένων σε χρονοσειρές τόσο των αρχικών όσο και των επεξεργασμένων από το φίλτρο, έτσι ώστε να εισαχθούν στο μοντέλο.

#### 6.6.5 Υπολογισμός της ξηρής περιόδου

```
for j=1:years
Qt_modified2(:,j)=Q_modificationB( Qt(:,j), Q0(1,j), headers(j) );
startday(j,1)=dry_season3( Qt_modified2(:,j), Q0(1,j), headers(j) );
[stopday(j,1),~]=season_stop3( Qt_modified2(:,j), headers(j), startday(j) );
end
parameters=[Q0', startday, stopday];
```

Στο συγκεκριμένο τμήμα κώδικα γίνεται καθορισμός της έναρξης και της λήξης της ξηρής περιόδου όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο εδάφιο 8.3.

#### 6.6.6 Βελτιστοποίηση με χρήση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος

```
LB1=[-1,-1];
UB1=[1,1];
options = optimset('MaxFunEvals', 1000);
startpoint=[0,0];
[x,fval]=ga(@(gparam) globalerror1(Qsg, parameters,gparam),2, [], [], [], [], LB1,UB1);
error1=fval
for j=1:years
for i=1:size(Qsg,1)
Qsim(i,j)=Q0(j)*exp(-(x(1)+x(2)*Q0(j))*i);
end
end
Tout=reshape(Qsim, [numel(Qsim),1]);
```

```
y=1:numel(Tout)
plot(y,Tin,y,Tout)
title('Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής (μέση τιμή-μέσο τετραγωνικό σφάλμα)')
xlabel('Days') % x-axis label
ylabel('Q (m^3/s)') % y-axis label
legend('Μετρημένη απορροή (m^3/s)', 'Εκτιμημένη απορροή (m^3/s)')
print ('Qmean_err1', '-dpng', '-r600');
close all;
```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα αρχικά γίνεται καθορισμός του διαστήματος που θα ανήκουν οι δύο παράμετροι του ολικού μοντέλου. Στην συνέχεια, με βάση το μέσο τετραγωνικό σφάλμα εκτιμούνται οι δύο παράμετροι του μοντέλου. Τέλος, υπολογίζονται οι τιμές της εκτιμημένης απορροής ( $Q_{sim}$ ) και γίνεται μετατροπή των στοιχείων αυτών σε χρονοσειρές και δημιουργείται το διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής.

### 6.6.7 Βελτιστοποίηση με χρήση του λογαριθμικού σφάλματος

```
LB1=[-1,-1];
UB1=[1,1];
options = optimset('MaxFunEvals', 1000);
startpoint=[0,0];
[x2,fval2]=ga(@gparam) globalerror2(Qsg, parameters,gparam),2,[],[],[],[],LB1,UB1);
error2=fval2
for j=1:years
    for i=1:size(Qsg,1)
        Qsim2(i,j)=Q0(j)*exp(-(x2(1)+x2(2)*Q0(j))*i);
    end
end
Tout2=reshape(Qsim2,[numel(Qsim2),1]);
y=1:numel(Tout2)
plot(y,Tin,y,Tout2)
title('Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής (μέση τιμή-λογαριθμικό σφάλμα)')
xlabel('Days') % x-axis label
ylabel('Q (m^3/s)') % y-axis label
legend('Μετρημένη απορροή (m^3/s)', 'Εκτιμημένη απορροή (m^3/s)')
print ('Qmean_err2', '-dpng', '-r600');
close all;
```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα αρχικά γίνεται καθορισμός του διαστήματος που θα ανήκουν οι δύο παράμετροι του ολικού μοντέλου. Στην συνέχεια, με βάση το λογαριθμικό σφάλμα εκτιμούνται οι δύο παράμετροι του μοντέλου. Στην συνέχεια, υπολογίζονται οι τιμές της εκτιμημένης απορροής ( $Q_{sim}$ ) και γίνεται μετατροπή των στοιχείων αυτών σε χρονοσειρές. Τέλος, δημιουργείται το διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης τιμής της απορροής. Σημειώνεται ότι όμοια διαδικασία ακολουθείται και για τις υπόλοιπες αρχικές τιμές του μοντέλου (διάμεσος και ελάχιστη τιμή των δεκαπέντε πρώτων ημερών του Απριλίου).

## 7 Αποτελέσματα εφαρμογής στη λεκάνη Αχελώου στα Κρεμαστά

---

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της χαμηλής ροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών. Αρχικά, στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζεται η μέση τιμή των διαφορετικών σφαλμάτων που χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με τις διαφορετικές αρχικές τιμές του μοντέλου, έτσι ώστε να γίνει επιλογή του καλύτερου συνδυασμού αρχικής τιμής και τρόπου υπολογισμού του σφάλματος. Στη συνέχεια, παρατίθενται οι πίνακες με τις τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών ενδιαφέροντος (αρχική παροχή  $Q_0$ , παράμετρος στείρευσης  $a$ , και σφάλματα προσαρμογής) για όλα τα έτη, θεωρώντας διαφορετικές χρονοσειρές αναφοράς ως προς τις οποίες γίνεται η βελτιστοποίηση της παραμέτρου στείρευσης. Πρώτα ελέγχεται η αρχική χρονοσειρά, που στη συνέχεια αυτή τροποποιείται, με εφαρμογή κατάλληλης διαδικασίας αποκοπής τιμών ή χρήση φίλτρου. Ειδικότερα, εξετάζονται τα ακόλουθα σενάρια χρονοσειρών ελέγχου:

1. Πλήρης χρονοσειρά ημερήσιων παροχών ξηρής περιόδου, με έναρξη την 15<sup>η</sup> Απριλίου και λήξη την 15<sup>η</sup> Οκτωβρίου (σύνολο 184 τιμές)
2. Αποκοπή τιμών αρχικής περιόδου, οι οποίες υπερβαίνουν την παροχή έναρξης
3. Αποκοπή τιμών τελικής περιόδου, εφόσον το επόμενο υδρολογικό έτος ξεκινά πριν τις 15 Οκτωβρίου
4. Αποκοπή όλων των ενδιάμεσων τιμών που υπερβαίνουν το στοιχειώδες μοντέλο γραμμικής μείωσης της θερινής ροής
5. Εξομάλυνση χρονοσειράς με εφαρμογή του φίλτρου Savitzky-Golay

Η αναλυτική περιγραφή του μεθοδολογικού υποβάθρου και της υπολογιστικής υλοποίησης των παραπάνω γίνεται στο Κεφάλαιο 6.

Στη συνέχεια, για κάθε μοντέλο που κατασκευάζεται με βάση τις παραπάνω διαδικασίες, εξετάζεται αν προκύπτει ικανοποιητική συσχέτιση μεταξύ των  $Q_0$  και  $a$ , ώστε να είναι δυνατή η κατάρτιση μοντέλων πρόγνωσης σε ετήσια βάση. Τέλος, διατυπώνονται μοντέλα που χρησιμοποιούν κοινή παράμετρο στείρευσης για όλα τα έτη, η οποία προκύπτει μέσω βελτιστοποίησης στο σύνολο των δεδομένων θερινής ροής.

Για τη λεκάνη των Κρεμαστών παρουσιάζονται χαρακτηριστικά διαγράμματα για τη συγκριτική αξιολόγηση της προσαρμογής των μοντέλων, και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Οι υπόλοιπες λεκάνες που εξετάστηκαν θα παρουσιαστούν συνοπτικά στο κεφάλαιο 8.

Πίνακας 7.1: Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορετικών αρχικών τιμών και σφαλμάτων για όλες τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών

	no filter	start day	dry season	linear filter	SG filter
error <sub>1</sub> -mean Q <sub>0</sub>	12.437	11.646	5.653	4.943	5.795
error <sub>1</sub> -median Q <sub>0</sub>	12.445	10.092	5.234	4.435	5.333
error <sub>1</sub> -min Q <sub>0</sub>	13.818	5.683	3.561	2.484	4.998
error <sub>2</sub> -mean Q <sub>0</sub>	7.191	6.626	4.644	4.276	6.693
error <sub>2</sub> -median Q <sub>0</sub>	7.084	6.353	4.428	4.021	6.021
error <sub>2</sub> -min Q <sub>0</sub>	6.968	5.000	3.563	2.993	5.225

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται σαφές ότι τη μικρότερη τιμή σφάλματος την έχει ο συνδυασμός  $minQ_0$  και  $error_1$ , δηλαδή η ελάχιστη τιμή ως αρχική τιμή του μοντέλου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ως κριτήριο για τη βελτιστοποίηση. Στα επόμενα εδάφια επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ο παραπάνω συνδυασμός που θεωρείται και ο βέλτιστος.

## 7.1 Προσαρμογή μοντέλου στην πλήρη χρονοσειρά παροχών ξηρής περιόδου

Για την ξηρή περίοδο κάθε υδρολογικού έτους, διατυπώνονται έξι μοντέλα στείρευσης, θεωρώντας τρεις τρόπους υπολογισμού της παροχής έναρξης,  $Q_0$  (μέση, διάμεσος και ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών Απριλίου) και το σφάλμα με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση.

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται οι τιμές της παραμέτρου  $a$  για κάθε έτος ξεχωριστά, η αρχική τιμή  $Q_0$  (λαμβάνεται ως η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου), και το σφάλμα με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση. Στον Πίνακα, όπου  $a_1$ ,  $a_2$  είναι η τιμή της παραμέτρου εκτιμημένη με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το λογαριθμικό σφάλμα που περιγράφονται από τις εξισώσεις 5.2 και 5.4 αντίστοιχα. Όπου  $error_1$ ,  $error_2$  είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το λογαριθμικό που περιγράφηκαν στο εδάφιο 5.2.2. Αντίστοιχη διάρθρωση ακολουθείται και στα επόμενα εδάφια.

Πίνακας 7.2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ετήσιου μοντέλου πρόγνωσης θερινής ροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως  $Q_0$  η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

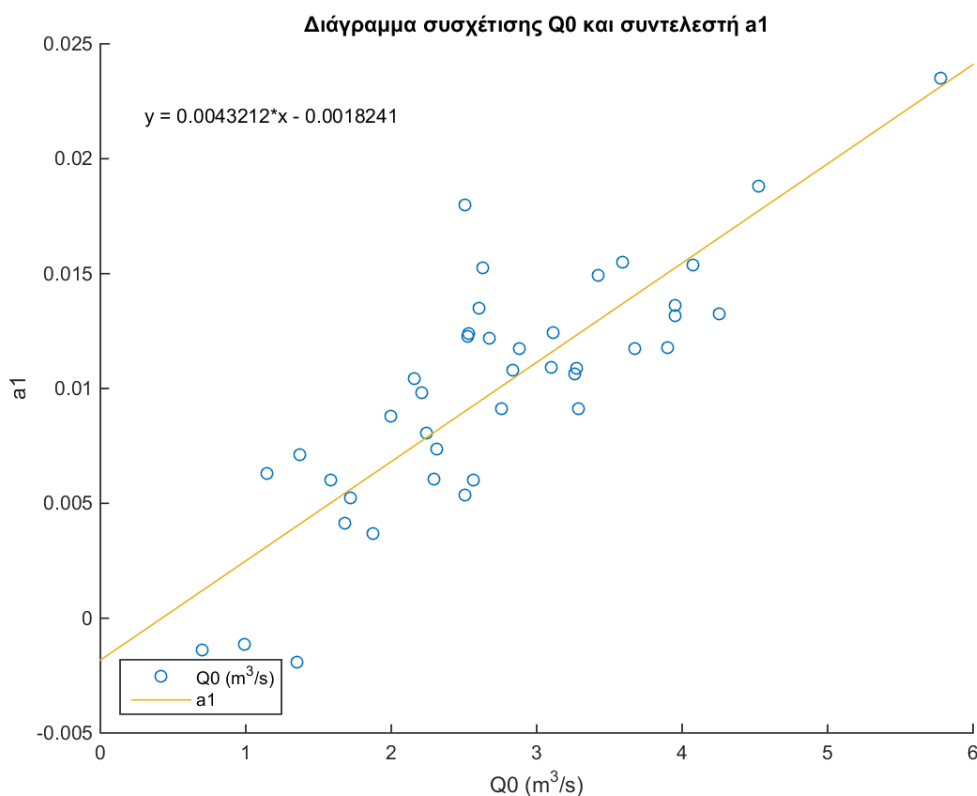
Έτος	Q <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /s)	error <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	error <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>
1967	1.679	16.944	0.004	7.693	0.006
1968	3.115	5.846	0.012	5.155	0.013
1969	1.720	13.932	0.005	7.962	0.007
1970	2.882	7.403	0.012	5.286	0.012
1971	5.776	8.267	0.024	8.458	0.017
1972	2.508	27.694	0.005	10.479	0.008
1973	4.255	19.564	0.013	8.298	0.014
1974	1.875	53.459	0.004	11.076	0.007
1975	2.208	7.672	0.010	6.042	0.010
1976	1.583	12.671	0.006	6.612	0.007
1977	1.148	5.292	0.006	5.159	0.007
1978	3.097	16.204	0.011	6.762	0.012
1979	3.950	12.249	0.013	4.428	0.015
1980	2.567	19.754	0.006	8.467	0.010
1981	2.758	17.289	0.009	5.920	0.011

Πίνακας 7.2: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ετήσιου μοντέλου πρόγνωσης θερινής ροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως  $Q_0$  η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου (συνέχεια)

Έτος	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)	error <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	error <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>
1982	3.673	11.486	0.012	6.800	0.013
1983	2.523	5.021	0.012	4.377	0.012
1984	3.901	16.338	0.012	6.454	0.013
1985	3.593	13.123	0.016	5.422	0.016
1986	2.835	14.440	0.011	4.968	0.012
1987	3.272	10.540	0.011	7.075	0.012
1988	2.631	4.972	0.015	5.260	0.013
1989	0.993	24.925	-0.001	10.615	0.003
1990	0.312	10.469	-0.003	11.613	-0.003
1991	2.293	20.521	0.006	7.225	0.010
1992	1.997	18.002	0.009	6.499	0.010
1993	2.675	10.953	0.012	5.976	0.013
1994	2.155	8.859	0.010	4.989	0.012
1995	2.312	13.192	0.007	6.897	0.008
1996	4.072	9.340	0.015	7.969	0.013
1997	2.240	20.934	0.008	7.932	0.011
1998	0.698	17.291	-0.001	10.444	0.000
1999	4.529	6.189	0.019	4.337	0.017
2000	2.505	3.622	0.018	6.830	0.014
2001	1.372	12.871	0.007	6.451	0.009
2002	1.353	26.761	-0.002	9.154	0.001
2003	3.424	6.707	0.015	6.377	0.013
2004	3.290	13.749	0.009	6.267	0.010
2005	3.263	9.212	0.011	4.812	0.011
2006	3.952	7.421	0.014	6.175	0.012
2007	2.601	4.520	0.014	5.215	0.011
2008	2.535	14.670	0.012	8.722	0.010

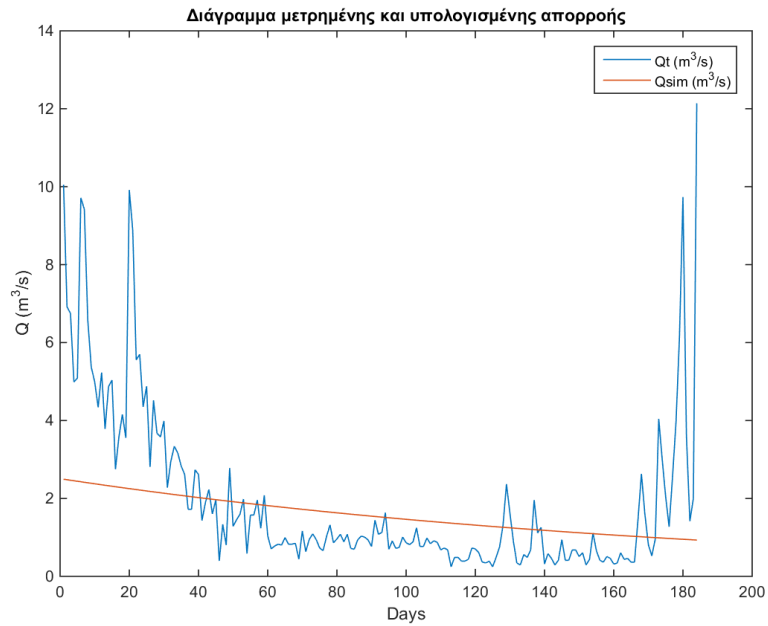
Στον Σχήμα 7.1 φαίνεται η συσχέτιση της αρχικής απορροής του μοντέλου  $Q_0$  με τις παραμέτρους  $a$  που εκτιμήθηκαν για κάθε έτος, καθώς και το γραμμικό μοντέλο που προέκυψε. Όπως εύκολα διαπιστώνεται φαίνεται να υπάρχει σημαντική συσχέτιση της τιμής  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  του μοντέλου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το βαθμό συσχέτισής τους που ισούται με 0.723. Το R-squared εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας σε ένα σύνολο δεδομένων που εξηγείται από ένα στατιστικό μοντέλο. Η εξίσωση που συνδέει την αρχική απορροή του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  είναι:

$$a_1 = 0.0043212 * Q_0 - 0.0018241 \quad (7.1)$$

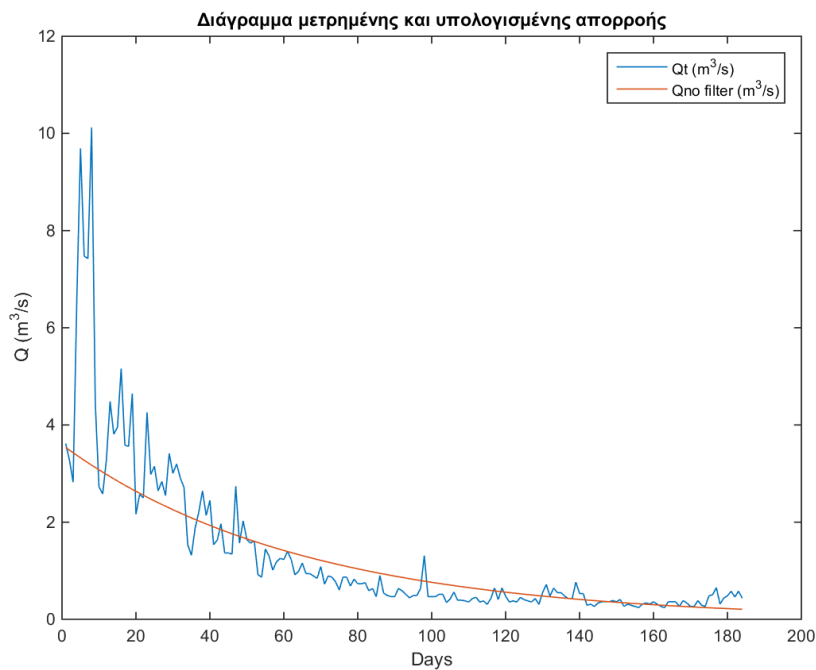


Σχήμα 7.1: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στα Σχήματα 7.2-7.5 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα της παρατηρημένης τιμής της απορροής και του μοντέλου που προσαρμόζεται. Στο Σχήμα 7.2 φαίνεται το μοντέλο να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές, παρόλο που γίνεται σαφής η έναρξη της υγρής περιόδου νωρίτερα από τις 184 ημέρες. Στο Σχήμα 7.3 φαίνεται πως το έτος 1985 ήταν αρκετό ξηρό και εδώ το μοντέλο έχει και την καλύτερη προσαρμογή. Και στο Σχήμα 7.4 η προσαρμογή του μοντέλου είναι ικανοποιητική παρόλο που στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου παρατηρούνται έντονα φαινόμενα βροχόπτωσης. Στο Σχήμα 7.5 γίνεται σαφής η έναρξη της υγρής περιόδου νωρίτερα από τις 15 Οκτωβρίου, αλλά το μοντέλο στη ξηρή περίοδο προσαρμόζεται ικανοποιητικά.

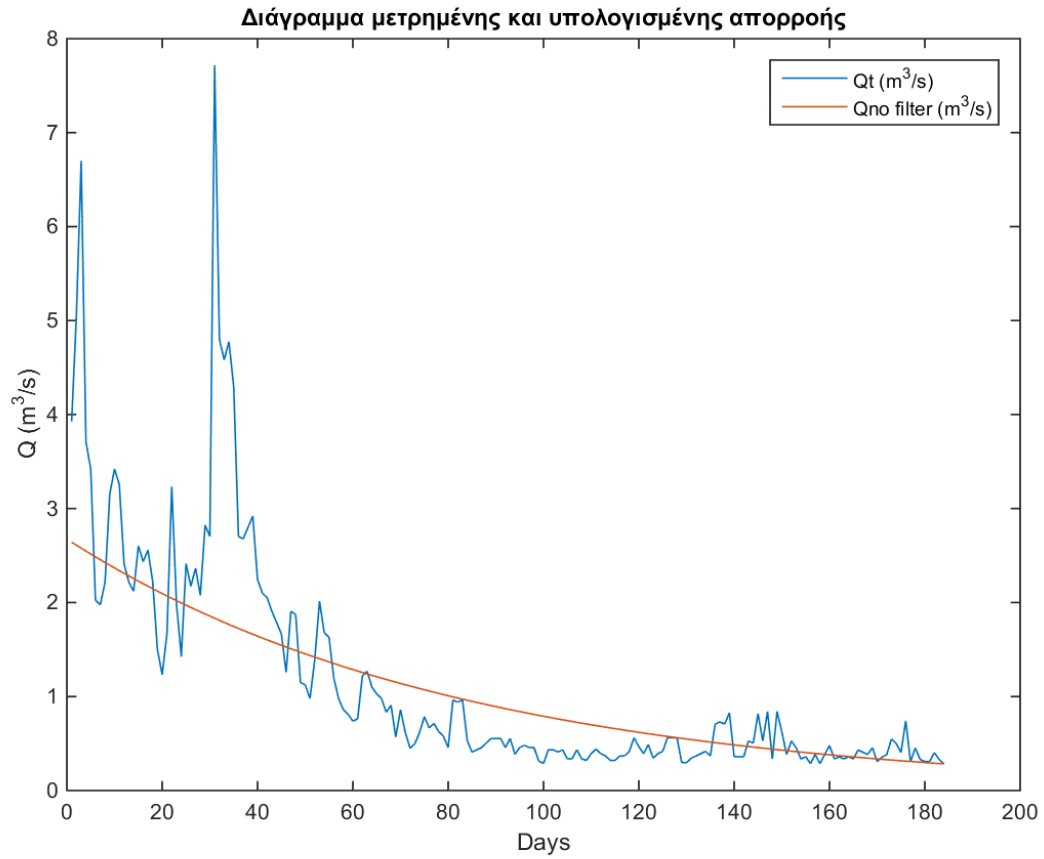


Σχήμα 7.2: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{sim}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα

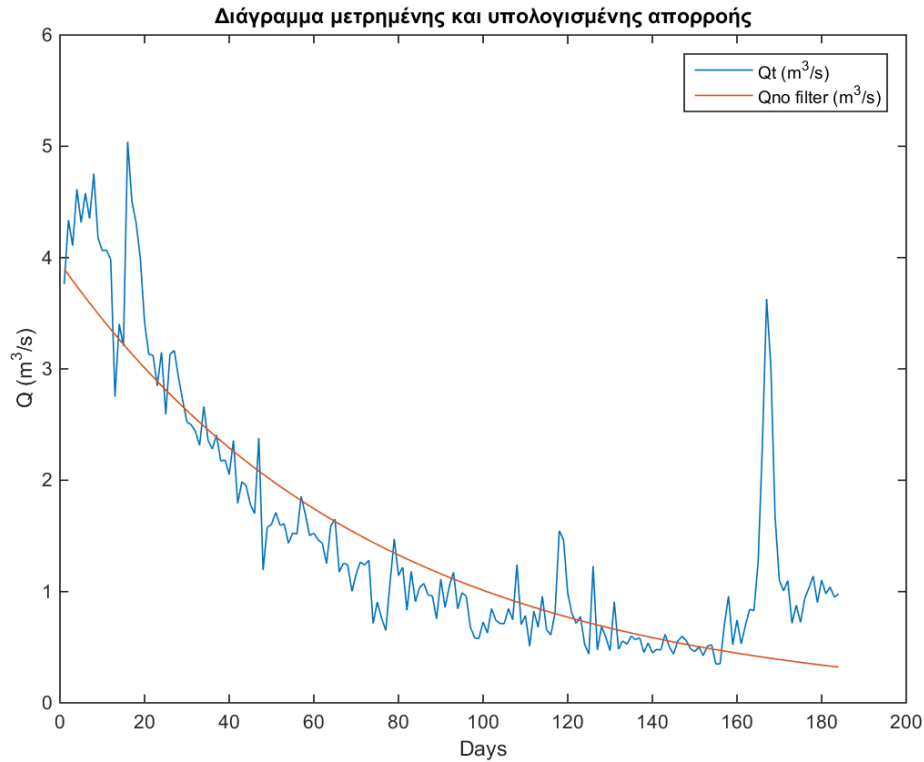


Σχήμα 7.3: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα





Σχήμα 7.4: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{no filter}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα



Σχήμα 7.5: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα

## 7.2 Αποτελέσματα έναρξης ξηρής περιόδου

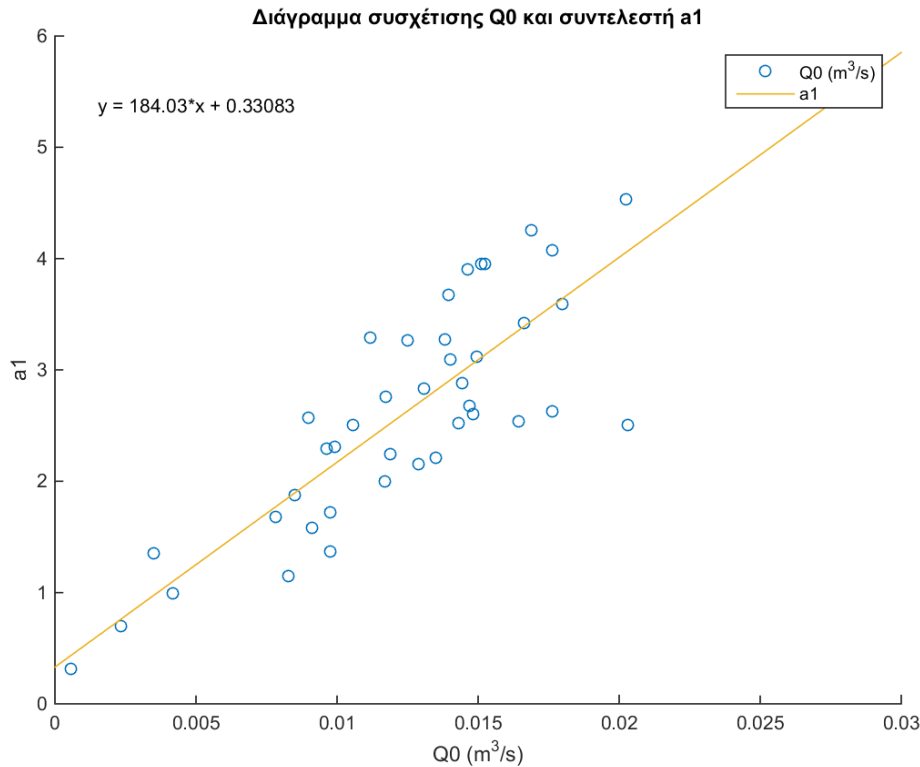
Μετά από την διαδικασία που περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 6.2, έγινε επεξεργασία των δεδομένων και προσαρμόστηκε εκ νέου το μοντέλο. Στον Πίνακα 7.3 παρατίθενται οι τιμές της παραμέτρου  $a$  για κάθε έτος ξεχωριστά, η αρχική τιμή  $Q_0$  (λαμβάνεται ως η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου), και το σφάλμα με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση. Στον Πίνακα, όπου  $a_1$ ,  $a_2$  είναι η τιμή της παραμέτρου εκτιμημένη με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το λογαριθμικό σφάλμα που περιγράφονται από τις εξισώσεις 5.2 και 5.4 αντίστοιχα. Όπου  $error_1$ ,  $error_2$  είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το λογαριθμικό που περιγράφηκαν στο εδάφιο 5.2.2.

Πίνακας 7.3: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της θερινής ροής του κάθε έτους για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

Έτος	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)	error <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	error <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>
1967	1.679	5.084	0.008	5.083	0.008
1968	3.115	4.773	0.015	4.646	0.014
1969	1.720	4.993	0.010	4.993	0.010
1970	2.882	4.440	0.014	4.243	0.014
1971	5.776	16.778	0.029	8.490	0.019
1972	2.508	7.943	0.011	7.913	0.010
1973	4.255	7.626	0.017	7.392	0.016
1974	1.875	5.624	0.009	5.621	0.009
1975	2.208	6.261	0.014	5.561	0.012
1976	1.583	4.387	0.009	4.324	0.009
1977	1.148	3.355	0.008	3.310	0.008
1978	3.097	5.536	0.014	5.325	0.013
1979	3.950	3.565	0.015	3.519	0.016
1980	2.567	6.350	0.009	5.308	0.011
1981	2.758	4.248	0.012	4.177	0.012
1982	3.673	5.416	0.014	5.410	0.014
1983	2.523	4.866	0.014	4.076	0.012
1984	3.901	5.411	0.015	5.408	0.015
1985	3.593	5.242	0.018	4.854	0.017
1986	2.835	3.726	0.013	3.669	0.014
1987	3.272	5.719	0.014	5.668	0.013
1988	2.631	7.324	0.018	4.997	0.014
1989	0.993	3.932	0.004	3.823	0.005
1990	0.312	0.863	0.001	0.860	0.001
1991	2.293	4.153	0.010	3.555	0.011
1992	1.997	4.352	0.012	4.352	0.012
1993	2.675	4.975	0.015	4.941	0.014
1994	2.155	3.689	0.013	3.686	0.013
1995	2.312	5.357	0.010	5.298	0.009
1996	4.072	9.934	0.018	7.836	0.013
1997	2.240	5.009	0.012	5.007	0.012
1998	0.698	3.416	0.002	3.400	0.003
1999	4.529	5.661	0.020	4.169	0.018
2000	2.505	9.596	0.020	6.481	0.015
2001	1.372	3.588	0.010	3.585	0.010
2002	1.353	4.811	0.003	4.810	0.004
2003	3.424	7.065	0.017	5.969	0.014
2004	3.290	5.188	0.011	5.185	0.011
2005	3.263	3.889	0.013	3.871	0.012
2006	3.952	6.903	0.015	6.169	0.013
2007	2.601	6.942	0.015	5.161	0.012
2008	2.535	10.690	0.016	7.853	0.011

Στο Σχήμα 7.6 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Όπως φαίνεται, υπάρχει πολύ μεγάλη συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.738. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

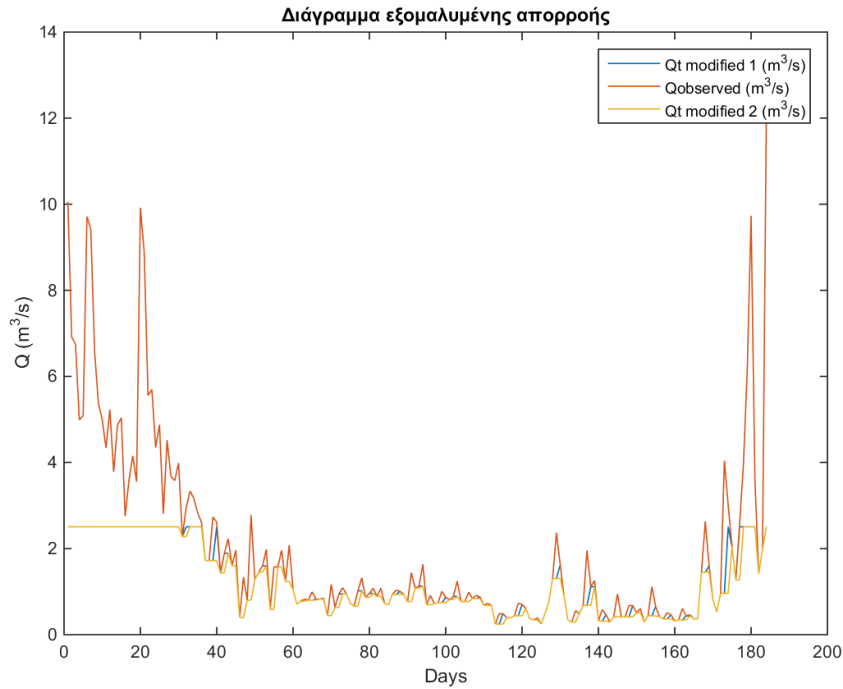
$$a_1 = 184.03 * Q_0 + 0.33083 \quad (7.2)$$



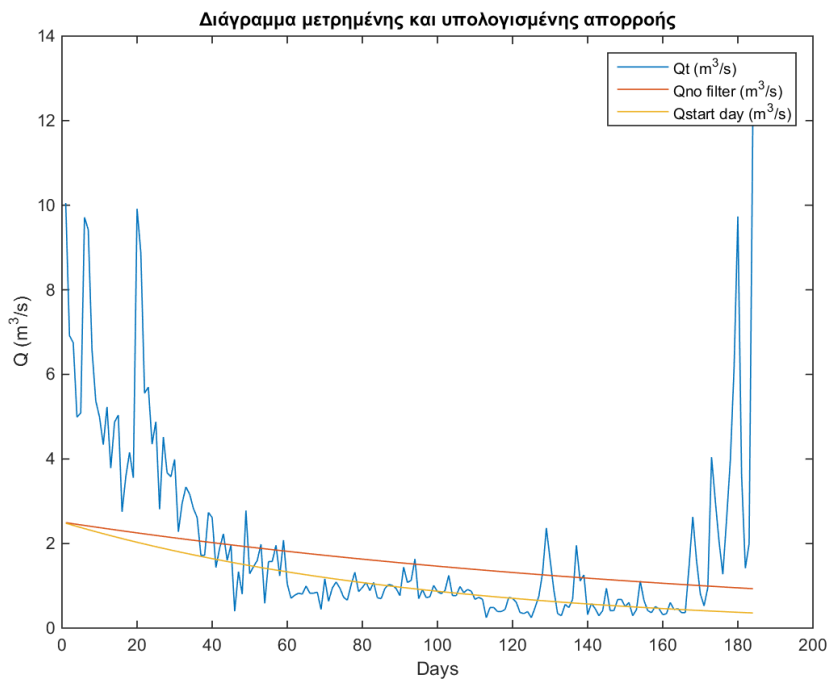
Σχήμα 7.6: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται χαρακτηριστικές χρονιές που το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόζεται.

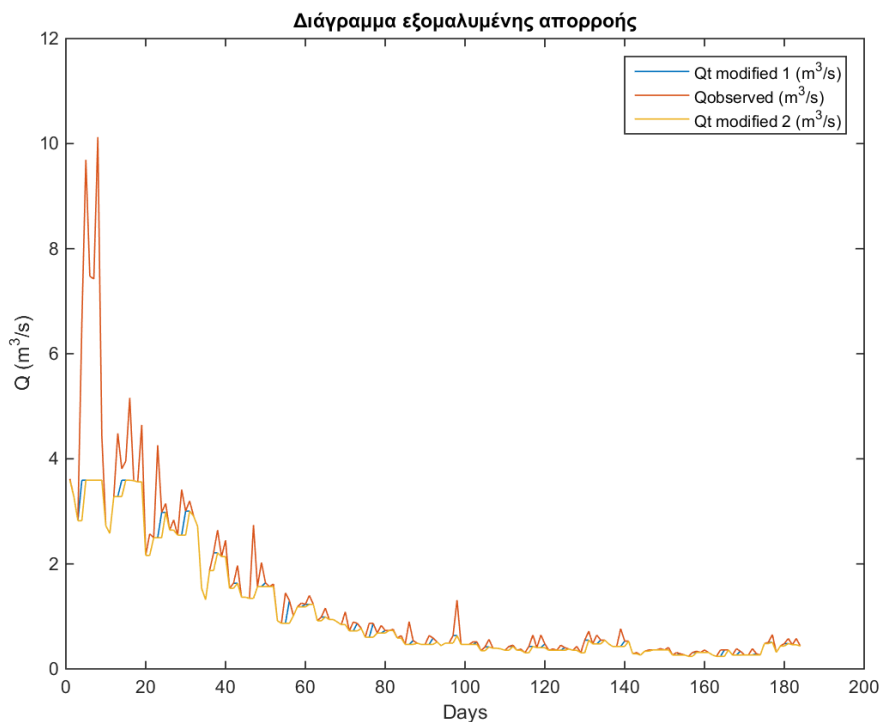
Στα σχήματα 7.7-7.14 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα της παρατηρημένης τιμής της απορροής και του μοντέλου που προσαρμόζεται, καθώς και η εξομαλύνσεις που πραγματοποιήθηκαν για την εκτίμηση της έναρξης της ξηρής περιόδου. Στο Σχήμα 7.8 φαίνεται το μοντέλο να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές, παρόλο που η έναρξη της φθινοπωρινής περιόδου είναι πριν της 15 Οκτωβρίου. Στο Σχήμα 7.7 παρουσιάζεται η εξομάλυνση της απορροής που πραγματοποιήθηκε δύο φορές και περιόρισε τα γεγονότα έντονης βροχόπτωσης. Στο Σχήμα 7.10 φαίνεται το μοντέλο να προσαρμόζεται ικανοποιητικά, ιδιαίτερα στις χαμηλές τιμές, ενώ και σε αυτή την περίπτωση η έναρξη της φθινοπωρινής περιόδου γίνεται νωρίτερα από τις 15 Οκτωβρίου, όπως μαρτυρούν οι έντονες βροχοπτώσεις στο τέλος της εξεταζόμενης περιόδου. Στο Σχήμα 7.9 φαίνονται οι εξομαλύνσεις που πραγματοποιήθηκαν έτσι ώστε να μετριαστούν οι έντονες τιμές βροχόπτωσης. Τέλος στα σχήματα 7.12 και 7.14 παρουσιάζονται δύο ακόμη χαρακτηριστικές περιπτώσεις που φαίνεται ότι το μοντέλο προσαρμόζεται αρκετά καλά και στα σχήματα 7.11 και 7.13 οι εξομαλύνσεις που πραγματοποιήθηκαν.



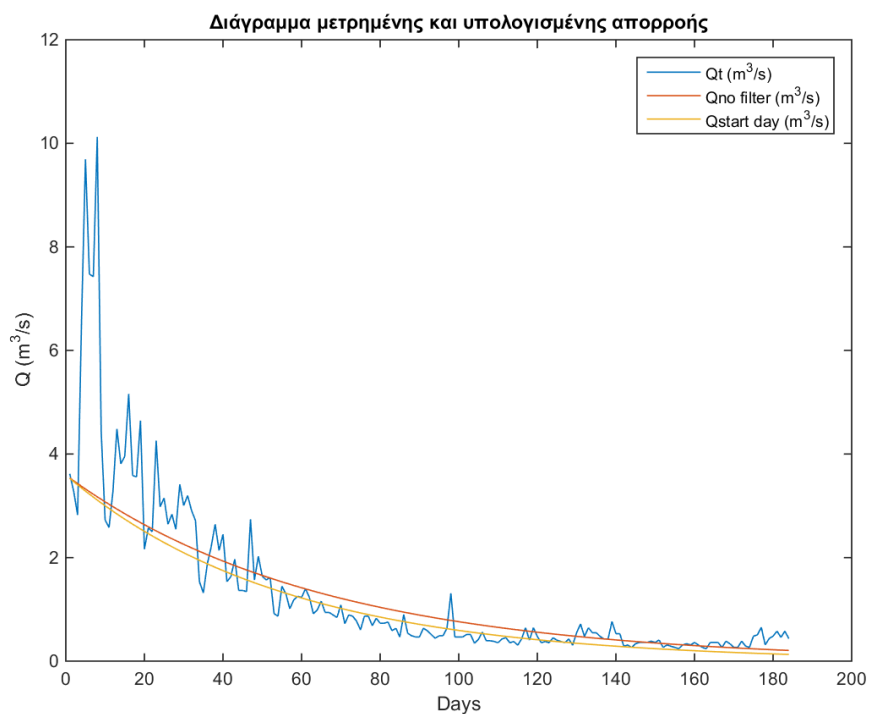
Σχήμα 7.7: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση



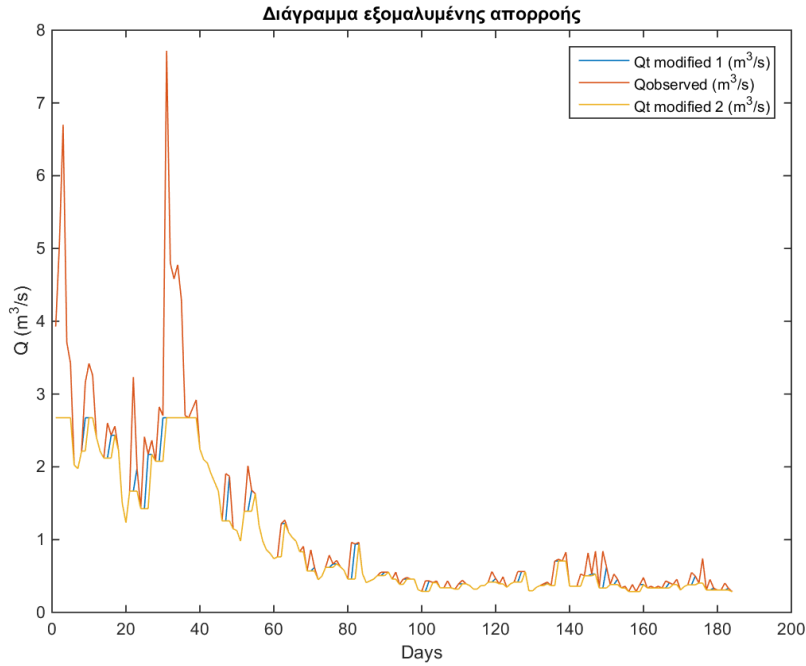
Σχήμα 7.8: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{start day}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση



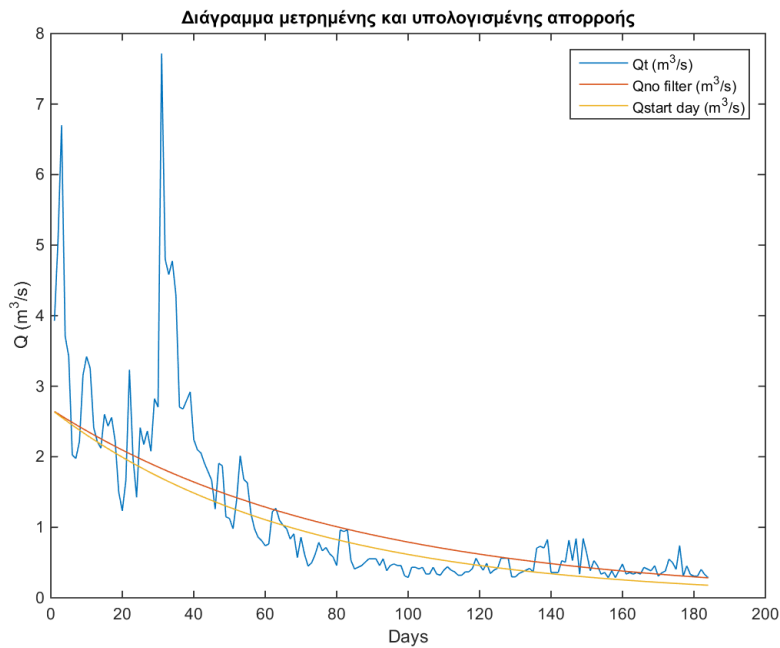
Σχήμα 7.9: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση



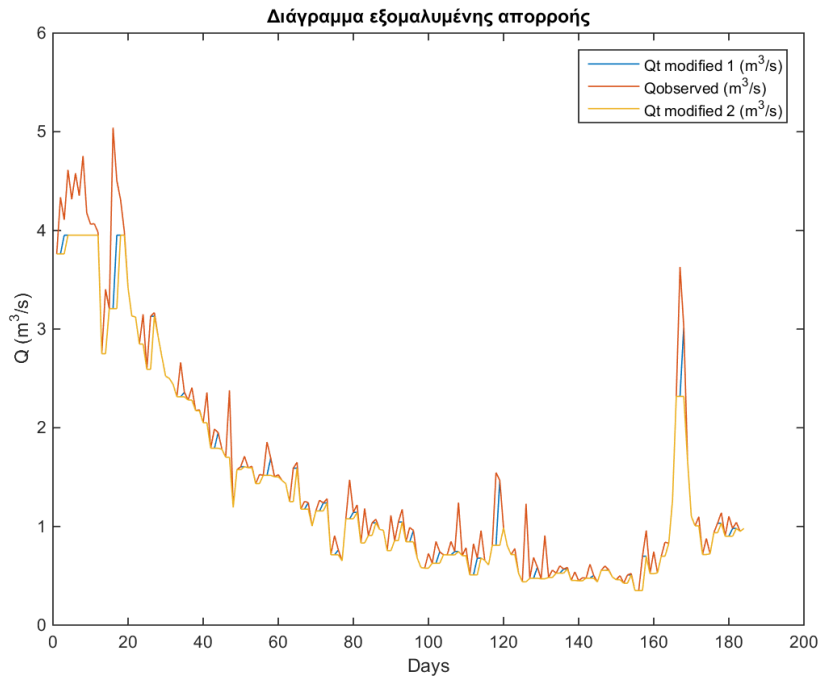
Σχήμα 7.10: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{start day}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση



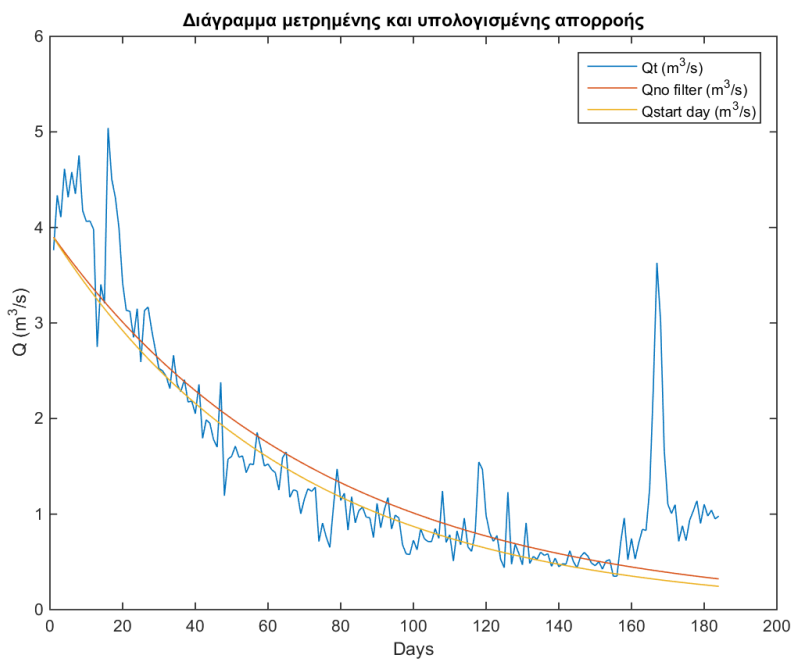
Σχήμα 7.11: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση



Σχήμα 7.12: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{start day}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση



Σχήμα 7.13: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση



Σχήμα 7.14: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση



### 7.3 Αποτελέσματα λήξης της ξηρής περιόδου

Με βάση τη διαδικασία που περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 6.3, έγινε επεξεργασία των δεδομένων και προσαρμόστηκε εκ νέου το μοντέλο. Στον Πίνακα 7.4 παρατίθενται οι τιμές της παραμέτρου  $a$  για κάθε έτος ξεχωριστά, η αρχική τιμή  $Q_0$  (λαμβάνεται ως η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου), και το σφάλμα με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση. Στον Πίνακα, όπου  $a_1$ ,  $a_2$  είναι η τιμή της παραμέτρου εκτιμημένη με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το λογαριθμικό σφάλμα που περιγράφονται από τις εξισώσεις 5.2 και 5.4 αντίστοιχα. Ακόμη,  $error_1$ ,  $error_2$  είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το λογαριθμικό που περιγράφηκαν στο εδάφιο 5.2.2.

Πίνακας 7.4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της θερινής ροής του κάθε έτους για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

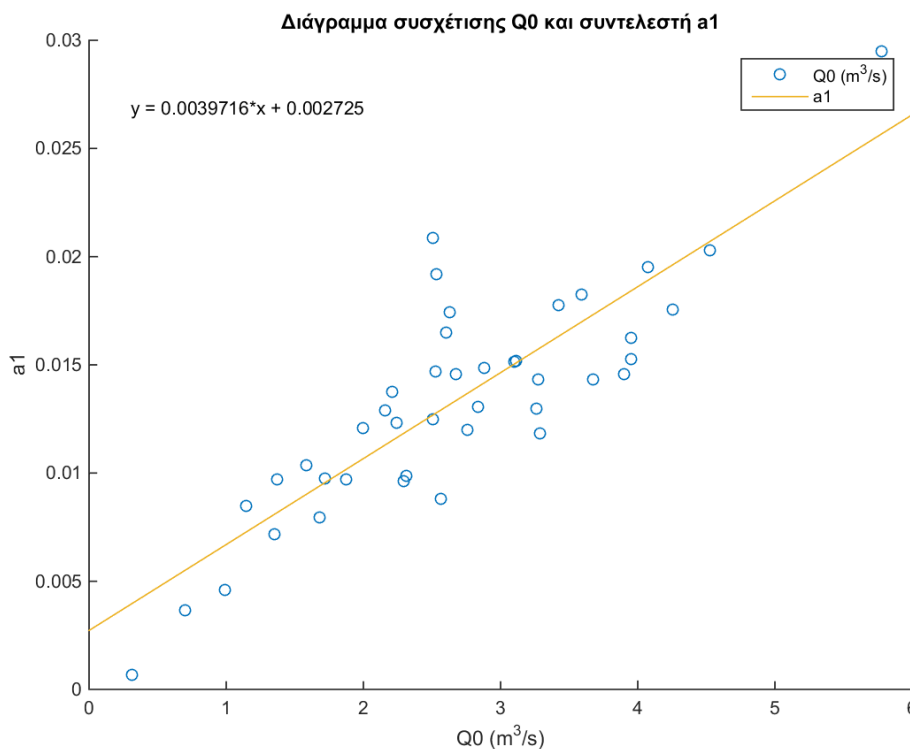
Έτος	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)	$error_1$	$a_1$	$error_2$	$a_2$
1967	1.679	3.494	0.008	4.866	0.008
1968	3.115	3.452	0.015	3.827	0.015
1969	1.720	3.115	0.010	4.989	0.010
1970	2.882	3.175	0.015	2.704	0.016
1971	5.776	5.117	0.030	5.144	0.024
1972	2.508	3.906	0.013	4.548	0.013
1973	4.255	6.145	0.018	4.073	0.019
1974	1.875	3.007	0.010	3.625	0.011
1975	2.208	4.077	0.014	5.063	0.012
1976	1.583	2.289	0.010	3.030	0.011
1977	1.148	1.317	0.009	2.872	0.008
1978	3.097	3.763	0.015	2.245	0.017
1979	3.950	3.991	0.015	3.538	0.016
1980	2.567	6.281	0.009	4.755	0.012
1981	2.758	4.290	0.012	2.924	0.014
1982	3.673	5.659	0.014	3.392	0.016
1983	2.523	4.068	0.015	3.444	0.013
1984	3.901	7.078	0.015	5.609	0.014
1985	3.593	3.906	0.018	3.451	0.018
1986	2.835	3.607	0.013	4.066	0.013
1987	3.272	4.838	0.014	3.623	0.015
1988	2.631	3.375	0.017	5.326	0.013
1989	0.993	1.717	0.005	2.658	0.005
1990	0.312	0.293	0.001	1.105	0.001
1991	2.293	3.729	0.010	3.419	0.011
1992	1.997	3.063	0.012	3.034	0.013
1993	2.675	4.585	0.015	5.202	0.014
1994	2.155	3.416	0.013	3.619	0.013
1995	2.312	4.805	0.010	5.326	0.009

Πίνακας 7.4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της θερινής ροής του κάθε έτους για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου (συνέχεια)

Έτος	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)	error <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	error <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>
1996	4.072	3.475	0.020	3.242	0.018
1997	2.240	3.602	0.012	3.385	0.013
1998	0.698	0.924	0.004	1.830	0.004
1999	4.529	3.814	0.020	4.047	0.018
2000	2.505	1.753	0.021	3.950	0.017
2001	1.372	2.038	0.010	3.633	0.010
2002	1.353	1.734	0.007	1.907	0.008
2003	3.424	3.224	0.018	2.634	0.018
2004	3.290	4.818	0.012	2.632	0.013
2005	3.263	3.374	0.013	2.015	0.014
2006	3.952	3.012	0.016	2.223	0.016
2007	2.601	3.519	0.017	2.833	0.015
2008	2.535	2.733	0.019	3.850	0.015

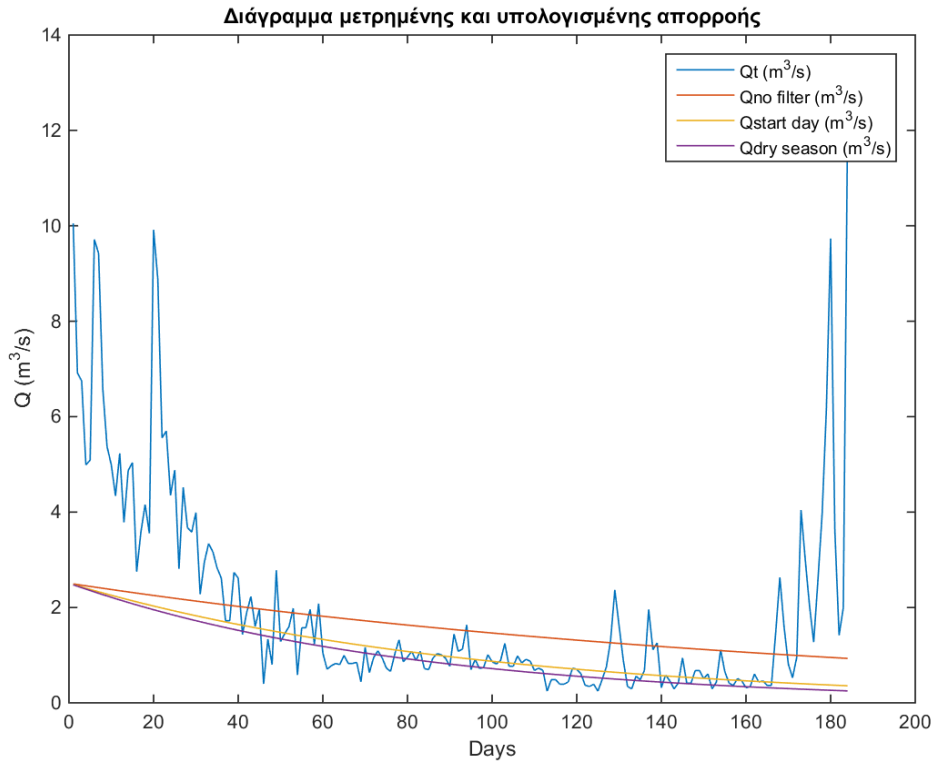
Στο Σχήμα 7.15 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Όπως φαίνεται, υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.725. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$a_1 = 0.0039716 * Q_0 + 0.002725 \quad (7.3)$$

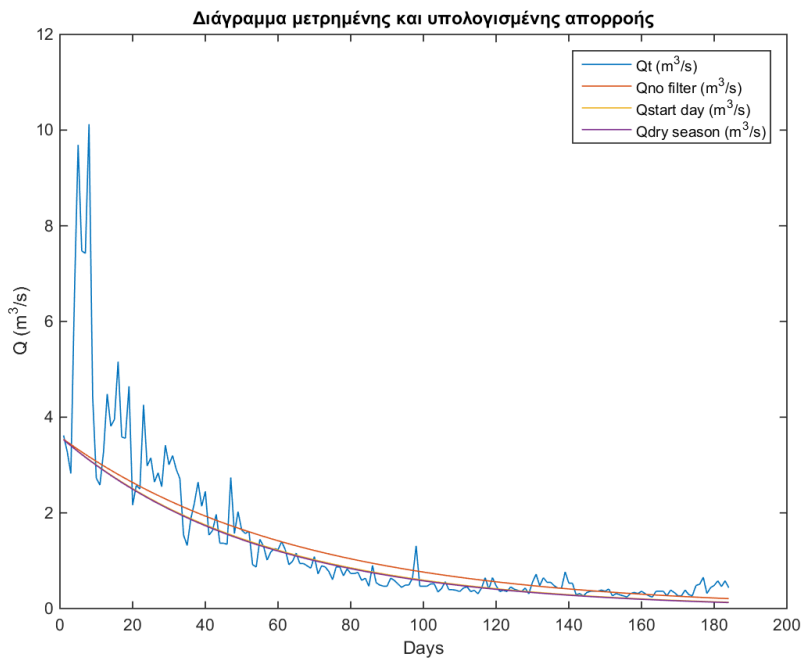


Σχήμα 7.15: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται χαρακτηριστικές χρονιές που το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόζεται. Στα σχήματα 7.16-7.19 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα της παρατηρημένης τιμής της απορροής και του μοντέλου που προσαρμόζεται, καθώς και η εξομαλύνσεις που πραγματοποιήθηκαν για την εκτίμηση της λήξης της ξηρής περιόδου. Στο Σχήμα 7.16 φαίνεται το μοντέλο να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές, παρόλο που η έναρξη και η λήξη της ξηρής περιόδου διαφέρουν αρκετά από την αρχική εκτίμηση (15 Απριλίου- 15 Οκτωβρίου). Στο Σχήμα 7.17 το μοντέλο είναι καλά προσαρμοσμένο παρόλο τις χαμηλές τιμές της μετρημένης απορροής. Στο Σχήμα 7.18 το μοντέλο προσαρμόζεται πολύ καλά. Στο Σχήμα 7.19 παρουσιάζεται η μετρημένη και η υπολογισμένη τιμή της απορροής για το έτος 2006. Φαίνεται πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής.

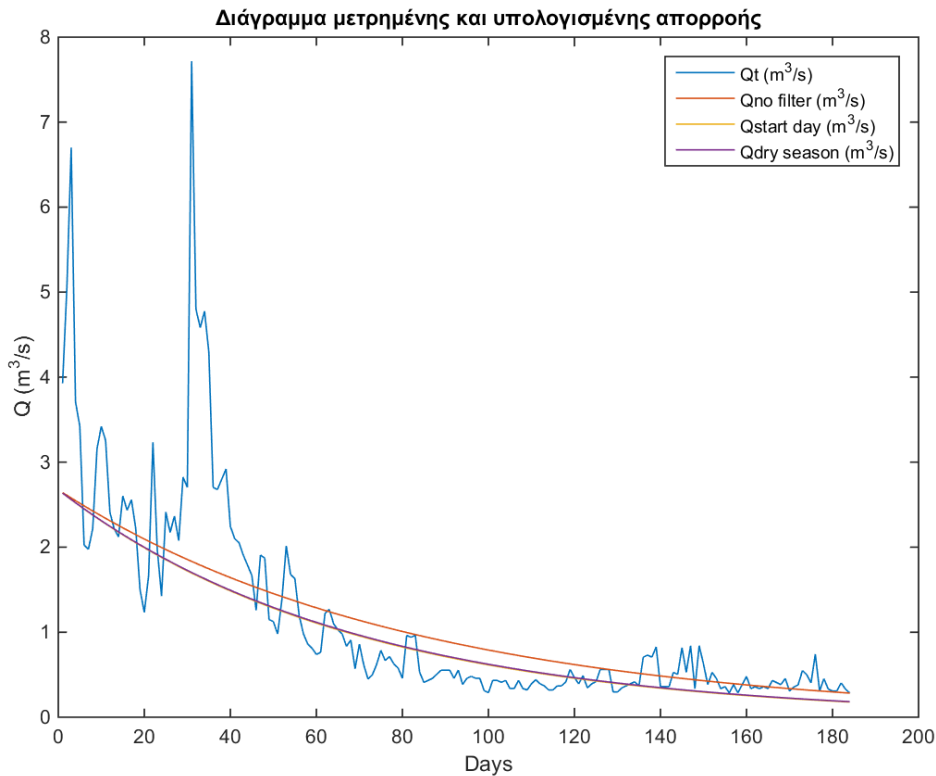


Σχήμα 7.16: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ). Το μοντέλο προσαρμόζεται από την εκτιμημένη ξηρή περίοδο.

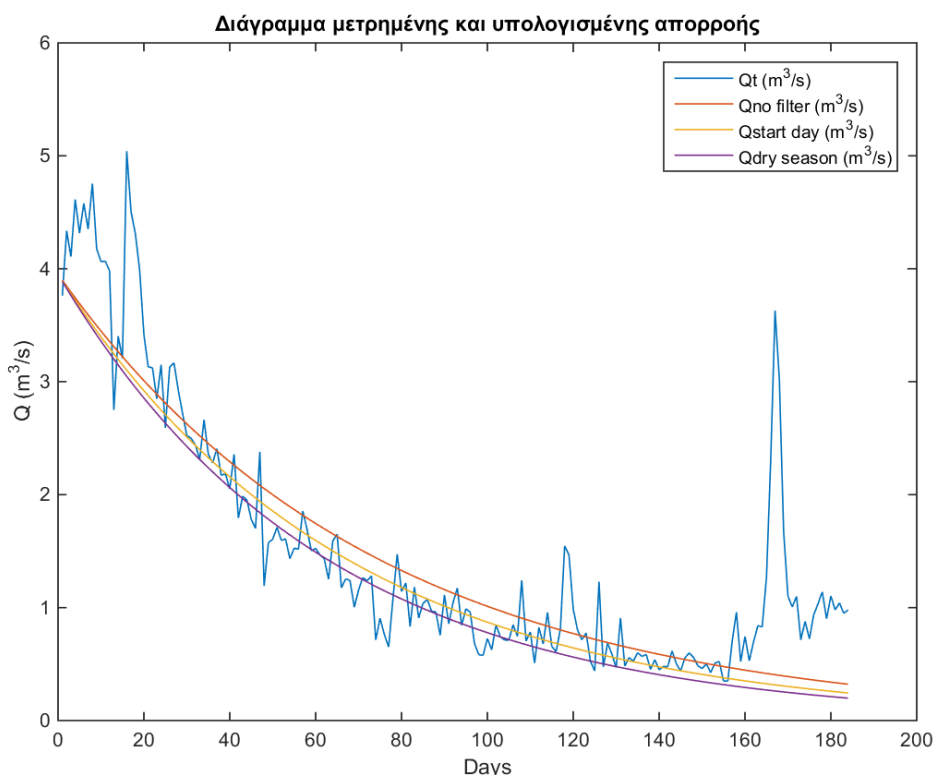


Σχήμα 7.17: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου,

αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ). Το μοντέλο προσαρμόζεται από την εκτιμημένη ξηρή περίοδο.



Σχήμα 7.18: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ). Το μοντέλο προσαρμόζεται από την εκτιμημένη ξηρή περίοδο.



Σχήμα 7.19: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ ). Το μοντέλο προσαρμόζεται από την εκτιμημένη ξηρή περίοδο.

## 7.4 Αποτελέσματα φίλτρου γραμμικής εξομάλυνσης

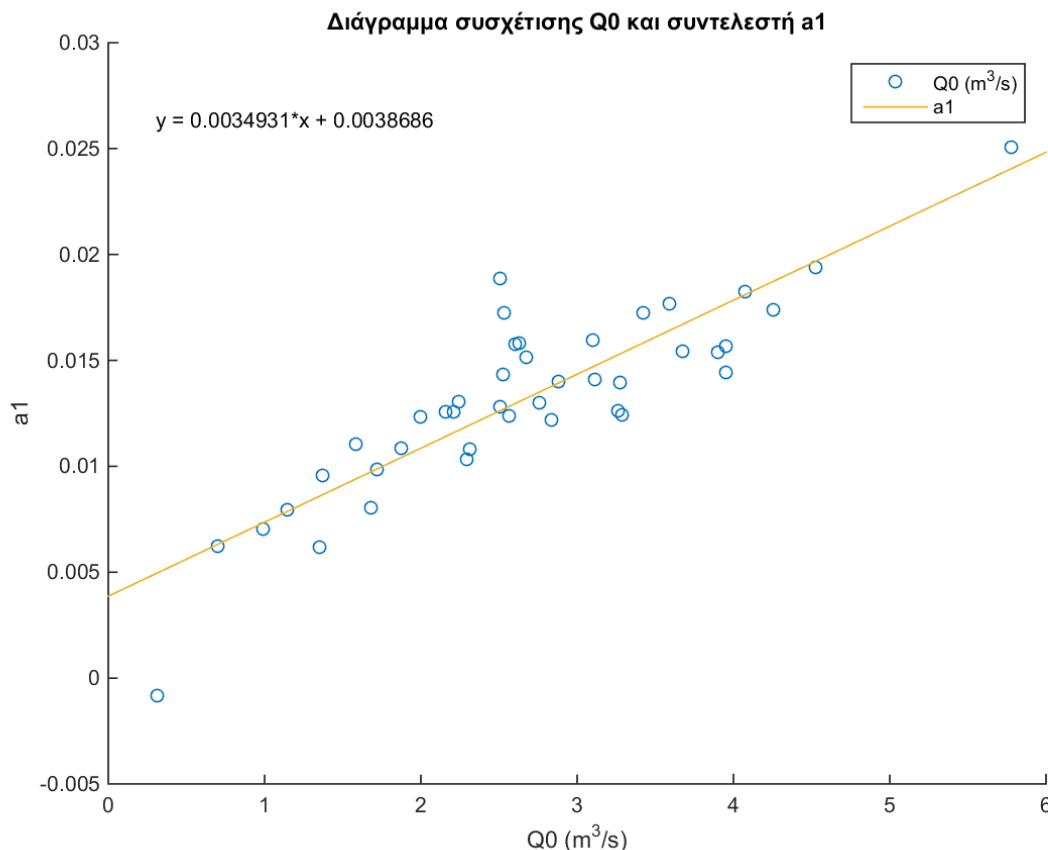
Μετά από τη διαδικασία που περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 6.4 για την εφαρμογή του γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης, έγινε επεξεργασία των δεδομένων και προσαρμόστηκε εκ νέου το μοντέλο. Στον Πίνακα 7.5 παρατίθενται οι τιμές της παραμέτρου  $a$  για κάθε έτος ξεχωριστά, η αρχική τιμή  $Q_0$  (λαμβάνεται ως η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου), και το σφάλμα με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση. Στον Πίνακα 7.5, όπου  $a_1$ ,  $a_2$  είναι η τιμή της παραμέτρου εκτιμημένη με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το λογαριθμικό σφάλμα που περιγράφονται από τις εξισώσεις 5.2 και 5.4 αντίστοιχα. Όπου  $error_1$ ,  $error_2$  είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το λογαριθμικό που περιγράφηκαν στο εδάφιο 5.2.2.

Πίνακας 7.5: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της θερινής ροής του κάθε έτους για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

Έτος	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)	error <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	error <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>
1967	1.679	2.336	0.008	3.530	0.008
1968	3.115	3.278	0.014	3.742	0.014
1969	1.720	1.669	0.010	2.953	0.010
1970	2.882	2.495	0.014	2.382	0.015
1971	5.776	5.800	0.025	4.764	0.023
1972	2.508	2.368	0.013	3.130	0.013
1973	4.255	4.257	0.017	3.976	0.017
1974	1.875	1.421	0.011	2.335	0.011
1975	2.208	3.341	0.013	4.216	0.011
1976	1.583	1.196	0.011	1.854	0.011
1977	1.148	1.309	0.008	2.794	0.008
1978	3.097	1.852	0.016	1.730	0.017
1979	3.950	3.554	0.014	3.600	0.015
1980	2.567	1.701	0.012	2.448	0.013
1981	2.758	1.894	0.013	2.311	0.013
1982	3.673	3.084	0.015	2.686	0.016
1983	2.523	3.011	0.014	2.911	0.013
1984	3.901	3.759	0.015	4.283	0.014
1985	3.593	3.209	0.018	3.522	0.017
1986	2.835	3.023	0.012	4.142	0.012
1987	3.272	3.740	0.014	3.548	0.014
1988	2.631	3.563	0.016	5.051	0.013
1989	0.993	0.218	0.007	0.573	0.007
1990	0.312	1.084	-0.001	2.628	0.000
1991	2.293	1.847	0.010	2.506	0.011
1992	1.997	1.816	0.012	2.476	0.013
1993	2.675	3.046	0.015	4.551	0.014
1994	2.155	2.302	0.013	3.309	0.012
1995	2.312	2.709	0.011	3.796	0.010
1996	4.072	3.376	0.018	3.195	0.017
1997	2.240	1.864	0.013	2.768	0.013
1998	0.698	0.093	0.006	0.284	0.006
1999	4.529	3.518	0.019	4.071	0.017
2000	2.505	2.102	0.019	3.876	0.016
2001	1.372	1.327	0.010	2.819	0.010
2002	1.353	2.020	0.006	2.169	0.007
2003	3.424	2.421	0.017	2.670	0.017
2004	3.290	2.168	0.012	1.974	0.013
2005	3.263	2.229	0.013	1.880	0.013
2006	3.952	2.420	0.016	2.076	0.015
2007	2.601	3.093	0.016	2.576	0.014
2008	2.535	2.822	0.017	3.607	0.014

Στο Σχήμα 7.20 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Όπως φαίνεται, υπάρχει αρκετά καλή συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.815. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$a_1 = 0.0034931 * Q_0 + 0.0038686 \quad (7.4)$$

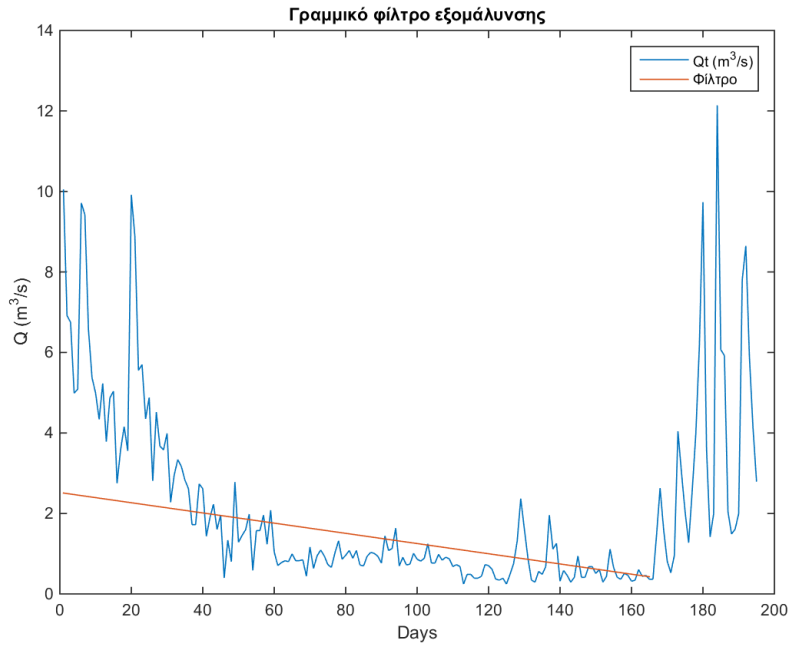


Σχήμα 7.20: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

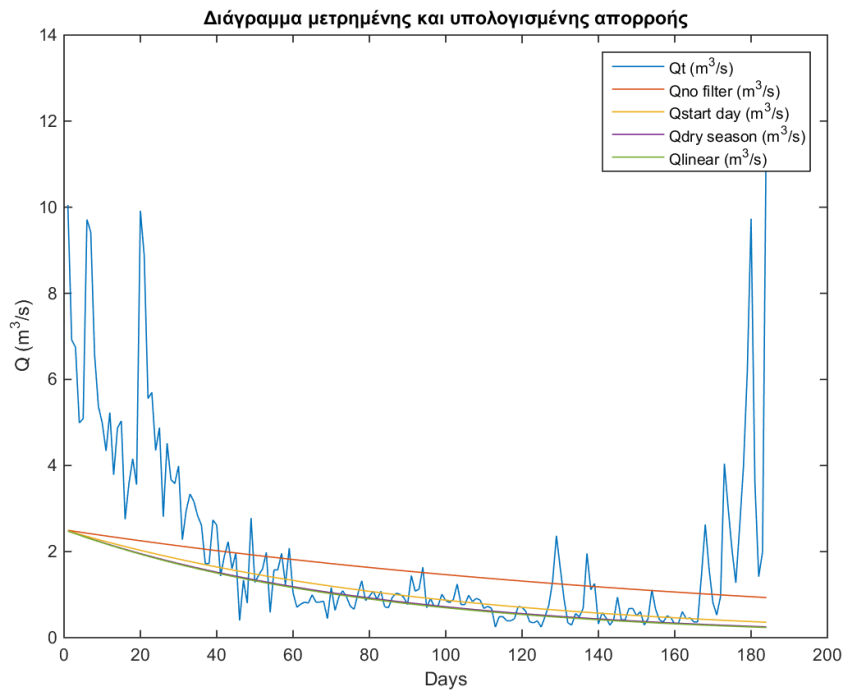
Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται χαρακτηριστικές χρονιές που το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόζεται.

Στα σχήματα 7.21-7.28 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα της παρατηρημένης τιμής της απορροής και του μοντέλου που προσαρμόζεται, καθώς και οι εξομαλύνσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του γραμμικού φίλτρου. Στα σχήματα 7.22, 7.24, 7.26, 7.28 φαίνεται πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές. Στα σχήματα 7.21, 7.23, 7.25, 7.27 παρουσιάζεται το γραμμικό φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε ως κατώφλι για την εκτίμηση του σφάλματος για τα εξεταζόμενα έτη. Οι τιμές πάνω από τη γραμμή αγνοήθηκαν κατά τον υπολογισμό του σφάλματος.

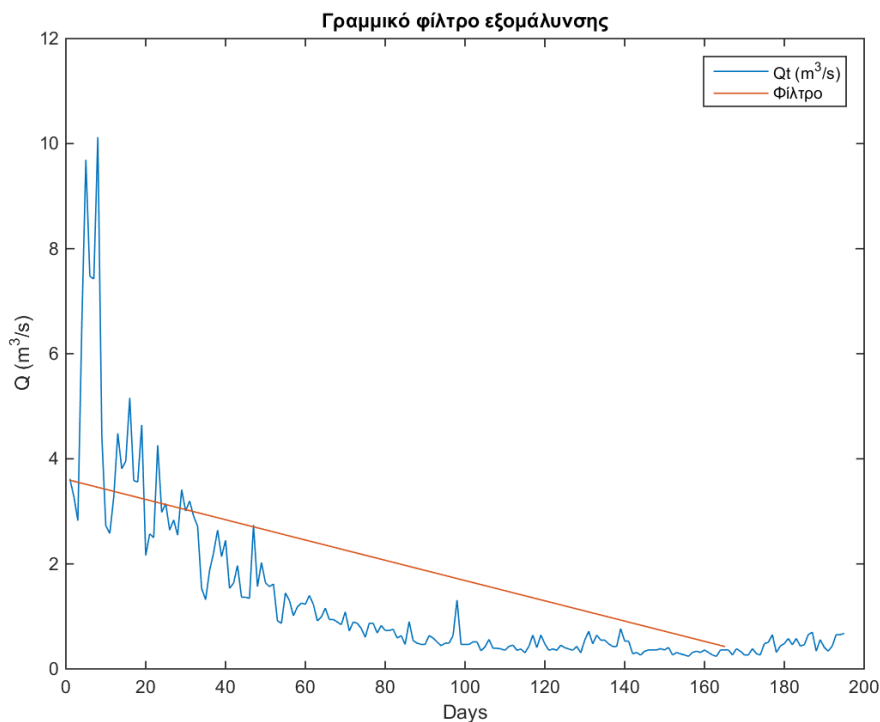




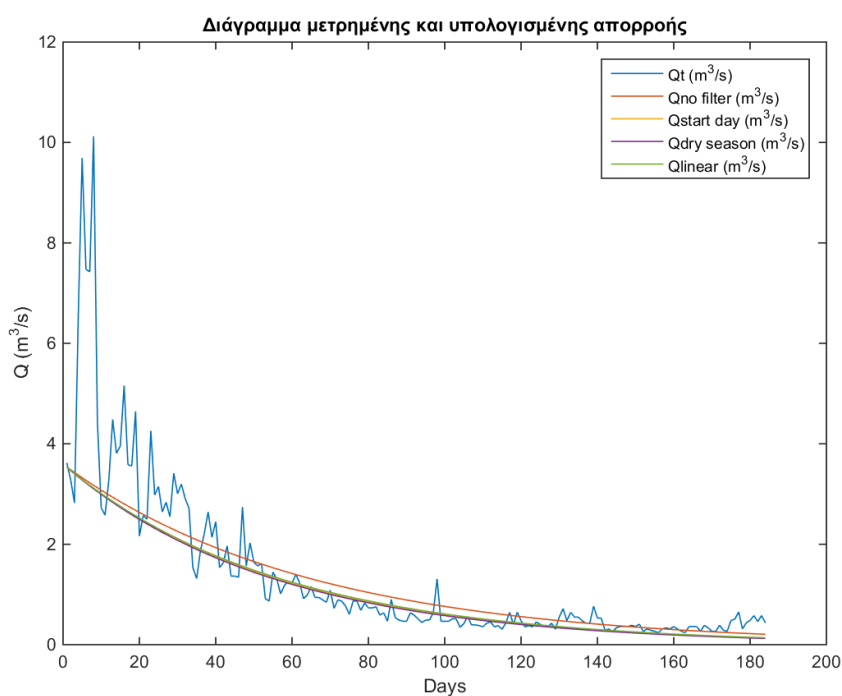
Σχήμα 7.21: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1972 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών



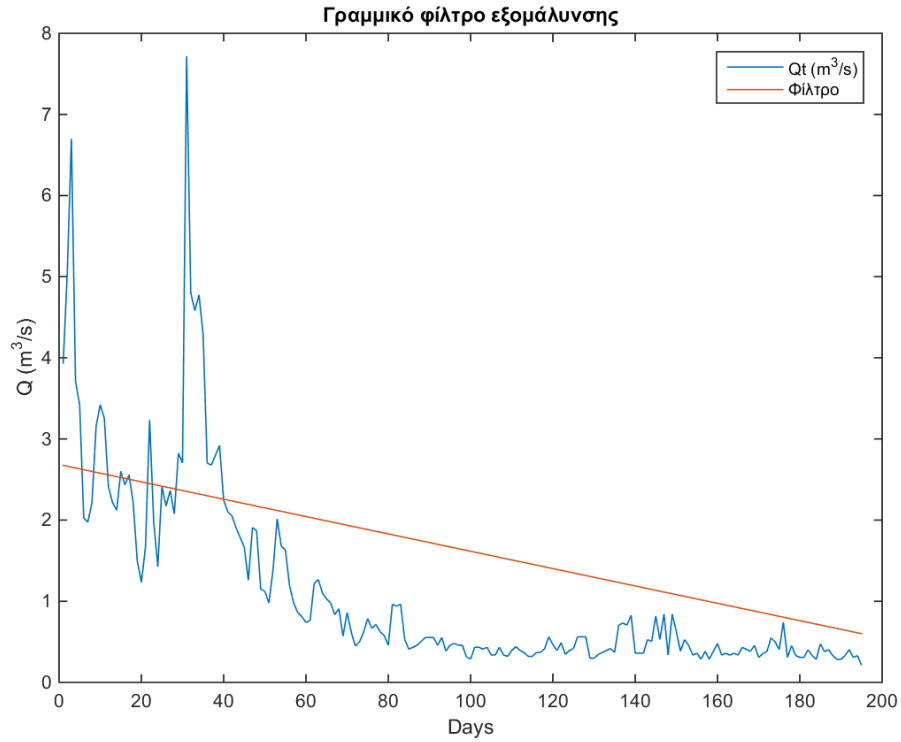
Σχήμα 7.22: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



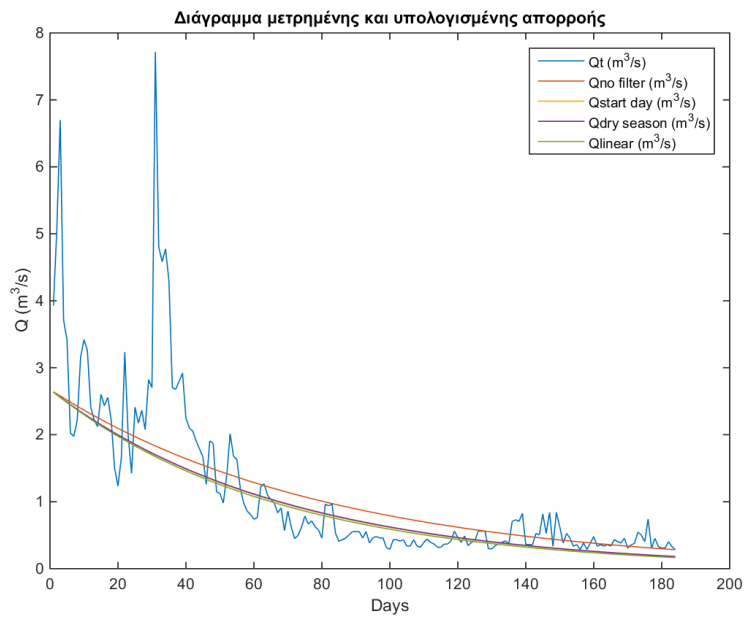
Σχήμα 7.23: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1985 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών



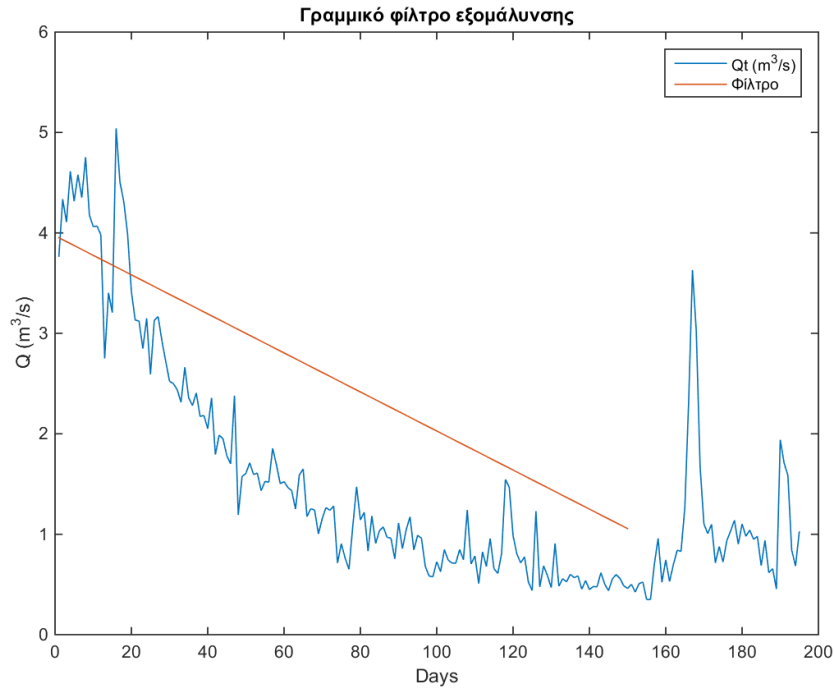
Σχήμα 7.24: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



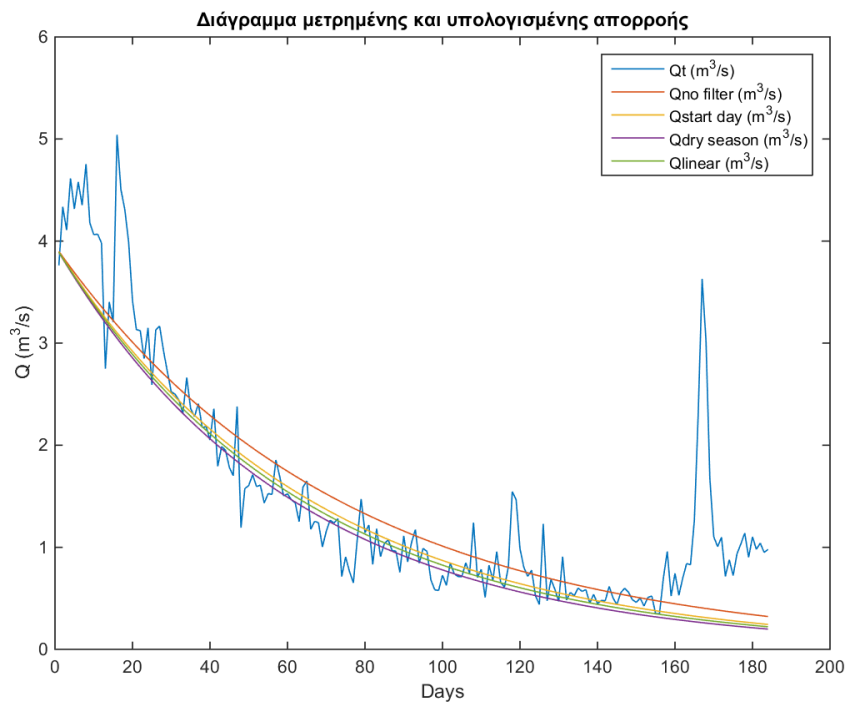
Σχήμα 7.25: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1993 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών



Σχήμα 7.26: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 7.27: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 2006 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών



Σχήμα 7.28: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{linear}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

## 7.5 Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay

Μετά από τη διαδικασία που περιγράφηκε αναλυτικά στο εδάφιο 5.2.6 για την εφαρμογή του φίλτρου εξομάλυνσης, Savitzky-Golay παρατίθενται οι τιμές της παραμέτρου  $a$  για κάθε έτος ξεχωριστά, η αρχική τιμή  $Q_0$  (λαμβάνεται ως η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου), και το σφάλμα με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκε η βελτιστοποίηση. Στον Πίνακα 7.6, όπου  $a_1$ ,  $a_2$  είναι η τιμή της παραμέτρου εκτιμημένη με το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το λογαριθμικό σφάλμα που περιγράφονται από τις εξισώσεις 5.2 και 5.4 αντίστοιχα. Όπου  $error_1$ ,  $error_2$  είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και το λογαριθμικό που περιγράφηκαν στο εδάφιο 5.3.1.

Πίνακας 7.6: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της θερινής ροής του κάθε έτους για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

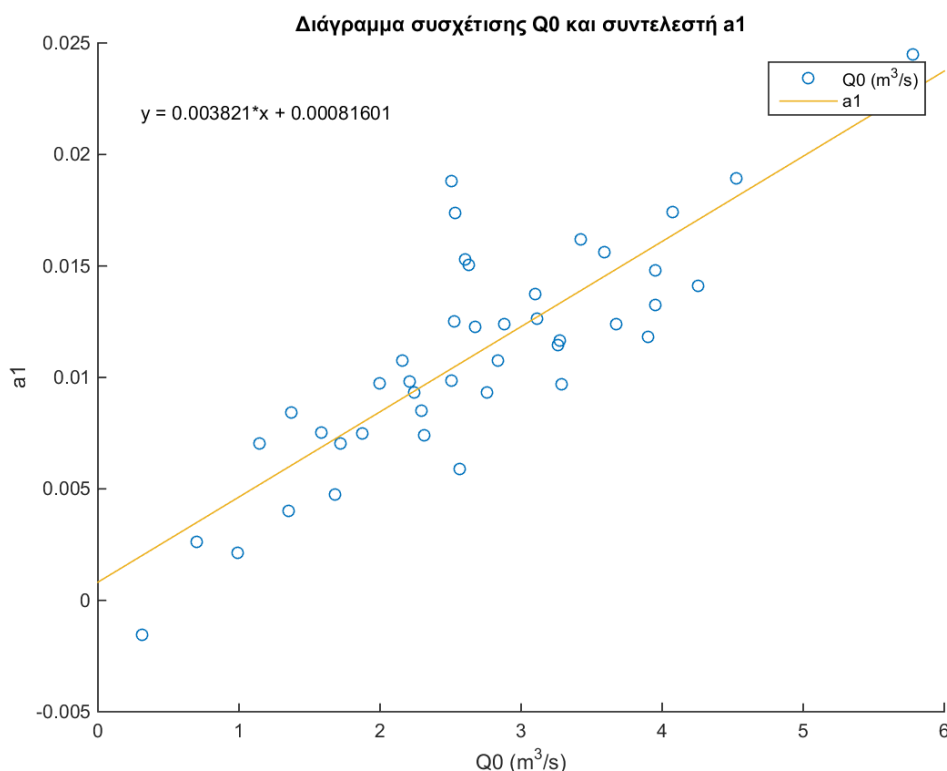
Έτος	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)	$error_1$	$a_1$	$error_2$	$a_2$
1967	1.679	3.795	0.005	3.849	0.005
1968	3.115	2.560	0.013	2.576	0.013
1969	1.720	2.491	0.007	2.491	0.007
1970	2.882	2.290	0.012	2.387	0.013
1971	5.776	3.090	0.025	4.395	0.021
1972	2.508	4.677	0.010	4.690	0.010
1973	4.255	11.163	0.014	11.443	0.016
1974	1.875	3.066	0.007	3.172	0.008
1975	2.208	2.309	0.010	2.321	0.010
1976	1.583	0.955	0.008	0.990	0.008
1977	1.148	1.330	0.007	1.341	0.007
1978	3.097	3.599	0.014	3.822	0.016
1979	3.950	7.352	0.013	7.458	0.014
1980	2.567	17.596	0.006	18.628	0.010
1981	2.758	10.653	0.009	11.163	0.012
1982	3.673	5.562	0.012	6.154	0.015
1983	2.523	2.523	0.013	2.550	0.012
1984	3.901	12.852	0.012	12.921	0.013
1985	3.593	8.370	0.016	8.428	0.017
1986	2.835	7.720	0.011	7.773	0.012
1987	3.272	3.801	0.012	4.088	0.013
1988	2.631	2.428	0.015	3.188	0.012
1989	0.993	9.068	0.002	9.521	0.005
1990	0.312	1.067	-0.002	1.077	-0.001
1991	2.293	4.632	0.009	4.855	0.010
1992	1.997	3.282	0.010	3.463	0.011
1993	2.675	5.596	0.012	5.609	0.013
1994	2.155	5.813	0.011	5.969	0.012
1995	2.312	9.389	0.007	9.423	0.008
1996	4.072	3.088	0.017	3.123	0.017
1997	2.240	12.860	0.009	13.386	0.014
1998	0.698	1.143	0.003	1.163	0.003
1999	4.529	4.147	0.019	4.723	0.017
2000	2.505	1.346	0.019	1.931	0.016
2001	1.372	1.475	0.008	1.475	0.008

Πίνακας 7.6: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου πρόγνωσης της θερινής ροής του κάθε έτους για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών, λαμβάνοντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου (συνέχεια)

Έτος	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)	error <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	error <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>
2002	1.353	1.145	0.004	1.148	0.004
2003	3.424	3.160	0.016	3.161	0.016
2004	3.290	10.283	0.010	10.607	0.012
2005	3.263	4.170	0.011	4.344	0.013
2006	3.952	3.407	0.015	3.408	0.015
2007	2.601	2.450	0.015	2.628	0.014
2008	2.535	2.195	0.017	2.604	0.015

Στο Σχήμα 7.29 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι υπάρχει αρκετά καλή συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.699. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

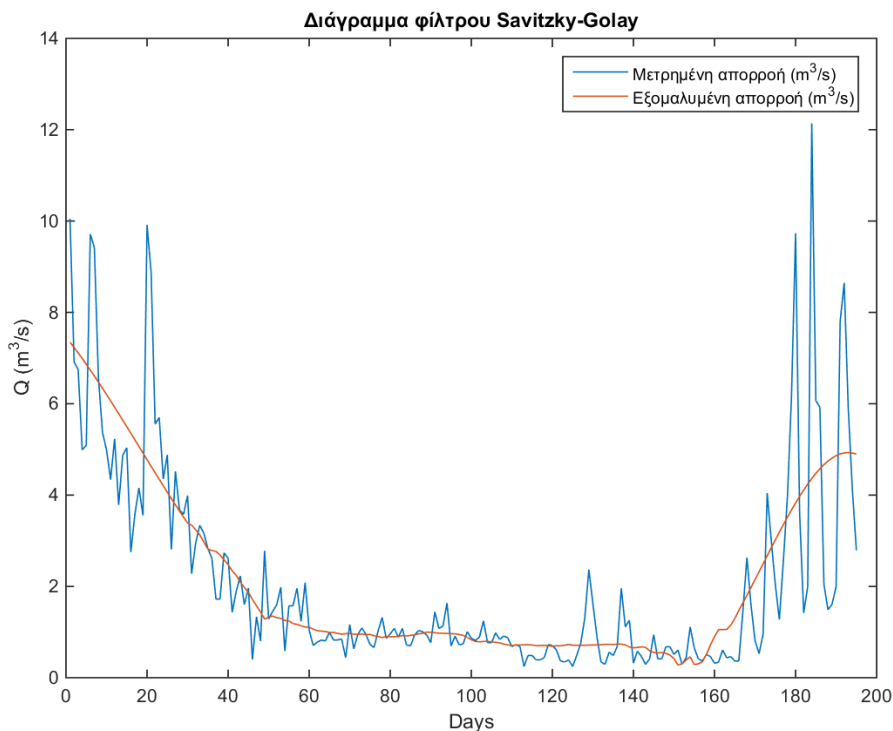
$$a_1 = 0.003821 * Q_0 + 0.00081601 \quad (7.9)$$



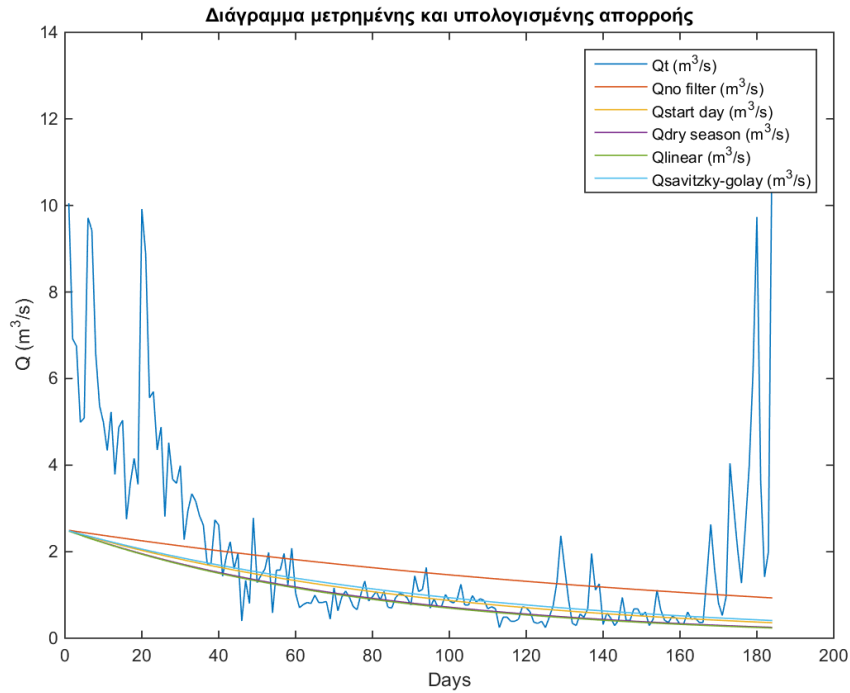
Σχήμα 7.29: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται χαρακτηριστικές χρονιές που το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόζεται.

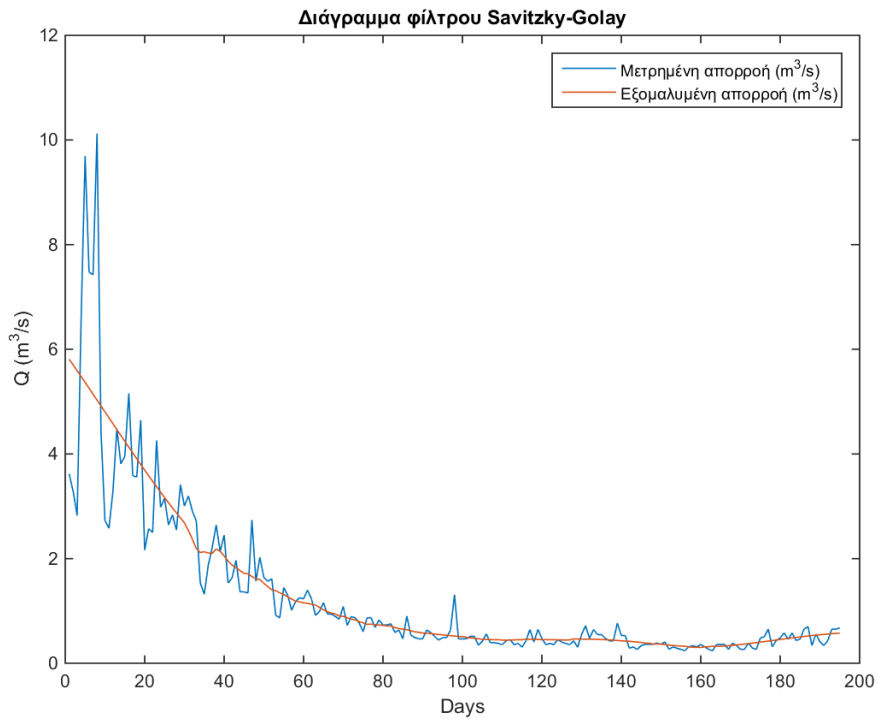
Στα σχήματα 7.30-7.37 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα της παρατηρημένης τιμής της απορροής και του μοντέλου που προσαρμόζεται, καθώς και οι εξομαλύνσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του φίλτρου. Στο Σχήμα 7.31 φαίνεται πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής, παρόλο που η έναρξη της φθινοπωρινής περιόδου είναι πριν της 15 Οκτωβρίου. Στο Σχήμα 7.30 παρουσιάζεται η εξομάλυνση που πραγματοποιήθηκε με χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay. Γίνεται σαφές πως οι τιμές που προέκυψαν ακολουθούν την τάση των αρχικών παρατηρημένων τιμών. Στο Σχήμα 7.35 φαίνεται πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής, παρόλο που στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου παρατηρούνται φαινόμενα έντονης βροχόπτωσης. Στο Σχήμα 7.34 παρουσιάζεται η εφαρμογή του φίλτρου το οποίο ακολουθεί την τάση των μετρημένων τιμών.



Σχήμα 7.30: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1972 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών

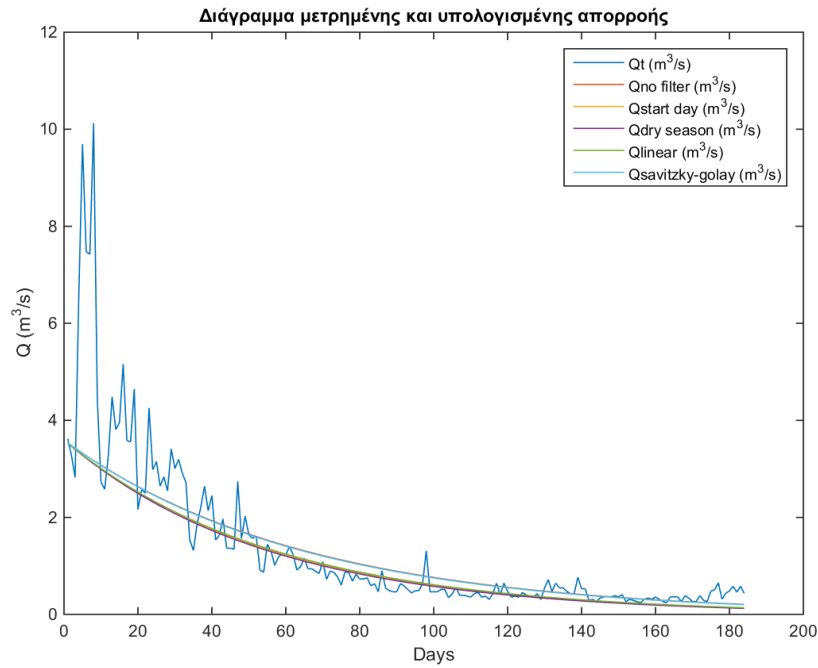


Σχήμα 7.31: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{savitzky-golay}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1972 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

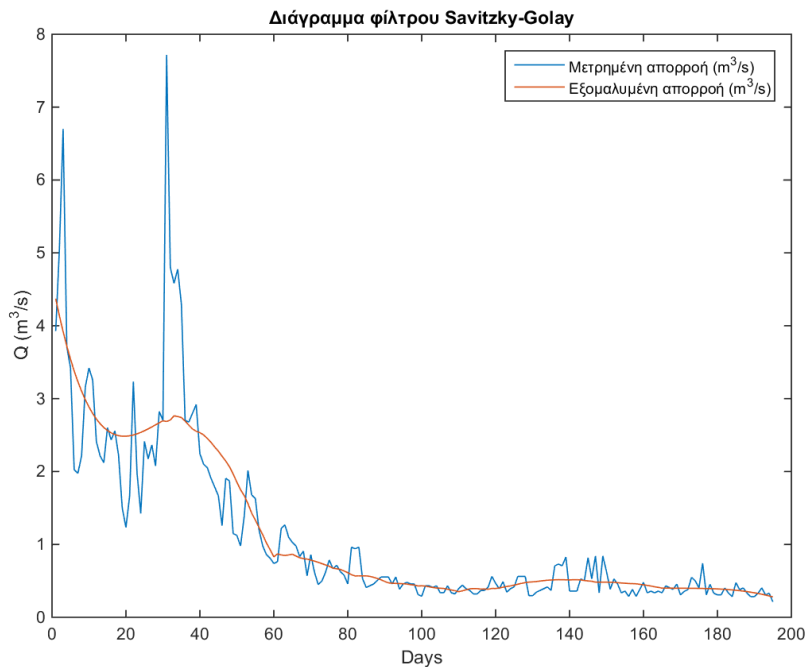


Σχήμα 7.32: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1985 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών

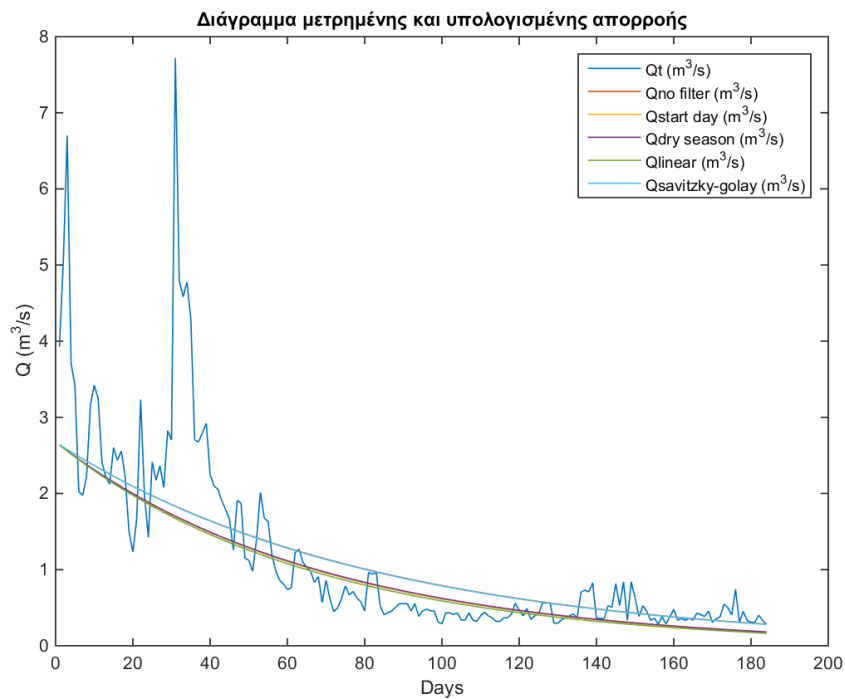




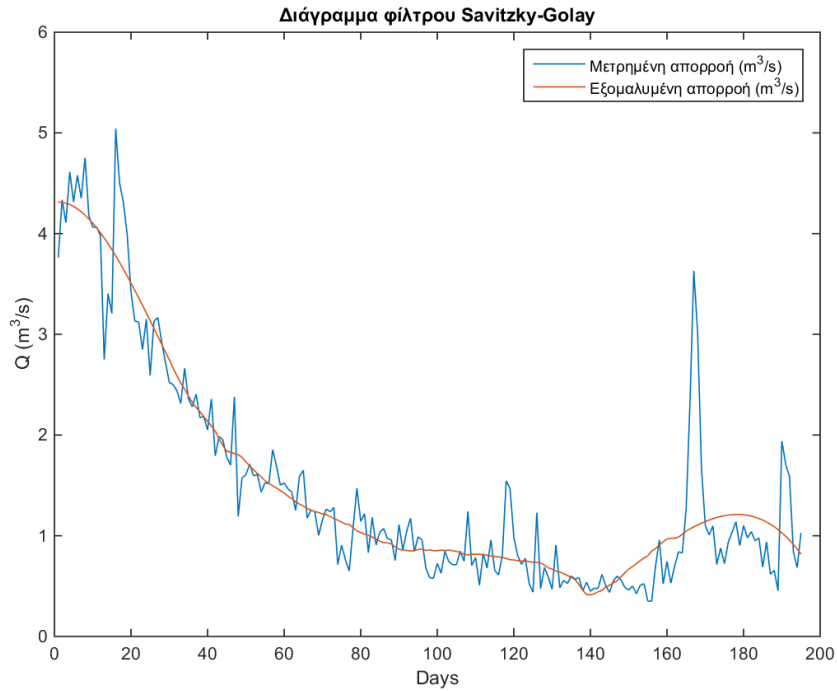
Σχήμα 7.33: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{savitzky-golay}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1985 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



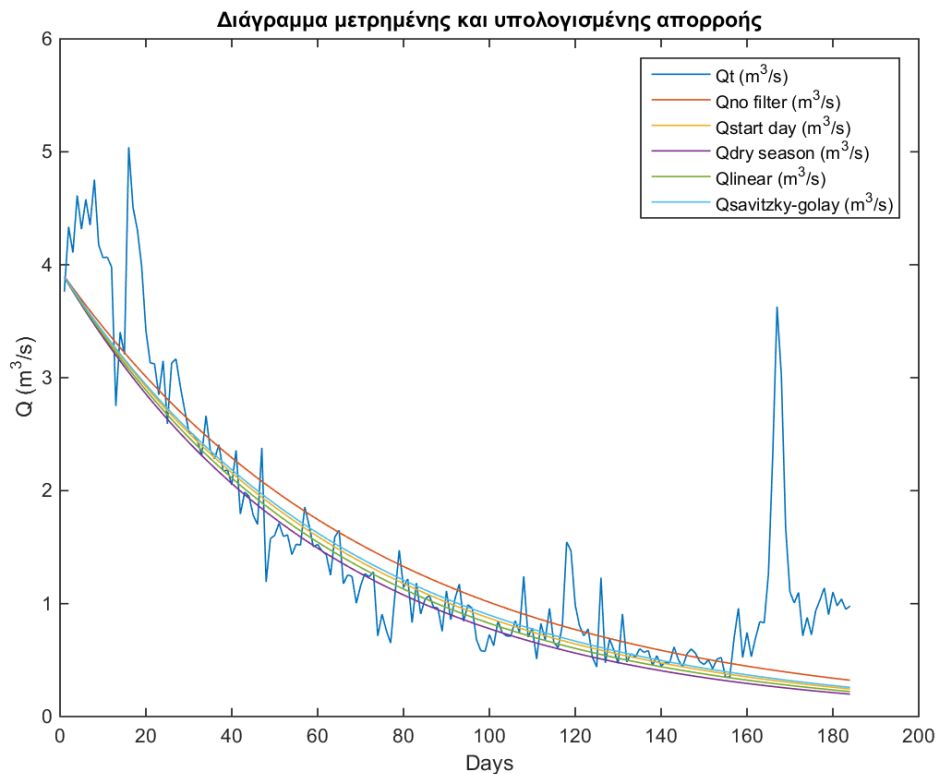
Σχήμα 7.34: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1993 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών



Σχήμα 7.35: Σχήμα 7.35: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 1993 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 7.36: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 2006 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών



Σχήμα 7.37: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{savitzky-golay}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για το έτος 2006 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

## 7.6 Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης

Στο παρόν εδάφιο παρατίθενται τα αποτελέσματα που αφορούν το μοντέλο ολικής βελτιστοποίησης δύο παραμέτρων (Εξίσωση 6.2) για τη λεκάνη των Κρεμαστών. Στον Πίνακα 7.7 παρουσιάζονται οι εκτιμημένες παράμετροι του ολικού μοντέλου, ανάλογα με την τιμή που επιλέχθηκε ως αρχική τιμή του μοντέλου και ανάλογα με το σφάλμα (μέσο τετραγωνικό και λογαριθμικό), όπου:

- $x_1$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_2$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $x_3$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η διάμεσος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_4$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η διάμεσος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $x_5$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_6$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $a, b$ : οι δύο παράμετροι του τελικού μοντέλου

Πίνακας 7.7: Οι παράμετροι του μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου  $Q_0$  για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών

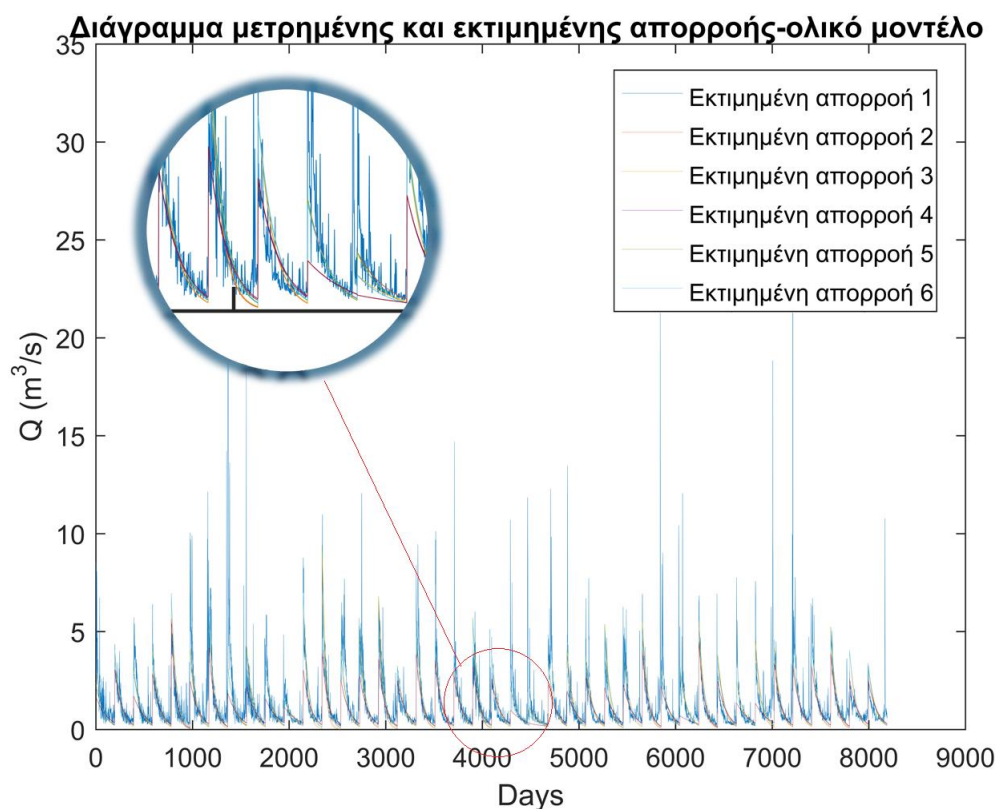
Παράμετροι μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης		
	$a$	$b$
$x_1$	0.0046	0.0031
$x_2$	0.0083	0.0017
$x_3$	0.0046	0.0030
$x_4$	0.0065	0.0021
$x_5$	0.1408	-0.0216
$x_6$	0.0023	0.0034

Τα συνολικά σφάλματα που προέκυψαν για τις διάφορες τιμές της αρχικής τιμής του μοντέλου ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.8, όπου:

- $error_1$ : Το ολικό αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_2$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_3$ : Το ολικό αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_4$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_5$ : Το ολικό αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_6$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

Πίνακας 7.8: Συνολικά σφάλματα για την εκτίμηση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου  $Q_0$  για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών

Συνολικό σφάλμα	
error <sub>1</sub>	2477.1420
error <sub>2</sub>	34.9708
error <sub>3</sub>	2297.2423
error <sub>4</sub>	34.0376
error <sub>5</sub>	6453.8493
error <sub>6</sub>	31.7931

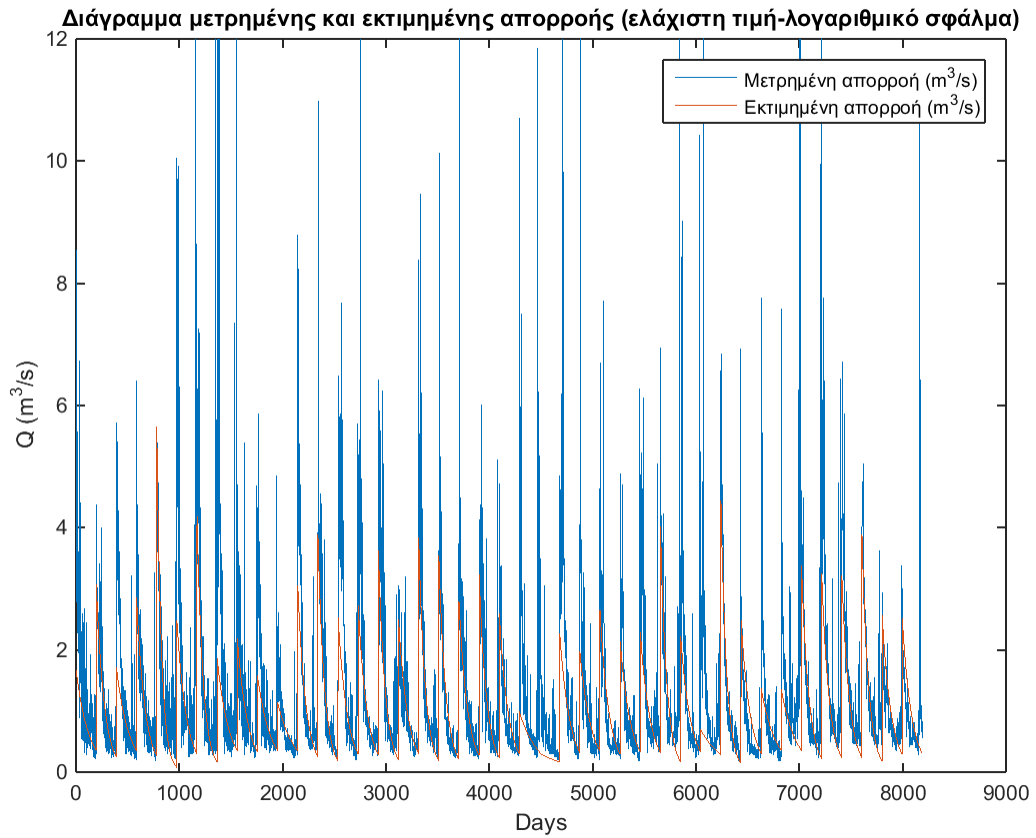


Σχήμα 7.38: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών για ολόκληρη τη διαθέσιμη χρονοσειρά

Στο Σχήμα 7.38 παρουσιάζονται οι διάφορες εκτιμημένες τιμές της απορροής. Γίνεται σαφές πως η εκτιμημένη απορροή 2 (κόκκινο χρώμα) δεν προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα δεδομένα. Οι διάφορες τιμές των παραμέτρων του ολικού μοντέλου παρουσιάζονται στον Πίνακα.7.10. Ως τελικές τιμές λαμβάνονται εκείνες που αντιστοιχούν στον συνδυασμό *ελάχιστη αρχική τιμή-λογαριθμικό σφάλμα*. Οπότε οι παράμετροι θα είναι:

$$a=0.0023 \text{ και } b=0.0034$$

Στο Σχήμα 7.39 παρουσιάζεται ενδεικτικά το προσαρμοσμένο μοντέλο αξιοποιώντας την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα. Γίνεται σαφές πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής.



Σχήμα 7.39: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_2$ )

## 8 Αποτελέσματα υπολοίπων (πλην της λεκάνης του Αχελώου) λεκανών

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις επεξεργασίες που περιγράφηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 5 για τις λεκάνες απορροής του Ευήνου, της Imera Meridionale, Λαζάρηδες και Περιστερώνα. Σημειώνεται ότι στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρατίθενται απλώς τα αποτελέσματα ακολουθώντας την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 7 για τη λεκάνη απορροής των Κρεμαστών.

### 8.1 Αποτελέσματα λεκάνης απορροής του Ευήνου

Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέσοι όροι των υπολογισμένων σφαλμάτων σε συνδυασμό με τις διάφορες αρχικές τιμές της απορροής που χρησιμοποιήθηκαν για το μοντέλο. Γίνεται σαφές πως ο συνδυασμός  $error_1-minQ_0$  (μέσο τετραγωνικό σφάλμα- ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου) είναι ο καλύτερος.

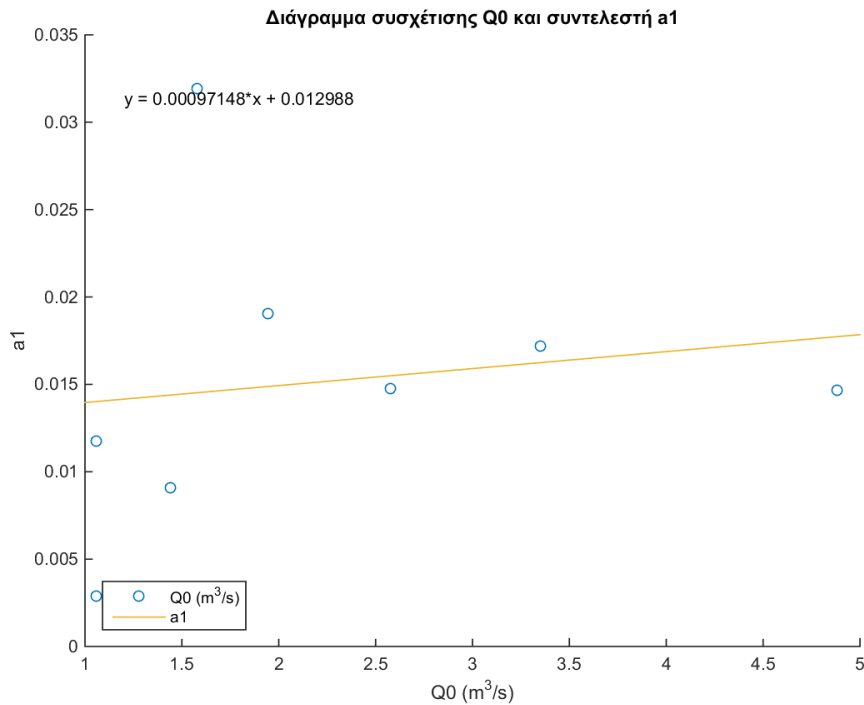
Πίνακας 8.1: Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορετικών αρχικών τιμών και σφαλμάτων για όλες τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου

	no filter	start day	dry season	linear filter	SG filter
$error_1-mean Q_0$	7.787	19.288	4.198	3.885	4.048
$error_1-median Q_0$	7.634	17.357	3.996	3.625	3.825
$error_1-min Q_0$	7.707	9.382	2.706	2.350	2.726
$error_2-mean Q_0$	7.639	7.465	5.481	5.263	5.314
$error_2-median Q_0$	7.475	7.296	5.327	5.102	4.914
$error_2-min Q_0$	6.355	5.698	3.955	3.693	3.129

### 8.1.1 Αποτελέσματα αρχικής επεξεργασίας

Στον Σχήμα 8.1 φαίνεται η συσχέτιση της αρχικής απορροής του μοντέλου  $Q_0$  με τις παραμέτρους  $a$  που εκτιμήθηκαν για κάθε έτος, καθώς και το γραμμικό μοντέλο που προέκυψε. Όπως εύκολα διαπιστώνεται, δεν φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση της τιμής  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  του μοντέλου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το συντελεστή συσχέτισής τους που ισούται με 0.023. Η εξίσωση που συνδέει την αρχική απορροή του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  είναι:

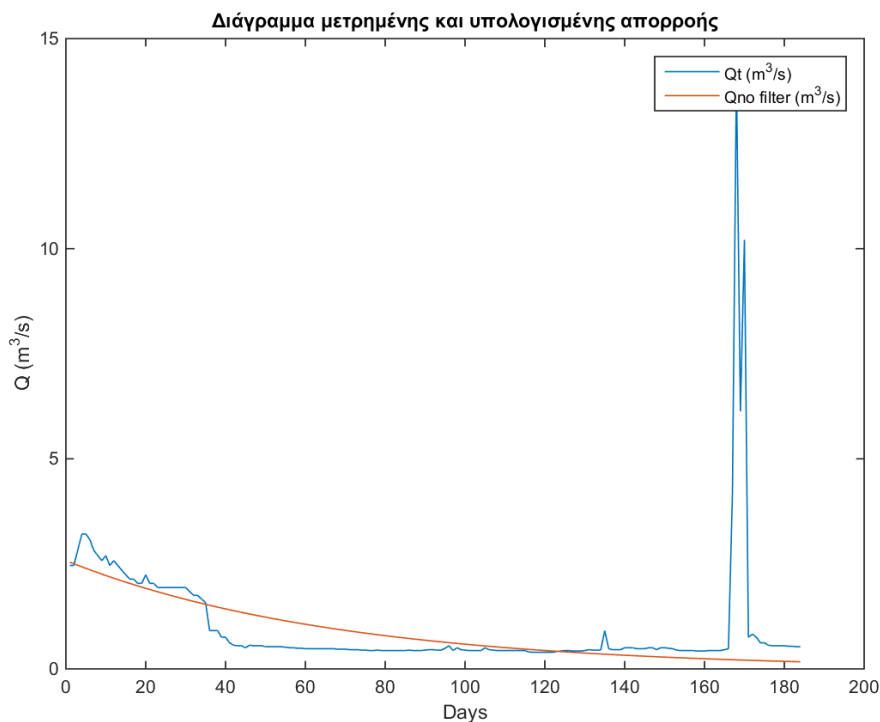
$$a_1 = 0.00097148 * Q_0 + 0.012988 \quad (8.1)$$



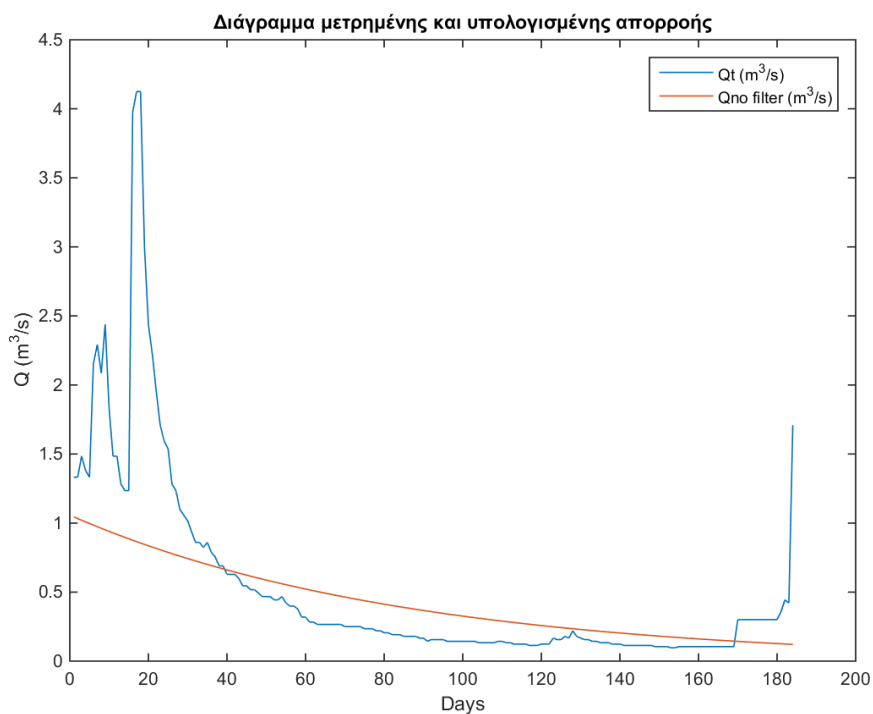
Σχήμα 8.1: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνονται χαρακτηριστικές χρονιές, για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου, της μετρημένης και της εκτιμημένης τιμής της απορροής. Στο Σχήμα 8.2 γίνεται σαφές πως το μοντέλο ακολουθεί τις παρατηρημένες τιμές της απορροής, παρόλο που φαίνεται πως η έναρξη της φθινοπωρινής περιόδου γίνεται πριν από τις 184 ημέρες. Στο Σχήμα 8.3 το μοντέλο είναι αρκετά καλά προσαρμοσμένο δεδομένης της έντονης βροχόπτωσης στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου (15 Απριλίου- 15 Οκτωβρίου).





Σχήμα 8.2: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

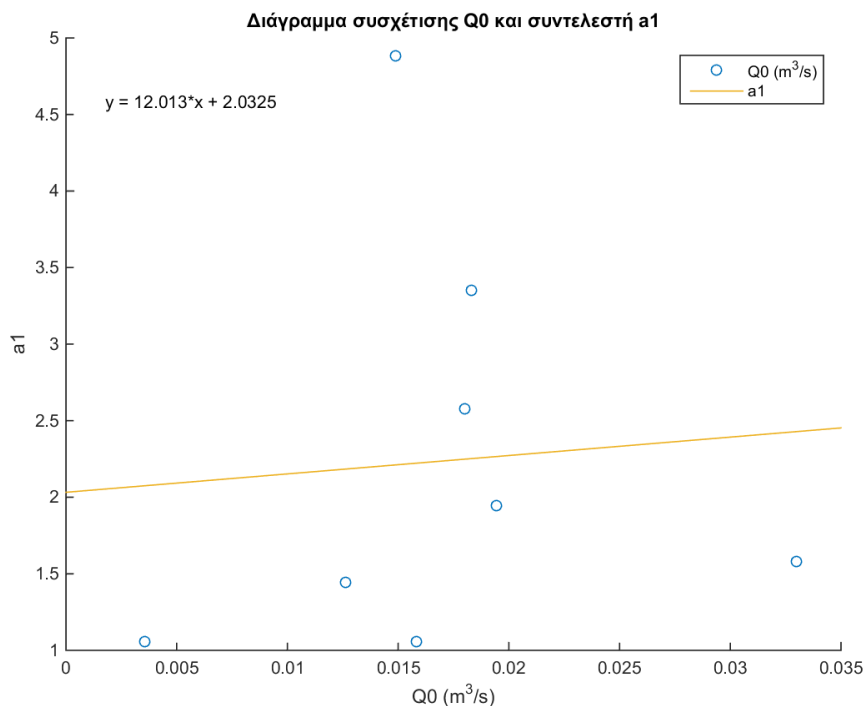


Σχήμα 8.3: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.1.2 Αποτελέσματα έναρξης ξηρής περιόδου

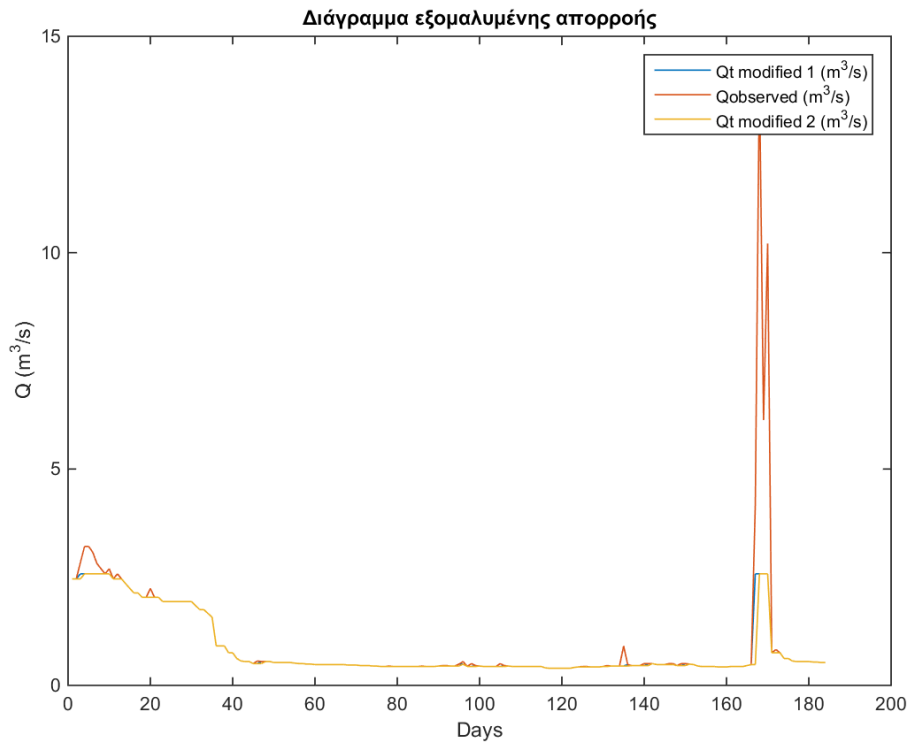
Στον Σχήμα 8.4 παρουσιάζεται η συσχέτιση της αρχικής απορροής του μοντέλου  $Q_0$  με τις παραμέτρους  $a$  που εκτιμήθηκαν για κάθε έτος, καθώς και το γραμμικό μοντέλο που προέκυψε. Όπως εύκολα διαπιστώνεται δεν υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση της τιμής  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  του μοντέλου (εκτιμημένη με το βάσει το λογαριθμικό σφάλμα). Αυτό επιβεβαιώνεται και από το βαθμό συσχέτισής τους που ισούται με 0.005. Η εξίσωση που συνδέει την αρχική απορροή του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  είναι:

$$a_1 = 12.013 * Q_0 + 2.0325 \quad (8.2)$$

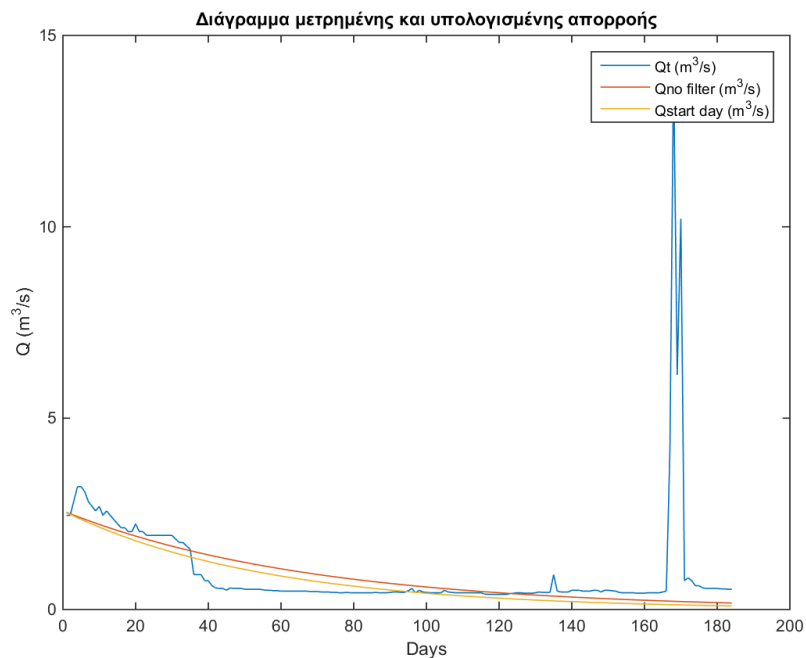


Σχήμα 8.4: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

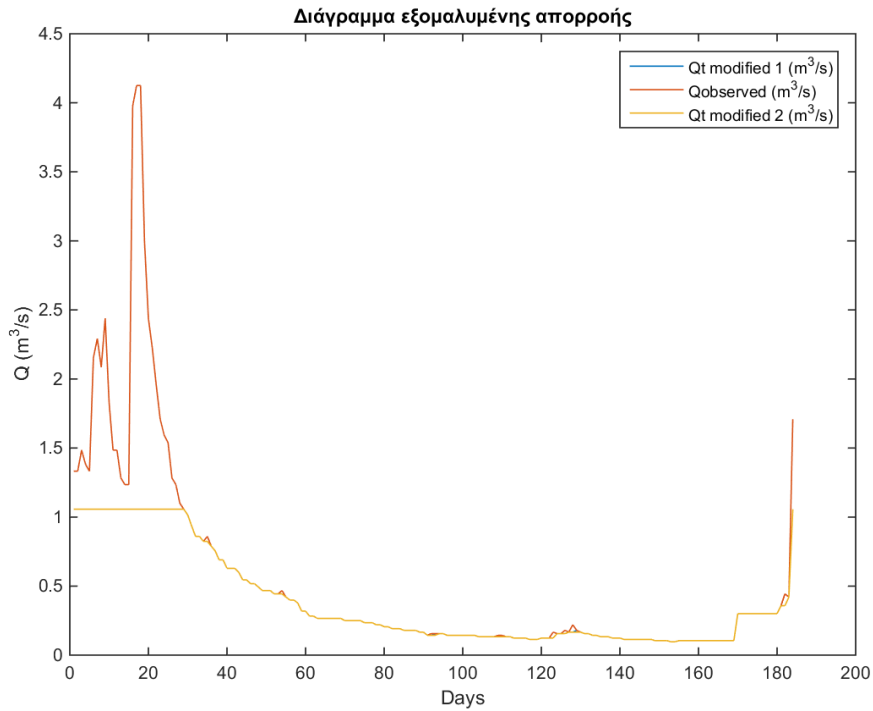
Στα σχήματα 8.5, 8.6, 8.7, 8.8 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα της παρατηρημένης τιμής της απορροής και του μοντέλου, καθώς και η εξομαλύνσεις που πραγματοποιήθηκαν για την εκτίμηση της έναρξης της ξηρής περιόδου. Στο Σχήμα 8.6 φαίνεται το μοντέλο να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές, παρόλο που παρατηρείται ένα φαινόμενο έντονης βροχόπτωσης στο τέλος της εξεταζόμενης περιόδου. Στο Σχήμα 8.8 το μοντέλο προσαρμόζεται σχετικά καλά δεδομένου ότι εμφανίζονται έντονα γεγονότα βροχής στην εξεταζόμενη ξηρή περίοδο.



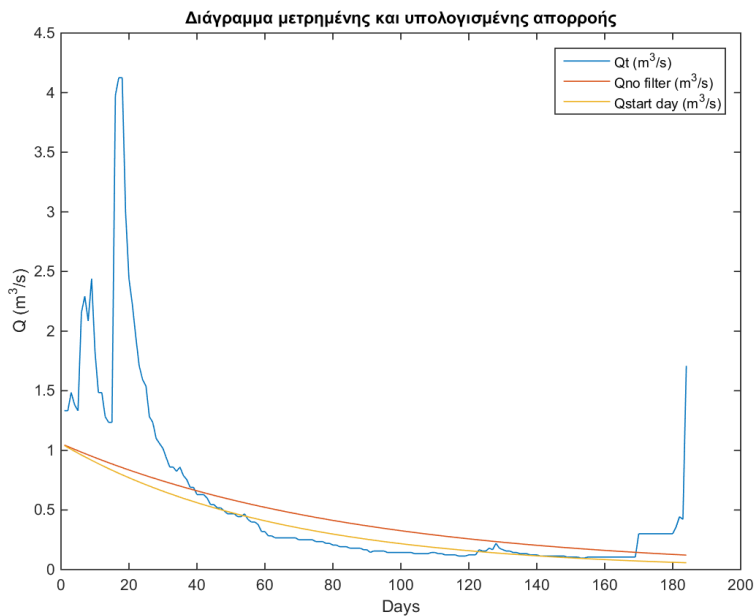
Σχήμα 8.5: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση



Σχήμα 8.6: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{start day}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.7: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση

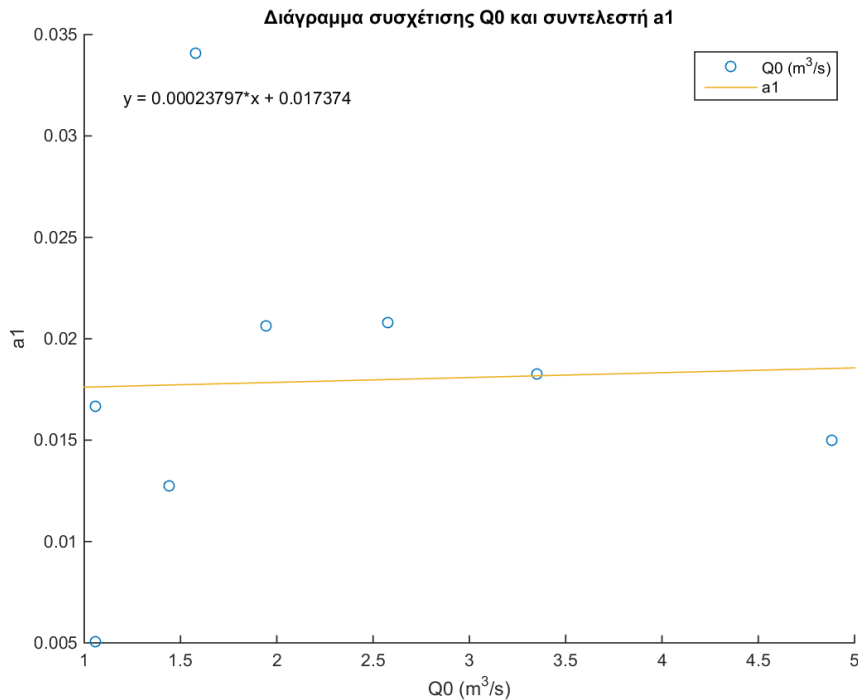


Σχήμα 8.8: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.1.3 Αποτελέσματα λήξης ξηρής περιόδου

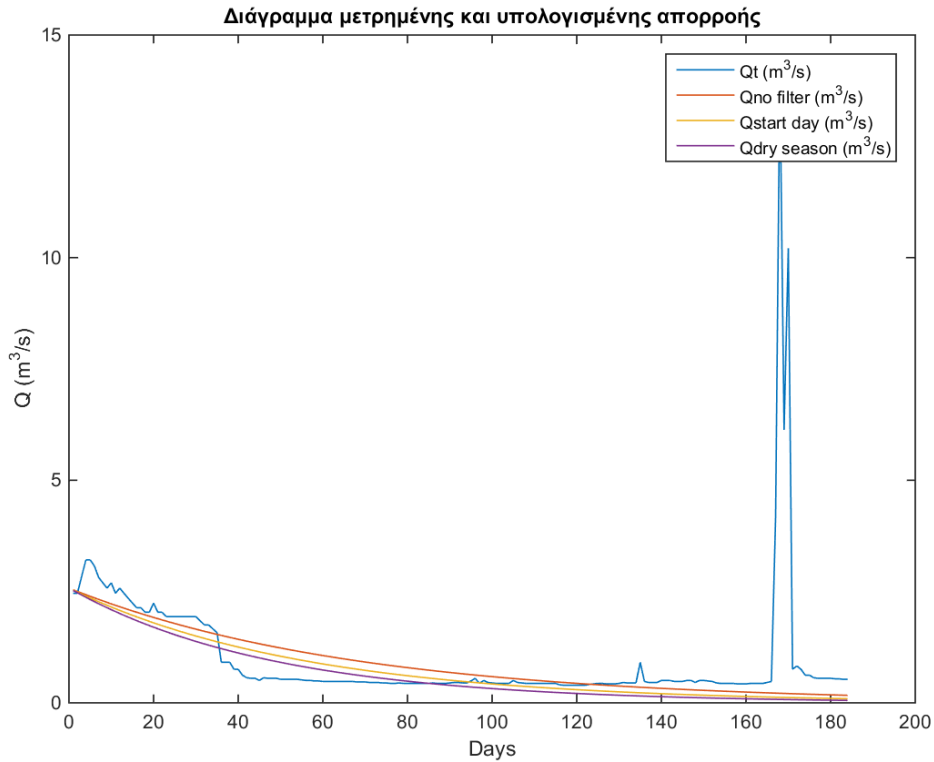
Στον Σχήμα 8.9 παρουσιάζεται η συσχέτιση της αρχικής απορροής του μοντέλου  $Q_0$  με τις παραμέτρους  $a$  που εκτιμήθηκαν για κάθε έτος, καθώς και το μοντέλο που προέκυψε. Όπως εύκολα διαπιστώνεται, δεν υπάρχει συσχέτιση της τιμής  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  του μοντέλου (εκτιμημένη με το βάσι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα). Η εξίσωση που συνδέει την αρχική απορροή του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  είναι:

$$a_1 = 0.00023797 * Q_0 + 0.017374 \quad (8.3)$$

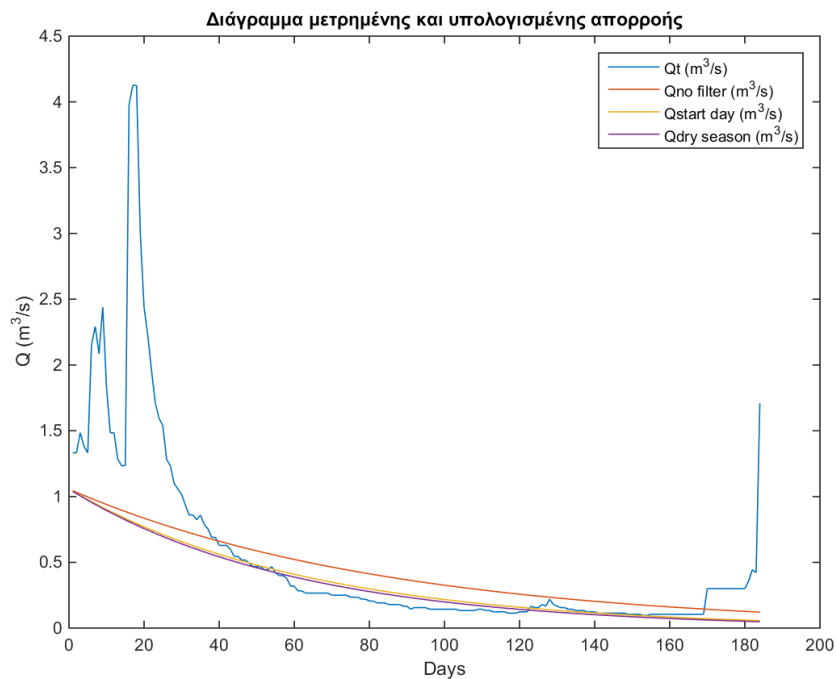


Σχήμα 8.9: Γραμμικό Μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στα σχήματα 8.10 και 8.11 παρουσιάζονται χαρακτηριστικά διαγράμματα της παρατηρημένης τιμής της απορροής και του μοντέλου που προσαρμόζεται. Φαίνεται τα μοντέλα να προσαρμόζονται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές που έχουν χαμηλές τιμές απορροής, πολύ καλύτερα από ότι στις προηγούμενες επεξεργασίες.



Σχήμα 8.10: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

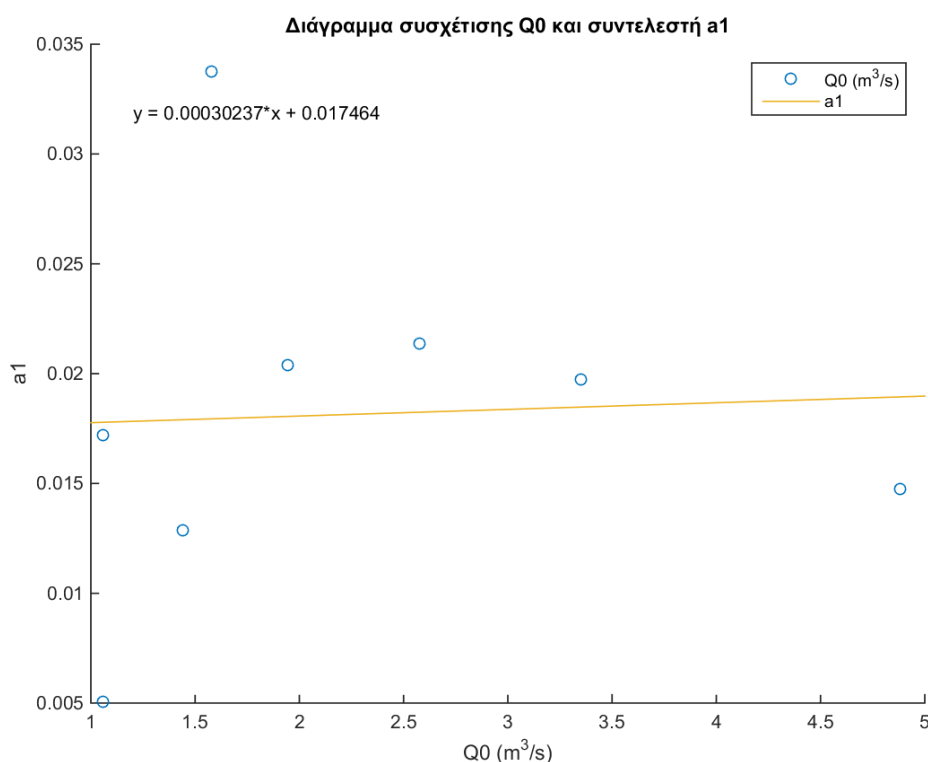


Σχήμα 8.11: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

#### 8.1.4 Αποτελέσματα γραμμικής εξομάλυνσης

Στο Σχήμα 8.12 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Όπως φαίνεται, δεν υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.002. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

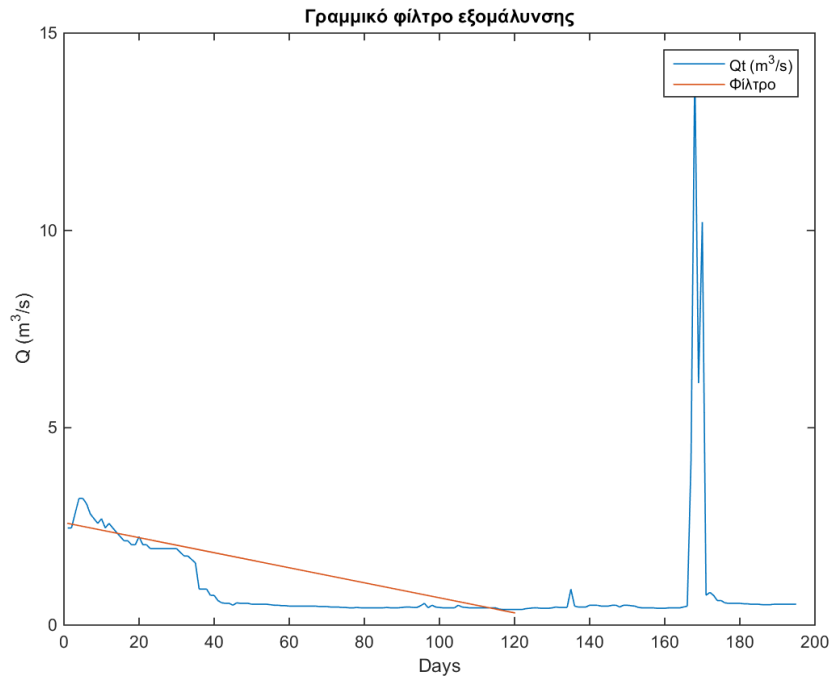
$$a_1 = 0.00030237 * Q_0 + 0.0017464 \quad (8.4)$$



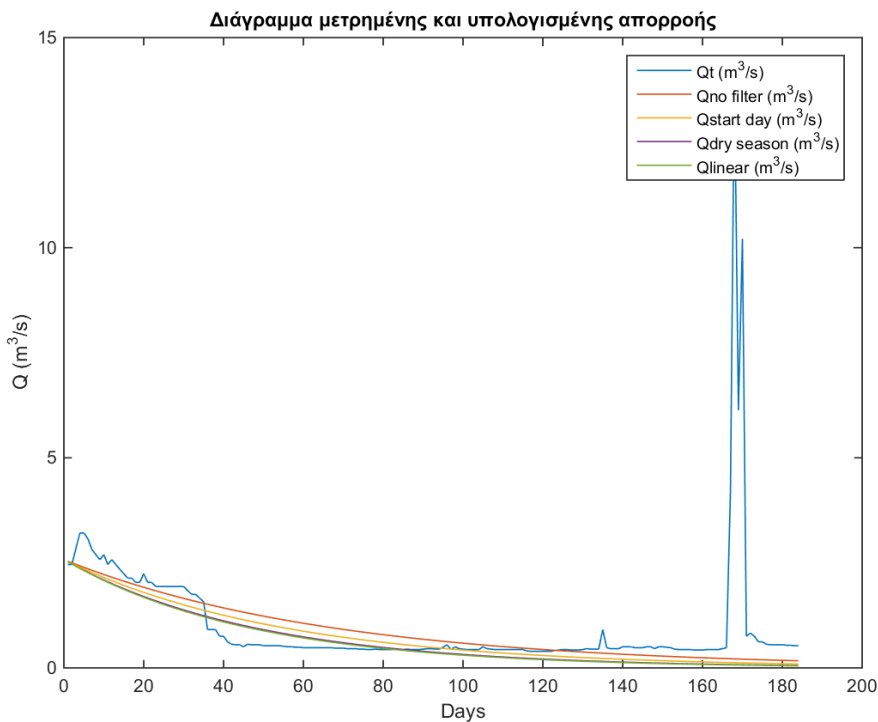
Σχήμα 8.12: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται χαρακτηριστικές χρονιές που το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόζεται.

Στα σχήματα 8.14 και 8.16 παρουσιάζονται ενδεικτικά διαγράμματα της παρατηρημένης τιμής της απορροής και του μοντέλου που προσαρμόζεται. Φαίνεται το μοντέλο να προσαρμόζεται ικανοποιητικά, παρόλο που παρατηρείται ένα τυχαίο φαινόμενο έντονης βροχόπτωσης στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου. Στα σχήματα 8.13 και 8.15 παρουσιάζονται τα γραμμικά φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν ως κατόφλι για την εκτίμηση του σφάλματος για τα έτη 1995 και 1997. Οι τιμές πάνω από τη γραμμή αγνοήθηκαν κατά τον υπολογισμό του σφάλματος και κατά συνέχεια από την εκτίμηση της παραμέτρου του μοντέλου.

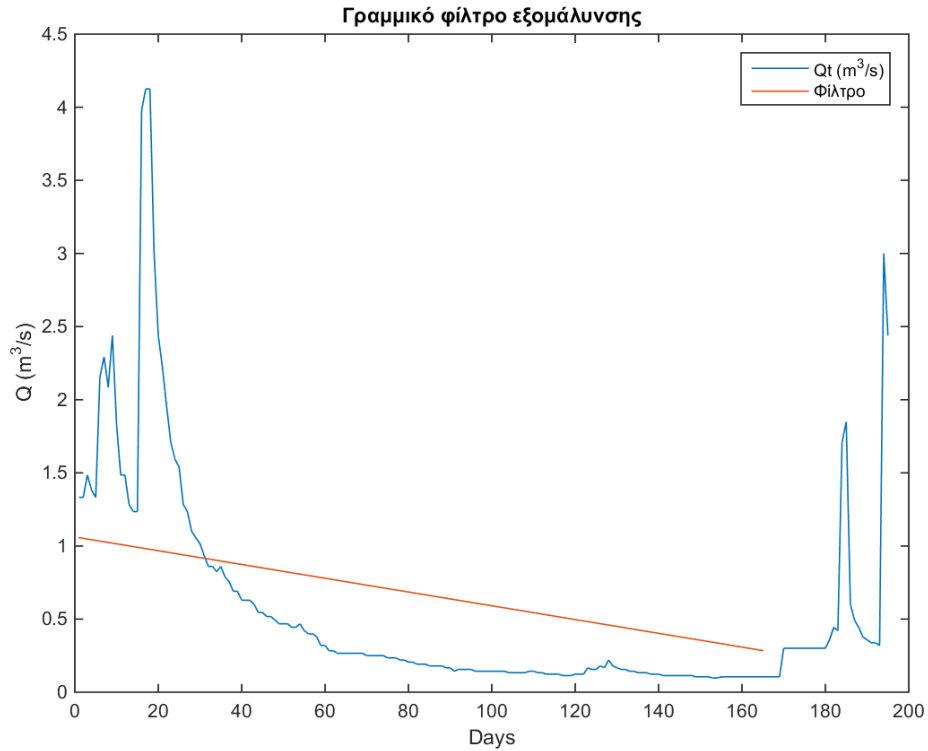


Σχήμα 8.13: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1995 για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου

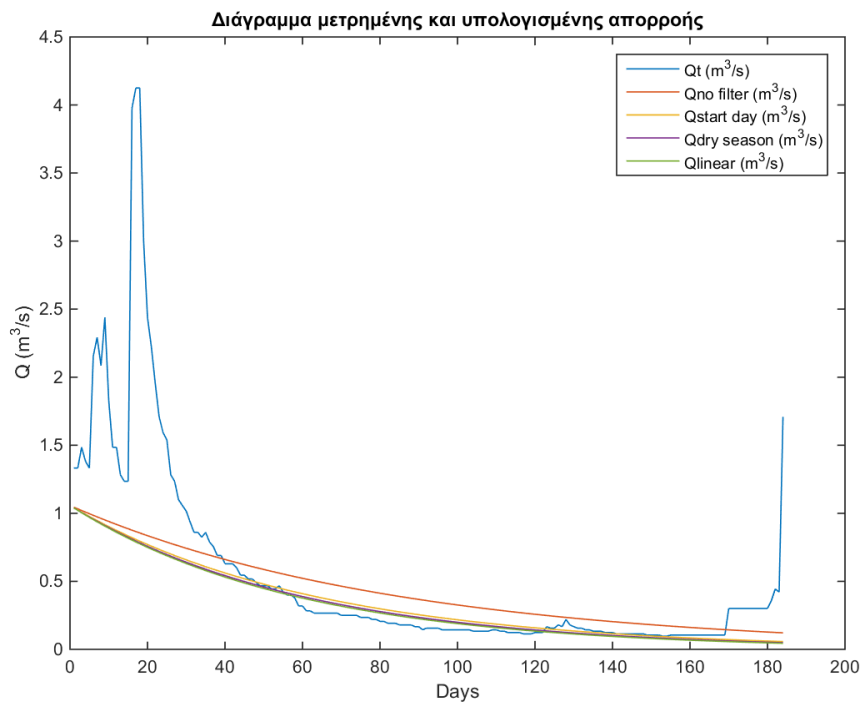


Σχήμα 8.14: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )





Σχήμα 8.15: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1997 για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου

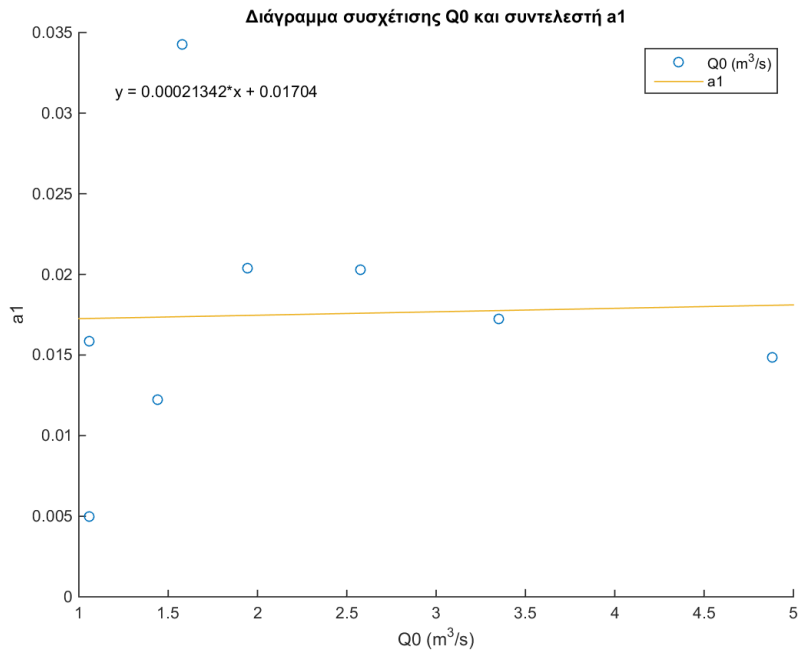


Σχήμα 8.16: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.1.5 Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay

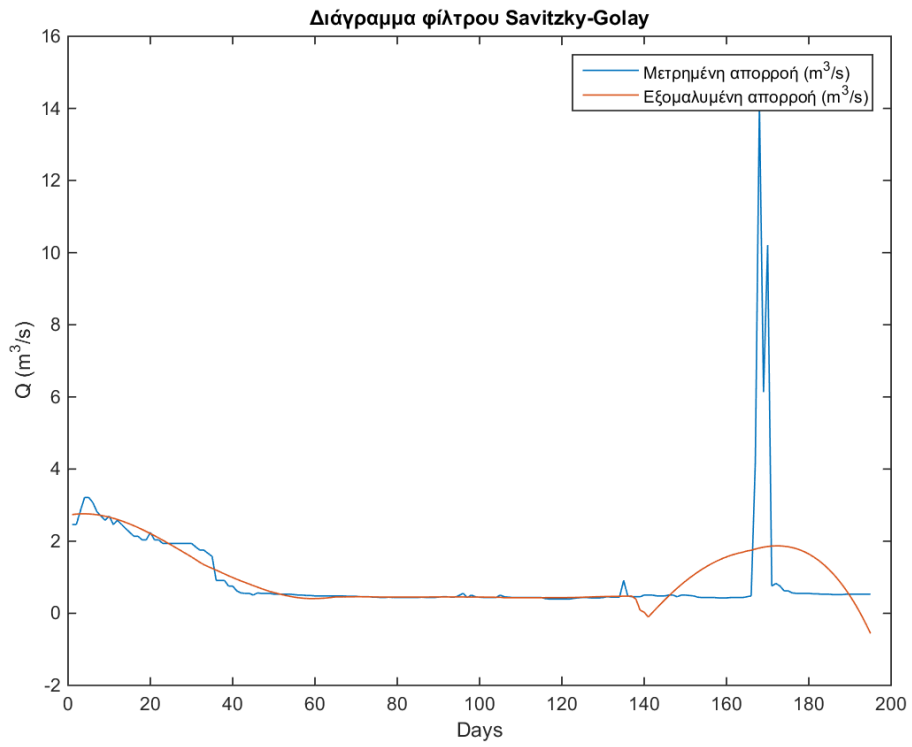
Στο Σχήμα 8.17 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.001. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$a_1 = 0.00021342 * Q_0 + 0.01704 \quad (8.5)$$

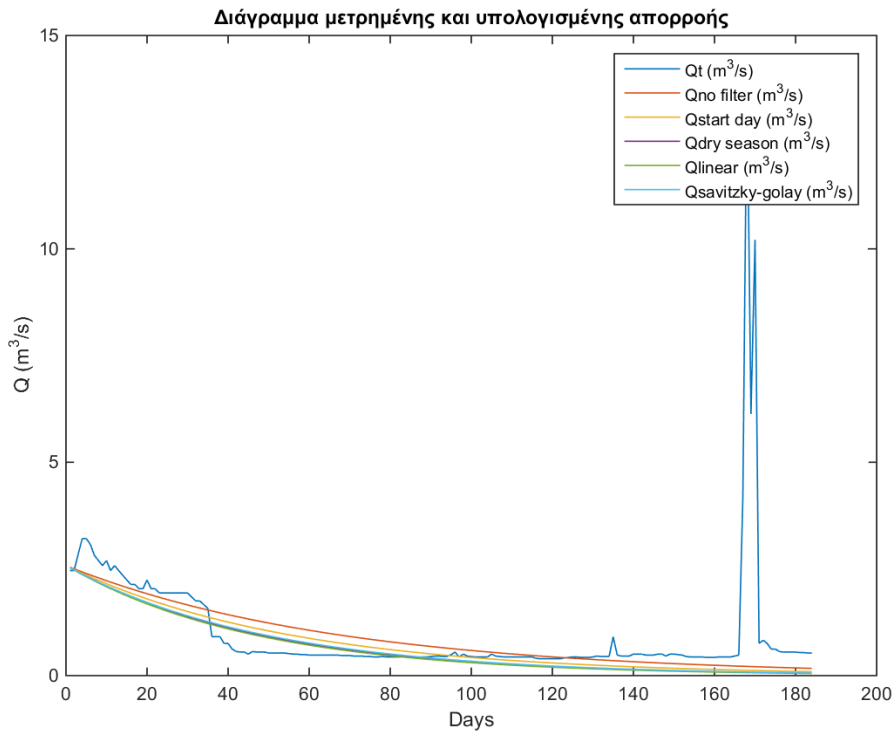


Σχήμα.8.17: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

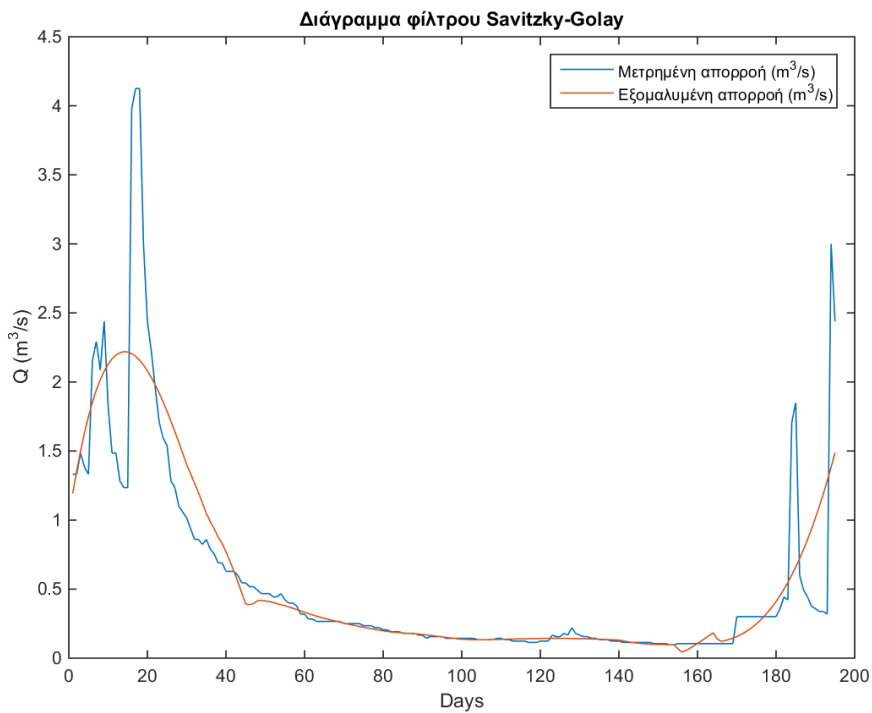
Στα σχήματα 8.19 και 8.21 παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικές χρονιές για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου. Φαίνεται πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής. Στα σχήματα 8.18 και 8.20 παρουσιάζεται η εξομάλυνση που πραγματοποιήθηκε με χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay. Γίνεται σαφές πως οι τιμές που προέκυψαν ακολουθούν την τάση των αρχικών παρατηρημένων τιμών.



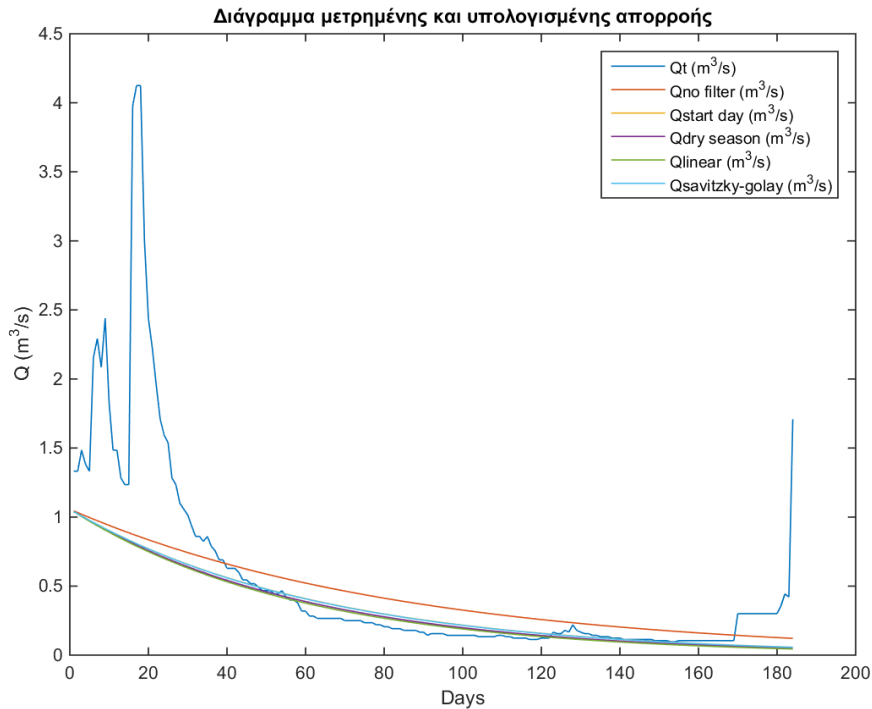
Σχήμα 8.18: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1995 για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου



Σχήμα 8.19: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{savitzky-golay}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1995 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.20: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1997 για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου



Σχήμα 8.21 : Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{savitzky-golay}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για το έτος 1997 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.1.6 Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης

Στο παρόν εδάφιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν το μοντέλο ολικής βελτιστοποίησης δύο παραμέτρων (Εξίσωση 6.2) για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου. Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζονται οι εκτιμημένες παράμετροι του ολικού μοντέλου, ανάλογα με την τιμή που επιλέχθηκε ως αρχική τιμή του μοντέλου και ανάλογα με το σφάλμα (μέσο τετραγωνικό και λογαριθμικό), όπου:

- $x_1$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_2$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $x_3$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η διάμεσος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_4$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η διάμεσος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $x_5$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_6$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $a, b$ : οι δύο παράμετροι του τελικού μοντέλου

Πίνακας 8.2: Οι παράμετροι του μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου  $Q_0$  για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου

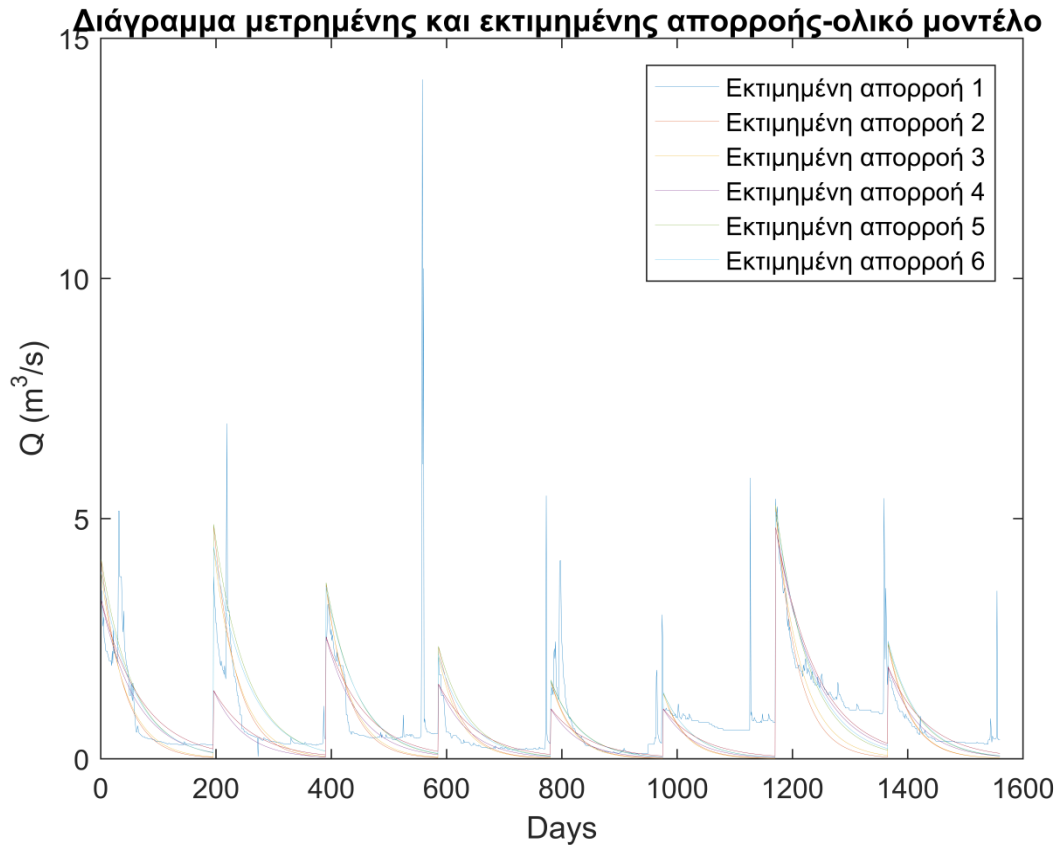
Παράμετροι μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης		
	$a$	$b$
x1	0.6602	-0.1203
x2	0.0203	-0.0005
x3	0.3460	-0.0635
x4	0.0212	-0.0009
x5	0.7581	-0.1525
x6	0.0150	-0.0002

Τα συνολικά σφάλματα που προέκυψαν για τις διάφορες τιμές της αρχικής τιμής του μοντέλου ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.3, όπου:

- $error_1$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_2$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_3$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_4$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_5$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_6$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

Πίνακας 8.3: Συνολικά σφάλματα για την εκτίμηση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου  $Q_0$  για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου

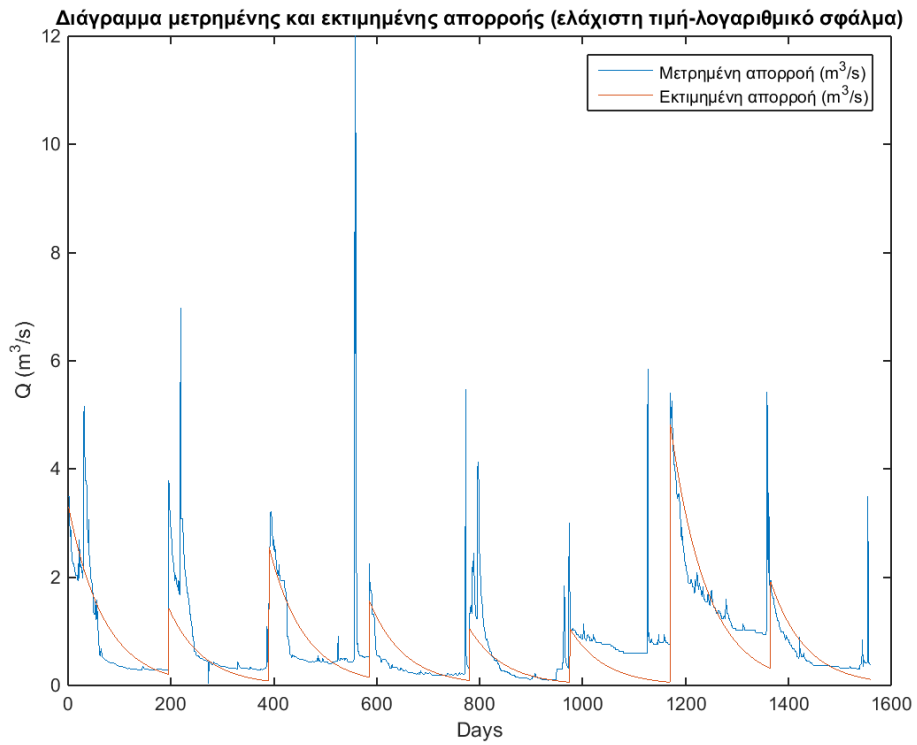
Συνολικό σφάλμα	
$error_1$	764.7040
$error_2$	21.2898
$error_3$	716.7089
$error_4$	20.2582
$error_5$	684.1244
$error_6$	16.8778



Σχήμα.8.22: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής του Ευήνου για ολόκληρη τη διαθέσιμη χρονοσειρά

Στο Σχήμα 8.22 παρουσιάζονται οι διάφορες εκτιμημένες τιμές της απορροής. Γίνεται σαφές πως η εκτιμημένη απορροή 4 (μωβ χρώμα) δεν προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα δεδομένα. Οι διάφορες τιμές των παραμέτρων του ολικού μοντέλου παρουσιάζονται στον Πίνακα.8.3. Ως τελικές τιμές λαμβάνεται ο συνδυασμός *ελάχιστη τιμή-λογαριθμικό σφάλμα*. Οπότε οι παράμετροι θα είναι:  
 $a=0.0150$   $b=-0.0002$

Στο Σχήμα 8.23 παρουσιάζεται ενδεικτικά το προσαρμοσμένο μοντέλο αξιοποιώντας την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα. Γίνεται σαφές πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής.



Σχήμα 8.23: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη του Ευήνου χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_2$ )



## 8.2 Αποτελέσματα της λεκάνης απορροής Imera Meridionale

Στον Πίνακα 8.4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέσοι όροι των υπολογισμένων σφαλμάτων σε συνδυασμό με τις διάφορες αρχικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για το μοντέλο. Γίνεται σαφές πως ο συνδυασμός  $error_1-minQ_0$  (μέσο τετραγωνικό σφάλμα- ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου) είναι ο καλύτερος

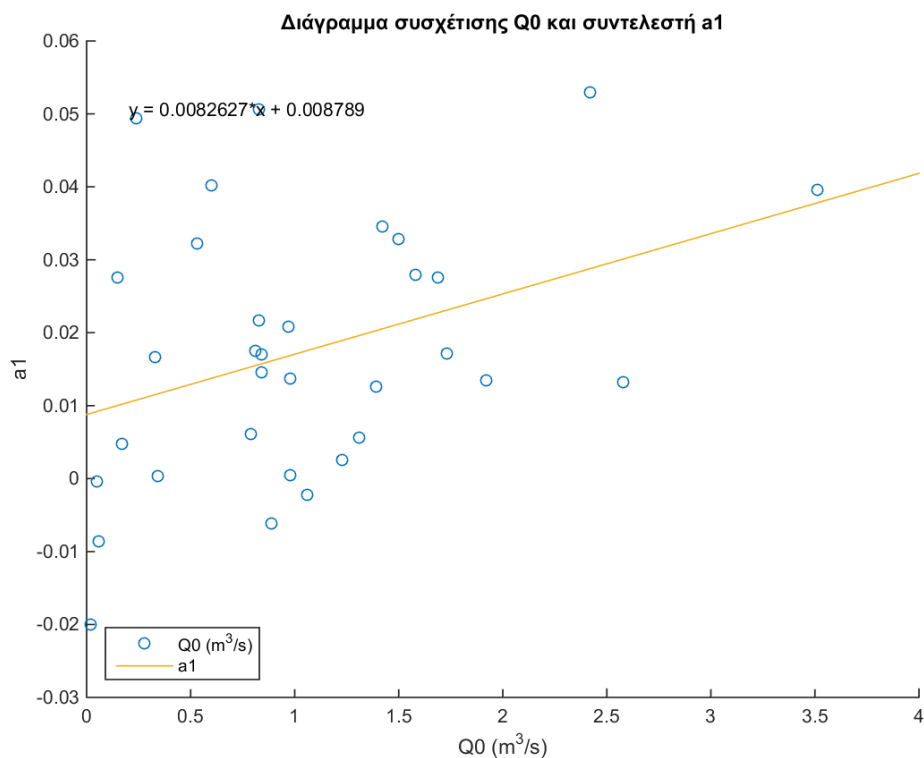
Πίνακας 8.4: Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορετικών αρχικών τιμών και σφαλμάτων για όλες τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale

	no filter	start day	dry season	linear filter	SG filter
$error_1-mean Q_0$	15.468	245.334	2.472	2.181	3.947
$error_1-median Q_0$	15.509	47.519	1.964	1.548	3.705
$error_1-min Q_0$	15.716	21.596	1.280	0.883	0.024
$error_2-mean Q_0$	21.074	19.528	7.550	7.201	6.261
$error_2-median Q_0$	19.998	18.149	6.920	6.367	4.618
$error_2-min Q_0$	19.410	16.442	6.545	5.947	0.024

### 8.2.1 Αποτελέσματα αρχικής επεξεργασίας

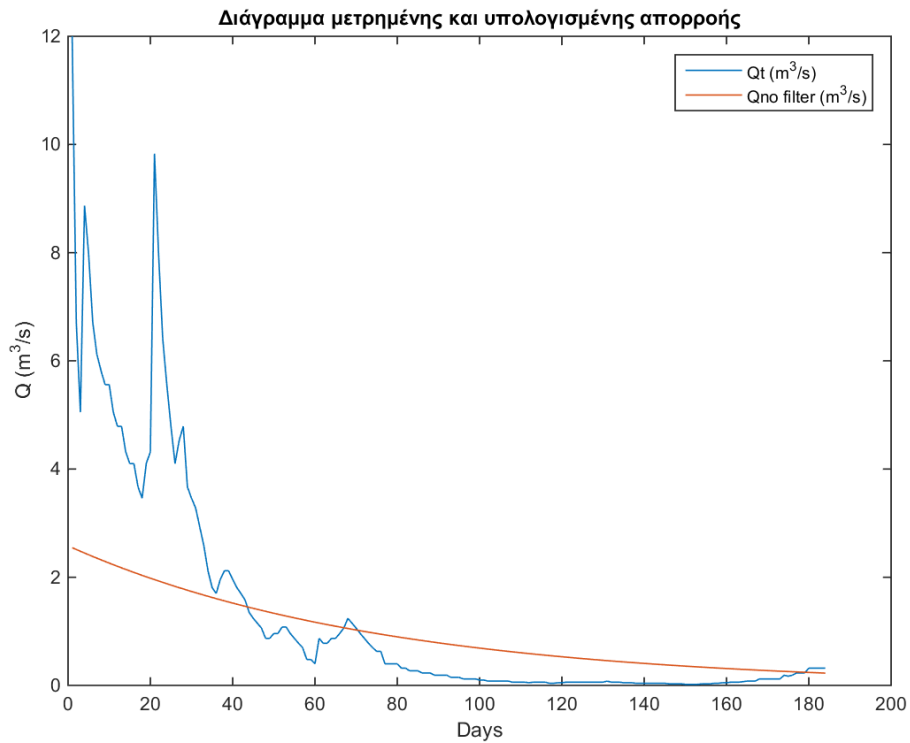
Στον Σχήμα 8.24 φαίνεται η συσχέτιση της αρχικής απορροής του μοντέλου  $Q_0$  με τις παραμέτρους  $a$  που εκτιμήθηκαν για κάθε έτος, καθώς και το γραμμικό μοντέλο που προέκυψε. Δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική συσχέτιση της τιμής  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  του μοντέλου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το συντελεστή συσχέτισής τους που ισούται με 0.134 που δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Η εξίσωση που συνδέει την αρχική απορροή του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  είναι:

$$a_1 = 0.0082627 * Q_0 + 0.008789 \quad (8.6)$$

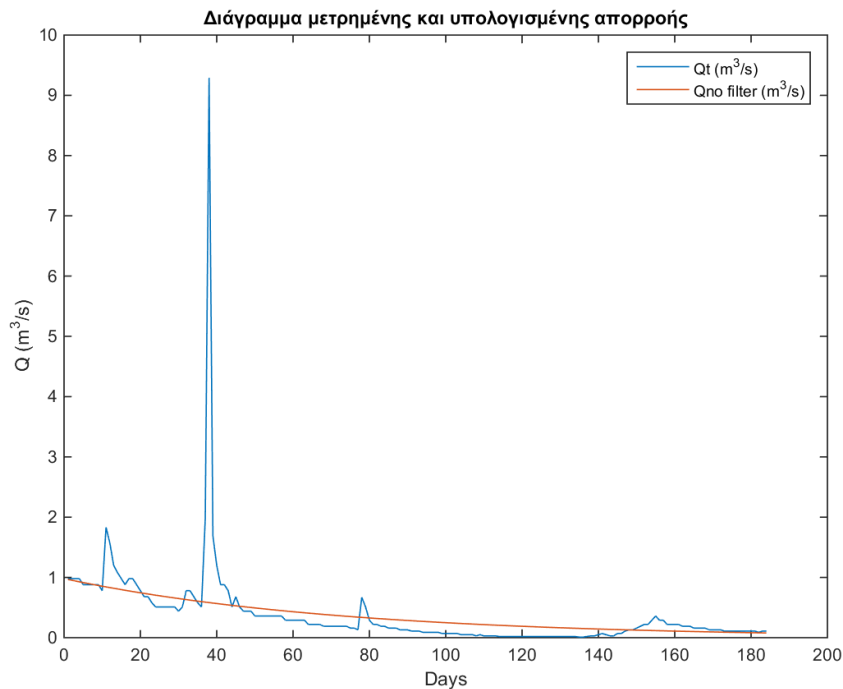


Σχήμα 8.24: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale, χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνονται χαρακτηριστικές χρονιές για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale, της μετρημένης και της εκτιμημένης τιμής της απορροής. Στο Σχήμα 8.25 γίνεται σαφές πως το μοντέλο ακολουθεί τις παρατηρημένες τιμές της απορροής, παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται φαινόμενα έντονης βροχόπτωσης στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου (15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου). Στο Σχήμα 8.26 το μοντέλο είναι αρκετά καλά προσαρμοσμένο δεδομένης της έντονης βροχόπτωσης στα μέσα περίπου της εξεταζόμενης περιόδου.



Σχήμα 8.25: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

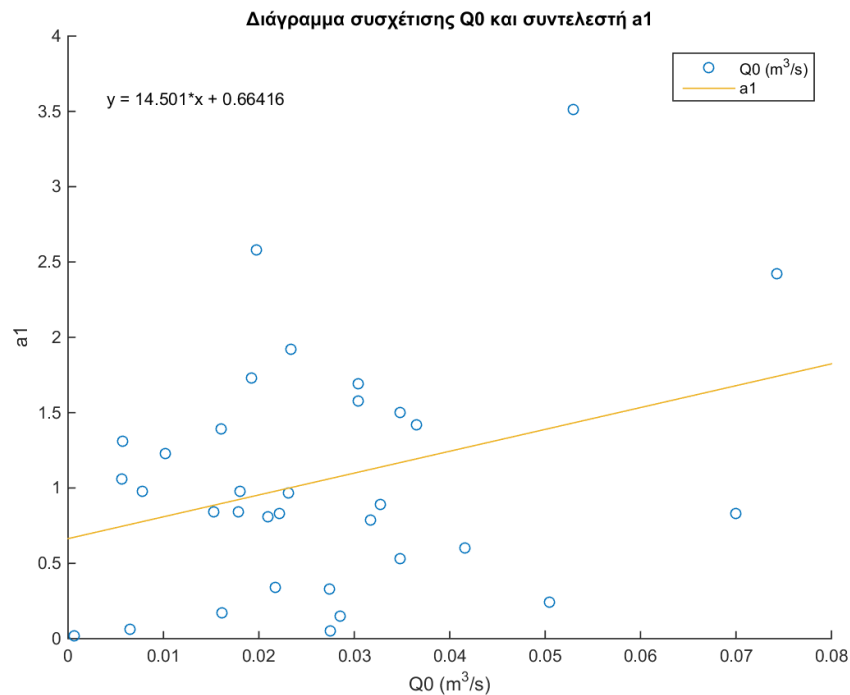


Σχήμα 8.26: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

## 8.2.2 Αποτελέσματα έναρξης της ξηρής περιόδου

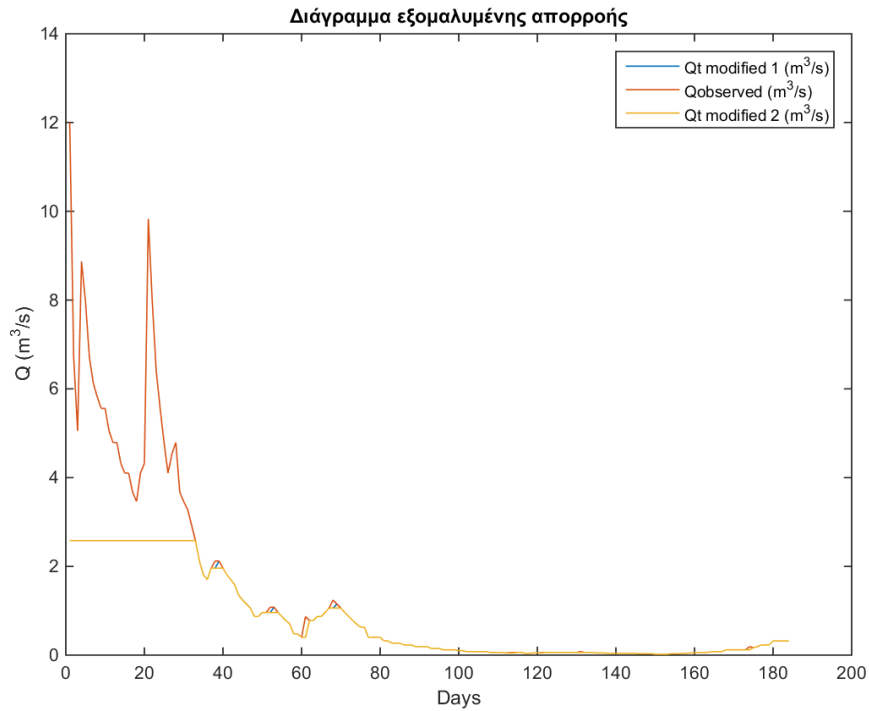
Στον Σχήμα 8.27 φαίνεται η συσχέτιση της αρχικής απορροής του μοντέλου  $Q_0$  με τις παραμέτρους  $a$  που εκτιμήθηκαν για κάθε έτος, καθώς και το γραμμικό μοντέλο που προέκυψε. Δεν φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση της τιμής  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  του μοντέλου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το συντελεστή συσχέτισής τους που ισούται με 0.098 που δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Η εξίσωση που συνδέει την αρχική απορροή του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  είναι:

$$a_1 = 14.501 * Q_0 + 0.66416 \quad (8.7)$$

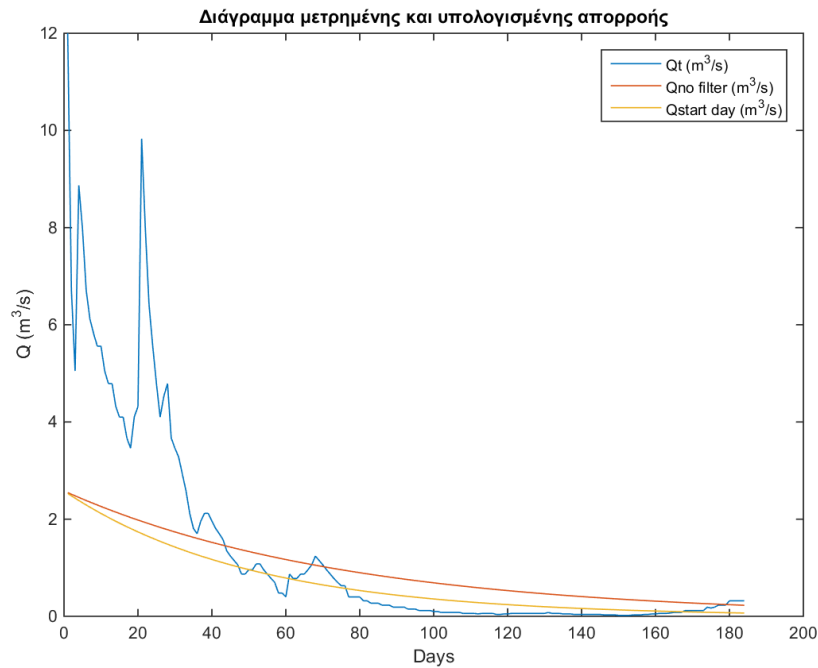


Σχήμα 8.27: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale, χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

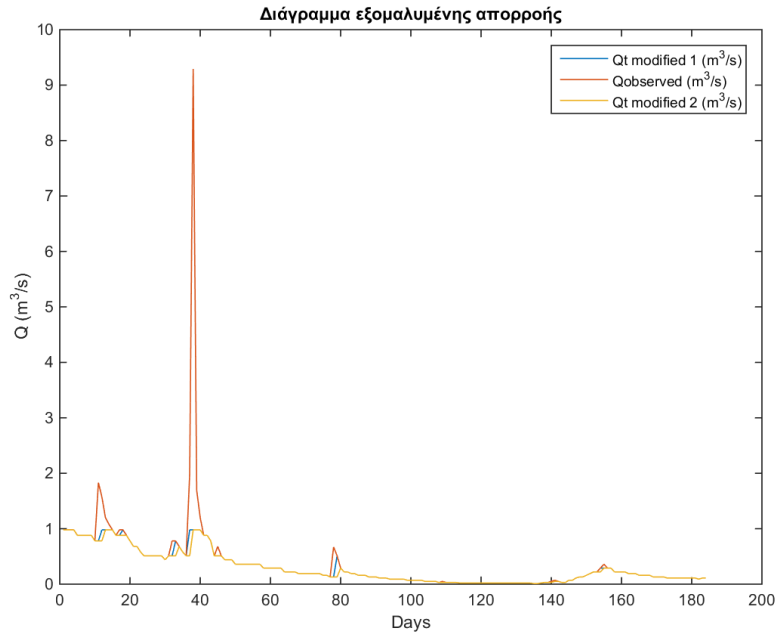
Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνονται χαρακτηριστικές χρονιές για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale, της μετρημένης και της εκτιμημένης τιμής της απορροής. Στο Σχήμα 8.29 γίνεται σαφές πως το μοντέλο ακολουθεί τις παρατηρημένες τιμές της απορροής, παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται υψηλές τιμές βροχόπτωσης στην αρχή. Στο Σχήμα 8.31 το μοντέλο είναι αρκετά καλά προσαρμοσμένο αν και πρόκειται για ένα ξηρό έτος με ένα έντονο φαινόμενο βροχόπτωσης στο τέλος της εξεταζόμενης περιόδου (15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου). Στα σχήματα 8.28 και 8.30 παρουσιάζονται οι εξομαλύνσεις που προηγήθηκαν.



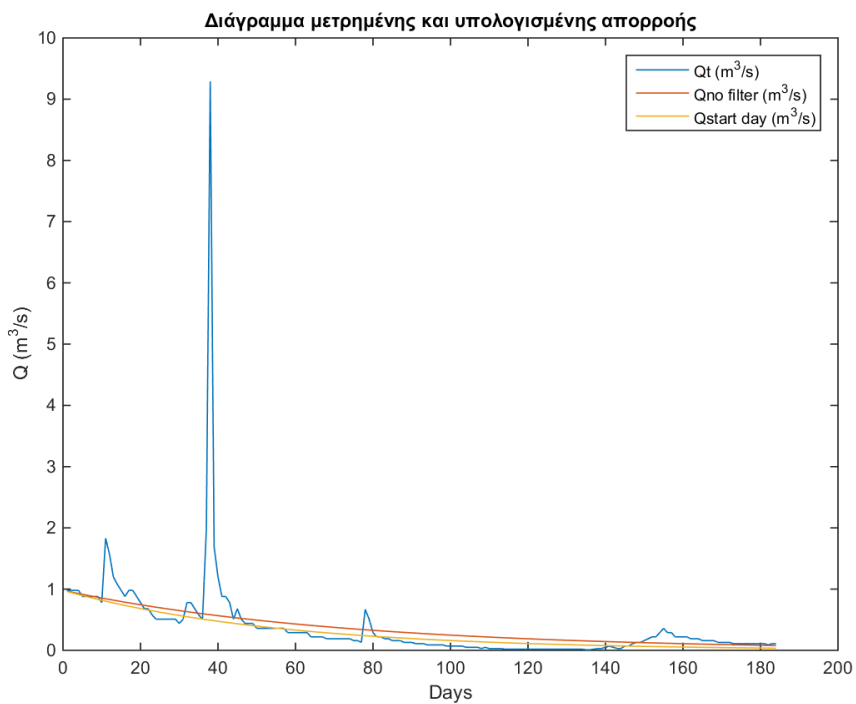
Σχήμα 8.28: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.29: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.30: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

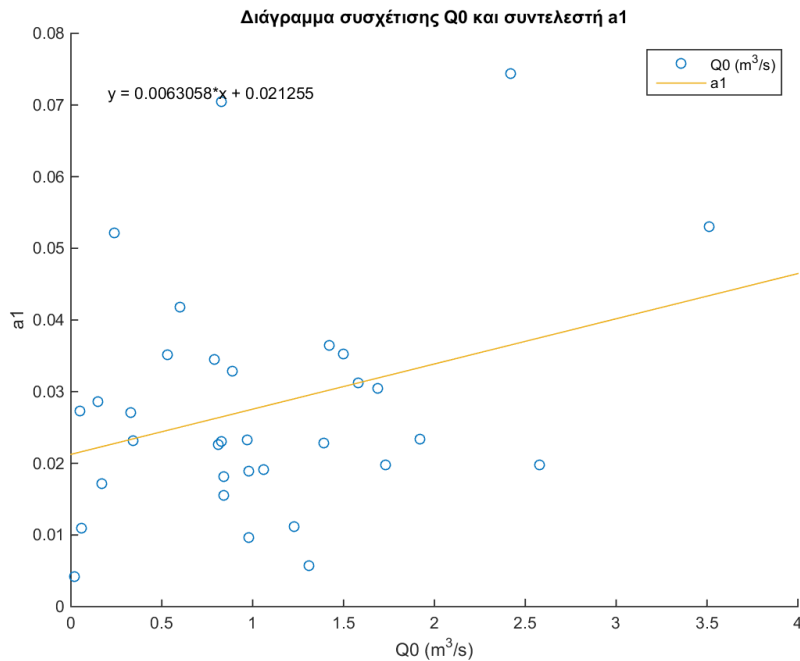


Σχήμα 8.31: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_i$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.2.3 Αποτελέσματα λήξης της ξηρής περιόδου

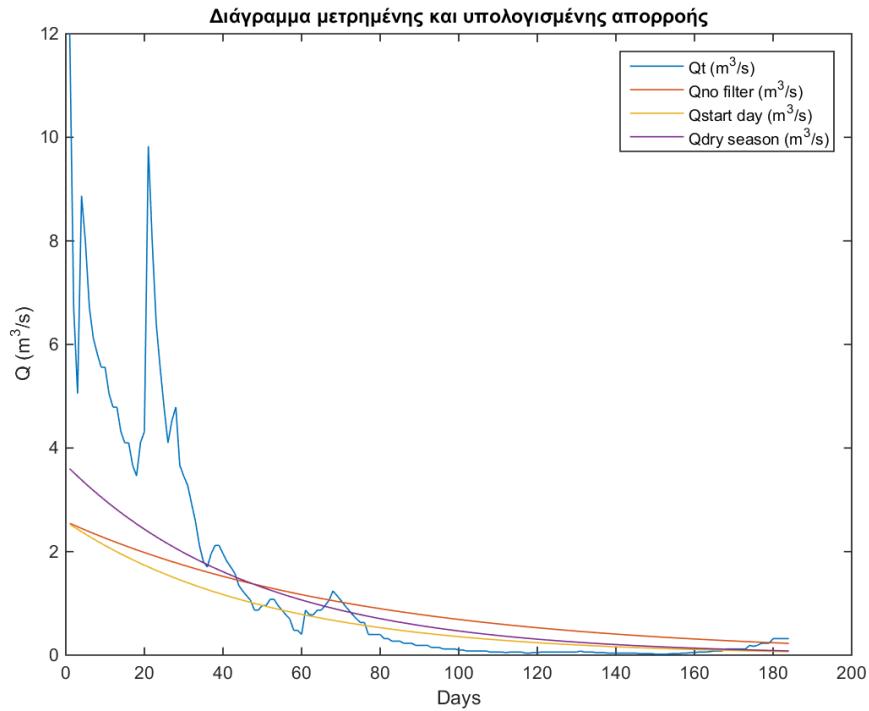
Στον Σχήμα 8.32 φαίνεται η συσχέτιση της αρχικής απορροής του μοντέλου  $Q_0$  με τις παραμέτρους  $a$  που εκτιμήθηκαν για κάθε έτος, καθώς και το γραμμικό μοντέλο που προέκυψε. Δεν φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση της τιμής  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  του μοντέλου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το συντελεστή συσχέτισής τους που ισούται με 0.094 που δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Η εξίσωση που συνδέει την αρχική απορροή του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  είναι:

$$a_1 = 0.0063058 * Q_0 + 0.021255 \quad (8.8)$$

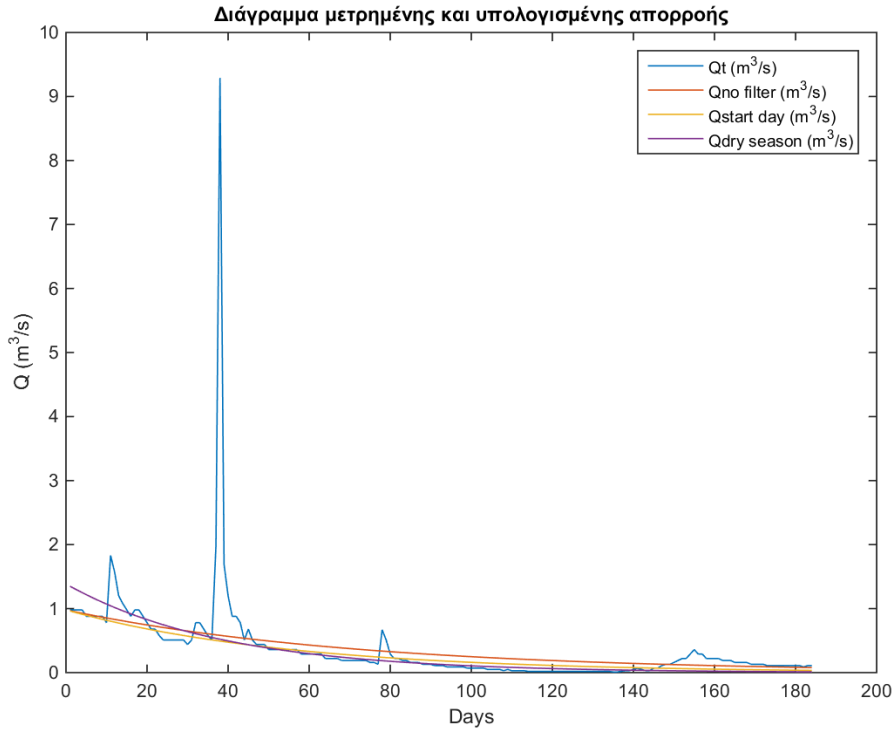


Σχήμα 8.32: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale, χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στα διαγράμματα που ακολουθούν φαίνονται χαρακτηριστικές χρονιές για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale, της μετρημένης και της εκτιμημένης τιμής της απορροής. Στο Σχήμα 8.33 γίνεται σαφές πως το μοντέλο ακολουθεί τις παρατηρημένες τιμές της απορροής, παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται υψηλές τιμές βροχόπτωσης στην αρχή. Στο Σχήμα 8.34 το μοντέλο είναι αρκετά καλά προσαρμοσμένο παρά τις πολύ μικρές τιμές απορροής.



Σχήμα 8.33: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



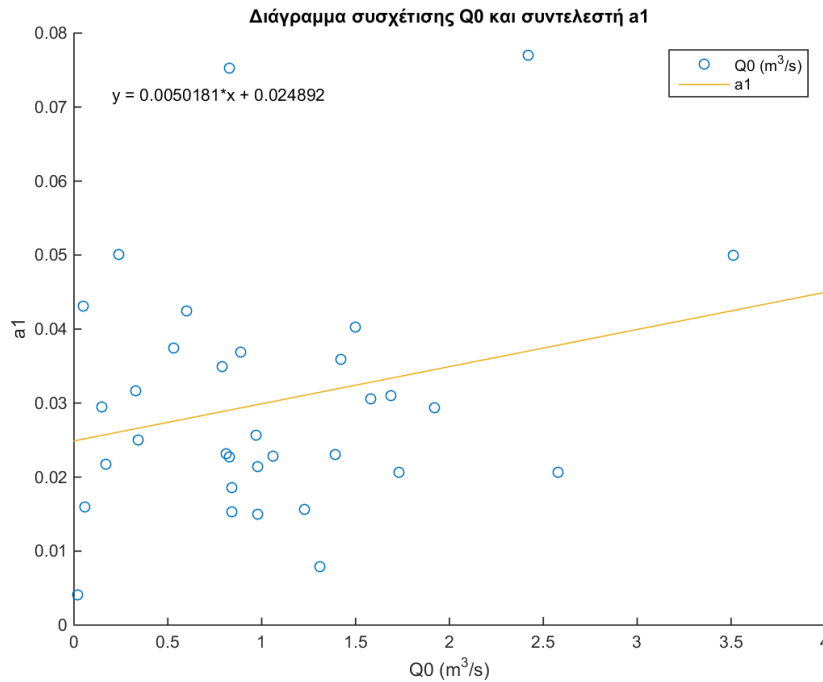
Σχήμα 8.34: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



#### 8.2.4 Αποτελέσματα γραμμικής εξομάλυνσης

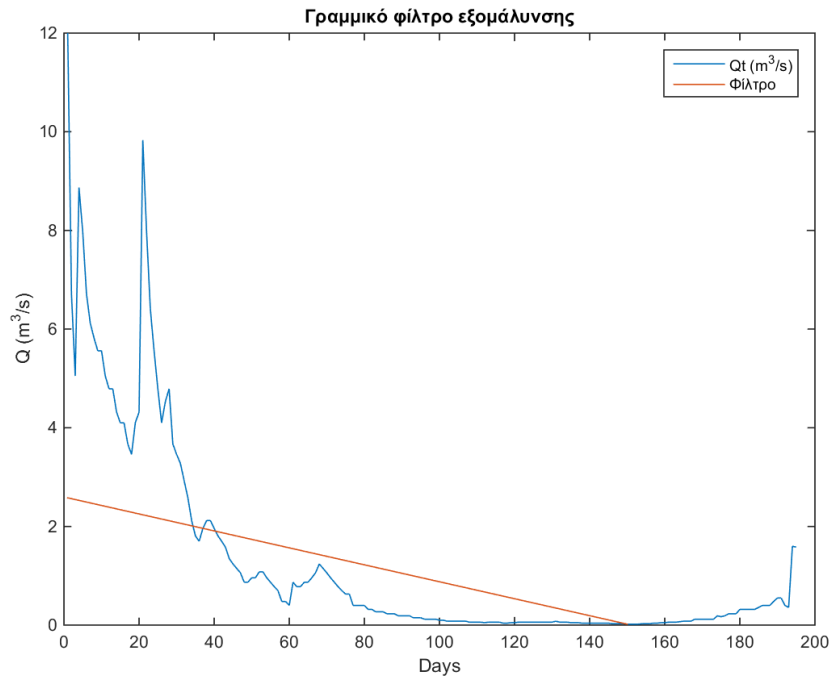
Στον Σχήμα 8.35 παρουσιάζεται η συσχέτιση της αρχικής απορροής του μοντέλου  $Q_0$  με τις παραμέτρους  $a$  που εκτιμήθηκαν για κάθε έτος, καθώς και το γραμμικό μοντέλο που προέκυψε. Δεν υπάρχει σημαντική συσχέτιση της τιμής  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  του μοντέλου. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το συντελεστή συσχέτισής τους που ισούται με 0.060 που δεν είναι στατικά σημαντικός. Η εξίσωση που συνδέει την αρχική απορροή του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  είναι:

$$\alpha_1 = 0.0050181 * Q_0 + 0.024892 \quad (8.9)$$

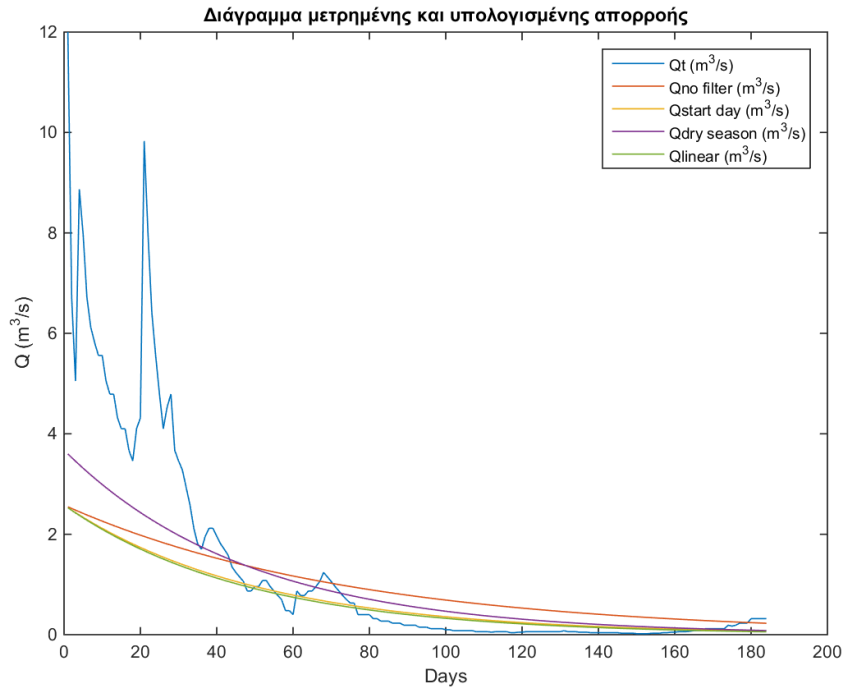


Σχήμα 8.35: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale, χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

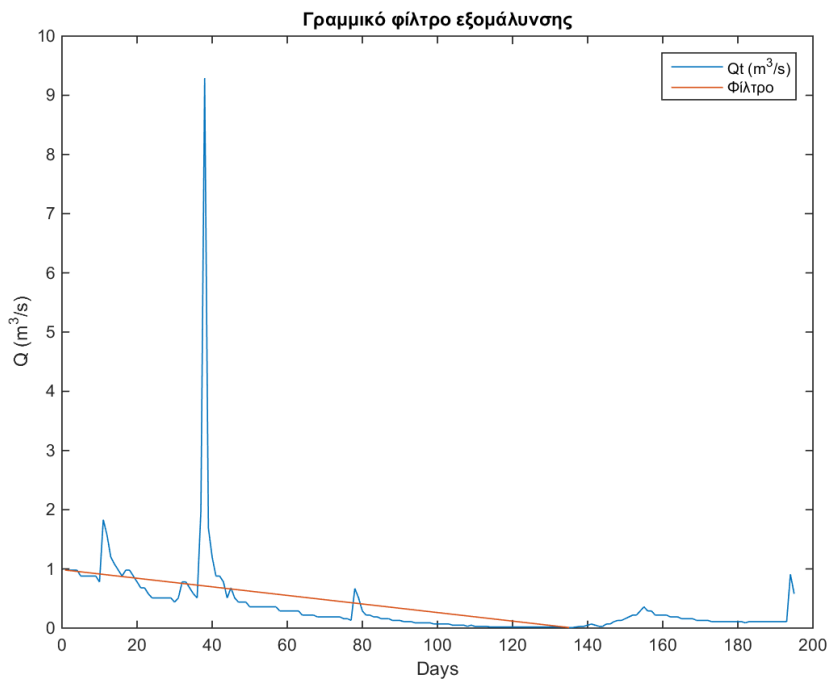
Στο Σχήμα 8.37 παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της παρατηρημένης τιμής της απορροής και του μοντέλου που προσαρμόζεται. Φαίνεται το μοντέλο να προσαρμόζεται ικανοποιητικά, παρόλο που παρατηρούνται έντονες βροχοπτώσεις στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου. Στο Σχήμα 8.36 παρουσιάζεται το γραμμικό φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε ως κατώφλι για την εκτίμηση του σφάλματος για το έτος 1954. Οι τιμές πάνω από τη γραμμή αγνοήθηκαν κατά τον υπολογισμό του σφάλματος και κατά συνέχεια από την εκτίμηση της παραμέτρου του μοντέλου. Όμοια ισχύουν και για το έτος 1967.



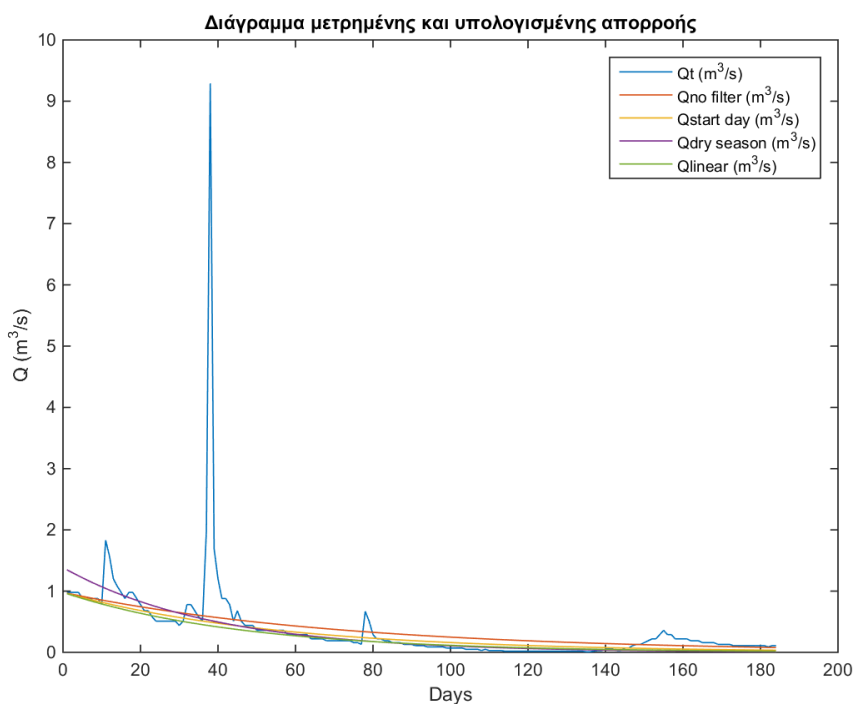
Σχήμα 8.36: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1954 για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale



Σχήμα 8.37: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{linear}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.38: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1967 για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale

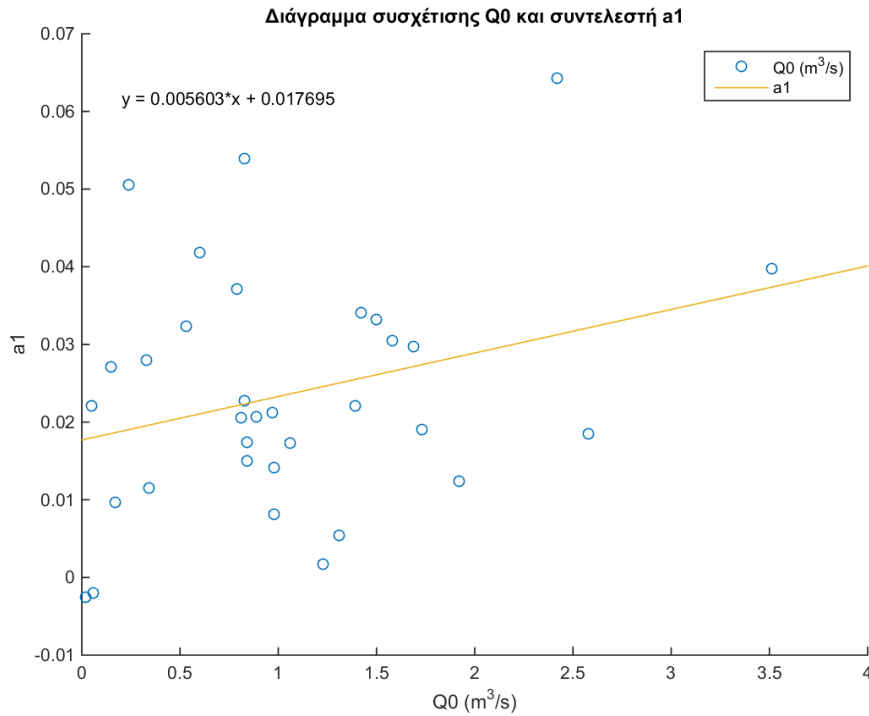


Σχήμα 8.39 Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{linear}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.2.5 Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay

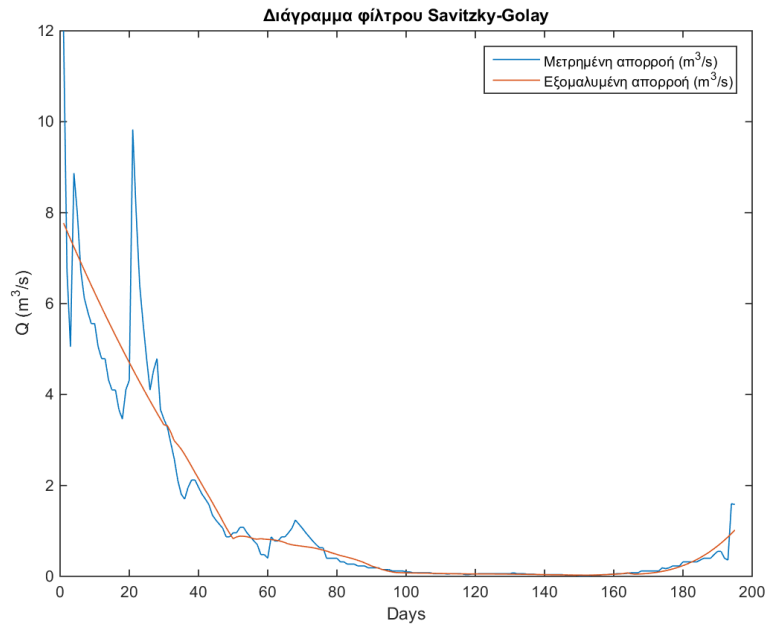
Στο Σχήμα 8.40 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.082. Συνεπώς, ο συντελεστής συσχέτισής τους δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$a_1 = 0.005603 * Q_0 - 0.017695 \quad (8.9)$$

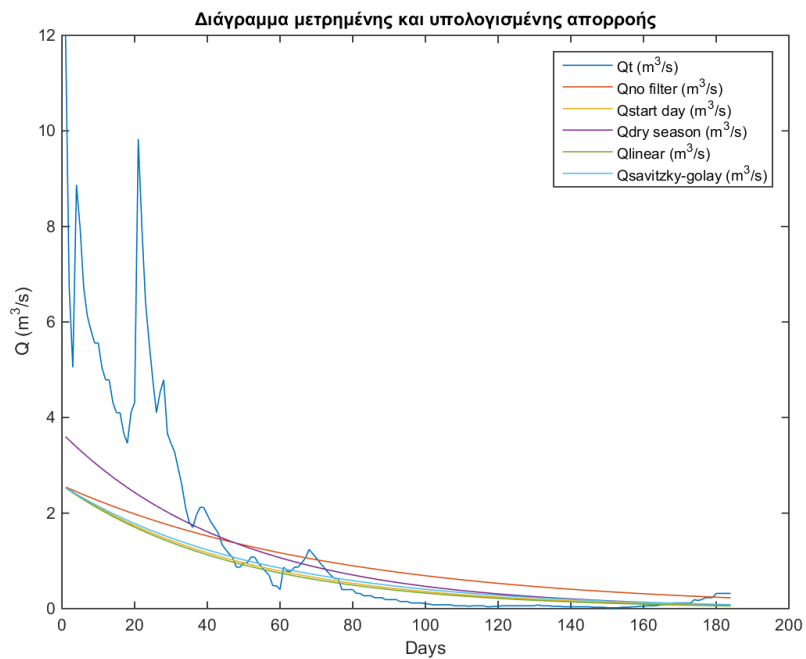


Σχήμα 8.40: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

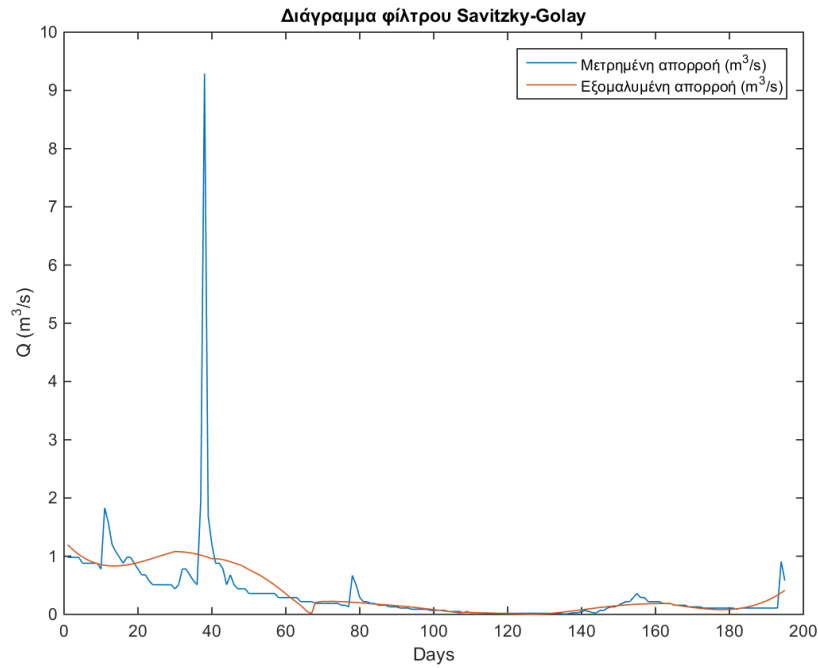
Στο Σχήμα 8.42 παρουσιάζεται μία χαρακτηριστική χρονιά για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1984. Στο Σχήμα 8.42 φαίνεται πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής, παρόλο που στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου παρατηρούνται φαινόμενα έντονης βροχόπτωσης. Στο Σχήμα 8.41 παρουσιάζεται η εξομάλυνση που πραγματοποιήθηκε με χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay. Γίνεται σαφές πως οι τιμές που προέκυψαν ακολουθούν την τάση των αρχικών παρατηρημένων τιμών. Στο Σχήμα 8.43 φαίνεται η εφαρμογή του φίλτρου και στο Σχήμα 8.44 η προσαρμογή του μοντέλου στις παρατηρημένες τιμές.



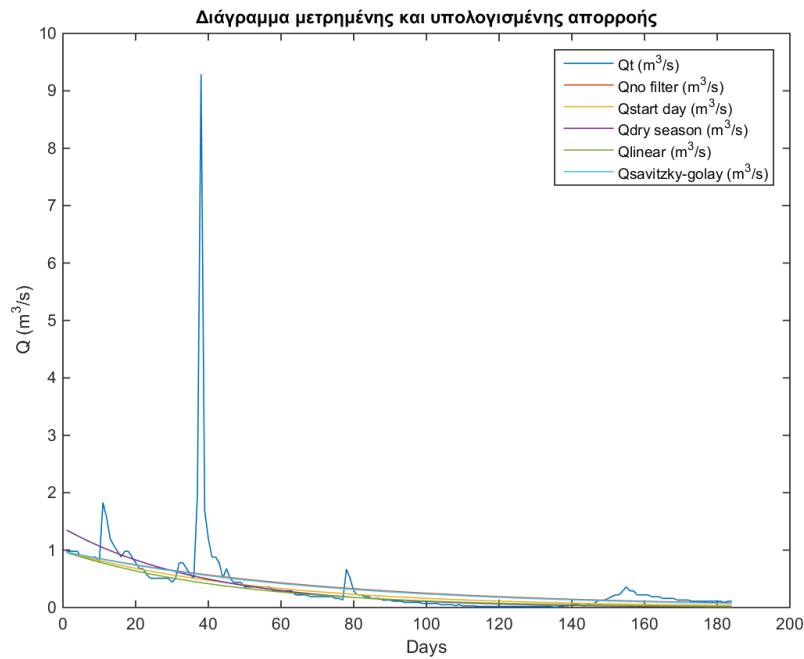
Σχήμα 8.41: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1954 για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale



Σχήμα 8.42: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{savitzky-golay}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1954 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.43: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1967 για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale



Σχήμα 8.44: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για το έτος 1967 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.2.6 Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης

Στο παρόν εδάφιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν το μοντέλο ολικής βελτιστοποίησης δύο παραμέτρων (Εξίσωση 6.2) για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale. Στον Πίνακα 8.5 παρουσιάζονται οι εκτιμημένες παράμετροι του ολικού μοντέλου ανάλογα με την τιμή που επιλέχθηκε ως αρχική τιμή του μοντέλου και ανάλογα με το σφάλμα (μέσο τετραγωνικό και λογαριθμικό), όπου:

- $x_1$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_2$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $x_3$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η διάμεσος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_4$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η διάμεσος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $x_5$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_6$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $a, b$ : οι δύο παράμετροι του τελικού μοντέλου

Πίνακας 8.5: Οι παράμετροι του μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου  $Q_0$  για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale

Παράμετροι μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης		
	$a$	$b$
$x_1$	0.0158	0.0110
$x_2$	0.0309	0.0031
$x_3$	0.0172	0.0092
$x_4$	0.0259	0.0049
$x_5$	0.0178	0.0064
$x_6$	0.0236	0.0062

Τα συνολικά σφάλματα που προέκυψαν για τις διάφορες τιμές της αρχικής τιμής του μοντέλου ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.6, όπου:

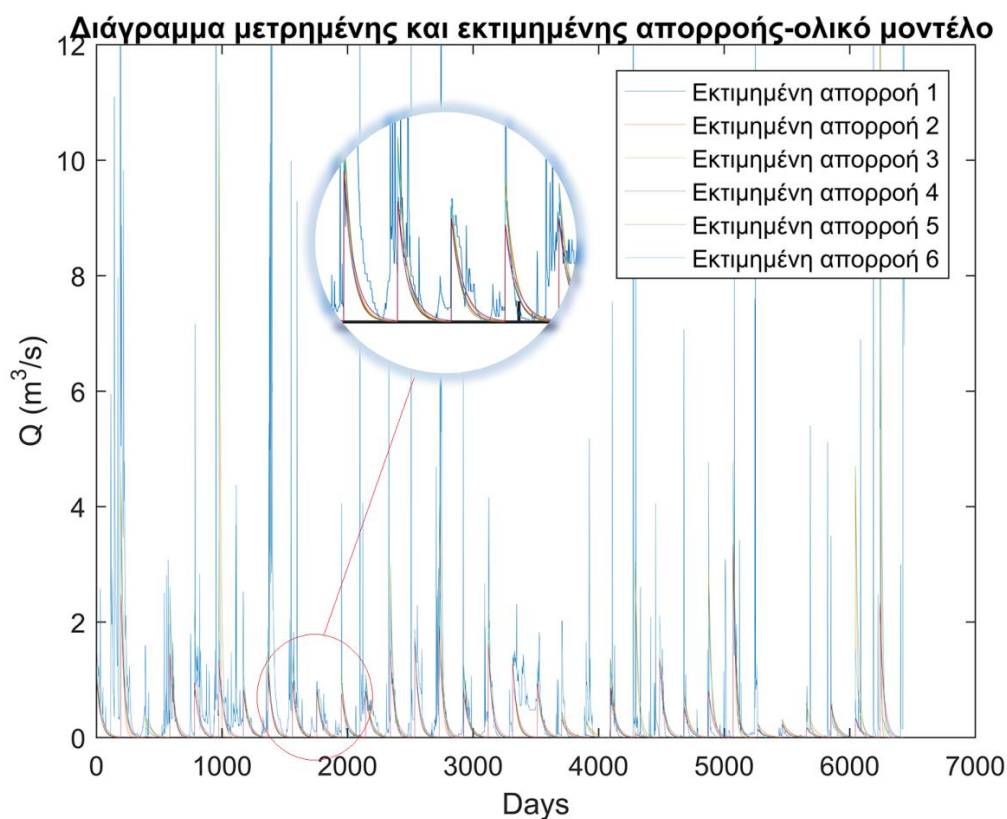
- $error_1$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_2$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_3$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_4$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_5$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου



- $error_6$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

Πίνακας 8.6: Συνολικά σφάλματα για την εκτίμηση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου  $Q_0$  για τη λεκάνη απορροής Imera Meridionale

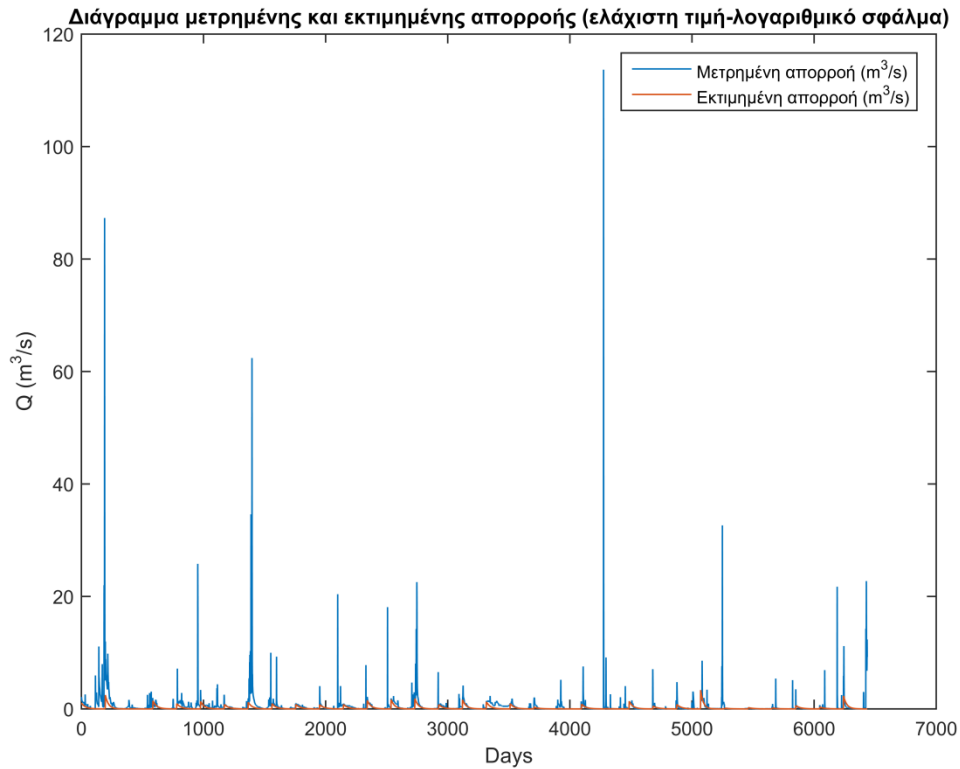
Συνολικό σφάλμα	
$error_1$	1326.6571
$error_2$	101.2461
$error_3$	1158.7950
$error_4$	99.6133
$error_5$	1022.2970
$error_6$	96.9938



Σχήμα 8.45: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής της Imera Meridionale για ολόκληρη τη διαθέσιμη χρονοσειρά

Στο Σχήμα 8.45 παρουσιάζονται οι διάφορες εκτιμημένες τιμές της απορροής. Γίνεται σαφές όλες οι εκτιμημένες απορροές προσαρμόζονται ικανοποιητικά στα δεδομένα. Οι διάφορες τιμές των παραμέτρων του ολικού μοντέλου παρουσιάζονται στον Πίνακα.8.5. Ως τελικές τιμές λαμβάνεται ο συνδυασμός *ελάχιστη τιμή-λογαριθμικό σφάλμα*, οπότε οι παράμετροι θα είναι:

$$a = 0.0236 \text{ και } b = 0.0062$$



Σχήμα 8.46: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη της Imera Meridionale χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_2$ )

Στο Σχήμα 8.46 παρουσιάζεται ενδεικτικά το προσαρμοσμένο μοντέλο αξιοποιώντας τη μέση τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα. Γίνεται σαφές πως το μοντέλο προσαρμόζεται αρκετά ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής.

### 8.3 Αποτελέσματα της λεκάνης απορροής Λαζάρηδες

Στον Πίνακα 8.7 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέσοι όροι των υπολογισμένων σφαλμάτων σε συνδυασμό με τις διάφορες αρχικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για το μοντέλο. Γίνεται σαφές πως ο συνδυασμός  $error_1-minQ_0$  (μέσο τετραγωνικό σφάλμα- ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου) είναι ο καλύτερος.

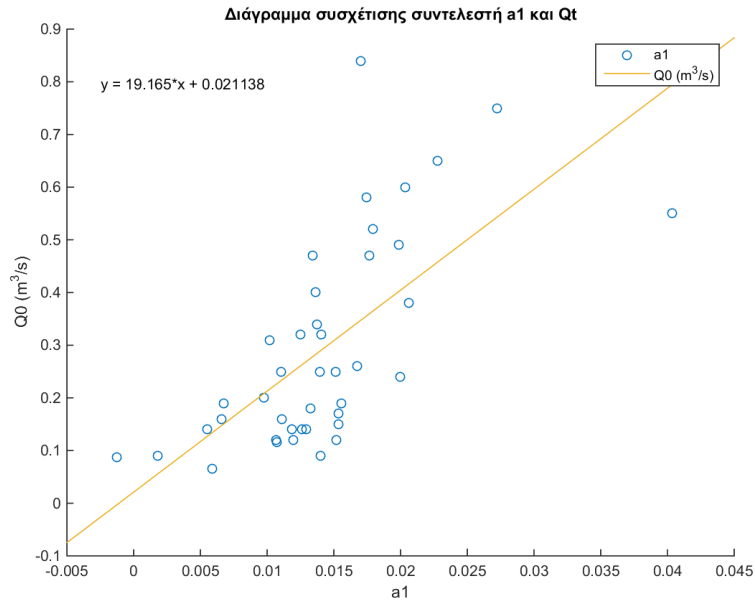
Πίνακας 8.7: Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορετικών αρχικών τιμών και σφαλμάτων για όλες τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες

	no filter	start day	dry season	linear filter	SG filter
$error_1-mean Q_0$	1.262	34.542	0.528	0.528	0.739
$error_1-median Q_0$	1.247	19.047	0.465	0.465	0.674
$error_1-min Q_0$	1.136	6.299	0.253	0.253	0.435
$error_2-mean Q_0$	6.303	5.819	4.282	4.282	1.041
$error_2-median Q_0$	5.941	41.000	3.863	3.863	0.880
$error_2-min Q_0$	4.898	3.930	2.563	2.563	0.495

#### 8.3.1 Αποτελέσματα αρχικής επεξεργασίας

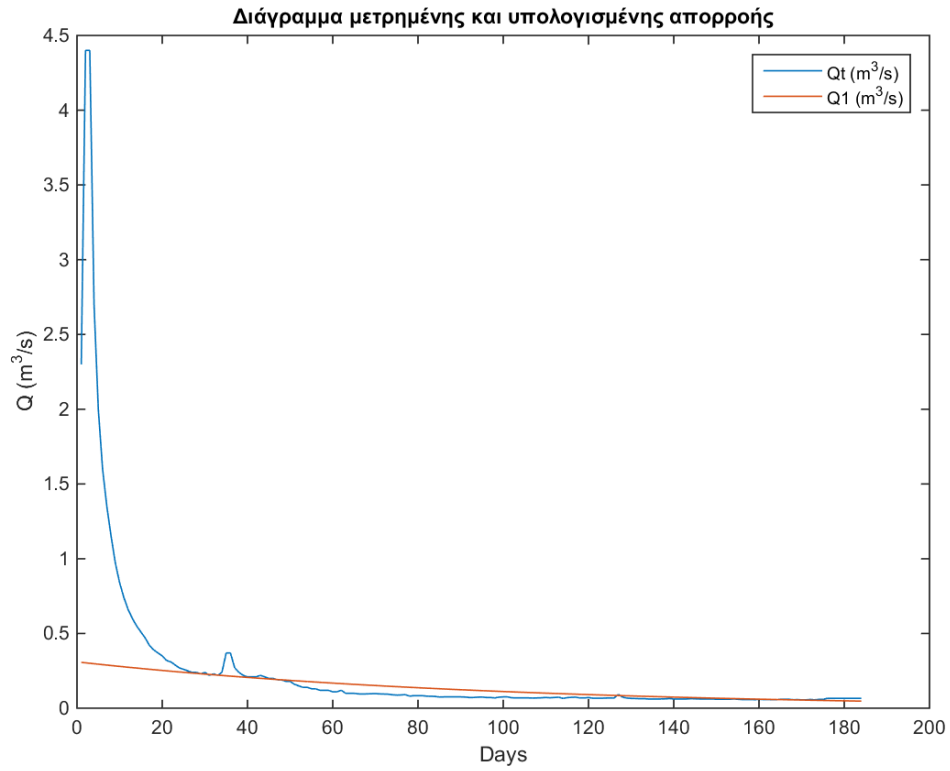
Στο Σχήμα 8.47 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.441 που σημαίνει πως ο συντελεστής συσχέτισης δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$a_1 = 19.165 * Q_0 + 0.021138 \quad (8.10)$$

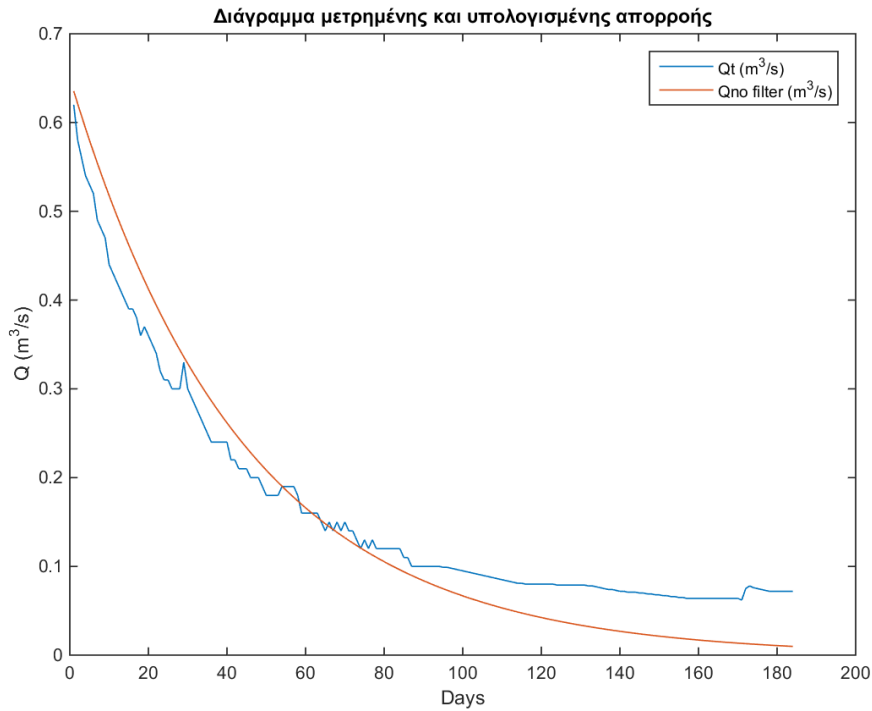


Σχήμα 8.47: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται ορισμένα παραδείγματα ετών για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες, της μετρημένης και της εκτιμημένης τιμής της απορροής. Στο Σχήμα 8.48 γίνεται σαφές πως το μοντέλο ακολουθεί τις παρατηρημένες τιμές της απορροής παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται φαινόμενα έντονης βροχόπτωσης στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου (15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου) τα οποία και αγνοούνται κατά την προσαρμογή του μοντέλου. Στο Σχήμα 8.49 το μοντέλο δεν είναι αρκετά καλά προσαρμοσμένο, δεδομένης της έναρξης της φθινοπωρινής σεζόν πριν από τις 184 ημέρες.



Σχήμα 8.48: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.49: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1980 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.3.2 Αποτελέσματα έναρξης της ξηρής περιόδου

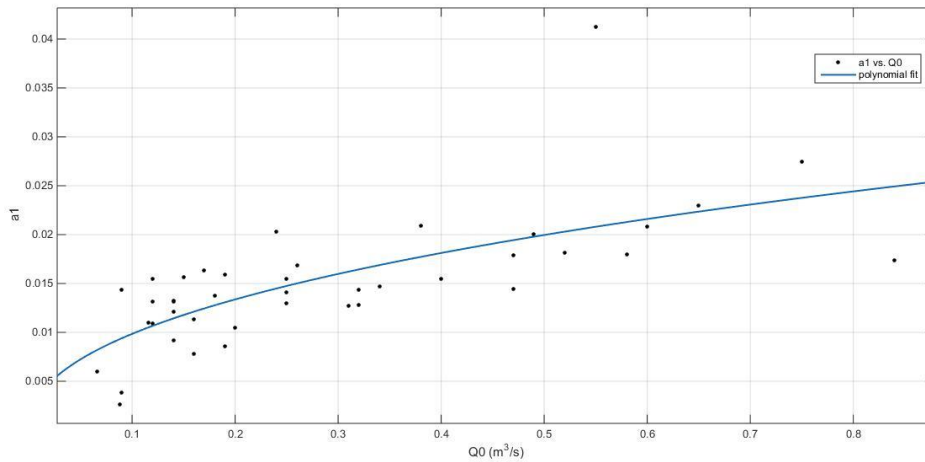
Στο Σχήμα 8.50 παρουσιάζεται το λογαριθμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.482. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$y = a * \log(b * x) \tag{8.11}$$

Όπου:

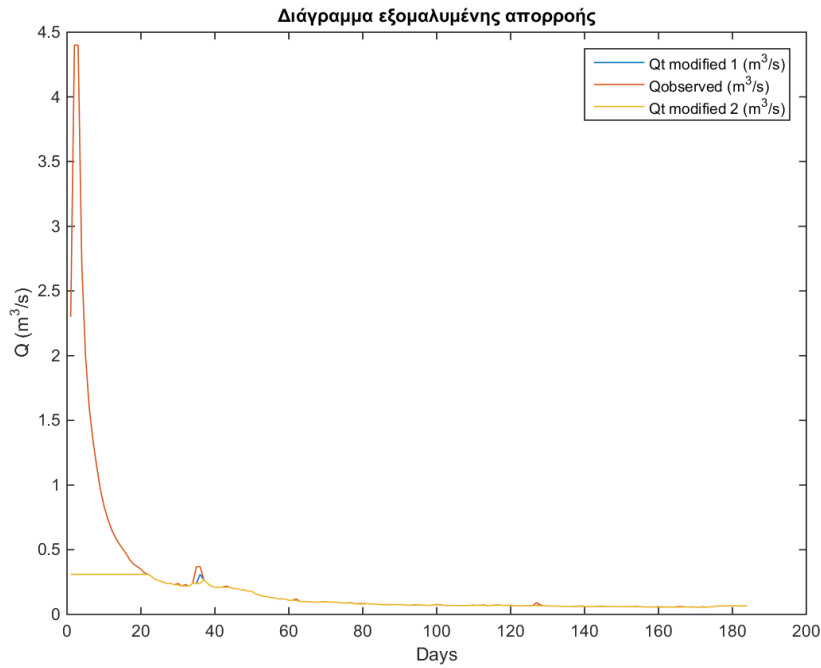
a=0.01894

b=1.443

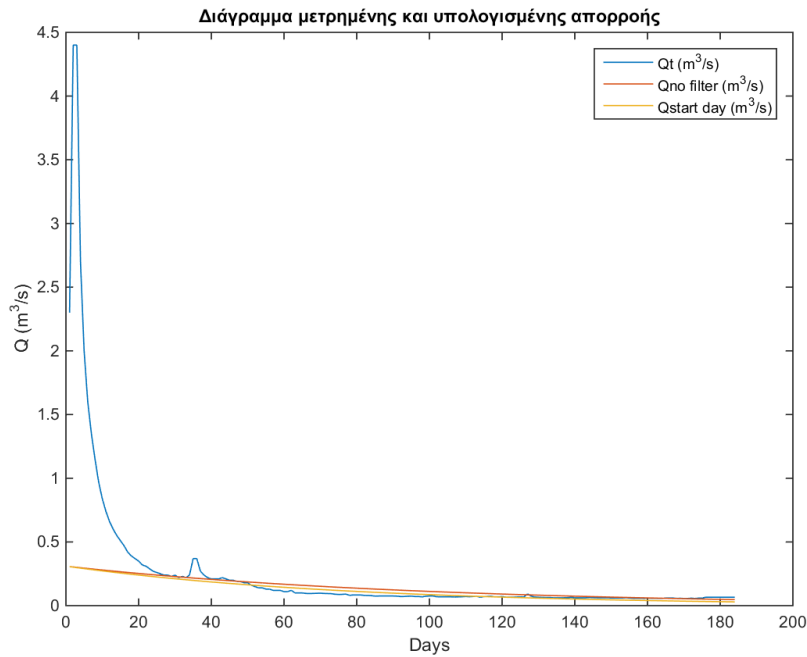


Σχήμα 8.50: Λογαριθμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στο Σχήμα 8.52 γίνεται σαφές πως το μοντέλο ακολουθεί τις παρατηρημένες τιμές της απορροής παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται φαινόμενα έντονης βροχόπτωσης στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου (15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου) τα οποία και αγνοούνται κατά την προσαρμογή του μοντέλου. Τέλος στο Σχήμα 8.51 παρουσιάζεται η εξομάλυνση που πραγματοποιήθηκε για τον περιορισμό των υψηλών τιμών απορροής στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου.



Σχήμα 8.51: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.52: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



### 8.3.3 Αποτελέσματα λήξης της ξηρής περιόδου

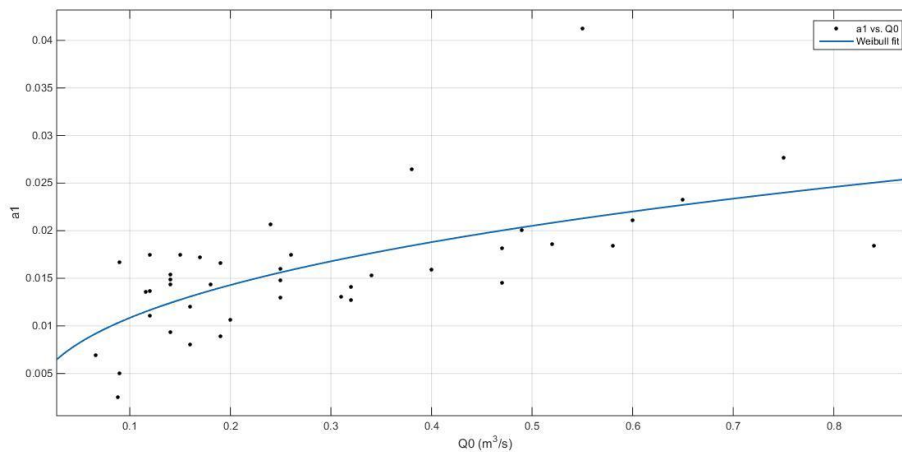
Στο Σχήμα 8.53 παρουσιάζεται το εκθετικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.419. Γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$y = a * b * x^{b-1} * \exp(-a * x^b) \quad (8.12)$$

Όπου:

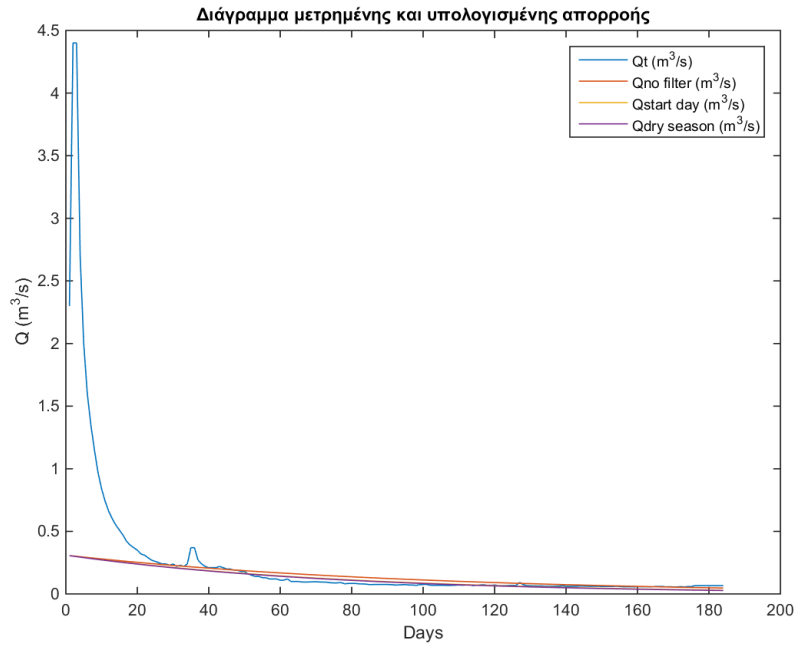
$a=0.01948$

$b=1.4$

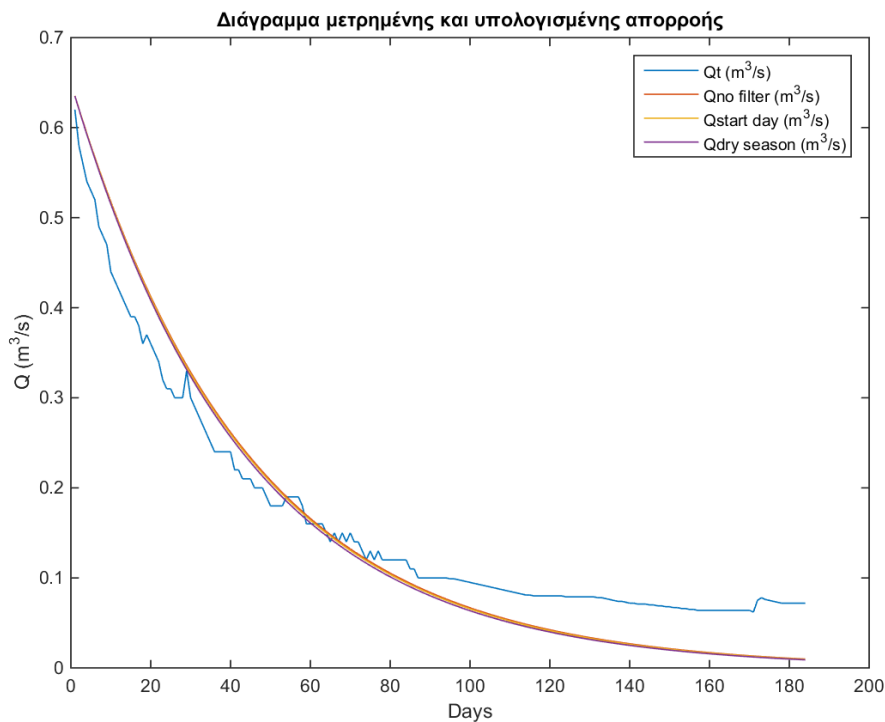


Σχήμα 8.53: Εκθετικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στο Σχήμα 8.54 γίνεται σαφές πως το μοντέλο ακολουθεί τις παρατηρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1971. Στο Σχήμα 8.55 φαίνεται πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά και για το έτος 1980.



Σχήμα 8.54: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

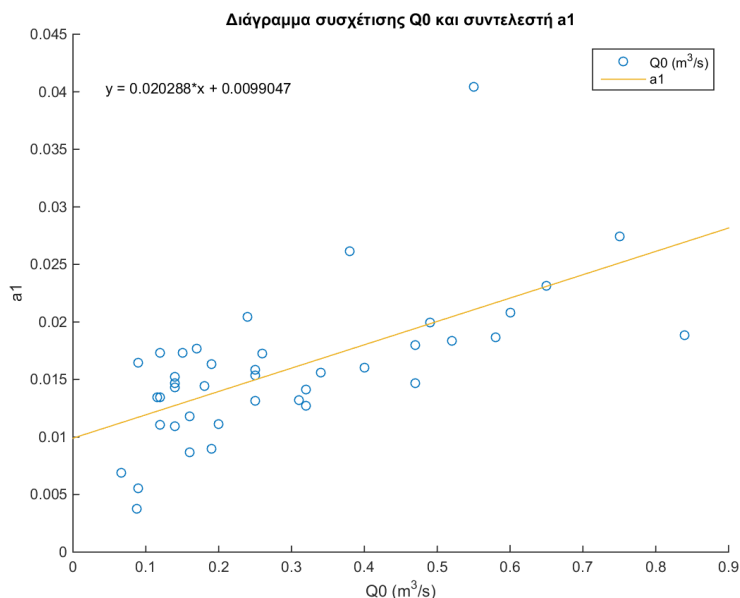


Σχήμα 8.55: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1980 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.3.4 Αποτελέσματα γραμμικής εξομάλυνσης

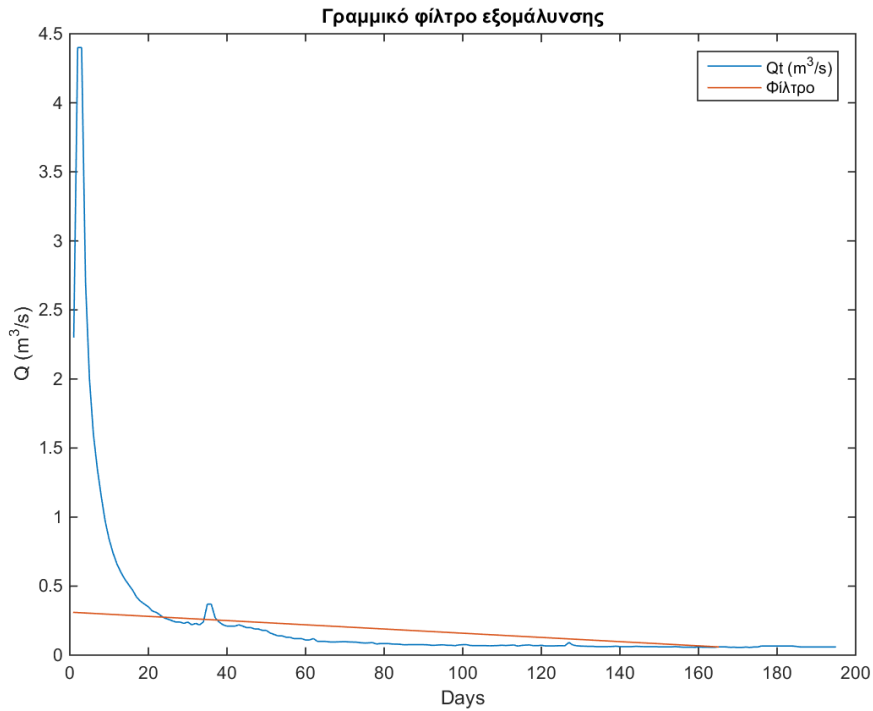
Στο Σχήμα 8.56 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.413. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$a_1 = 0.020288 * Q_0 + 0.0099047 \quad (8.13)$$

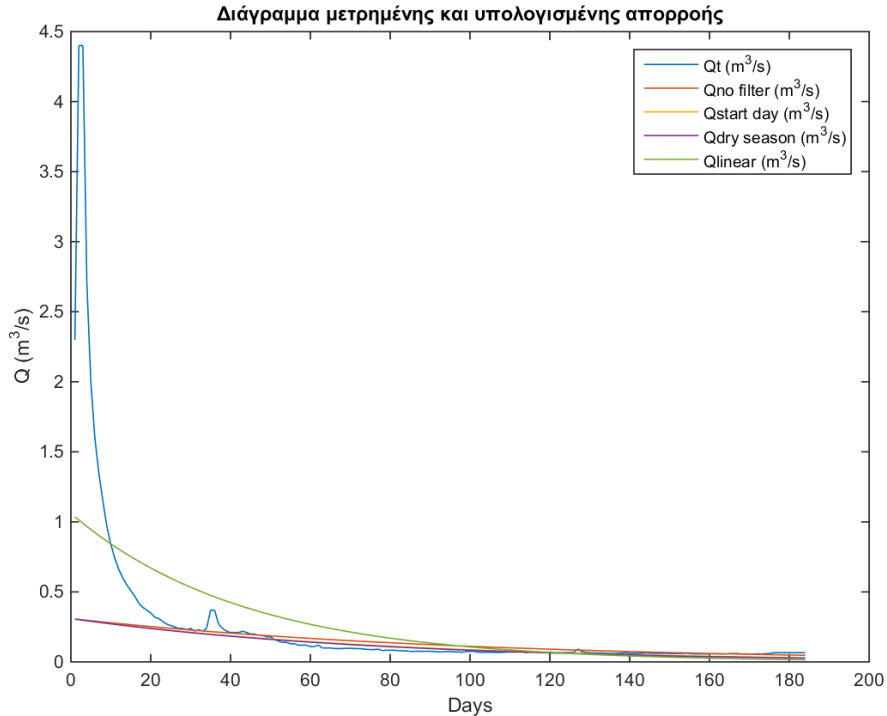


Σχήμα 8.56: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

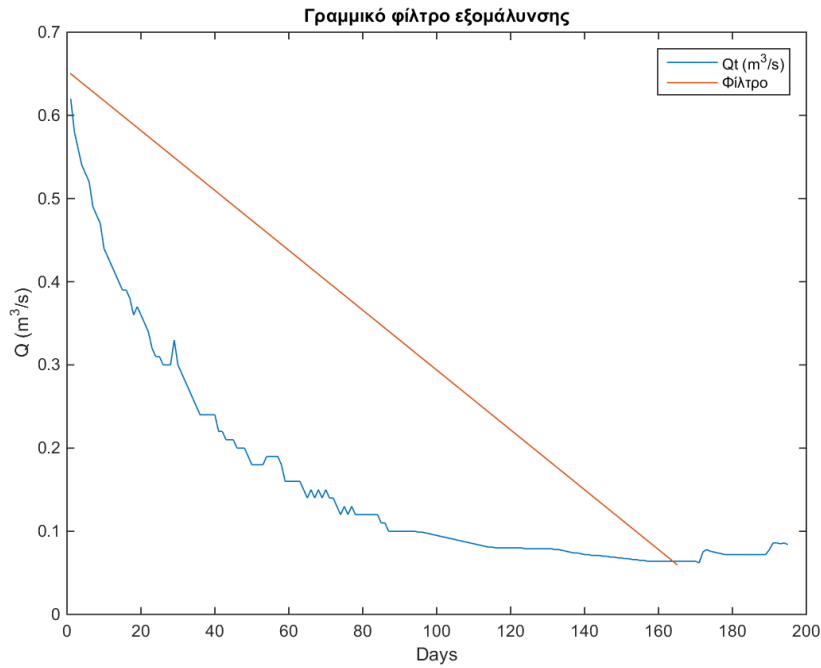
Στο Σχήμα 8.58 γίνεται σαφές πως το μοντέλο ακολουθεί τις παρατηρημένες τιμές της απορροής παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται φαινόμενα έντονης βροχόπτωσης στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου (15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου) τα οποία και αγνοούνται κατά την προσαρμογή του μοντέλου. Στο Σχήμα 8.57 παρουσιάζεται το γραμμικό φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε ως κατόφλι για την εκτίμηση του σφάλματος για το έτος 1971. Οι τιμές πάνω από τη γραμμή αγνοήθηκαν κατά τον υπολογισμό του σφάλματος και κατά συνέχεια από την εκτίμηση της παραμέτρου του μοντέλου. Στο Σχήμα 8.59 φαίνεται το φίλτρο γραμμικής εξομάλυνσης για το έτος 1980 και στο Σχήμα 8.60 το μοντέλο.



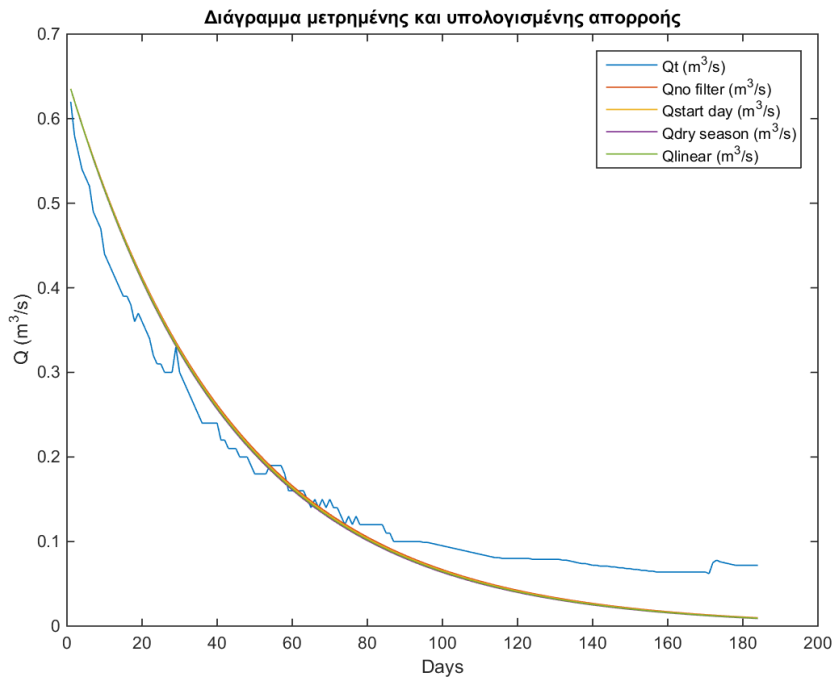
Σχήμα 8.57: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1971 για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.58: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.59: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1980 για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

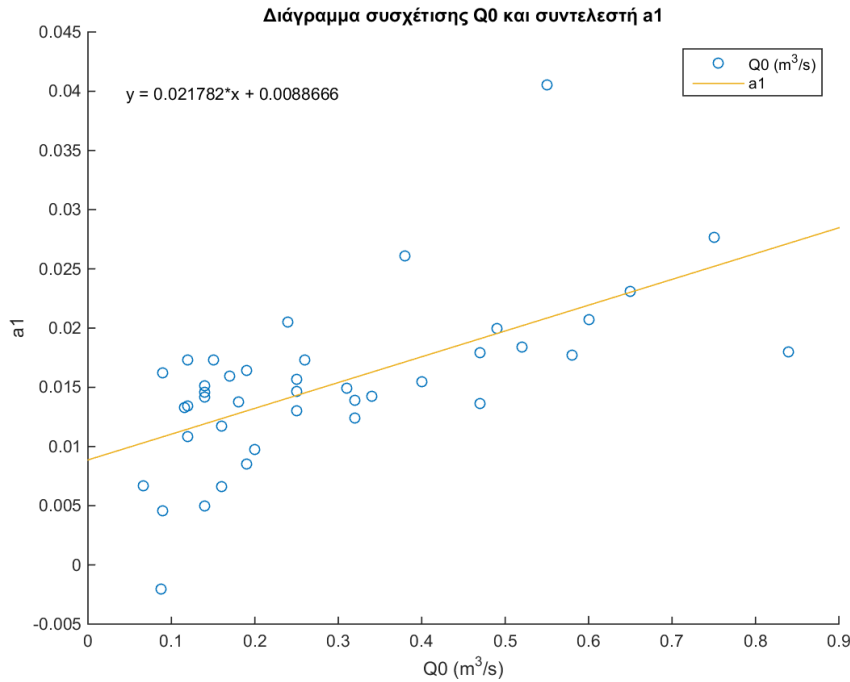


Σχήμα 8.60: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1980 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.3.5 Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay

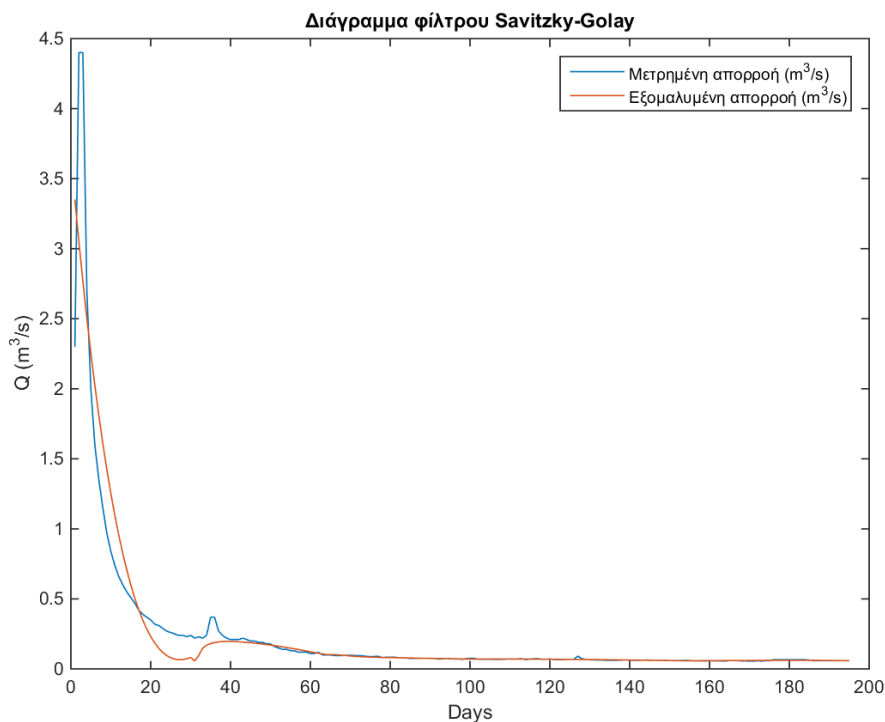
Στο Σχήμα 8.61 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχει σημαντική συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.390. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$a_1 = 0.021782 * Q_0 + 0.0088666 \quad (8.14)$$

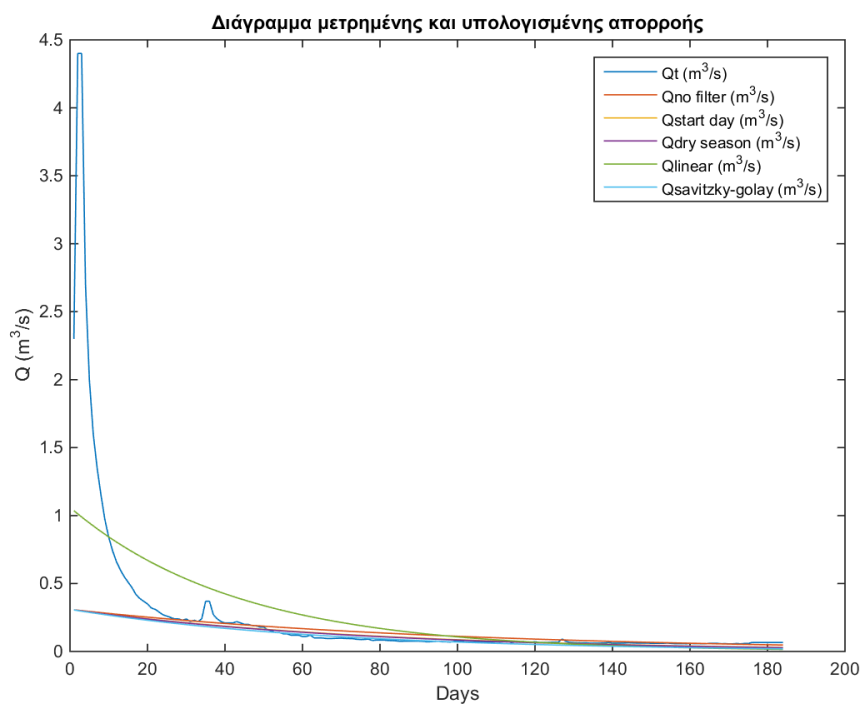


Σχήμα 8.61: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

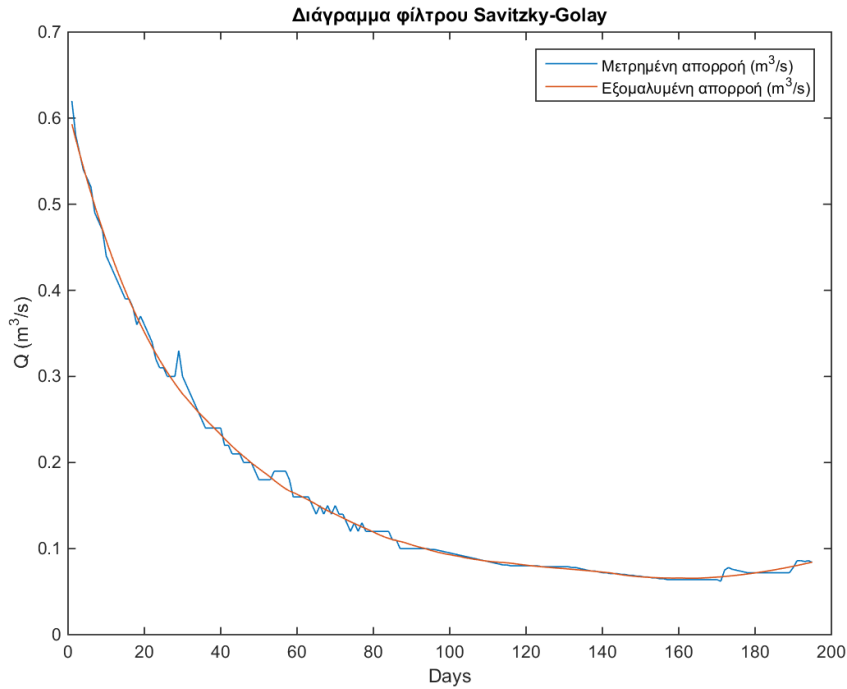
Στο Σχήμα 8.63 παρουσιάζεται μία χαρακτηριστική χρονιά για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971. Στο Σχήμα 8.63 φαίνεται πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής, παρόλο που στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου παρατηρούνται φαινόμενα έντονης βροχόπτωσης. Στο Σχήμα 8.62 παρουσιάζεται η εξομάλυνση που πραγματοποιήθηκε με χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay. Γίνεται σαφές πως οι τιμές που προέκυψαν ακολουθούν την τάση των αρχικών παρατηρημένων τιμών. Στο Σχήμα 8.64 παρουσιάζεται η εφαρμογή του φίλτρου Savitzky-Golay για το έτος 1980 και στο Σχήμα 8.65 το μοντέλο προσαρμογής.



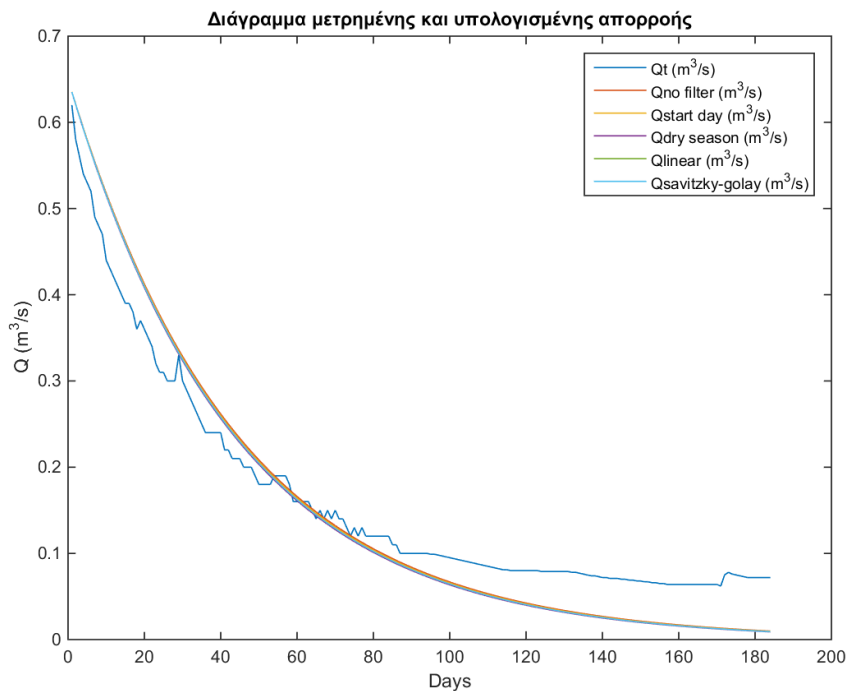
Σχήμα 8.62: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1971 για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες



Σχήμα 8.63: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1971 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.64: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1980 για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες



Σχήμα 8.65: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για το έτος 1980 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



### 8.3.6 Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης

Στο παρόν εδάφιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν το μοντέλο ολικής βελτιστοποίησης δύο παραμέτρων (Εξίσωση 6.2) για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες. Στον Πίνακα 8.8 παρουσιάζονται οι εκτιμημένες παράμετροι του ολικού μοντέλου, ανάλογα με την τιμή που επιλέχθηκε ως αρχική τιμή του μοντέλου και ανάλογα με το σφάλμα (μέσο τετραγωνικό και λογαριθμικό), όπου:

- $x_1$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_2$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $x_3$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η διάμεσος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_4$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η διάμεσος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $x_5$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_6$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $a, b$ : οι δύο παράμετροι του τελικού μοντέλου

Πίνακας 8.8: Οι παράμετροι του μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου  $Q_0$  για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες

Παράμετροι μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης		
	$a$	$b$
$x_1$	0.0106	0.0219
$x_2$	0.0112	0.0115
$x_3$	0.0112	0.0190
$x_4$	0.0106	0.0124
$x_5$	0.0111	0.0135
$x_6$	0.0087	0.0144

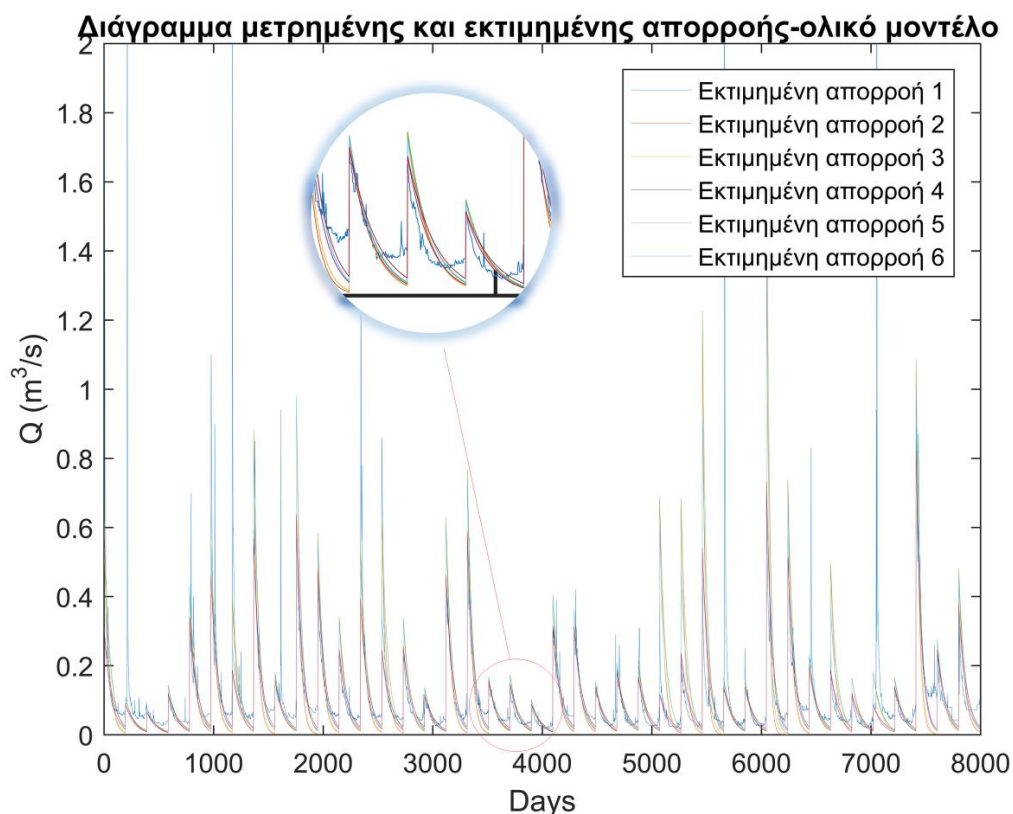
Τα συνολικά σφάλματα που προέκυψαν για τις διάφορες τιμές της αρχικής τιμής του μοντέλου ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.9, όπου:

- $error_1$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_2$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_3$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_4$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_5$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

- *error<sub>6</sub>*: Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

Πίνακας 8.9: Συνολικά σφάλματα για την εκτίμηση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου  $Q_0$  για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες

Συνολικό σφάλμα	
$error_1$	323.5703
$error_2$	45.3210
$error_3$	289.7325
$error_4$	42.1513
$error_5$	182.1718
$error_6$	31.8091



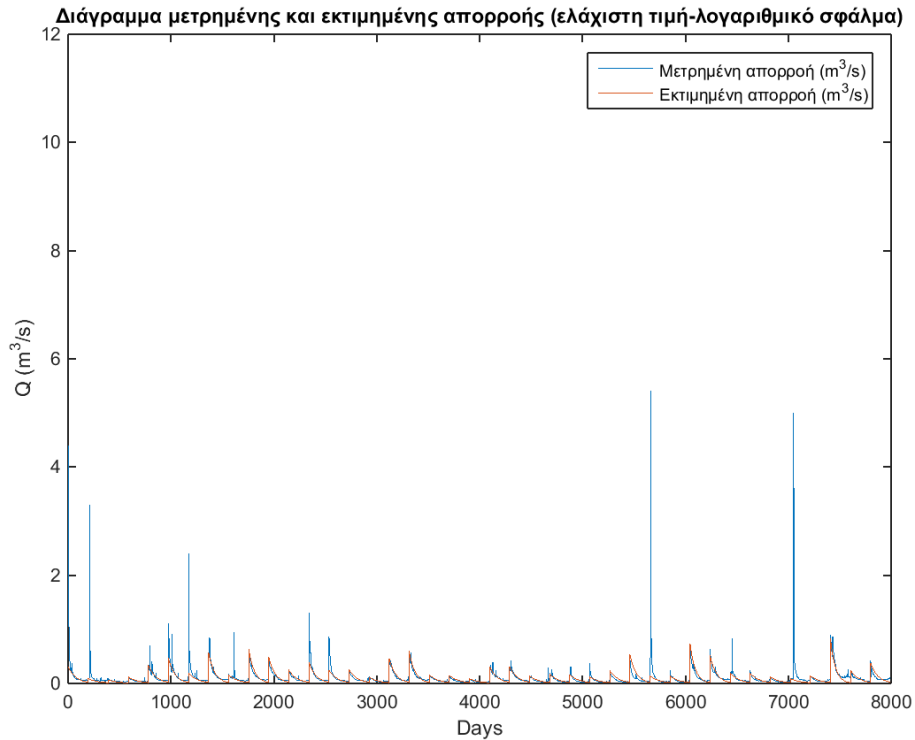
Σχήμα 8.66: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Λαζάρηδες για ολόκληρη τη διαθέσιμη χρονοσειρά

Στο Σχήμα 8.66 παρουσιάζονται οι διάφορες εκτιμημένες τιμές της απορροής. Γίνεται σαφές όλες οι εκτιμημένες απορροές προσαρμόζονται πολύ καλά στα δεδομένα. Οι διάφορες τιμές των παραμέτρων του ολικού μοντέλου παρουσιάζονται στον Πίνακα.8.9. Ως τελικές τιμές λαμβάνεται ο συνδυασμός ελάχιστη τιμή-λογαριθμικό σφάλμα. Οπότε οι παράμετροι θα είναι:

$a=0.0087$  και  $b=0.0144$

Στο Σχήμα 8.67 παρουσιάζεται ενδεικτικά το προσαρμοσμένο μοντέλο αξιοποιώντας την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα. Γίνεται σαφές πως το μοντέλο προσαρμόζεται αρκετά ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής.

Στο Σχήμα 8.67 παρουσιάζεται ενδεικτικά το προσαρμοσμένο μοντέλο αξιοποιώντας την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα. Γίνεται σαφές πως το μοντέλο προσαρμόζεται αρκετά ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής.



Σχήμα 8.67: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη Λαζάρηδες χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_2$ )

## 8.4 Αποτελέσματα της λεκάνης απορροής Περιστερώνα

Στον Πίνακα 8.10 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέσοι όροι των υπολογισμένων σφαλμάτων σε συνδυασμό με τις διάφορες αρχικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για το μοντέλο. Γίνεται σαφές πως ο συνδυασμός  $error_1$ - $min Q_0$  (μέσο τετραγωνικό σφάλμα- ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου) είναι ο καλύτερος.

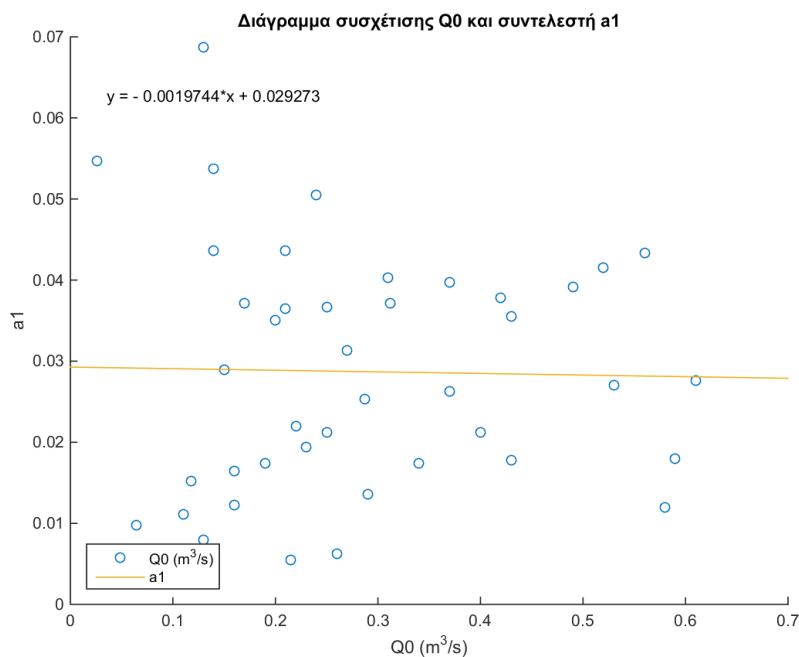
Πίνακας 8.10: Συγκεντρωτικός πίνακας διαφορετικών αρχικών τιμών και σφαλμάτων για όλες τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα

	no filter	start day	dry season	linear filter	SG filter
$error_1$ -mean $Q_0$	1.237	34.542	31.464	0.497	0.702
$error_1$ -median $Q_0$	1.289	19.047	27.035	0.411	0.646
$error_1$ -min $Q_0$	1.306	6.299	20.482	0.231	0.555
$error_2$ -mean $Q_0$	13.949	5.819	13.396	6.532	0.849
$error_2$ -median $Q_0$	13.900	41.000	13.272	6.497	0.816
$error_2$ -min $Q_0$	13.612	3.930	12.657	6.354	0.792

### 8.4.1 Αποτελέσματα αρχικής επεξεργασίας

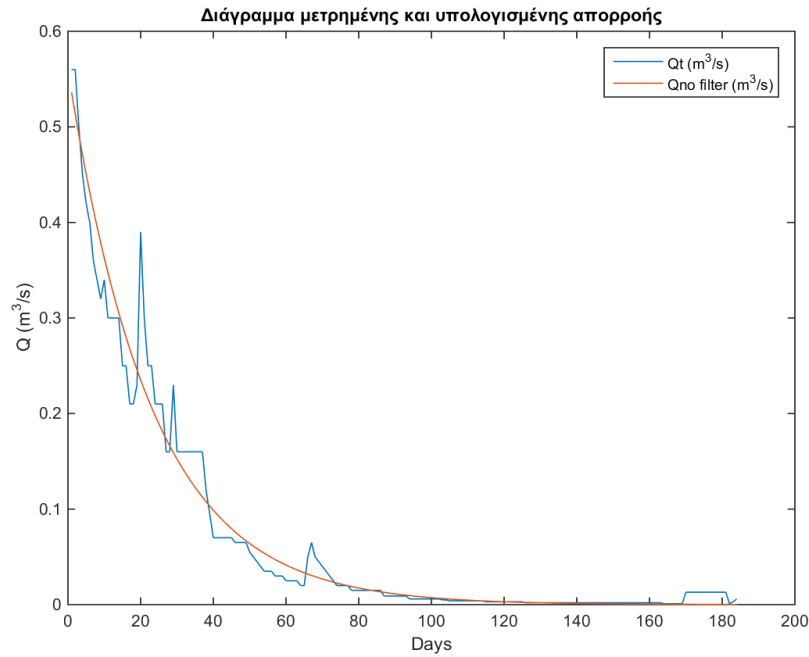
Στο Σχήμα 8.68 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.0004. Ο συντελεστής συσχέτισης δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$a_1 = -0.0019744 * Q_0 + 0.029273 \quad (8.15)$$

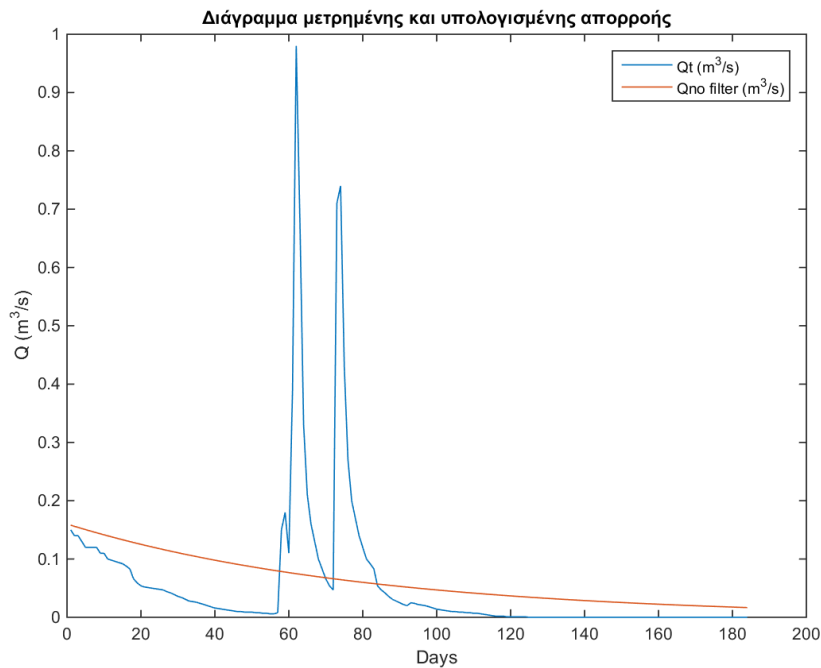


Σχήμα 8.68: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στο διάγραμμα 8.69 παρουσιάζονται οι τιμές της μετρημένης απορροής καθώς και το μοντέλο που προσαρμόζεται σε αυτές για τη λεκάνη της Περιστερώνας για το έτος 1969. Όπως γίνεται σαφές και από το Σχήμα 8.69 το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις παρατηρημένες τιμές, παρά τις υψηλές τιμές στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου. Στο Σχήμα 8.70 παρουσιάζεται η προσαρμογή του μοντέλου για το έτος 1999.



Σχήμα 8.69: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

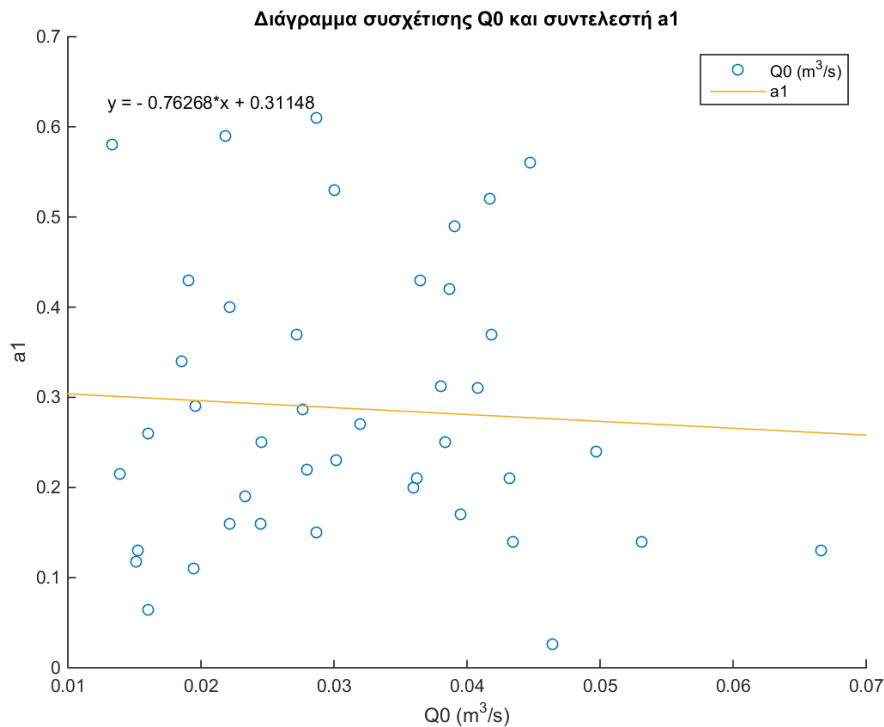


Σχήμα 8.70: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{no\ filter}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

#### 8.4.2 Αποτελέσματα έναρξης της ξηρής περιόδου

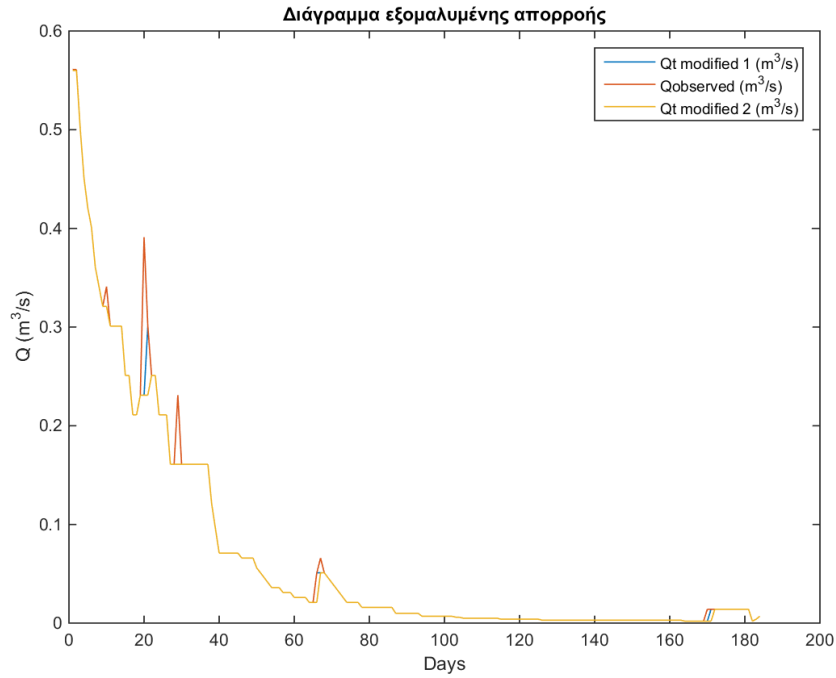
Στο Σχήμα 8.71 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι υπάρχει μικρή συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.004. Ο συντελεστής συσχέτισης δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$Q_0 = -0.76268 * a_1 + 0.348 \quad (8.16)$$

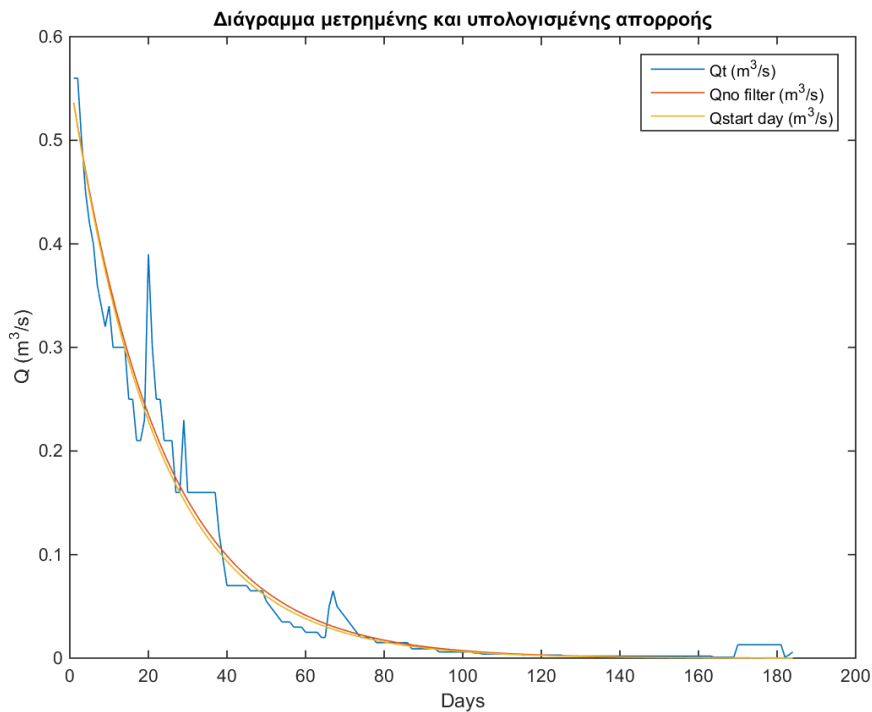


Σχήμα 8.71: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$  για τη λεκάνη Περιστερώνα, χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

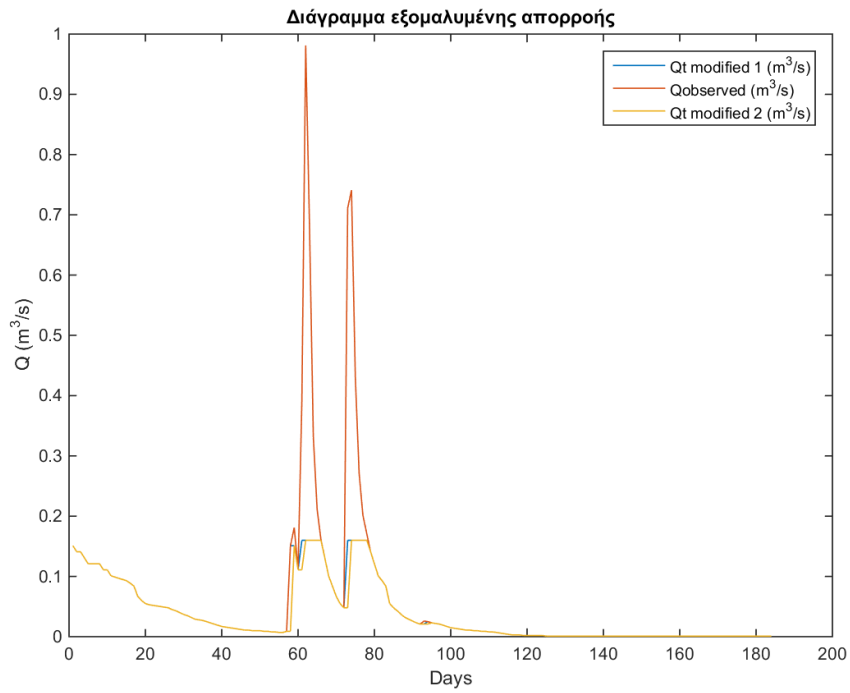
Στο Σχήμα 8.73 γίνεται σαφές πως το μοντέλο ακολουθεί τις παρατηρημένες τιμές της απορροής παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται φαινόμενα έντονης βροχόπτωσης στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου (15 Απριλίου-15 Οκτωβρίου) τα οποία και αγνοούνται κατά την προσαρμογή του μοντέλου. Στο Σχήμα 8.74 το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις παρατηρημένες τιμές της απορροής. Τέλος στα σχήματα 8.72 και 8.74 παρουσιάζονται οι εξομαλύνσεις που πραγματοποιήθηκαν για τον περιορισμό των υψηλών τιμών απορροής στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου.



Σχήμα 8.72: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

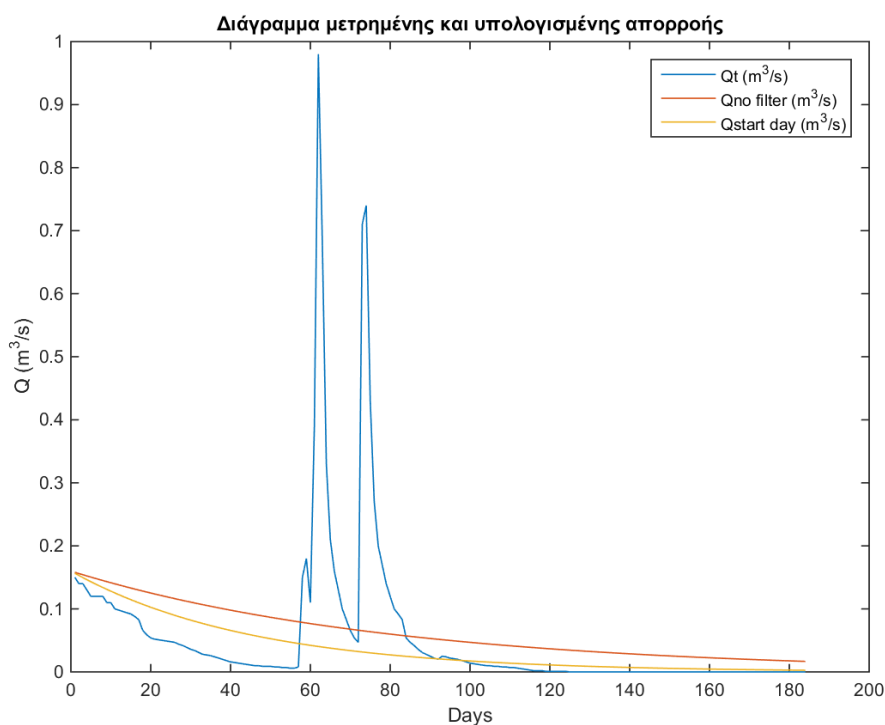


Σχήμα 8.73: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{start\ day}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.74: Διάγραμμα εξομαλυμένης απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



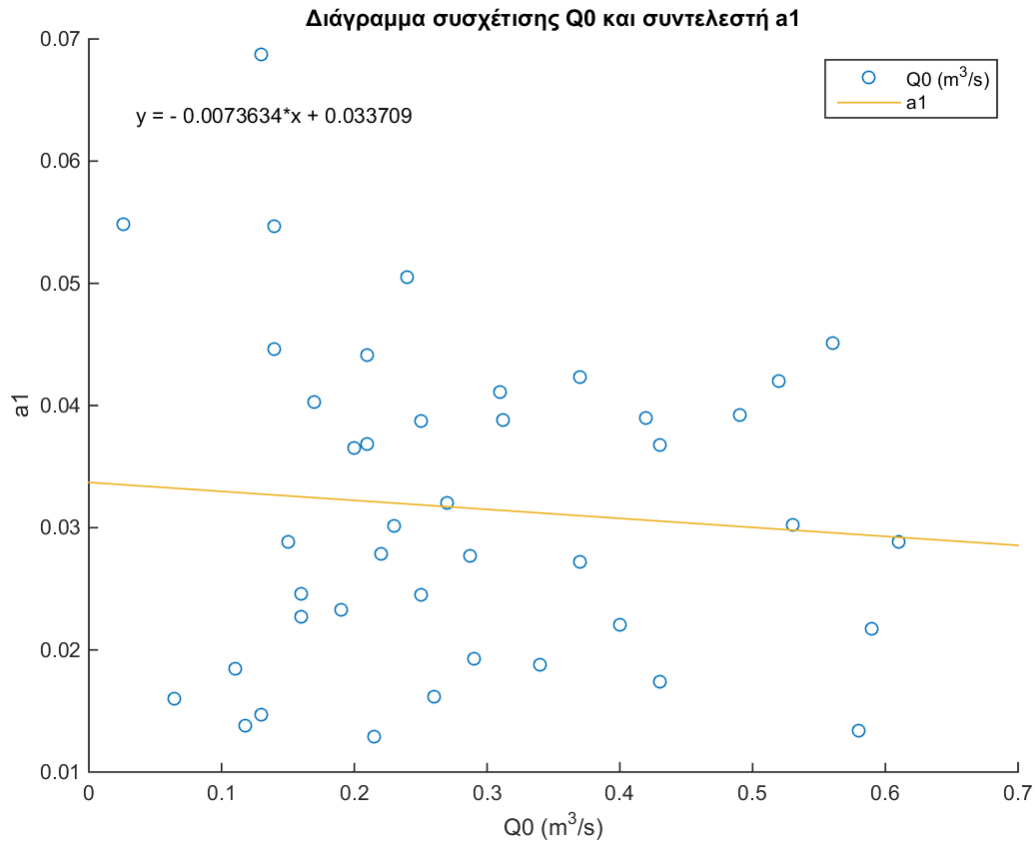


Σχήμα 8.75: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{start day}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερών για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

### 8.4.3 Αποτελέσματα λήξης της ξηρής περιόδου

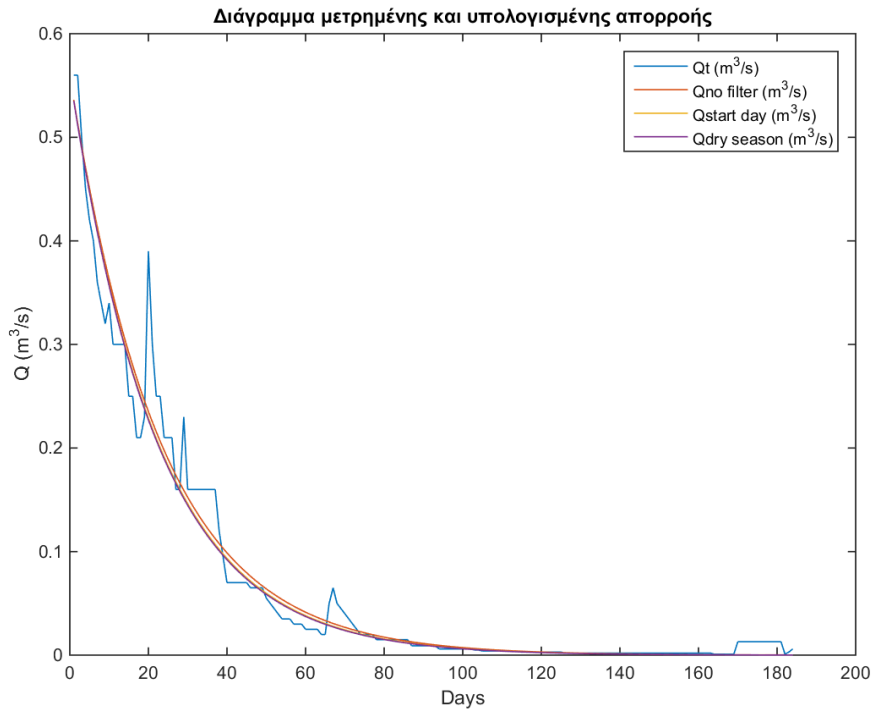
Στο Σχήμα 8.76 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.008. Ο συντελεστής συσχέτισης δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$a_1 = -0.0073634 * Q_0 + 0.033709 \quad (8.17)$$

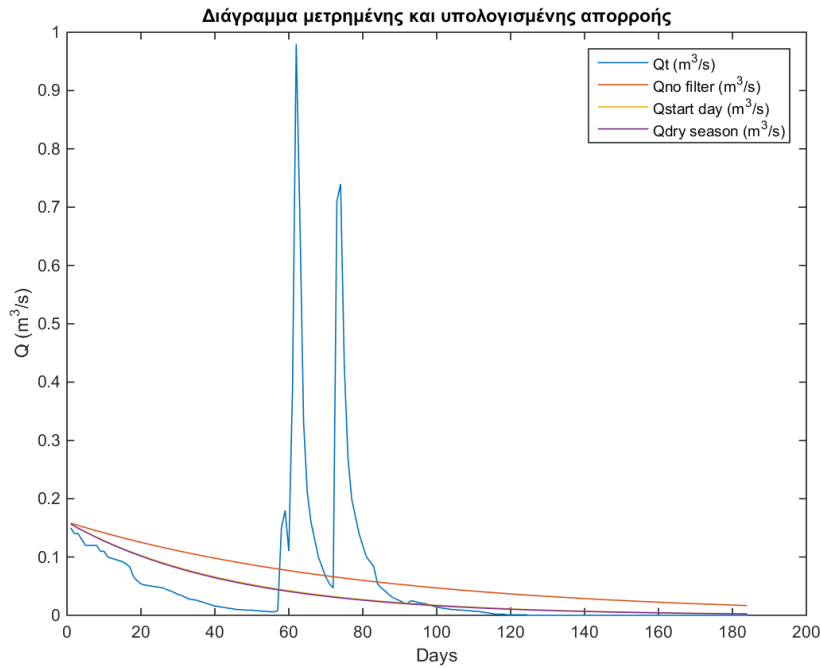


Σχήμα 8.76: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στο διάγραμμα 8.77 παρουσιάζονται οι τιμές της μετρημένης απορροής καθώς και το μοντέλο που προσαρμόζεται σε αυτές για τη λεκάνη της Περιστερώνας για το έτος 1969. Όπως γίνεται σαφές και από το Σχήμα 8.77 το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις παρατηρημένες τιμές, παρά τις υψηλές τιμές στην αρχή της εξεταζόμενης περιόδου όπως και για το έτος 1999 που παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.78.



Σχήμα 8.77: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{\text{dry season}}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

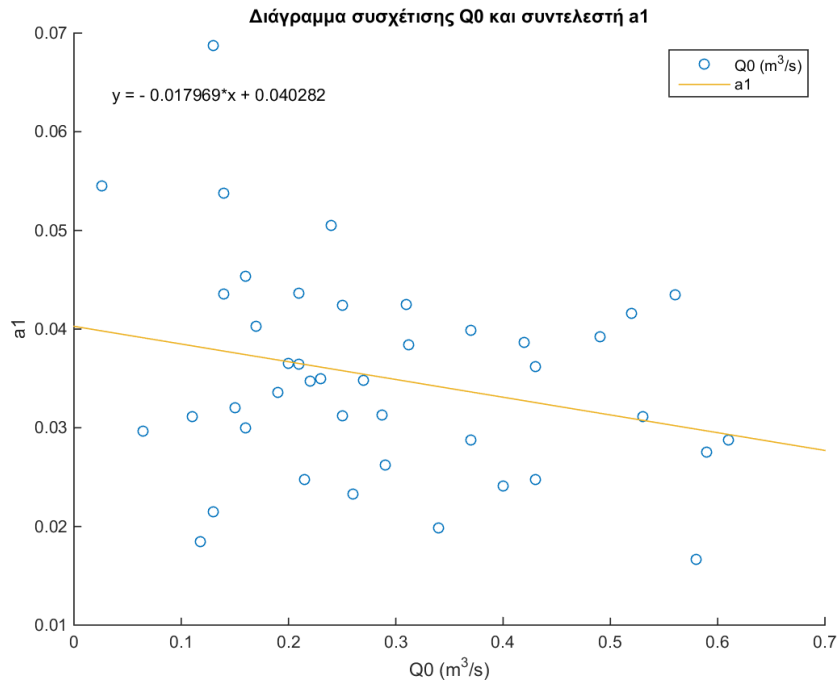


Σχήμα 8.78: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{dry\ season}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

#### 8.4.4 Αποτελέσματα γραμμικής εξομάλυνσης

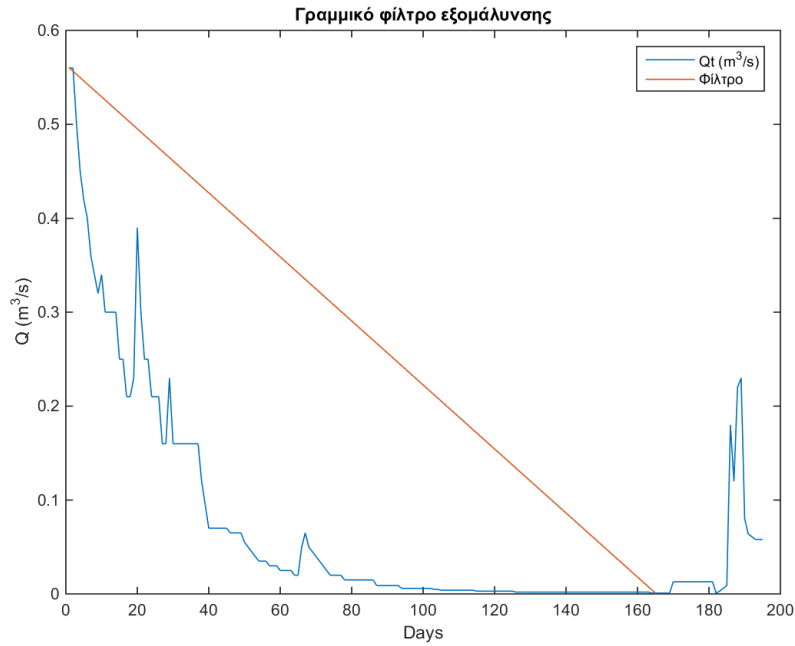
Στο Σχήμα 8.79 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.070. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

$$a_1 = -0.017969 * Q_0 + 0.040282 \quad (8.18)$$

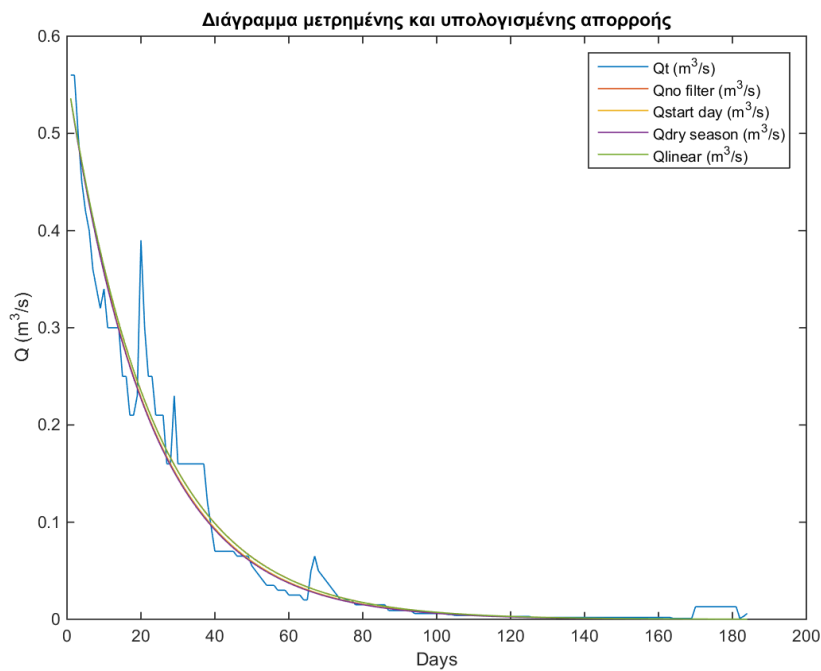


Σχήμα 8.79 Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

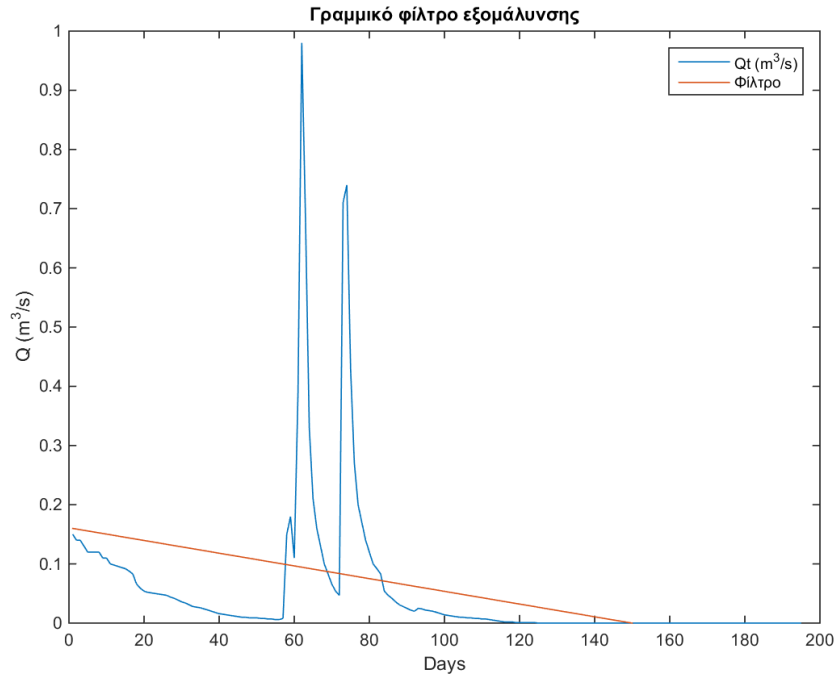
Στο Σχήμα 8.81 γίνεται σαφές πως το μοντέλο ακολουθεί τις παρατηρημένες τιμές της απορροής παρά το γεγονός ότι παρατηρούνται φαινόμενα έντονης βροχόπτωσης τα οποία και αγνοούνται κατά την προσαρμογή του μοντέλου. Στο Σχήμα 8.80 παρουσιάζεται το γραμμικό φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε ως κατόφλι για την εκτίμηση του σφάλματος για το έτος 1969. Οι τιμές πάνω από τη γραμμή αγνοήθηκαν κατά τον υπολογισμό του σφάλματος και κατά συνέχεια από την εκτίμηση της παραμέτρου του μοντέλου. Στο Σχήμα 8.82 παρουσιάζεται το γραμμικό φίλτρο για το έτος 1999 και στο Σχήμα 8.83 το προσαρμοσμένο μοντέλο.



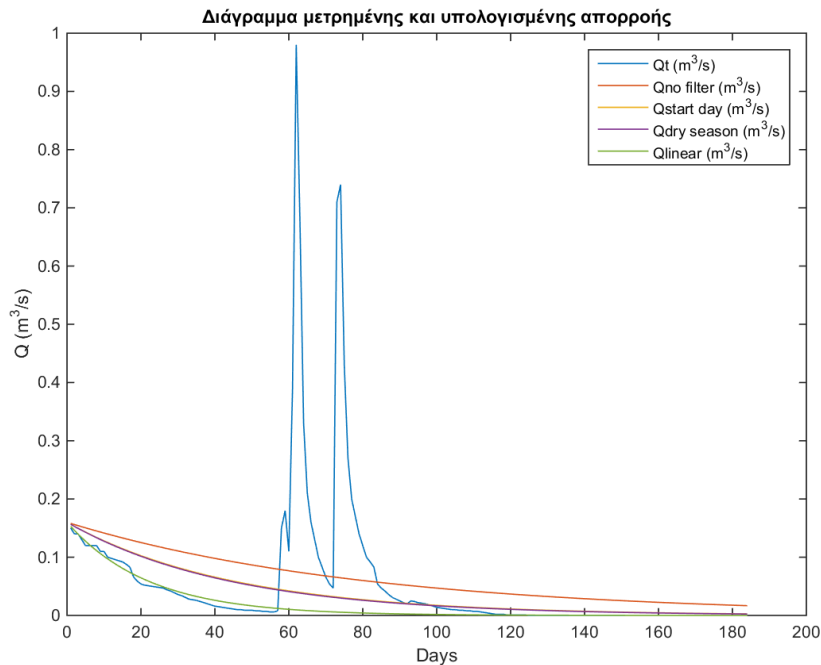
Σχήμα 8.80: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1969 για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνας χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.81: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνας για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.82: Διάγραμμα γραμμικού φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1999 για τη λεκάνη απορροής. Περιστερώνα χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

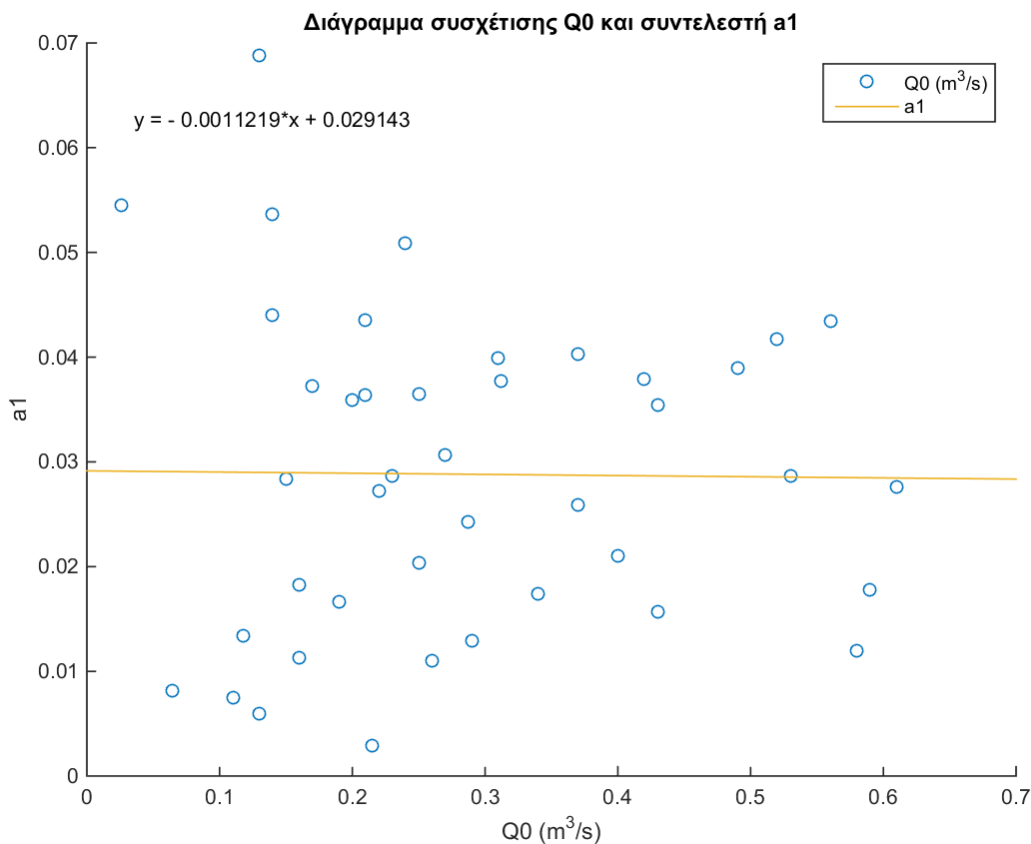


Σχήμα 8.83: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{linear}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής. Περιστερώνα για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

#### 8.4.5 Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay

Στο Σχήμα 8.84 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο που εκφράζει την σχέση του  $Q_0$  με το  $a$ . Γίνεται σαφές ότι δεν υπάρχει συσχέτιση των δύο παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η τιμή R-squared είναι 0.0001. Συνεπώς, ο συντελεστής συσχέτισης δεν είναι στατιστικά σημαντικός. Η σχέση που τις συνδέει είναι:

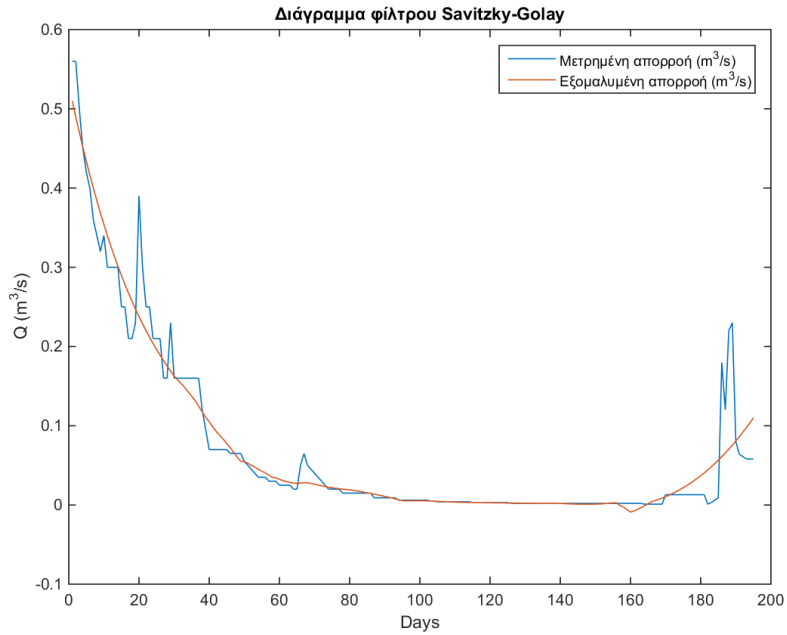
$$a_1 = -0.0011219 * Q_0 + 0.029143 \quad (8.19)$$



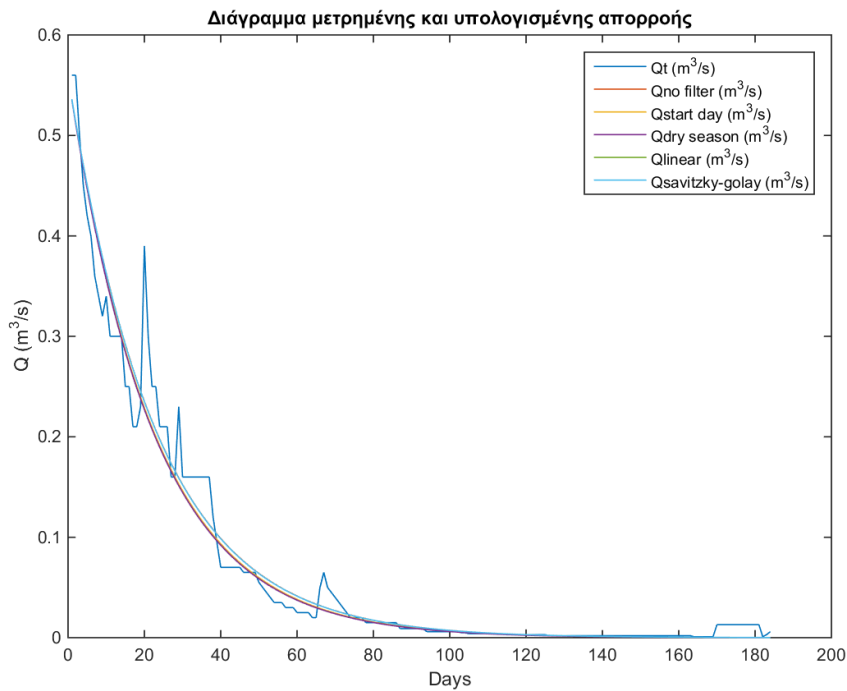
Σχήμα 8.84: Γραμμικό μοντέλο πρόβλεψης και συσχέτιση της αρχικής τιμής του μοντέλου  $Q_0$  με την παράμετρο  $a$ , χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου και το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ( $error_1$ )

Στο Σχήμα 8.86 παρουσιάζεται μία χαρακτηριστική χρονιά για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώννας για το έτος 1969. Φαίνεται πως το μοντέλο προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής. Στο Σχήμα 8.85 παρουσιάζεται η εξομάλυνση που πραγματοποιήθηκε με χρήση του φίλτρου Savitzky-Golay. Γίνεται σαφές πως οι τιμές που προέκυψαν ακολουθούν την τάση των αρχικών παρατηρημένων τιμών. Στο Σχήμα 8.87 παρουσιάζεται η εφαρμογή του φίλτρου εξομάλυνσης για το έτος 1999 και το προσαρμοσμένο μοντέλο φαίνεται στο Σχήμα 8.88.

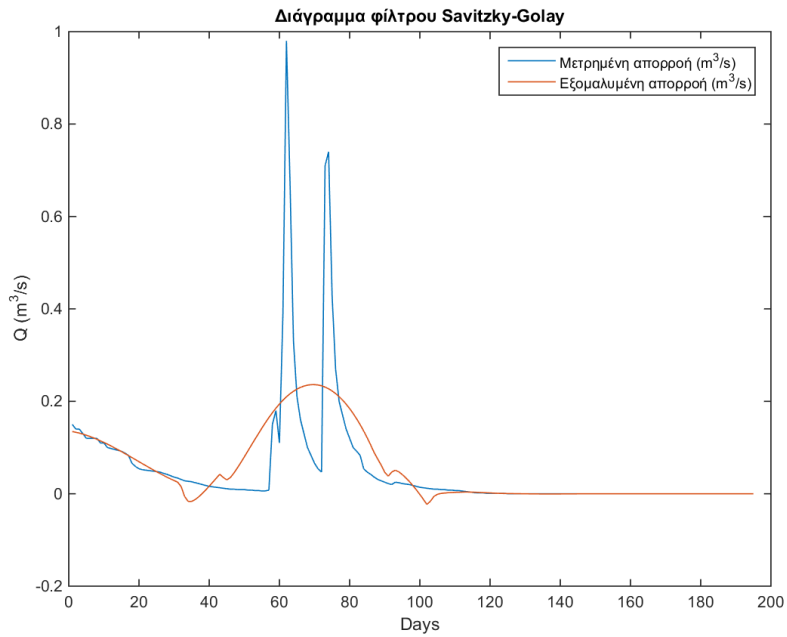




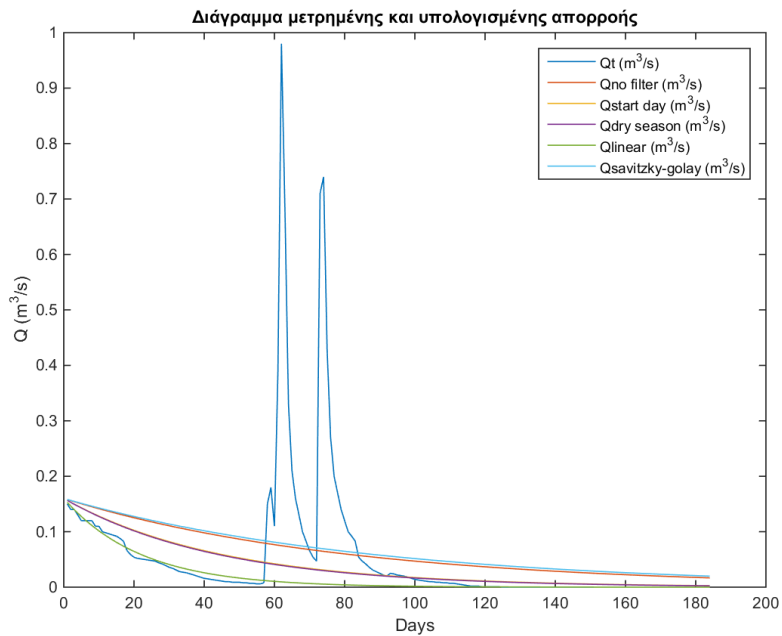
Σχήμα 8.85: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1969 για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας



Σχήμα 8.86: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνας για το έτος 1969 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιολογώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )



Σχήμα 8.87: Διάγραμμα εφαρμογής φίλτρου Savitzky-Golay στις μετρημένες τιμές της απορροής για το έτος 1999 για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας



Σχήμα 8.88: Διάγραμμα μετρημένης ( $Q_t$ ) και εκτιμημένης ( $Q_{savitzky-golay}$ ) απορροής για τη λεκάνη απορροής Περιστερώνα για το έτος 1999 χρησιμοποιώντας ως  $Q_0$  την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, αξιοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_1$ )

#### 8.4.6 Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης

Στο παρών εδάφιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν το μοντέλο ολικής βελτιστοποίησης δύο παραμέτρων (Εξίσωση 6.2) για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας. Στον Πίνακα 8.11 παρουσιάζονται οι εκτιμημένες παράμετροι του ολικού μοντέλου ανάλογα με την τιμή που επιλέχθηκε ως αρχική τιμή του μοντέλου και ανάλογα με το σφάλμα (μέσο τετραγωνικό και λογαριθμικό), όπου:

- $x_1$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_2$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $x_3$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η διάμεσος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_4$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η διάμεσος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $x_5$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το μέσο τετραγωνικό σφάλμα
- $x_6$ : λαμβάνεται ως αρχική τιμή του μοντέλου η ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, χρησιμοποιώντας το λογαριθμικό σφάλμα
- $a, b$ : οι δύο παράμετροι του τελικού μοντέλου

Πίνακας 8.11: Οι παράμετροι του μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου  $Q_0$  για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας

Παράμετροι μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης		
	$a$	$b$
$x_1$	0.0507	-0.0043
$x_2$	0.0471	-0.0009
$x_3$	0.0509	-0.0112
$x_4$	0.0468	-0.0033
$x_5$	0.0395	-0.0134
$x_6$	0.0410	0.0008

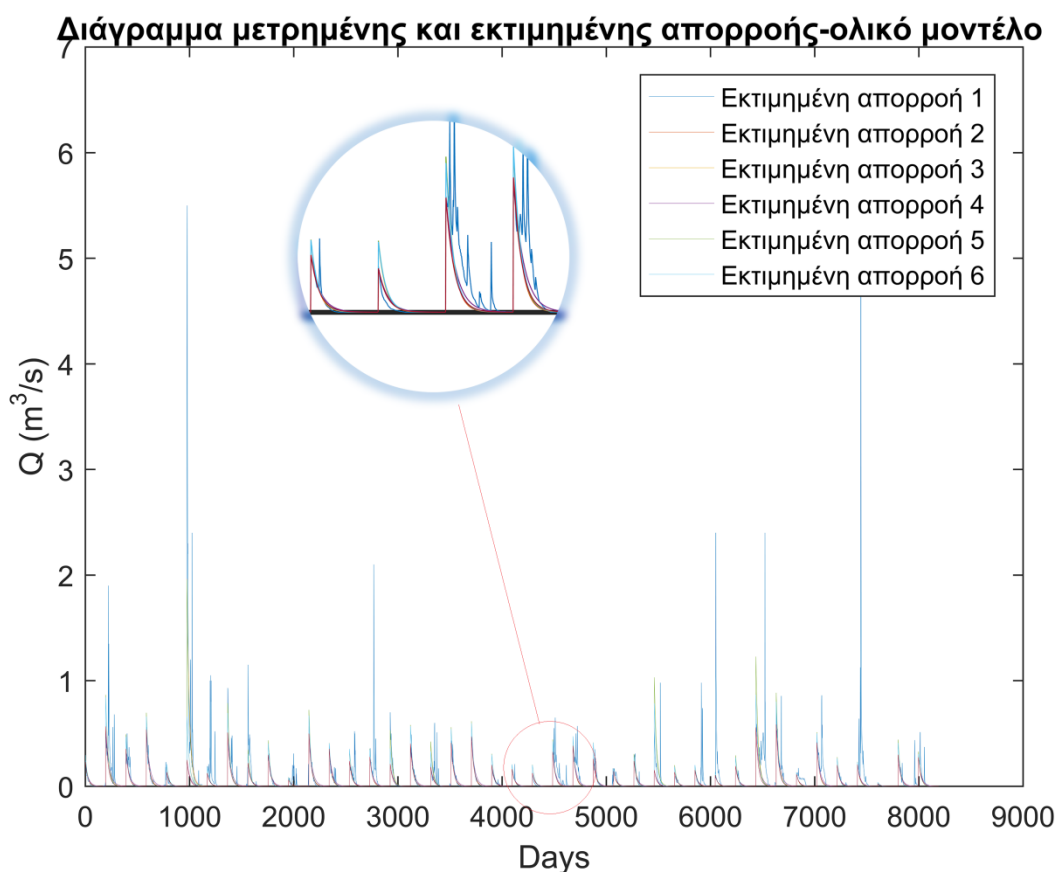
Τα συνολικά σφάλματα που προέκυψαν για τις διάφορες τιμές της αρχικής τιμής του μοντέλου ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.12, όπου:

- $error_1$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_2$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_3$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_4$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη διάμεσο των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

- $error_3$ : Το ολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- $error_6$ : Το ολικό λογαριθμικό σφάλμα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου την ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

Πίνακας 8.12: Συνολικά σφάλματα για την εκτίμηση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης για τις διάφορες αρχικές τιμές του μοντέλου  $Q_0$  για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας

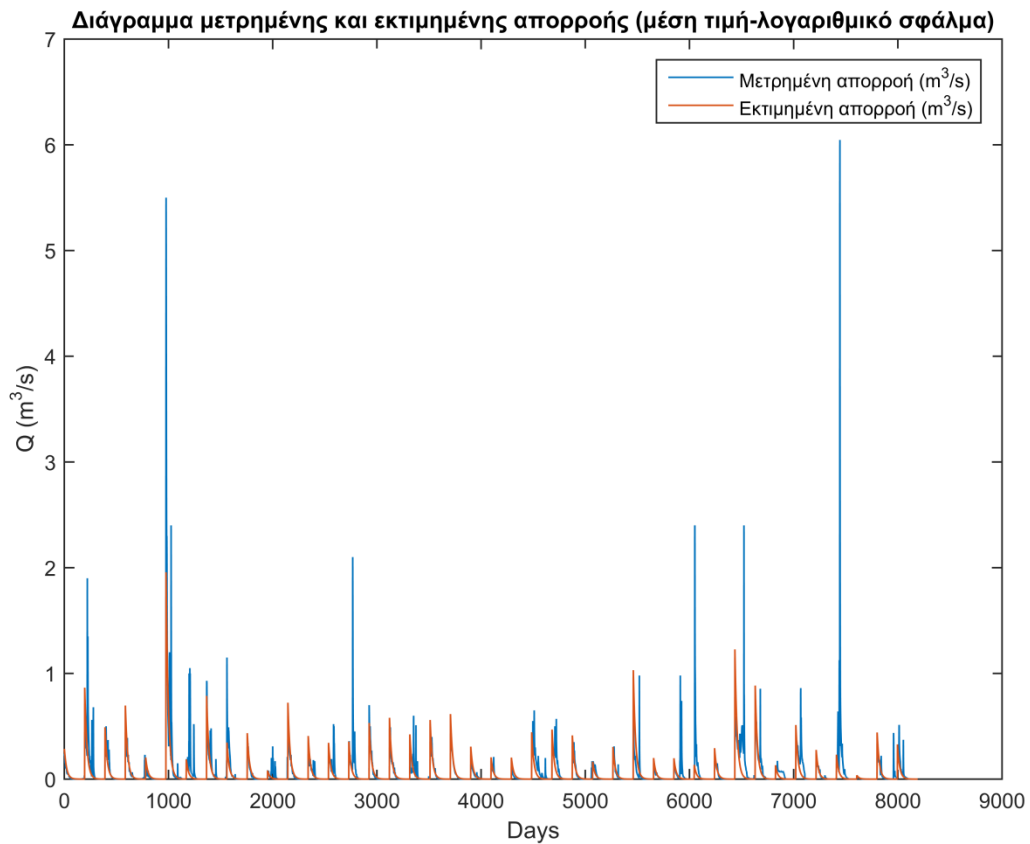
Συνολικό σφάλμα	
$error_1$	269.2715
$error_2$	98.3252
$error_3$	261.6697
$error_4$	99.3639
$error_5$	229.4123
$error_6$	100.3658



Σχήμα 8.89: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη απορροής της Περιστερώνας για ολόκληρη τη διαθέσιμη χρονοσειρά

Στο Σχήμα 8.89 παρουσιάζονται οι διάφορες εκτιμημένες τιμές της απορροής. Γίνεται σαφές όλες οι εκτιμημένες απορροές προσαρμόζονται πολύ καλά στα δεδομένα. Οι διάφορες τιμές των παραμέτρων

του ολικού μοντέλου παρουσιάζονται στον Πίνακα.7.38. Ως τελικές τιμές λαμβάνεται ο συνδυασμός μέση τιμή-λογαριθμικό σφάλμα. Οπότε οι παράμετροι θα είναι:  $a=0.0471$  και  $b=-0.0009$



Σχήμα 8.90: Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής για τη λεκάνη Περιστερώννα χρησιμοποιώντας ως αρχική τιμή του μοντέλου τη μέση τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα στη βελτιστοποίηση ( $error_2$ )

Στο Σχήμα 8.90 παρουσιάζεται ενδεικτικά το προσαρμοσμένο μοντέλο αξιοποιώντας τη μέση τιμή και το λογαριθμικό σφάλμα. Γίνεται σαφές πως το μοντέλο προσαρμόζεται αρκετά ικανοποιητικά στις μετρημένες τιμές της απορροής.

## 9 Συμπεράσματα - Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

---

Στην παρούσα διπλωματική εργασία καταρτίστηκε μαθηματικό μοντέλο για την πρόγνωση των χαμηλών ροών. Από την εργασία προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Για τη λεκάνη απορροής του Αχελώου στη θέση του φράγματος Κρεμαστών, διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση της αρχικής τιμής της απορροής στο προτεινόμενο μοντέλο ( $Q_0$ ) και της παραμέτρου  $a$ , (ρυθμού μείωσης της απορροής) με αποτέλεσμα να καταστεί δυνατή η κατασκευή ενός απλού μοντέλου για την πρόγνωση των χαμηλών ροών. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στην υψηλή αξιοπιστία των ιστορικών δεδομένων ημερήσιας απορροής, τα οποία διατίθενται σε μακρά χρονοσειρά.
- Συσχέτιση της αρχικής απορροής στο μοντέλο ( $Q_0$ ) και της παραμέτρου  $a$  αρκετά μικρότερη από εκείνη των Κρεμαστών παρατηρείται και στη λεκάνη Λαζάρηδες της Κύπρου. Η κατασκευή απλού μοντέλου κατέστη και εδώ δυνατή, αλλά σε αυτό εμφανίζονται μεγαλύτερα σφάλματα.
- Για τις υπόλοιπες εξετασθείσες λεκάνες απορροής (Εύηνος στη θέση Πόρος Ρηγανίου, Imera Meridionale, Περιστερώνα), δεν παρατηρείται στατιστικά σημαντική συσχέτιση, παρόλο που το μοντέλο προσαρμόζεται πολύ ικανοποιητικά σε κάθε χρονιά ξεχωριστά, για όλες τις παραπάνω λεκάνες.
- Κατά την εφαρμογή του καθολικού διπαραμετρικού μοντέλου το οποίο προτάθηκε έτσι ώστε να προσαρμόζεται με το ελάχιστο δυνατό σφάλμα σε όλες τις χρονιές, παρατηρήθηκε ότι είναι δυνατή, μετά από τη σχετική βαθμονόμηση στα ιστορικά δεδομένα, η χρήση των δύο παραμέτρων για μελλοντική πρόγνωση των χαμηλών ροών. Ακόμη, παρατηρήθηκε ποιοτικά ότι, σε όλες τις λεκάνες, το προταθέν εκθετικό μοντέλο προσαρμόζεται πολύ ικανοποιητικά.

Ως εκ τούτου, μπορεί να ειπωθεί ότι, τουλάχιστον σε ορισμένες λεκάνες του μεσογειακού χώρου, είναι δυνατό να προσαρμοστεί ένα ακριβές μοντέλο πρόγνωσης των χαμηλών ροών της ξηρής περιόδου για κάθε χρονιά ξεχωριστά, αν είναι γνωστές οι τιμές της απορροής των προηγούμενων της έναρξης της ξηρής περιόδου ημερών. Ταυτόχρονα, είναι δυνατή η σχετικά ακριβής πρόγνωση με χρήση καθολικών παραμέτρων του μοντέλου που προκύπτουν με προσαρμογή στις μετρήσεις από όλα τα έτη παρατηρήσεων.

Σημεία για περαιτέρω έρευνα τα οποία προκύπτουν από την εργασία είναι τα ακόλουθα:

1. Οι παράμετροι του προτεινόμενου μοντέλου αξίζει να συσχετιστούν με διάφορα χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης, κάθε φορά, λεκάνης, όπως, π.χ., τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά.
2. Κρίνεται σκόπιμη η διερεύνηση της συμπεριφοράς του μοντέλου υπό καθεστώς υδρολογικής αβεβαιότητας, εφαρμόζοντάς το σε συνθετικές χρονοσειρές χαμηλών ροών.
3. Απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση των δυνατοτήτων για αφαίρεση θορύβου από υδρολογικές χρονοσειρές, του φίλτρου εξομάλυνσης Savitzky – Golay το οποίο, ως τώρα, έχει τύχει πολύ περιορισμένης χρήσης σε υδρολογικές εφαρμογές.
4. Επίσης αξίζει η επέκταση της προσέγγισης που προτάθηκε και σε άλλες πλην της ημερήσιας χρονικές κλίμακες.

## 10 Βιβλιογραφία

---

### *Ξενόγλωσση*

- Andréassian, V. C. (2004). Impact of imperfect potential evapotranspiration knowledge on the efficiency and parameters of watershed models. *Journal of Hydrology*(286), σσ. 19-35.
- Andréassian, V. E. (2003). A distribution-free test to detect gradual changes in watershed behaviour. *Water Resources Research*(39(9)), σ. 1252.
- Arnold, J. A. (1999). Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records. *Journal of the American Water Resources Association*, 2(35), σσ. 411–424.
- Boé, J. L. (2009). Projected changes in components of the hydrological cycle in French river basins during the 21st century. *Water Resources Research*(45).
- Chalise, S. R., Kansakar, S. R., Rees, G., Croker, K., & Zaidman, M. (2003). Management of water resources and low flow estimation for the Himalayan basins of Nepal. *Journal of Hydrology*(282), σσ. 25-35.
- Chiew, F. M. (1993). Assessing the adequacy of catchment streamflow yield estimates. *Aust. J. Soil Res*, 5(31), σσ. 665–680.
- Cloke, H. L. (2009). Ensemble flood forecasting: A review. *Journal of Hydrology*.
- Cunderlik, J. M. (2005). Hydrological extremes in a southwestern Ontario river basin under future climate conditions. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 4(50), σσ. 631-654.
- D. Lott, M. S. (2016). Base flow separation : A comparison of analytical and mass balance methods. *JOURNAL OF HYDROLOGY*(535), σσ. 525-533.
- Dawson, C. W. (2007). Hydro Test: a web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts. *Environmental modelling and software*, 7(22), σσ. 1034-1052.
- de Wit, M. J. (2007). Impact of climate change on low-flows in the river Meuse. *Climatic Change*, 3(82), σσ. 351-372.
- Diaz-Nieto, J. a. (2005). A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: Impacts on low flows in the river Thames, United Kingdom. *Climate Change*(69), σσ. 245-268.
- Dijk, A. I. (2010, Ιανουάριος). Climate and terrain factors explaining streamflow response and recession in Australian catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*(14), σσ. 159-169.
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, 2(19), σσ. 507–515.
- Efstratiadis, A. a. (2010). One decade of multi-objective calibration approaches in hydrological modelling: a review. *Journal of Hydrological Sciences*, 1(55), σσ. 58-78.
- Efstratiadis, A. A. (2014). Assessment of environmental flows under limited data availability- Case study of Acheloos River, Greece. *Hydrological Sciences Journal*, 3-4(59), σσ. 731-750.
- Eheart, J. W. (1999). Low-flow frequency exacerbation by irrigation withdrawals in the agricultural midwest under various climate change scenarios. *Water Resources Research*(35(7)), σσ. 2237-2246.
- Giakoumakis, S. B. (1997, 2). Investigation of trend in hydrological time series of the Evinos River Basin. *Hydrological Sciences Journal*, σσ. 81-88.

- Gustard, A. A. (1992). *Low flow estimation in the United Kingdom*. Institute of Hydrology.
- Hall, M. J. (2001). How well does your model fit the data? *Journal of Hydroinformatics*, 1(3), σσ. 49-55.
- Hamlet, A. F. (2002). Economic value of long-lead streamflow forecasts for Columbia River Hydropower. *Journal of Water Resources Planning and Management*, (128(2)), σσ. 91-101.
- Hisdal, H. L. (2004). Hydrological Drought Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. *Elsevier Science Publisher*(48), σσ. 139–198.
- Hoog, B. V. (1995). The effects of climate variability on discharge as dependent on catchment characteristics in the Upper Loire basin, France. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 5(40), σσ. 633-646.
- Iacobellis, V. (2008). Probabilistic model for the estimation of T year flow duration curves. *Water Resources Research*(44(2)), σ. w02413.
- Jain, S. K. (2008). Fitting of Hydrologic Models: A Close Look at the Nash-Sutcliffe Index. *Journal of Hydrologic Engineering*(10), σσ. 981-986.
- Johnson, R. (1998). The forest cycle and low river flows: a review of UK and international studies. *Forest Ecology and Management*(109), σσ. 1-7.
- Lefèvre, J. (1974). Le soutien des étiages en Loire à l'aide de réservoirs situés dans le haut bassin. Application au barrage de Naussac. *La Houille Blanche*, 5(4), σσ. 271-278.
- Lefèvre, J. (1974). Le soutien des étiages en Loire à l'aide de réservoirs situés dans le haut. Application au barrage de Naussac. *La Houille Blanche*(4(5)), σσ. 271-278.
- Lemarchand, C. R. (2011). Ecotoxicology of the Eurasian Otter (*Lutra lutra*) along Loire river (France) and predictable trends due to global change. *IUCN Otter Spec. Group Bull*(28(B)), σ. 14.
- Moatar, F. A.-P. (2010). La Loire à l'épreuve du changement climatique. *Géosciences*(12), σσ. 79-85.
- Moriasi, D. N. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *ASABE*, 3(50), σσ. 885-900.
- Mosley P.M., a. A. (1993). Streamflow. Στο *Handbook of Hydrolog.*
- Nathan, R. J. (n.d.). Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resources Research*(26), σσ. 1465-1473.
- Orfanidis, S. J. (2010). *Introduction to Signal Processing*. Rutgers University.
- Pagano, T. D. (2012). Ensemble dressing for hydrological applications. *Hydrological Processes*.
- Pushpalatha, R. (2013). *Low-flow simulation and forecasting on French river basins: a hydrological modeling approach*. Agro ParisTech.
- R. C. Ward and M. Robinson, M.-H. (1989). *Principles of Hydrology* (3η Έκδοση εκδ.).
- Reusser, D. E. (2009). Analysing the temporal dynamics of model performance for hydrological models. *Hydrological Earth System Sciences*, 7(13), σσ. 999-1018.
- Savitzky, A. (1964). Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8), σσ. 1627-1639.
- Schaake, J. C. (2007). The Hydrological Ensemble Prediction Experiment. *American Meteorological Society*, σσ. 1541-1547.
- Schaake, J. K. (2006). The Hydrologic Ensemble Prediction Experiment (HEPEX). *Hydrological Earth System Sciences Discussion*(3), σσ. 3321-3332.
- Schafer, R. W. (2011). *What Is a Savitzky-Golay Filter?*
- Schneider, W. J. (1957). Relation of geology to streamflow in the upper little Miami basin. *The Ohio Journal of Science*(57(1)), σσ. 11-14.
- Seo, D.-J. H. (2006). A statistical post-processor for accounting of hydrologic uncertainty in short-range ensemble streamflow prediction. *Hydrological Earth System Sciences Discussion*(3), σσ. 1987-2035.



- Smakhtin, V. (2001). Low-flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*(240), σσ. 147-186.
- Smakhtin, V. Y. (1998). Relationships between low-flow characteristics of South African streams. *Water Sa*(24(2)), σσ. 107-112.
- Stromberg, J. C. (2007). Importance of low-flow and high-flow characteristics to restoration of riparian vegetation along rivers in and south-western United States. *Freshwater Biology*(52(4)), σσ. 651-679.
- Szilagyi, J. a. (1998). Baseflow separation based on analytical solutions of the Boussinesq equation. *Journal of Hydrology*, 1-4(204), σσ. 251-260.
- Thielen, J. J. (2008). Aims, challenges and progress of the Hydrological Ensemble Prediction Experiment (HEPEX) following the third HEPEX workshop held in Stresa 27 to 29 June 2007. *Atmospheric Science Letters*(9), σσ. 29-35.
- Tsakiris, G., Nalbantis, I., Cavadias, G, (2011) Regionalization of low flows based on Canonical Correlation Analysis, *Advances in Water Resources*, 34(7), 865–872,
- Vogel, R. F. (1995). Flow duration curves. II: a review of applications in water-resources planning. *Water Resour. Bull*, 6(31), σσ. 1029–1039.
- Vogel, R. M. (n.d.). Flow-Duration Curves .1. New Interpretation and Confidence-Intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*(120(4)), σσ. 485-504.
- WMO. (2008). *Manual on Low-flow Estimation and Prediction*. Operational Hydrology Report.
- Żelazinski, J. a. (n.d.). Ensemble predictions in hydrology: necessity, preparation and using in water management decision processes. *La Houille Blanche*(5), σσ. 35-38.

## **Ελληνική**

- Γ.Τσακίρης. (2013). *Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία και Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
- Γκάνας, Δ. (2008). *Εκτροπή του Αχελώου: το φράγμα της Μεσοχώρας και οι επιπτώσεις του*. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
- Ευστρατιάδης, Α. (2009). *Προχωρημένη Υδρολογία:Υδρολογικά μοντέλα και εφαρμογές*. Αθήνα. Ανάκτηση 2016
- Καρυμπάλης, Ε. (1996). *Γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στη λεκάνη απορροής του Ευήνου ποταμού*. Διδακτορική Διατριβή.
- Κουτσογιάννης, &. κ. (1999). *Τεχνική Υδρολογία* (3η Έκδοση εκδ.). Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μαστροθεόδωρος, Θ. (2013). *Εφαρμογή της προσομοίωσης Monte Carlo για την παραγωγή πλημμυρικών υδρογραφημάτων σε μεσογειακές λεκάνες*. Διπλωματική εργασία, Αθήνα.
- Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου. (n.d.).
- Μποναζούντας, Μ. (2001, Νοέμβριος 2). *Τεχνικές Ανάλυσης Συστημάτων*. Ανάκτηση Ιούνιος 2016, από [www.ntua.gr/envirosystems/files/03-Τεχνικες%20analysis.pdf](http://www.ntua.gr/envirosystems/files/03-Τεχνικες%20analysis.pdf)
- Ναλμπάντης, Ι.,(2007), Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Σημειώσεις, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα.
- Νικολόπουλος, Δ. (2015). *Ανάπτυξη μοντέλου συνδυασμένης διαχείρισης λεκανών απορροής Αχελώου και Πηνειού*. Διπλωματική Εργασία, Αθήνα.
- Παπανικολάου, Δ. (1986). *Γεωλογία της Ελλάδας*. Αθήνα.
- Πόρων, Ε. Υ. (2009). *Προχωρημένη Υδρολογία-Υδρολογικά μοντέλα και εφαρμογές*. Αθήνα.
- Σταμούλη, Π. Σ. (2012). *Υδρολογική διερεύνηση της λεκάνης απορροής του Αχελώου ποταμού*. Διπλωματική Εργασία.
- (2014). *Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Στερεάς Ελλάδας*. Αθήνα: Ειδική γραμματεία υδάτων.

Υπουργείο Γεωργίας, αγροτικής ανάπτυξης και περιβάλλοντος. (n.d.). Ανάκτηση 2016, από <http://www.moa.gov.cy/moa/environment>