



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

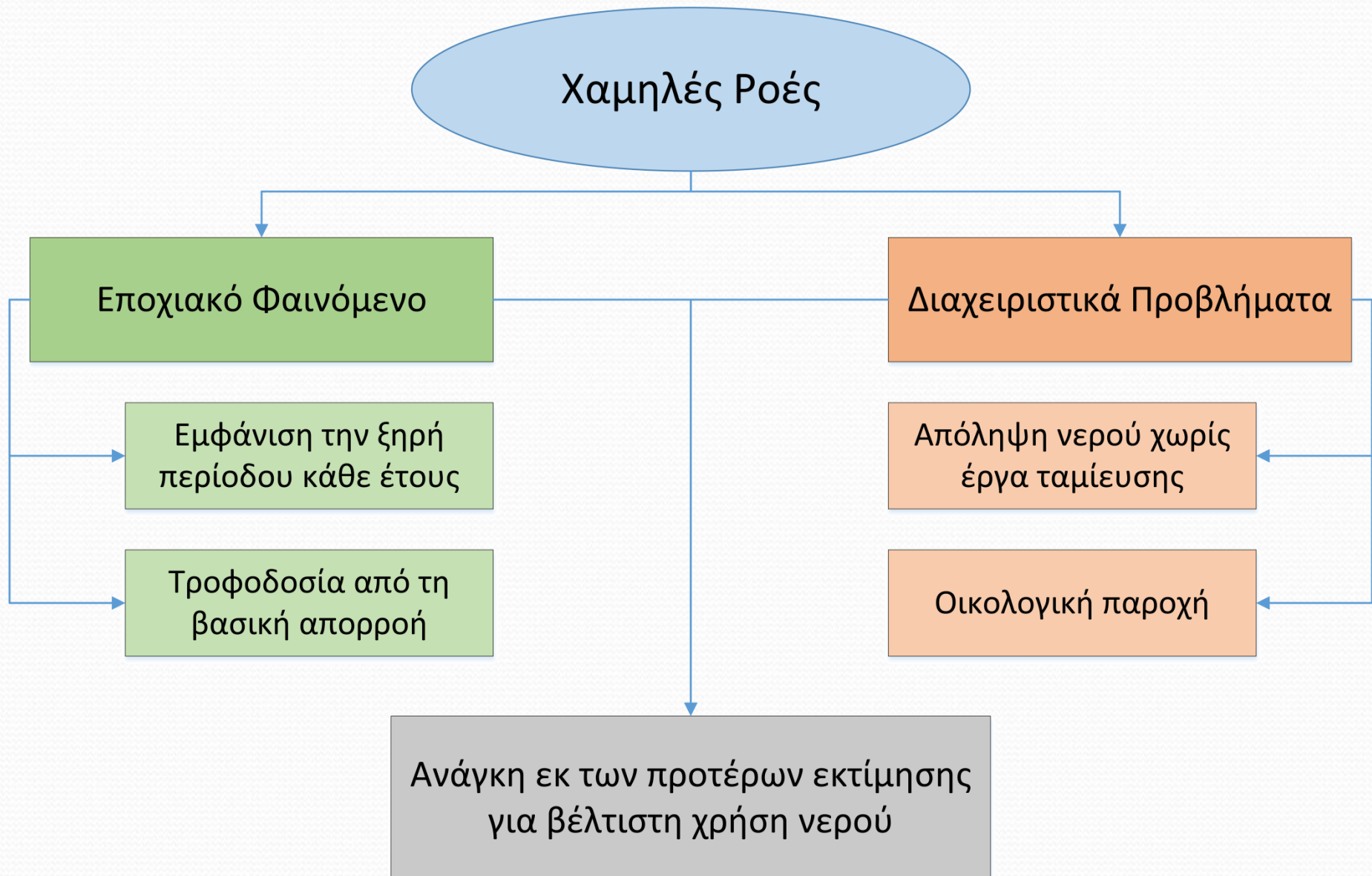
Κωνσταντίνα Ρίσβα

Επιβλέπων: Ιωάννης Ναλμπάντης Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

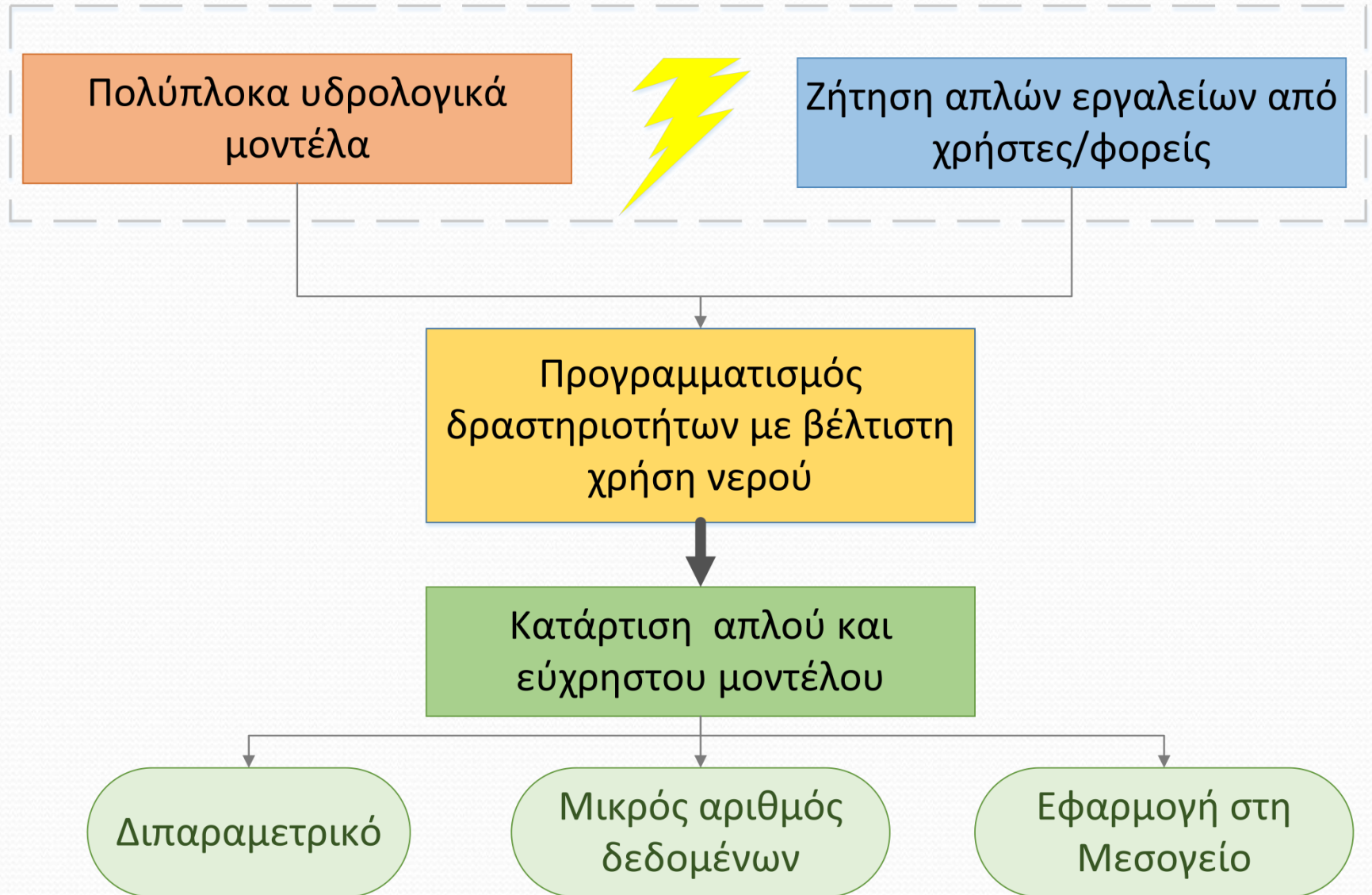
Συνεπιβλέπων: Ανδρέας Ευστρατιάδης, μέλος ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2016

Τοποθέτηση προβλήματος



Σκοπός της εργασίας



Εξεταζόμενες λεκάνες απορροής ποταμού



Κύρια περιοχή μελέτης: Αχελώος

Έκταση: 3570 km²

Θέση: Ανάντη
φράγματος
Κρεμαστών, ποταμός
Αχελώος

Γεωλογία:
Γεωτεκτονική ζώνη
Πίνδου – ιζηματογενή
πετρώματα κυρίως
ασβεστόλιθοι,
αργιλικοί σχιστόλιθοι
και φλύσχης



Περιοχή μελέτης: Εύηνος

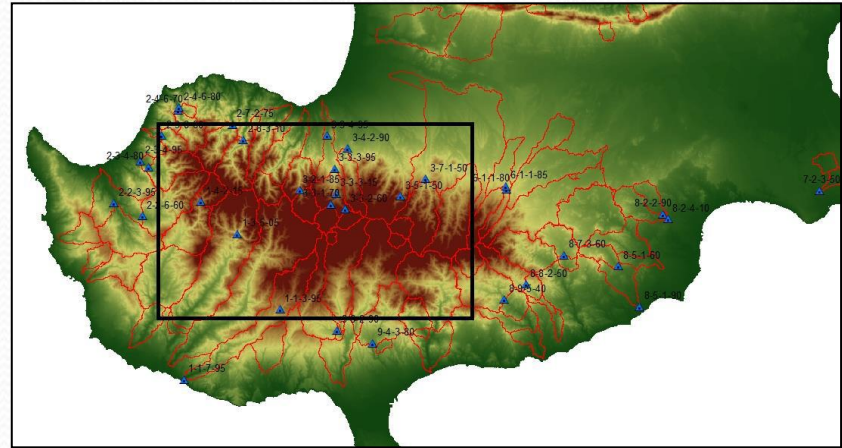
- Έκταση: 974 km²
- Θέση: Πόρος Ρηγανίου, ποταμός Εύηνος
- Γεωλογία:
Γεωτεκτονική ζώνη Πίνδου –
ιζηματογενή
πετρώματα κυρίως
ασβεστόλιθοι,
αργιλικοί σχιστόλιθοι
και φλύσχης.
Εμφάνιση πολλών
πηγών ρήξης ή
επαφής



Περιοχή μελέτης: Λεκάνες απορροής της Κύπρου

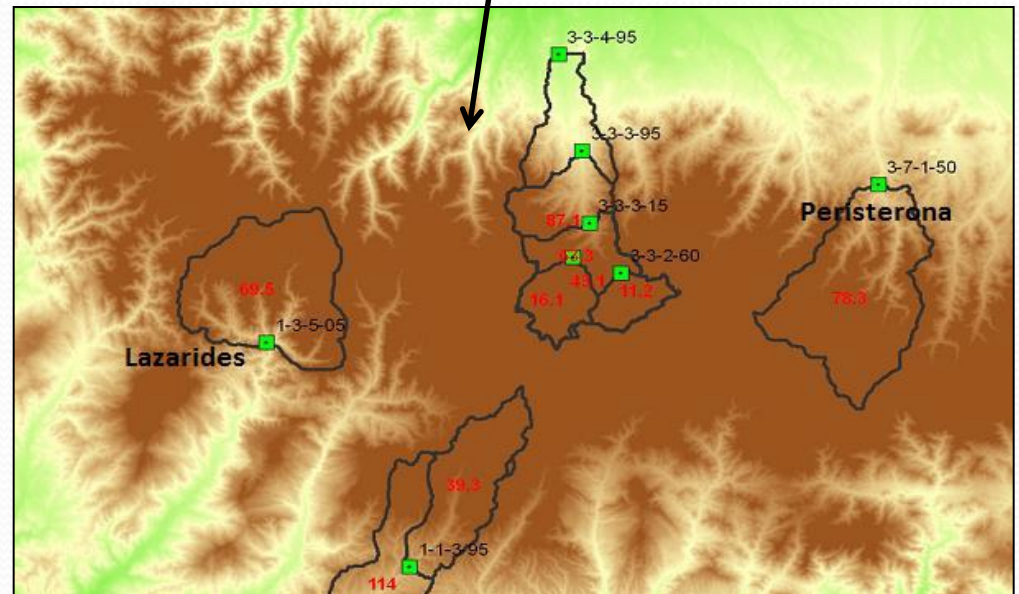
Περιστερώνα

- Έκταση: 77 km²
- Θέση: Ανάντη της θέσης Γεφύρι Παναγιάς



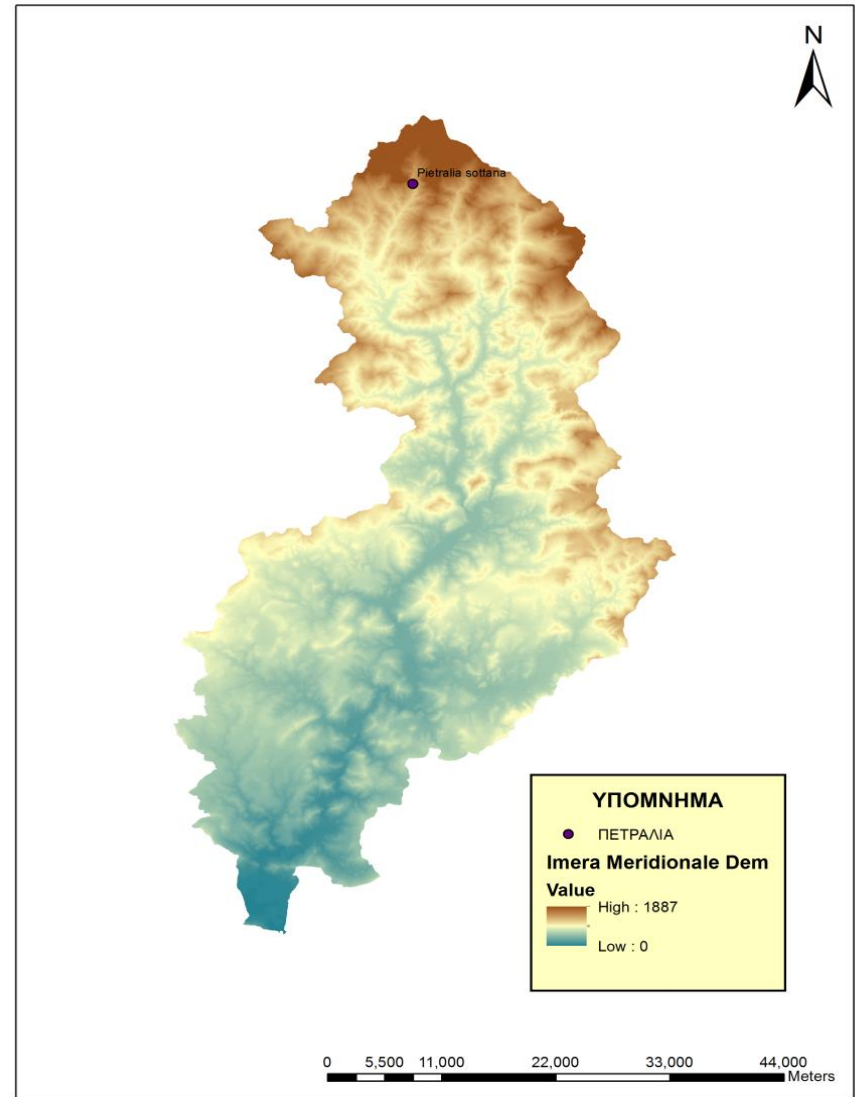
Λαζάρηδες

- Έκταση: 68.5 km²
- Θέση: Ανάντη της θέσης Αλωνούδι



Περιοχή μελέτης: Imera Meridionale

- Θέση: Πετραλία, ποταμός Salso
- Έκταση: 2014 km²
- Αρκετές περίοδοι μη μετρήσεων
- Εποχιακός χείμαρρος με σύντομες και σφοδρές πλημμύρες
- Μεγαλύτερος ποταμός της Σικελίας



Μοντελοποίηση χαμηλών ροών- Εκτίμηση της παραμέτρου στείρευσης (1)

- Αναπαράσταση χαμηλής ροής (σε όρους παροχής) ως εκροής από έναν γραμμικό ταμιευτήρα

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

όπου Q_{est} : η πρόγνωση της απορροής τη χρονική στιγμή t ,

Q_0 : η απορροή στην αρχή της περιόδου προσομοίωσης

a : είναι παράμετρος στείρευσης

- Καθορισμός Q_0 ως στατιστικού χαρακτηριστικού της απορροής της περιόδου πριν την αρχή της προσομοίωσης (1-15 Απριλίου – ενώ λήξη συμβατικά 15 Οκτωβρίου):
 - Μέση τιμή
 - Διάμεση τιμή
 - Ελάχιστη τιμή

Εκτίμηση της παραμέτρου στείρευσης (2)

Χρήση δύο κριτηρίων προσαρμογής:

- Αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα:

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

Q_{est} : υπολογισμένη τιμή της απορροής

Q : παρατηρημένη τιμή της απορροής

- Αθροιστικό λογαριθμικό σφάλμα:

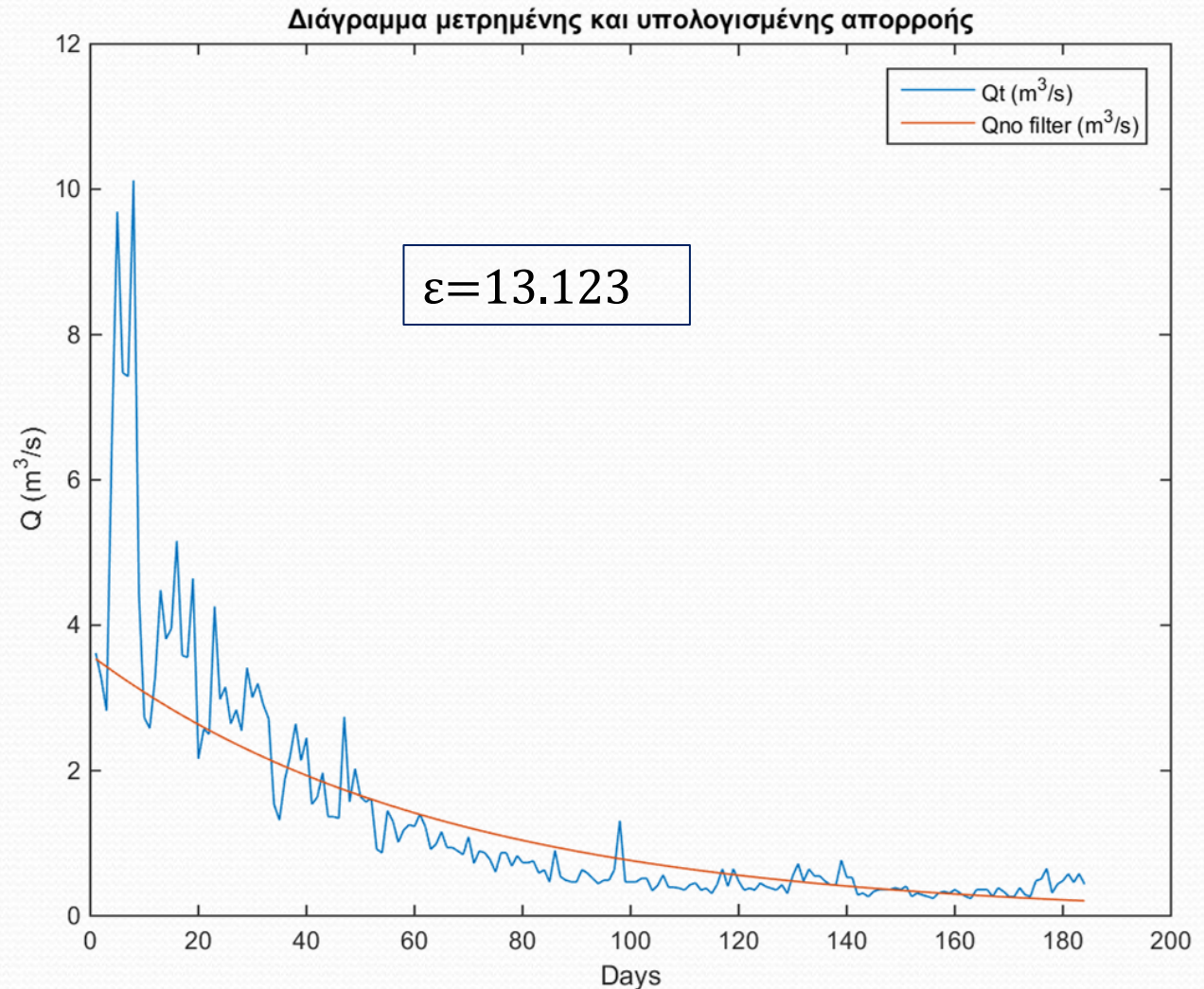
$$e_t = \frac{Q_0 \exp(-at)}{Q_t}$$

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

$$\varepsilon = \sum (w_t)$$

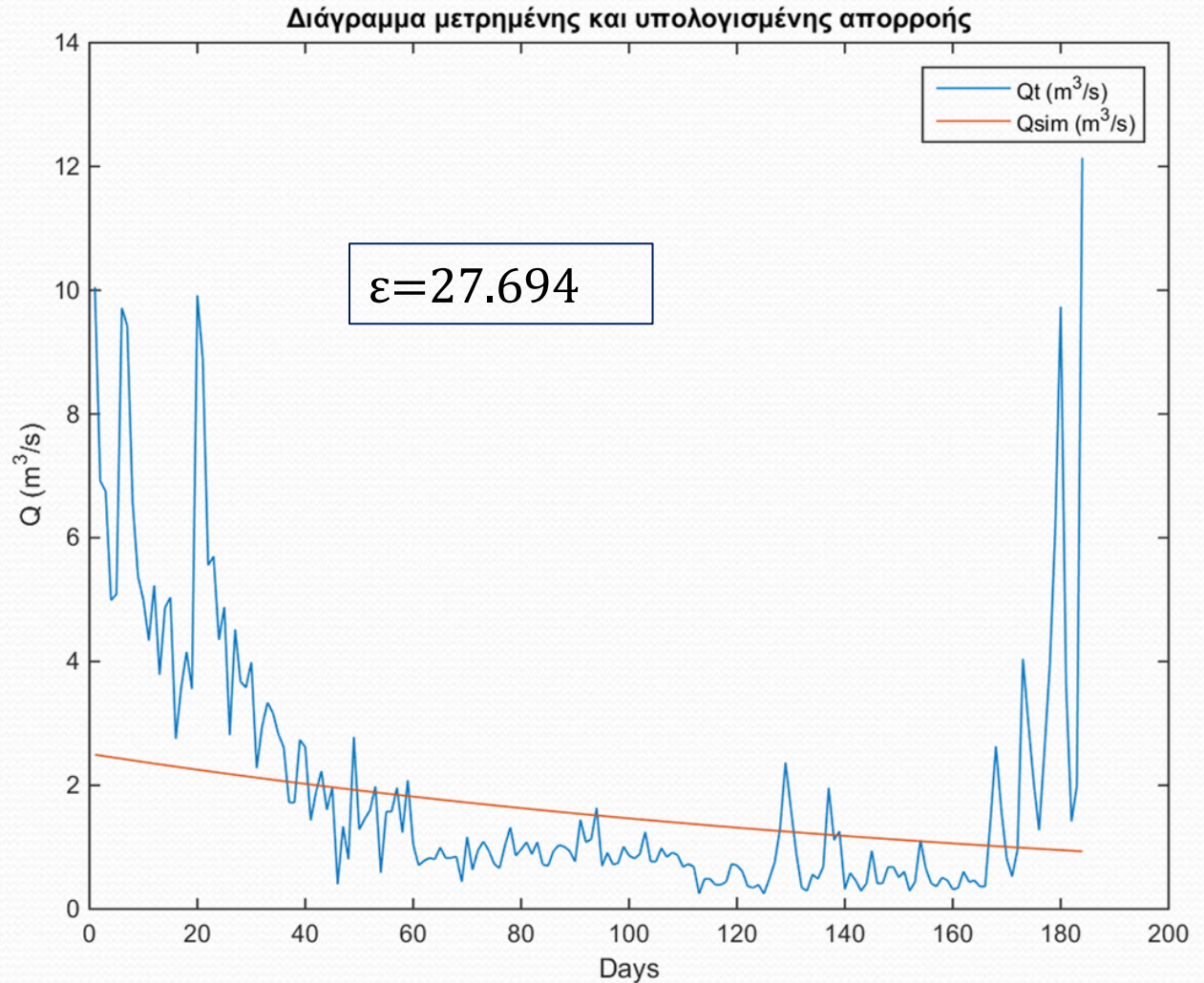
Προσαρμογή μοντέλου στην πλήρη χρονοσειρά παροχών ξηρής περιόδου (1)

Λεκάνη
Κρεμαστών
Έτος: 1985
Χαρακτηριστικό:
ξηρό έτος,
υψηλές τιμές
απορροής στην
έναρξη της
περιόδου

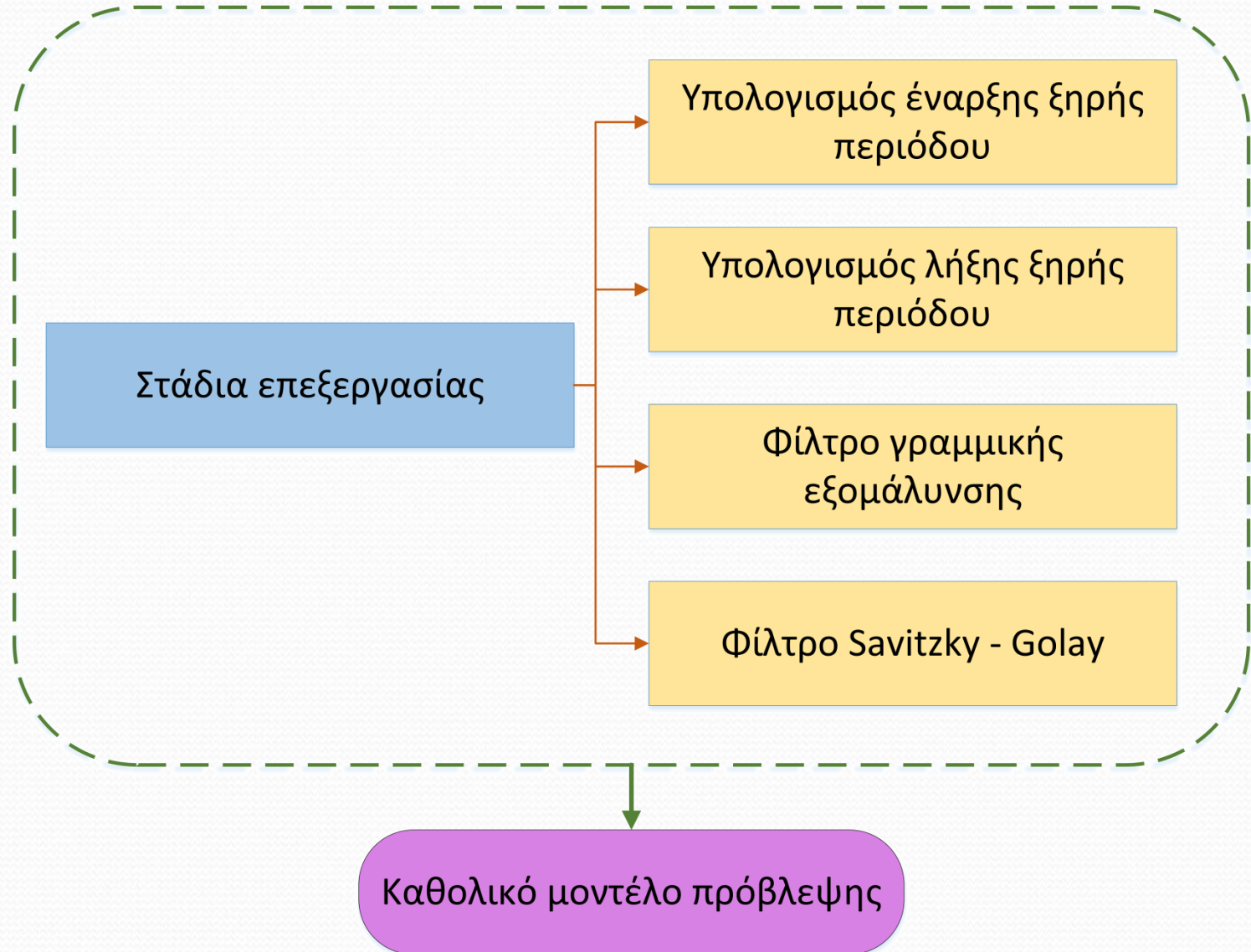


Προσαρμογή μοντέλου στην πλήρη χρονοσειρά παροχών ξηρής περιόδου (2)

Λεκάνη
Κρεμαστών
Έτος: 1972
Χαρακτηριστικό:
έναρξη της υγρής
περιόδου
νωρίτερα

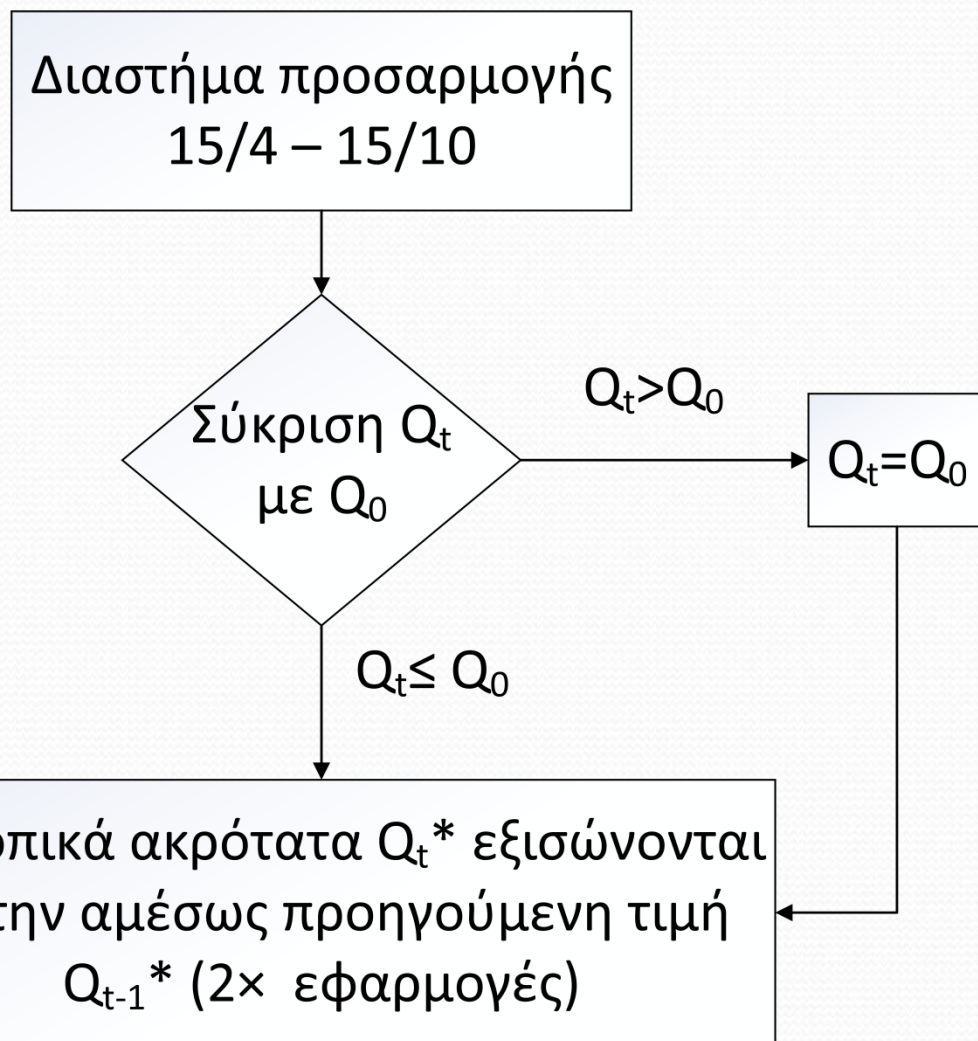


Στάδια επεξεργασίας για κατάρτιση του μοντέλου



Υπολογισμός χρόνου έναρξης ξηρής περιόδου

- «Καθορισμός» ημέρας έναρξης
- Μείωση επιρροής υψηλών τιμών παροχής στην αρχή της περιόδου
- Αποκοπή υψηλών τιμών χωρίς ιδιαίτερη αλλοίωση



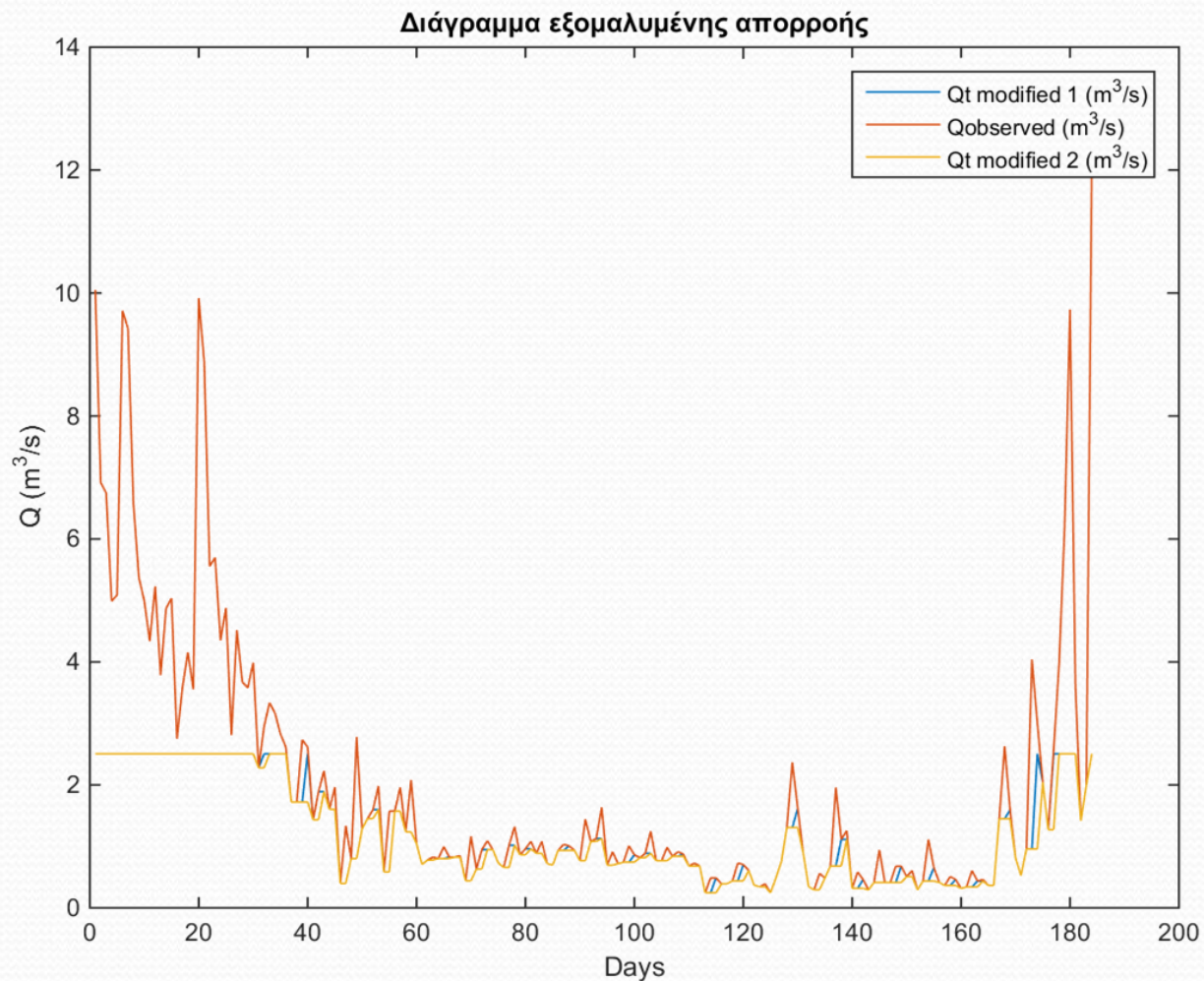
Αποτελέσματα αναζήτησης χρόνου έναρξης ξηρής περιόδου

Λεκάνη Κρεμαστών

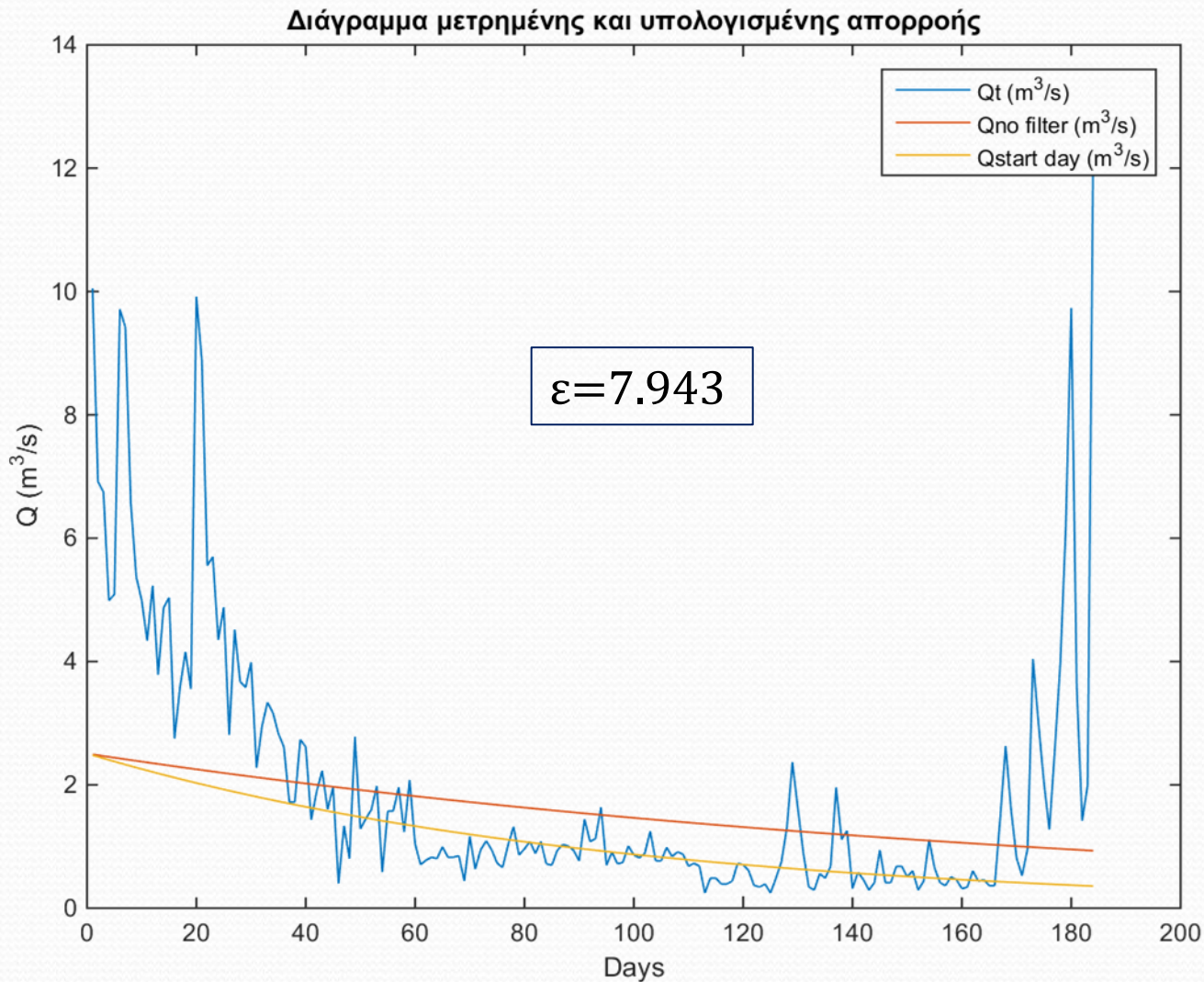
Έτος: 1972

Δύο διαδοχικές
εφαρμογές του
φίλτρου

εξομάλυνσης:
εύρεση της ημέρας
έναρξης της ξηρής
περιόδου



Αποτελέσματα έναρξης ξηρής περιόδου



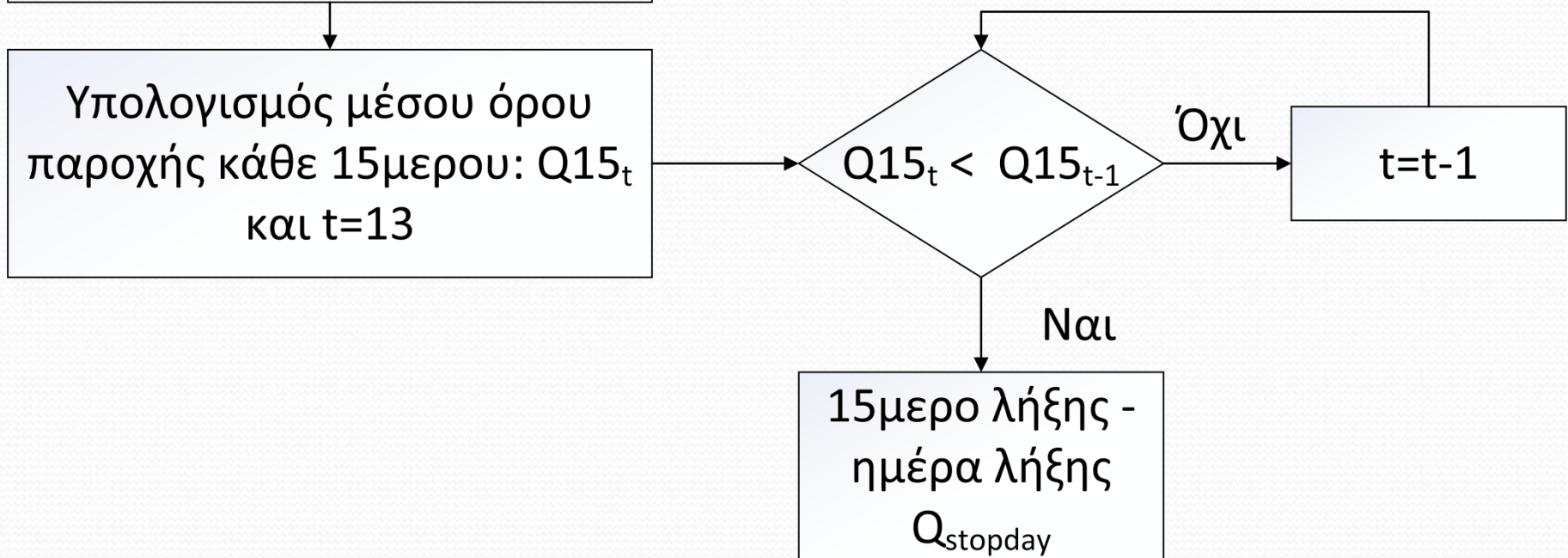
Υπολογισμός λήξης της ξηρής περιόδου

Εφαρμογή επεξεργασίας έναρξης ξηρής περιόδου και απαλοιφής κορυφών

Χωρισμός περιόδου σε 15μερα (195 ημέρες)

Υπολογισμός μέσου όρου παροχής κάθε 15μερου: Q_{15_t} και $t=13$

- Τιμές μετά τη λήξη δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό σφάλματος



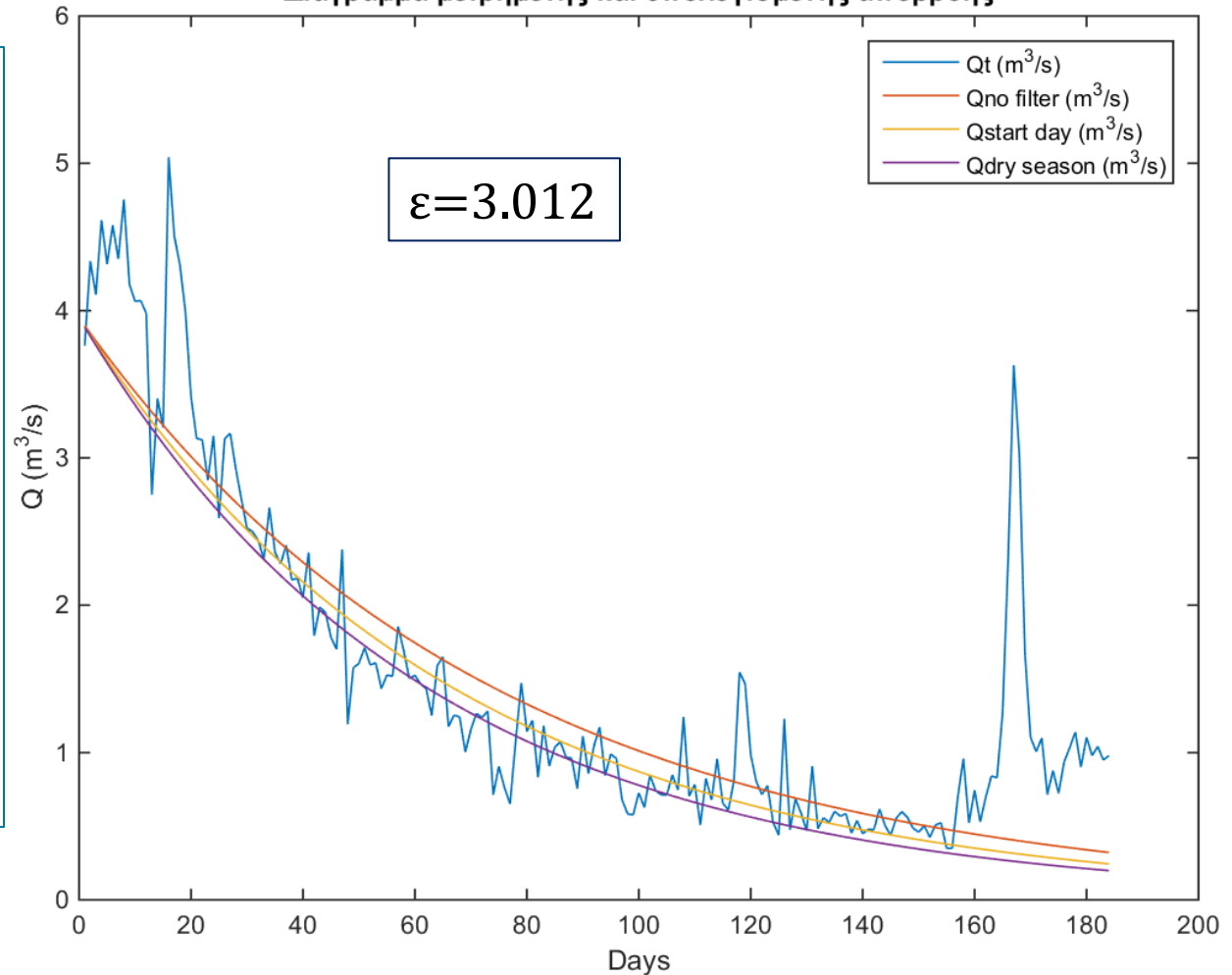
Αποτελέσματα υπολογισμού λήξης της ξηρής περιόδου

Λεκάνη Κρεμαστών

Έτος: 2006

Εύρεση της λήξης της ξηρής περιόδου και προσαρμογή του μοντέλου αξιοποιώντας μόνο τις τιμές τις αντίστοιχης περιόδου

Διάγραμμα μετρημένης και υπολογισμένης απορροής

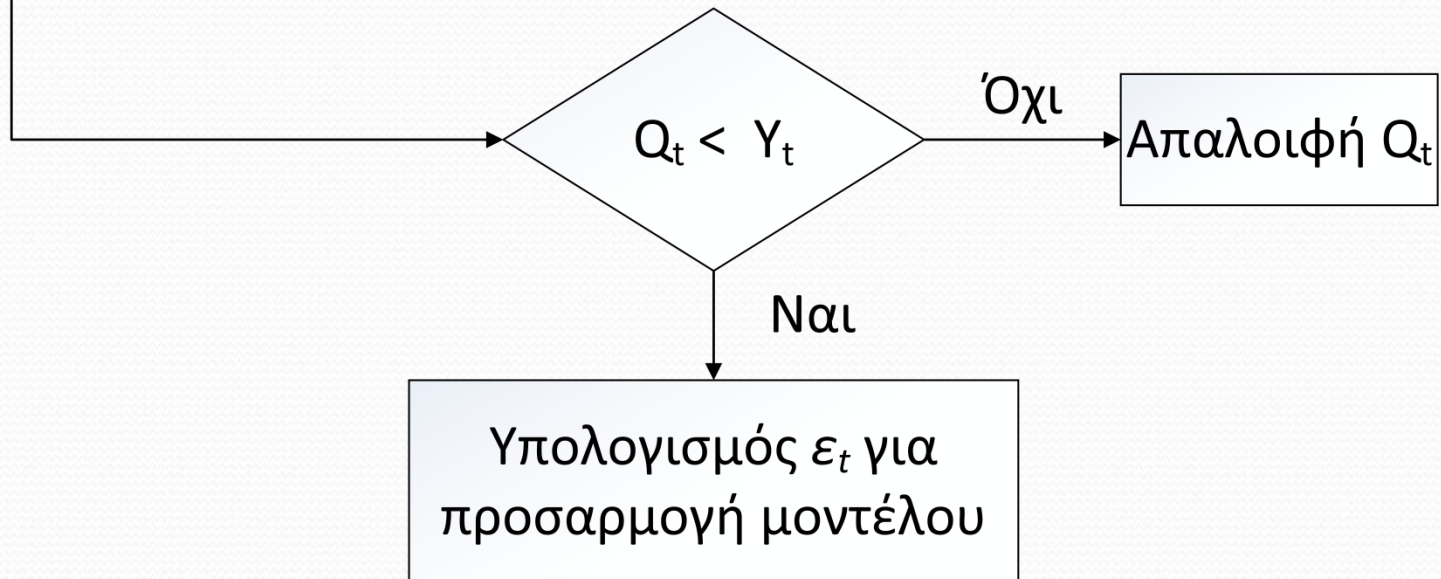


Φίλτρο γραμμικής εξομάλυνσης

Εφαρμογή επεξεργασίας
λήξης περιόδου

Προσαρμογή της ευθείας
 $Y_t = a * t + b$ μεταξύ Q_0 και Q_{stopday}

- Τιμές άνω του κατωφλίου δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό σφάλματος ε_t



Υπολογισμός ε_t για
προσαρμογή μοντέλου

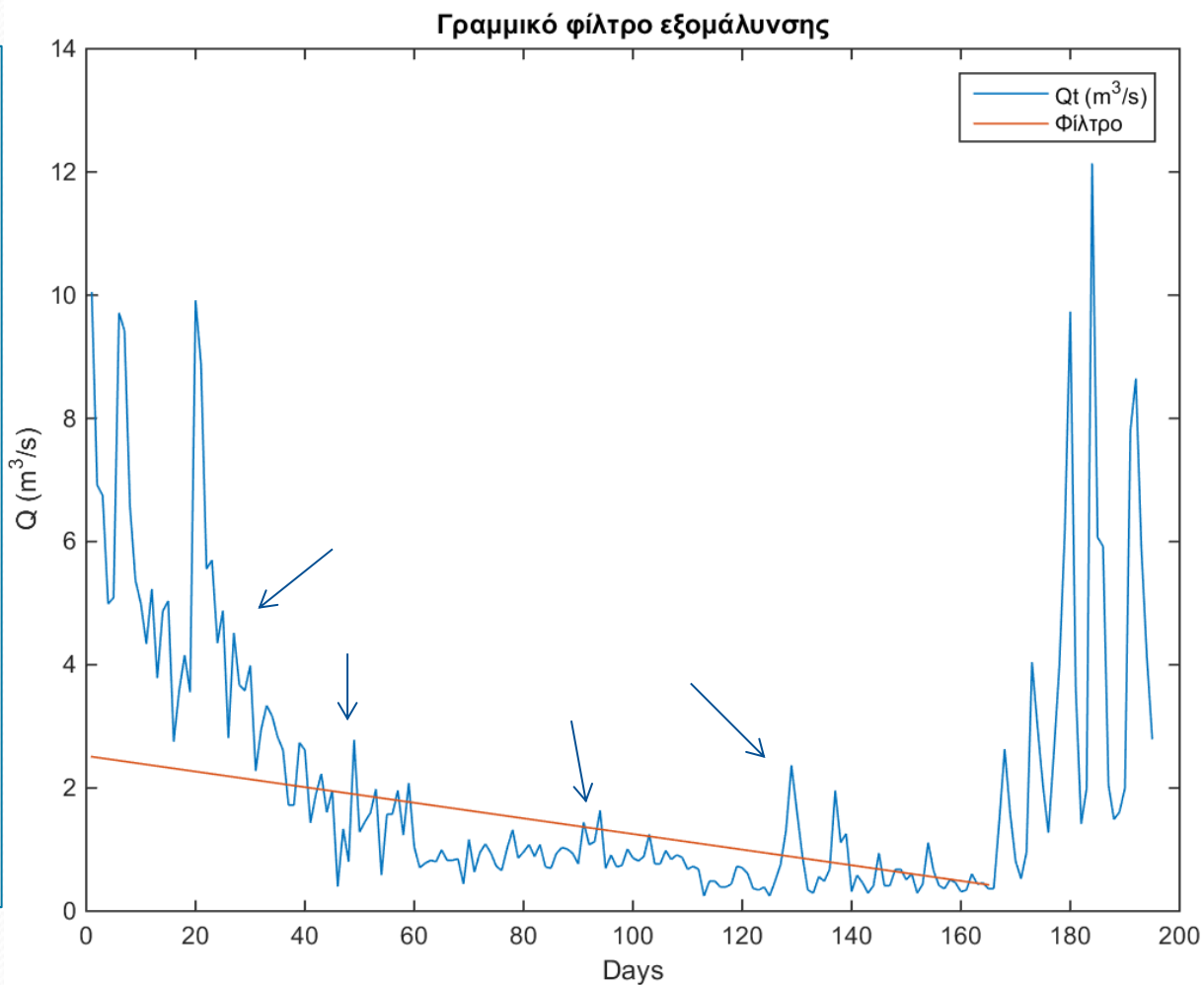
Αποτελέσματα φίλτρου γραμμικής εξομάλυνσης

Λεκάνη

Κρεμαστών

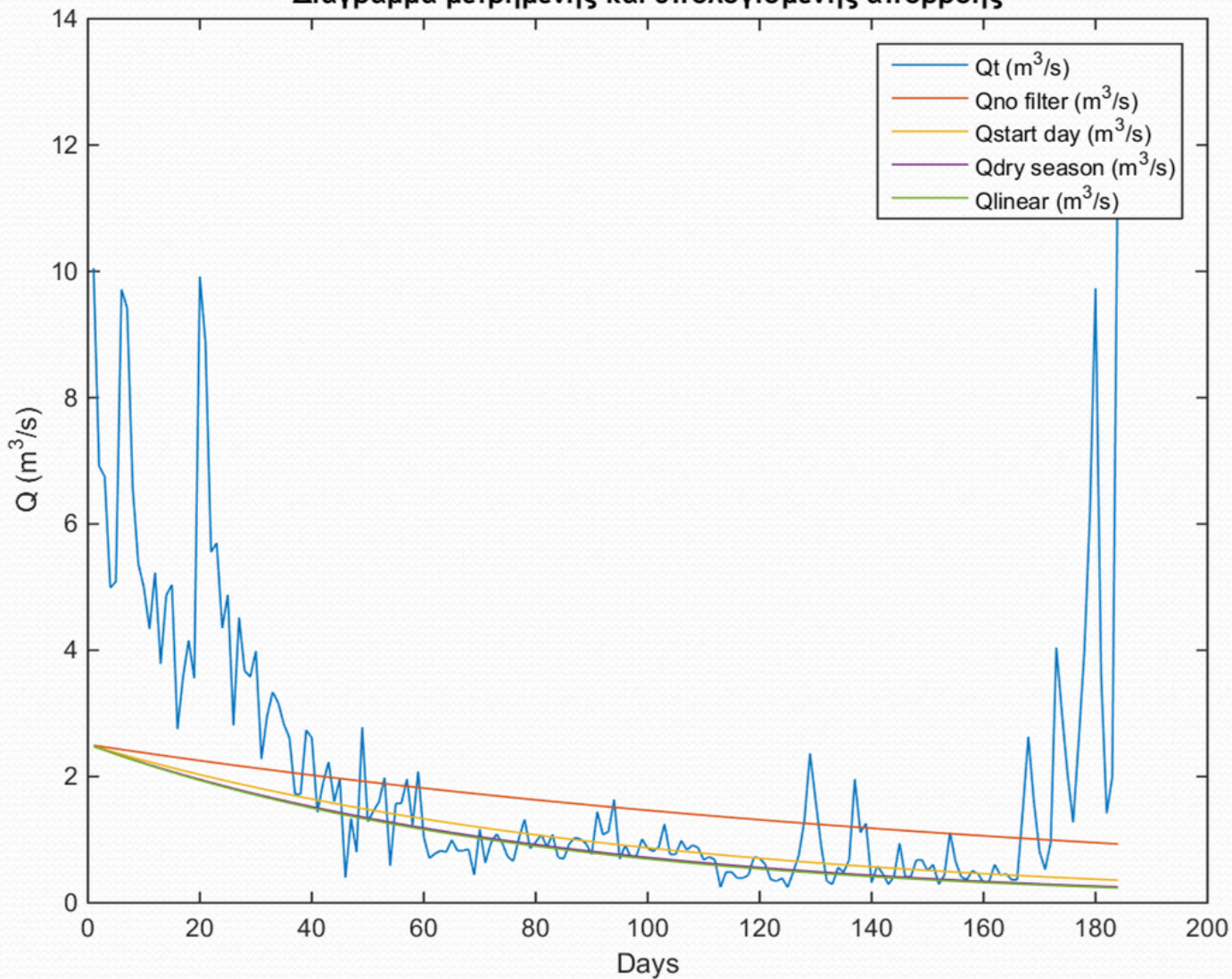
Έτος: 1972

Χρήση γραμμικού
φίλτρου ως
κατωφλίου για την
εκτίμηση του
σφάλματος
Αγνόηση τιμών
άνω του
κατωφλίου



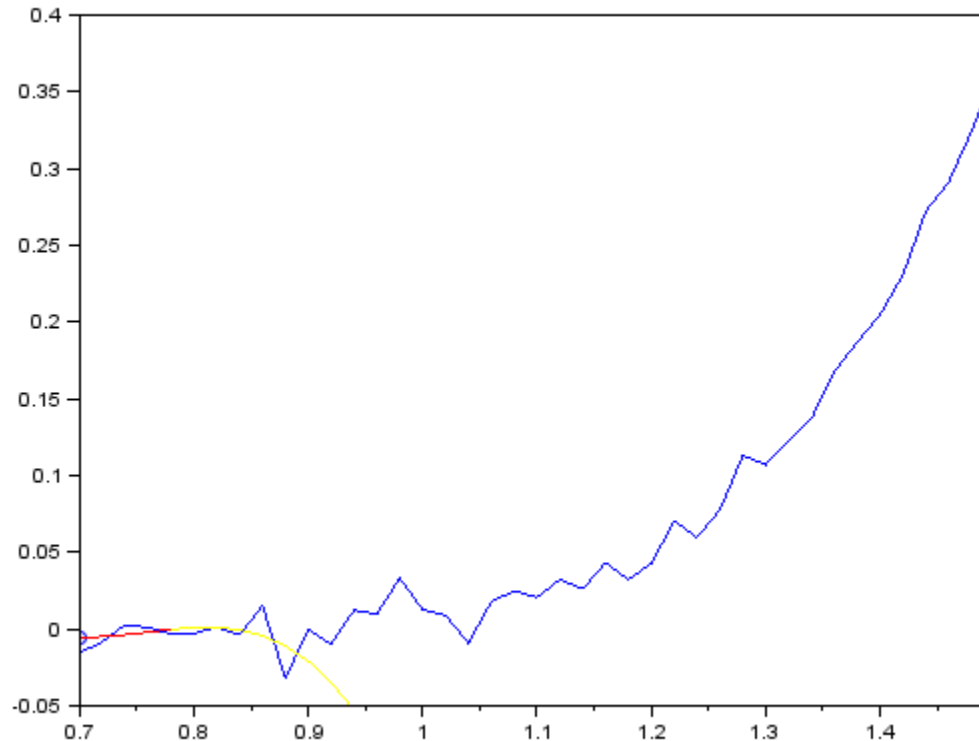
Αποτελέσματα φίλτρου γραμμικής εξομάλυνσης

Διάγραμμα μετρημένης και υπολογισμένης απορροής



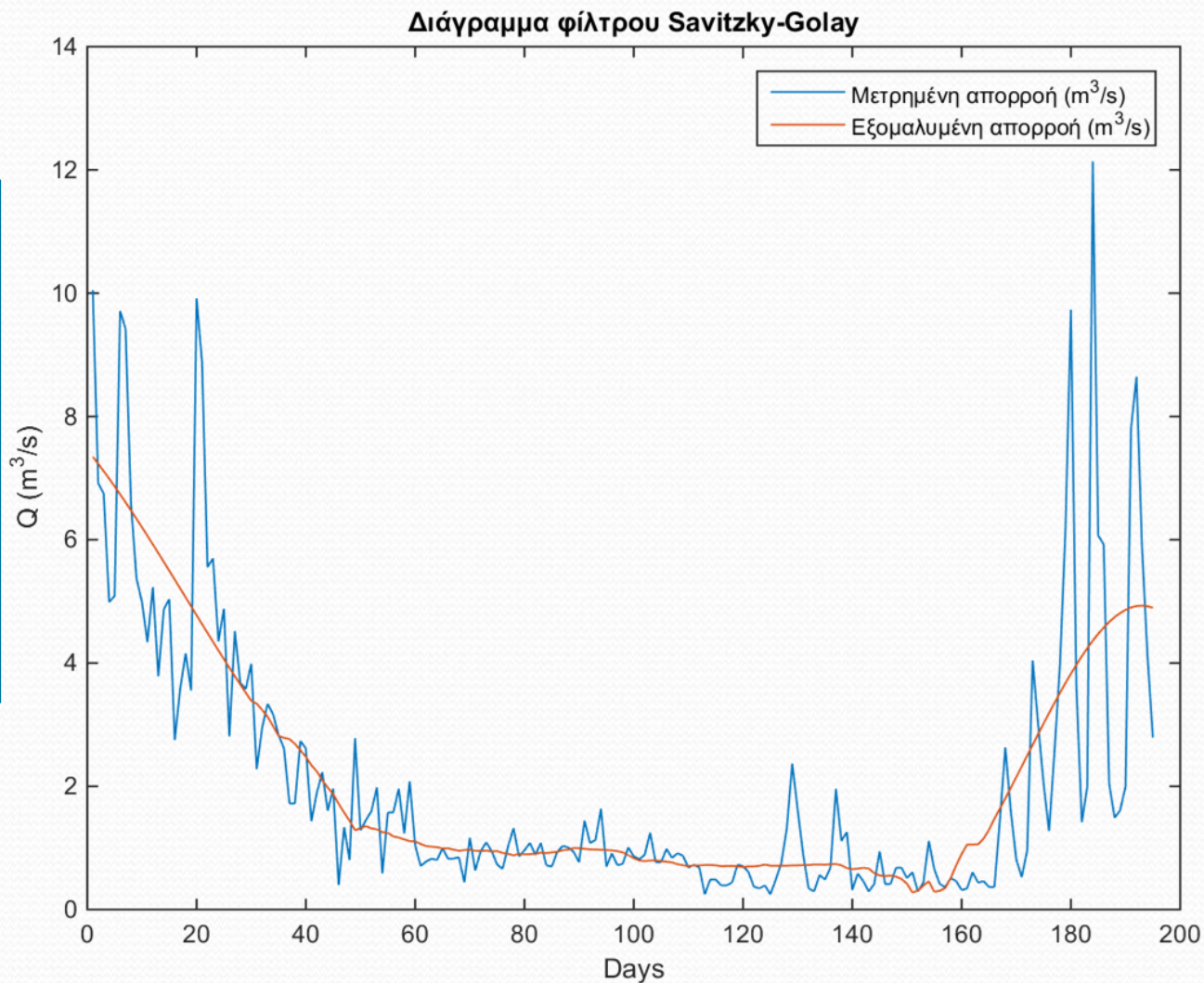
Φίλτρο Savitzky-Golay

- Ψηφιακό φίλτρο: προσαρμογή θέση προς θέση n -οστού βαθμού πολυωνυμικής συνάρτησης σε $2m + 1$ σημεία
- Αύξηση λόγου σήματος προς θόρυβο



Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay

Λεκάνη
Κρεμαστών
Έτος: 1972
Εξομάλυνση με
χρήση του
φίλτρου Savitzky-
Golay

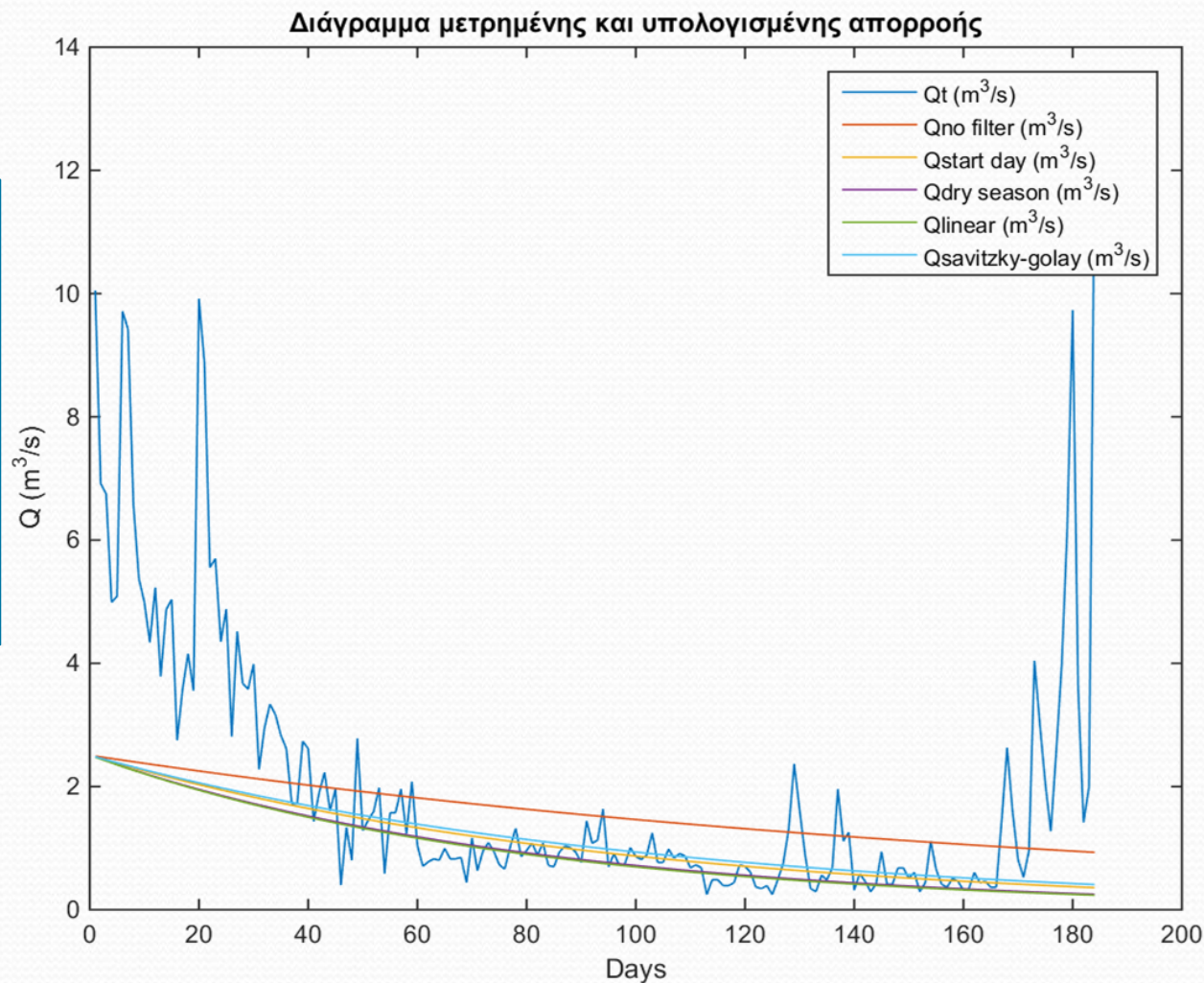


Αποτελέσματα φίλτρου Savitzky-Golay

Λεκάνη Κρεμαστών

Έτος: 1972

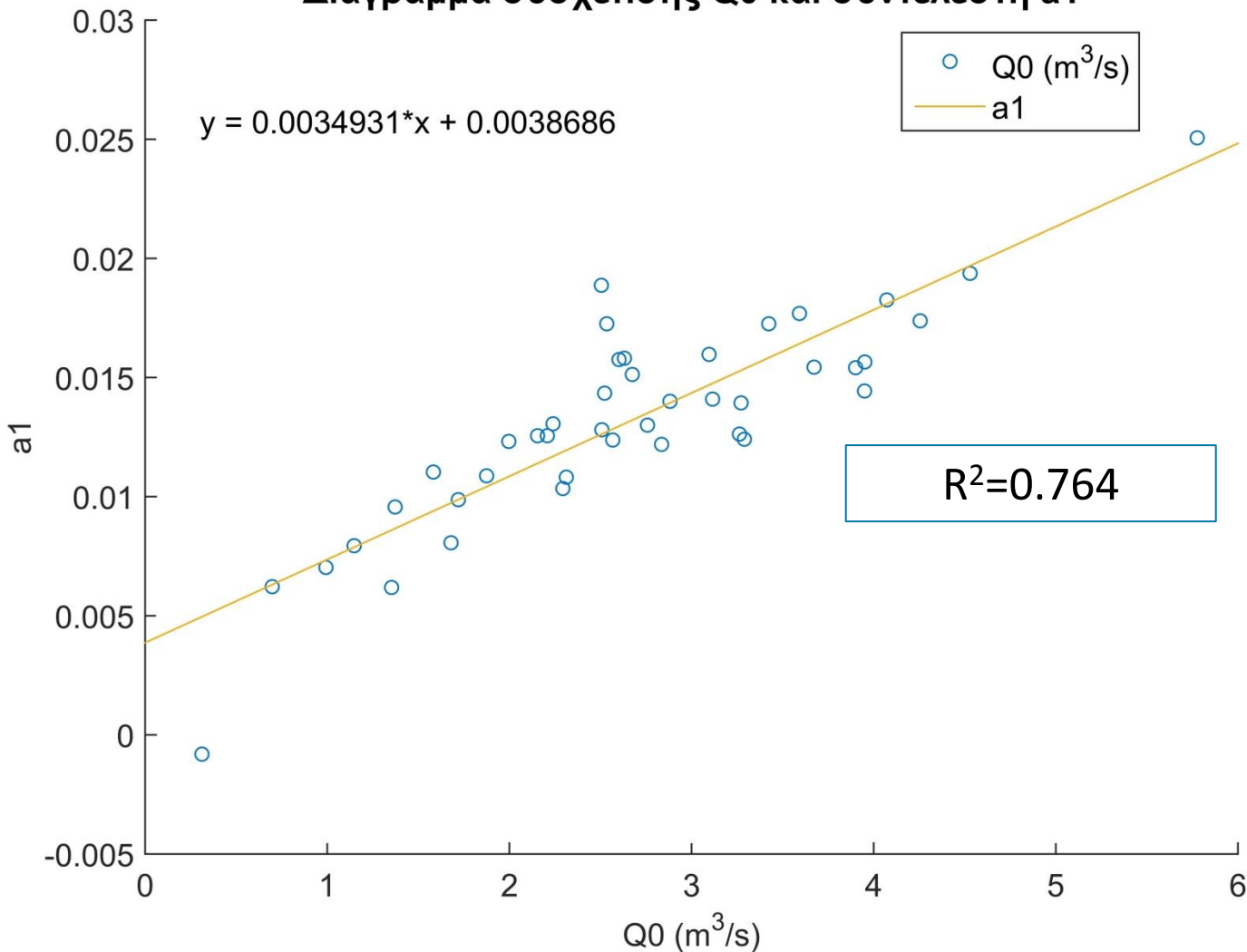
Εφαρμογή
μοντέλου με χρήση
του φίλτρου
Savitzky-Golay



Διάγραμμα συσχέτισης αρχικής τιμής-παραμέτρου α

Λεκάνη Κρεμαστών

Διάγραμμα συσχέτισης Q0 και συντελεστή a1



Καθολικό μοντέλο πρόγνωσης

- Αναγκαίος ο προσδιορισμός μιας καθολικής τιμής της παραμέτρου στείρευσης για όλα τα υδρολογικά έτη
- Προσδιορισμός μέσω βελτιστοποίησης στο σύνολο των δεδομένων όλων των ξηρών περιόδων
- Η προσαρμογή του μοντέλου αναμένεται να είναι λιγότερο καλή σε σχέση με την εφαρμογή «τοπικών» τιμών στείρευσης

Καθολικό μοντέλο πρόγνωσης

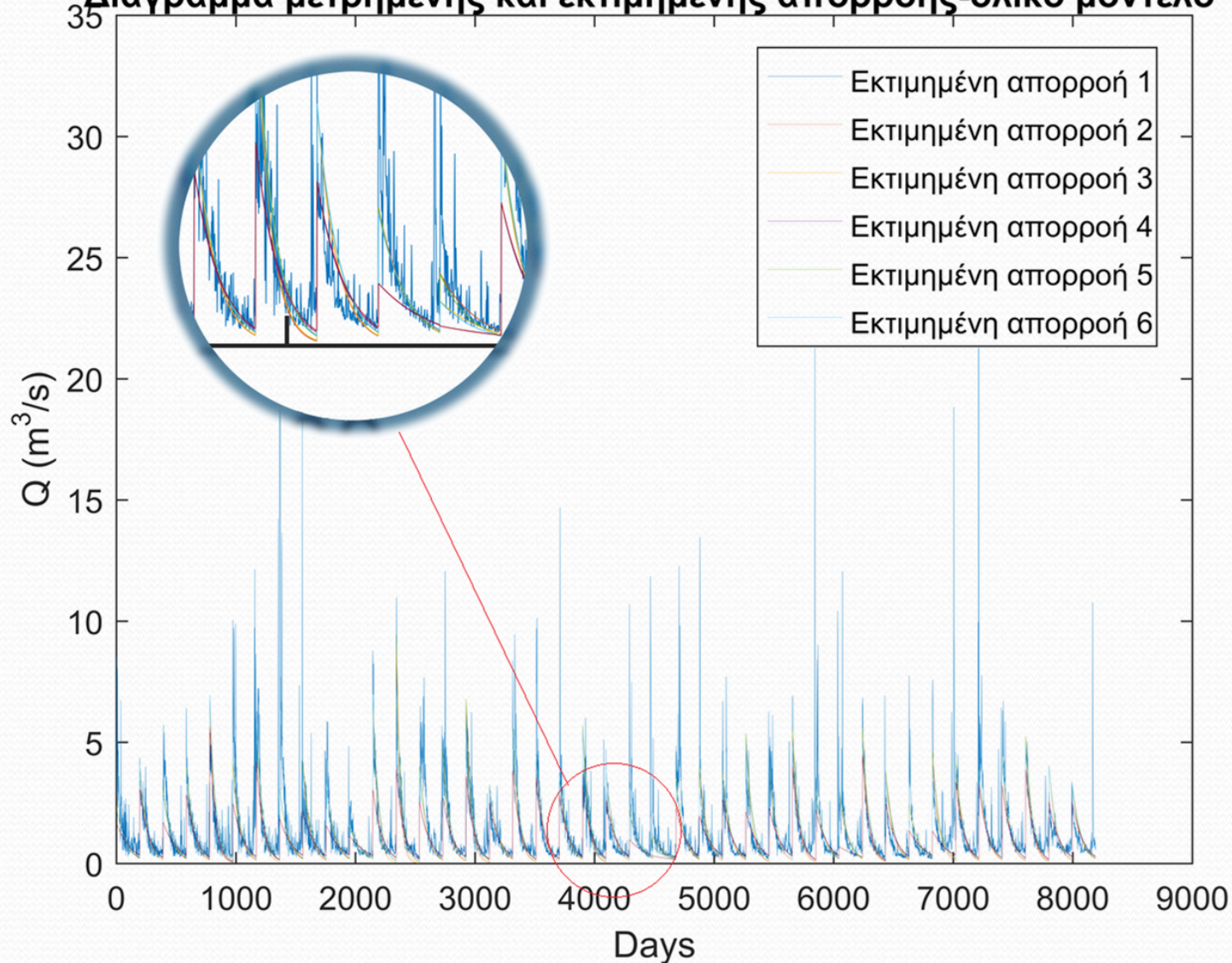
$$Q(t, T) = Q_0(T) * \exp(-k(Q_0) * t)$$

$$k(Q_0) = a + b * Q_0(T)$$

- $Q_0(T)$: 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

Καθολικό μοντέλο πρόβλεψης χαμηλών ροών

Διάγραμμα μετρημένης και εκτιμημένης απορροής-ολικό μοντέλο



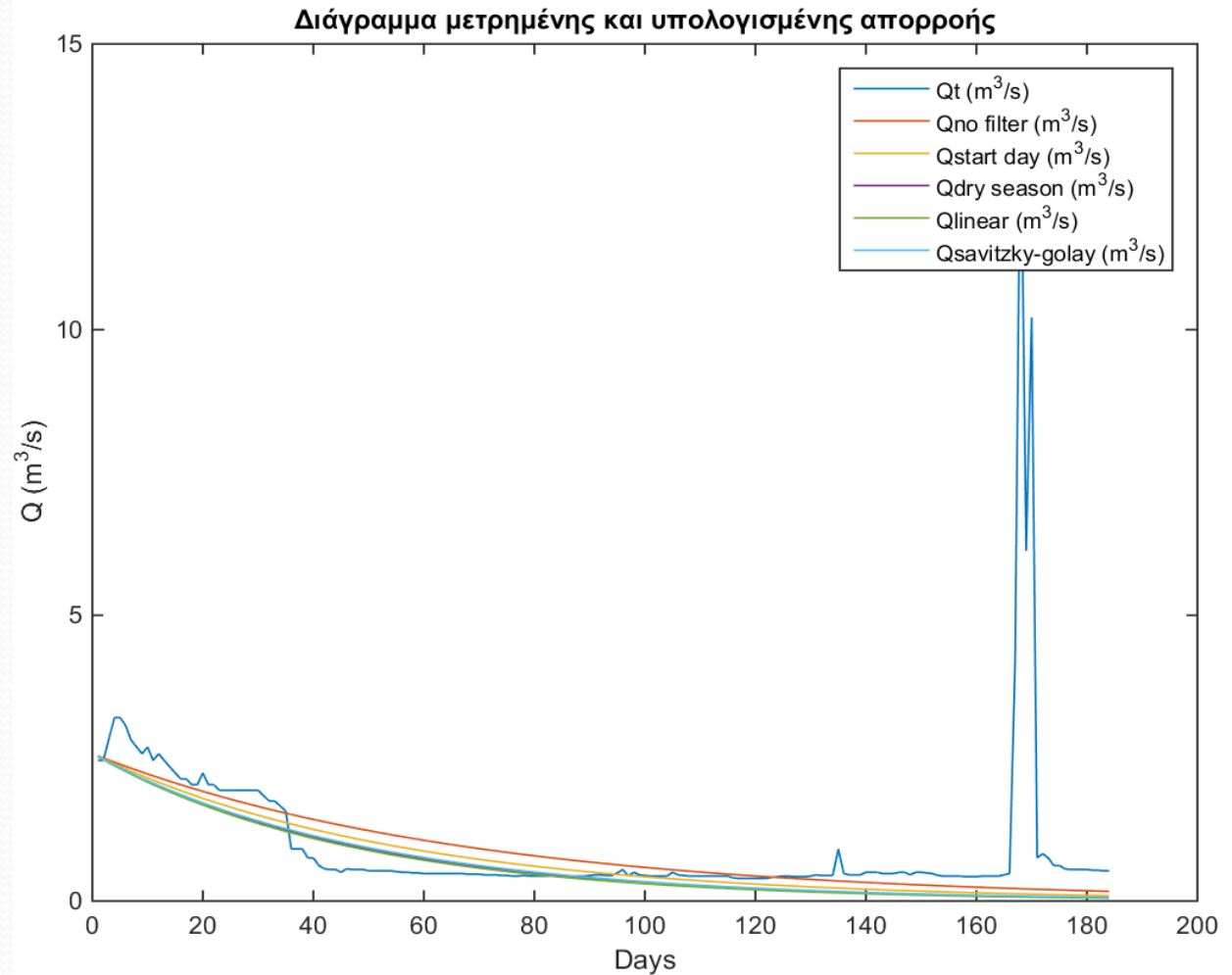
Αποτελέσματα υπολοίπων λεκανών απορροής

Λεκάνη απορροής

Ευήνου

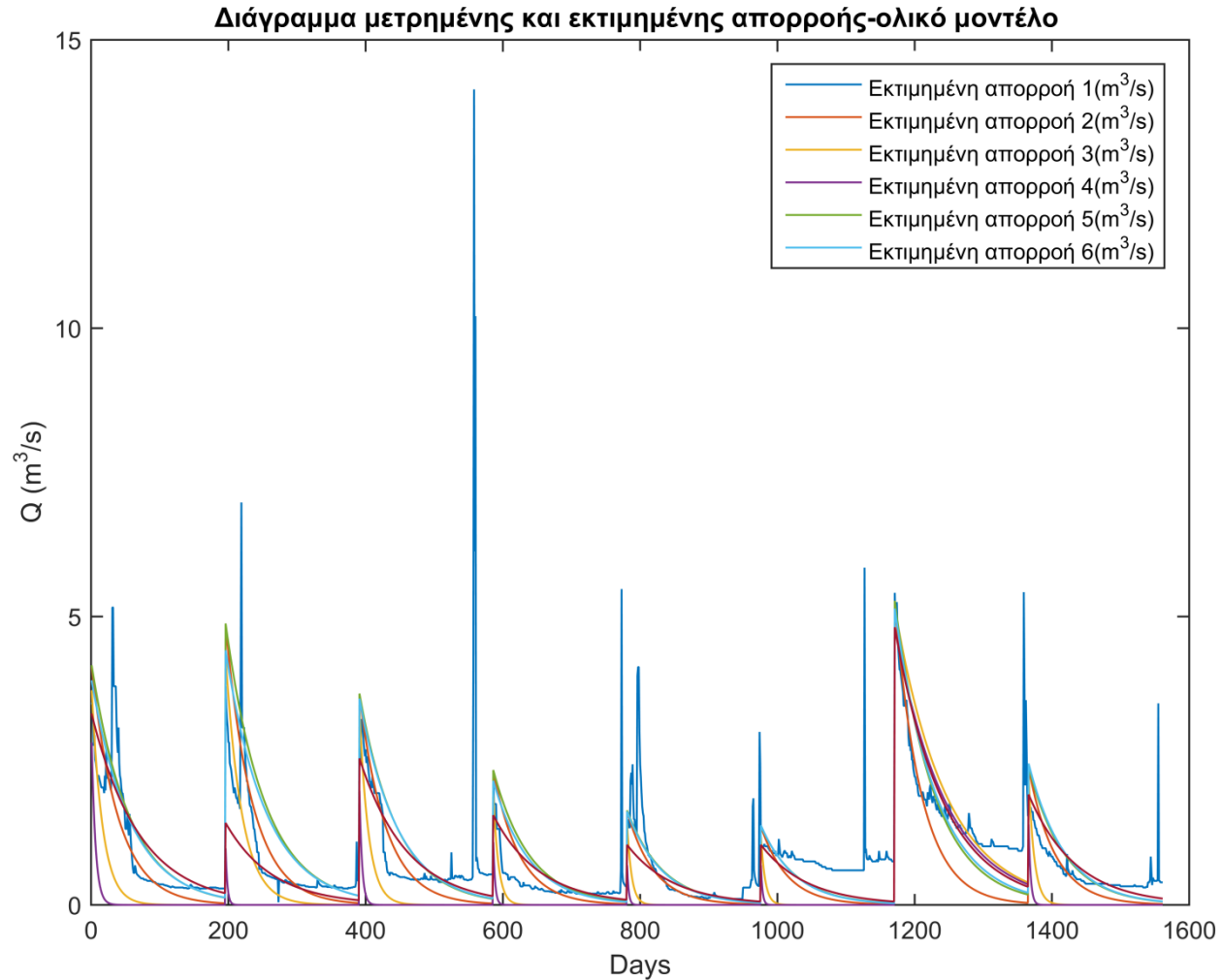
• Έτος: 1995

• $\min Q_0 - \text{error}_1$



Αποτελέσματα υπολοίπων λεκανών απορροής

- Λεκάνη απορροής Ευήνου



Αποτελέσματα υπολοίπων λεκανών απορροής

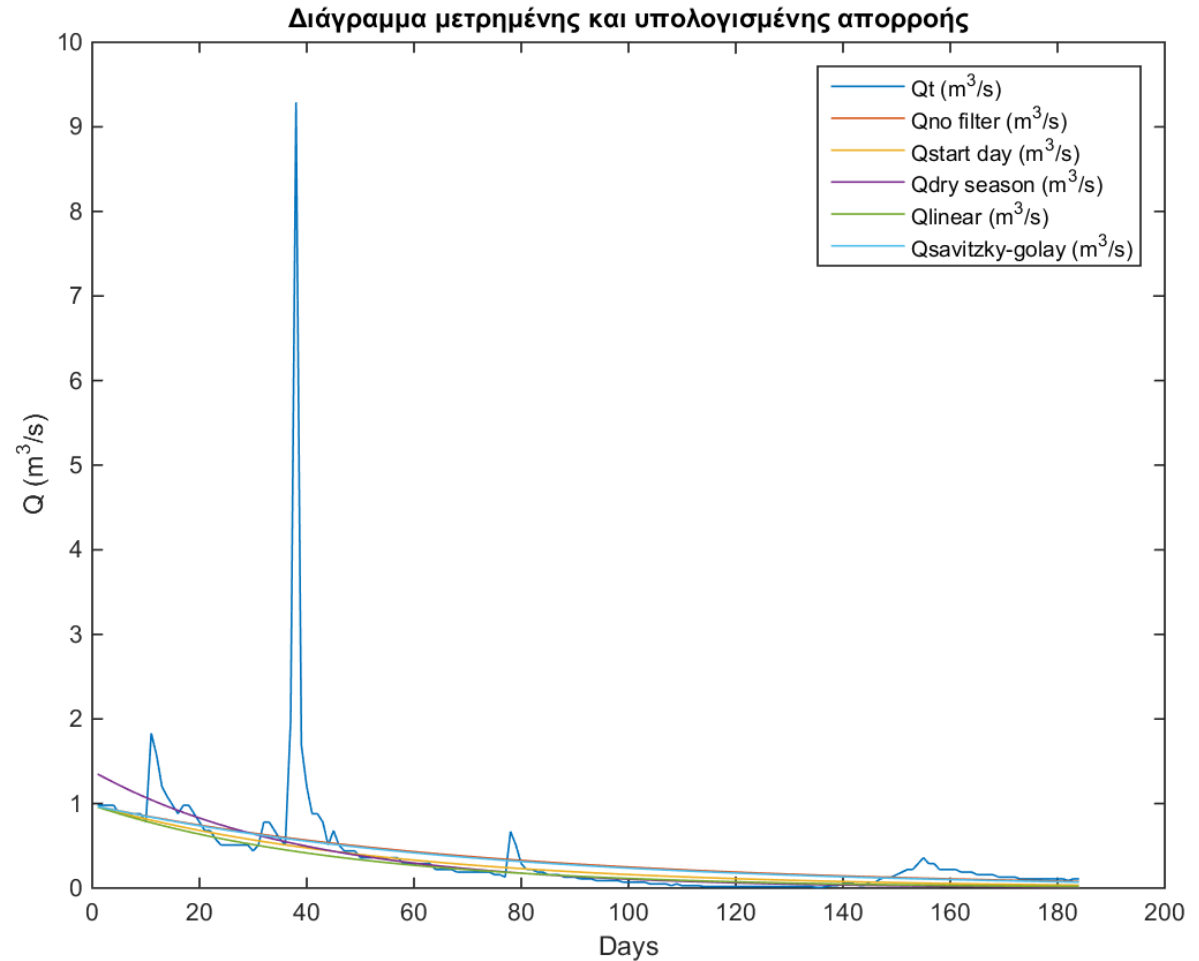
Λεκάνη απορροής

Imera

Meridionale

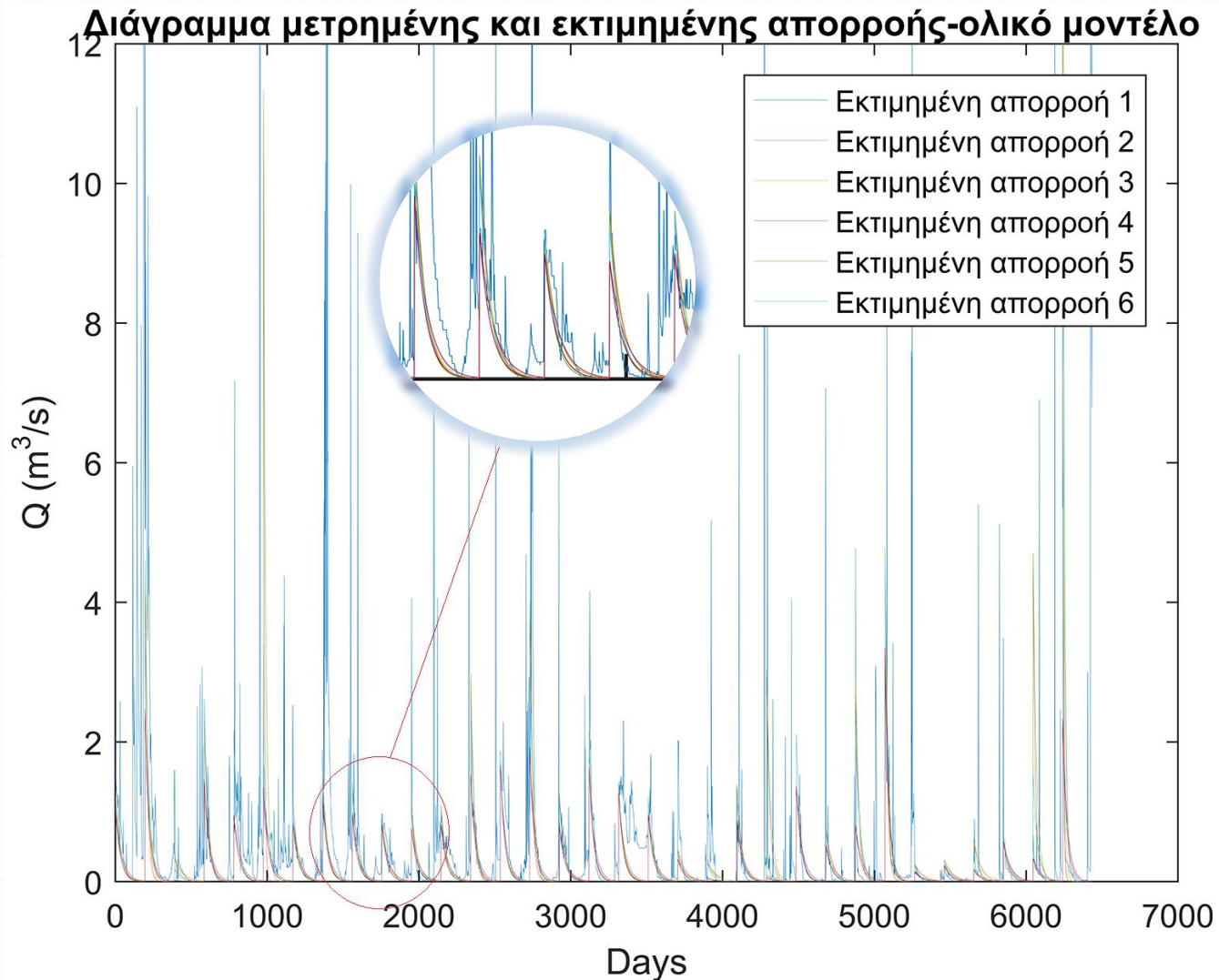
• Έτος: 1967

• $\min Q_0 - \text{error}_1$



Αποτελέσματα υπολοίπων λεκανών απορροής

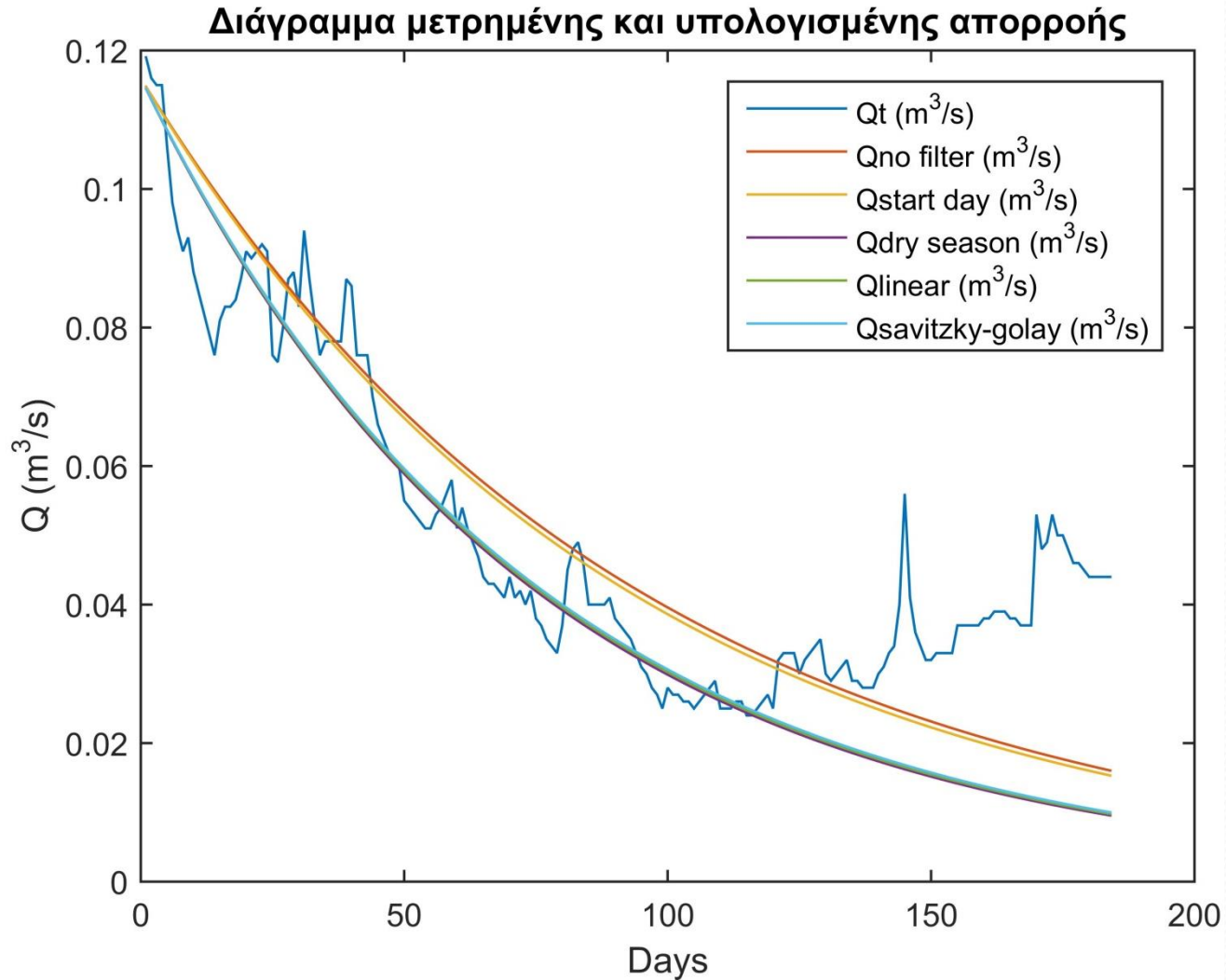
- Λεκάνη απορροής *Imera Merdionale*



Αποτελέσματα υπολοίπων λεκανών απορροής

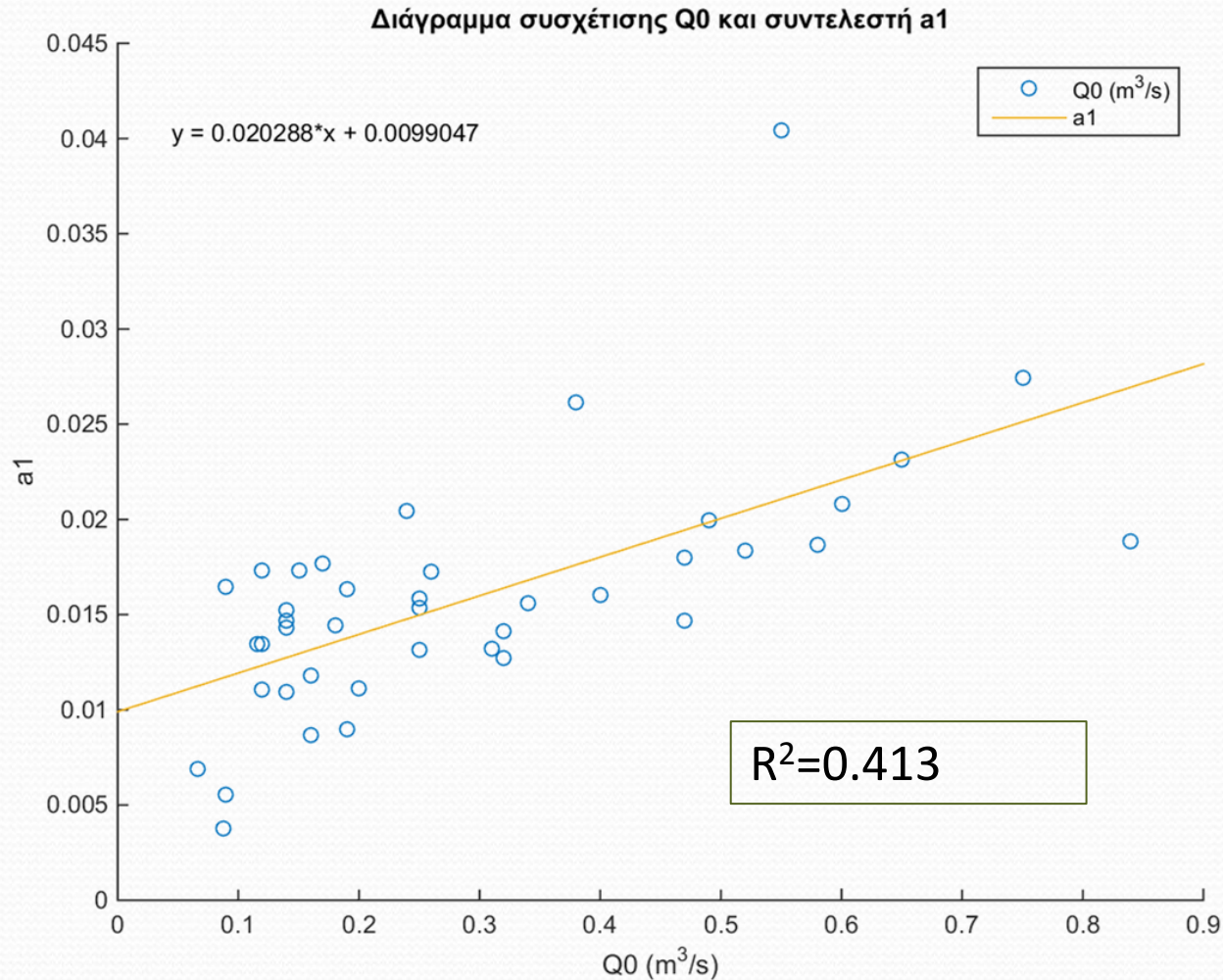
Λεκάνη
απορροής
Λαζάρηδες

- Έτος: 1971
- $\min Q_0$ -error₁



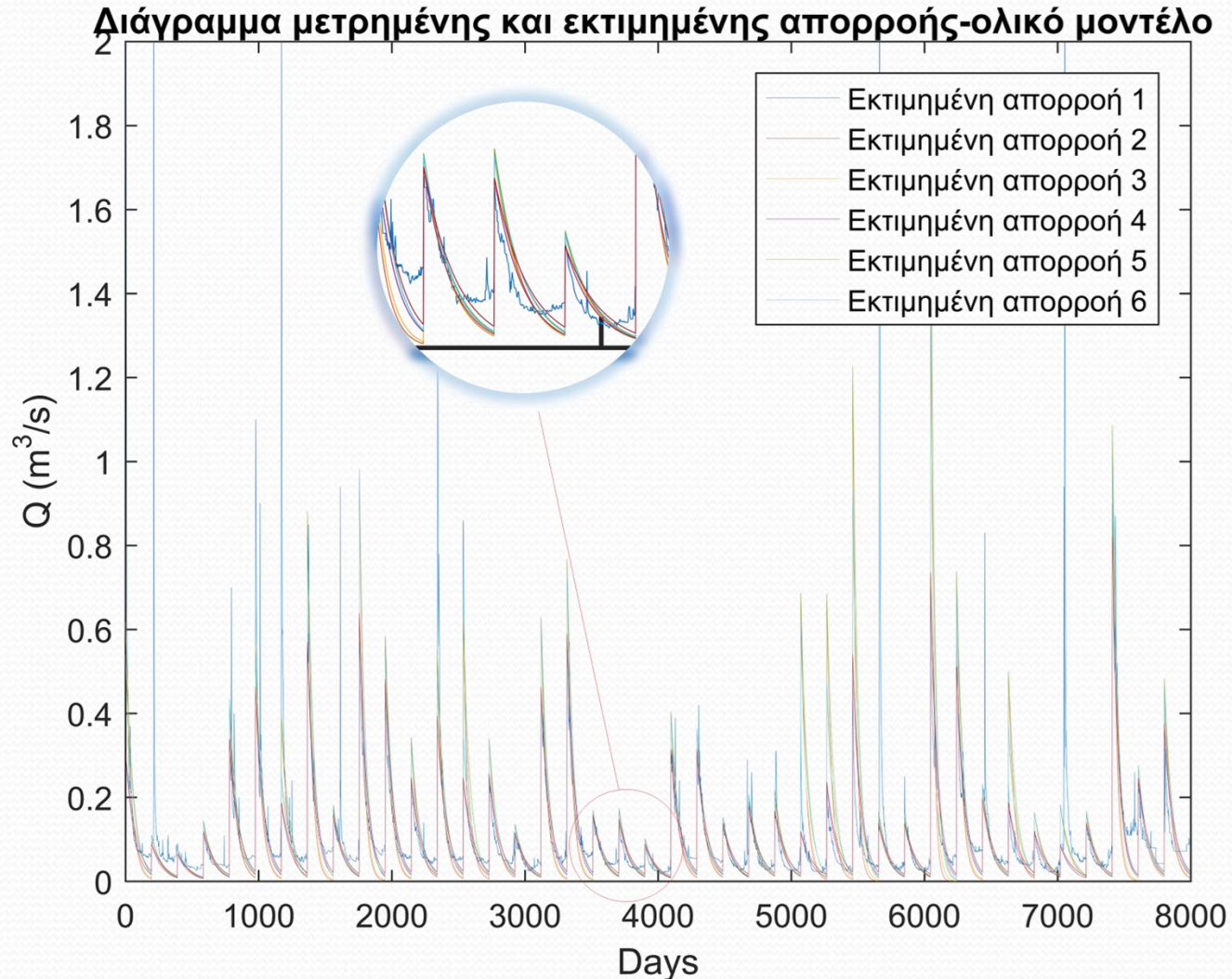
Αποτελέσματα υπολοίπων λεκανών απορροής

- Λεκάνη απορροής Λαζάρηδες – συσχέτιση Q_0 – συντελεστή a



Αποτελέσματα υπολοίπων λεκανών απορροής (2)

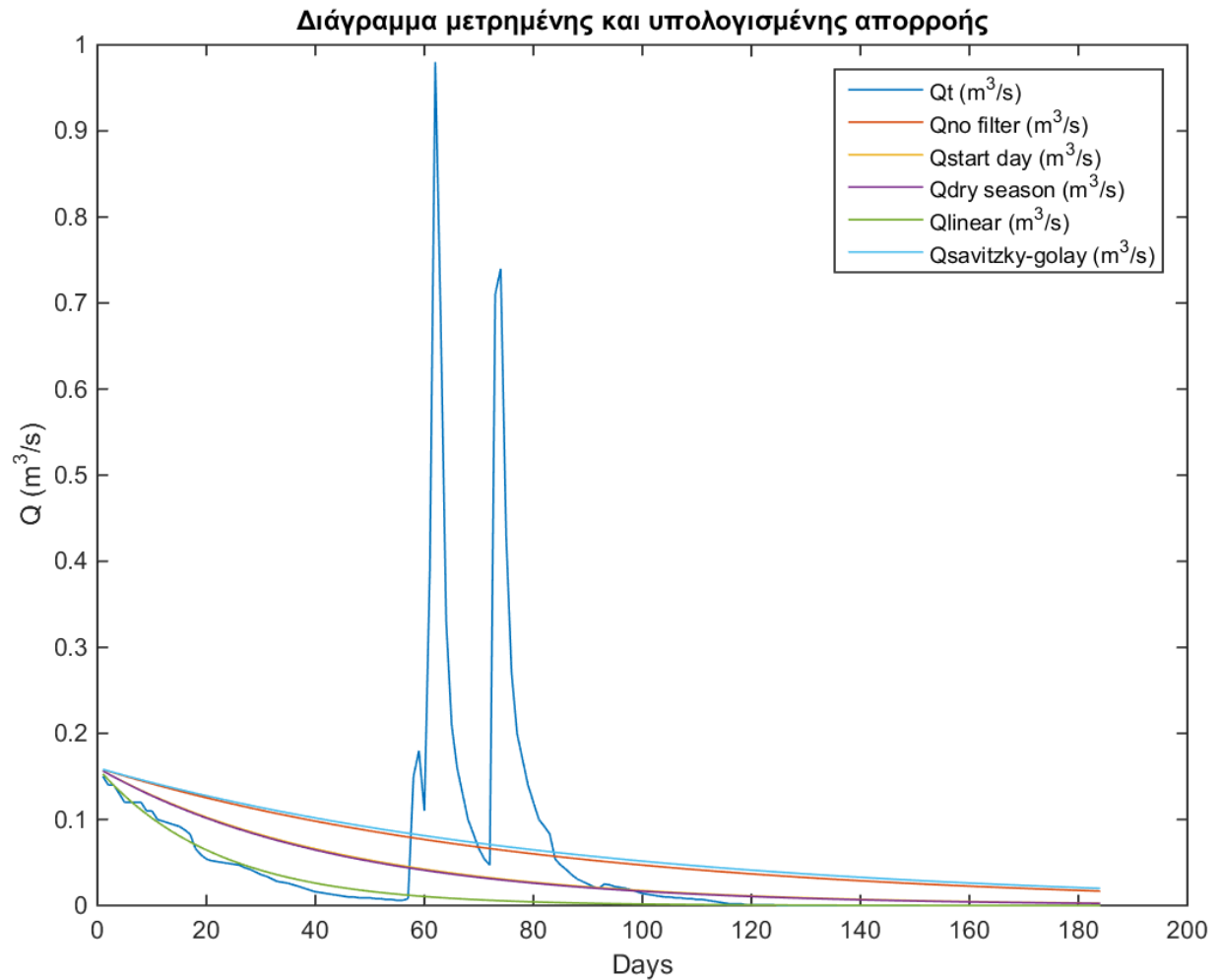
- Λεκάνη απορροής Λαζάρηδες



Αποτελέσματα υπολοίπων λεκανών απορροής

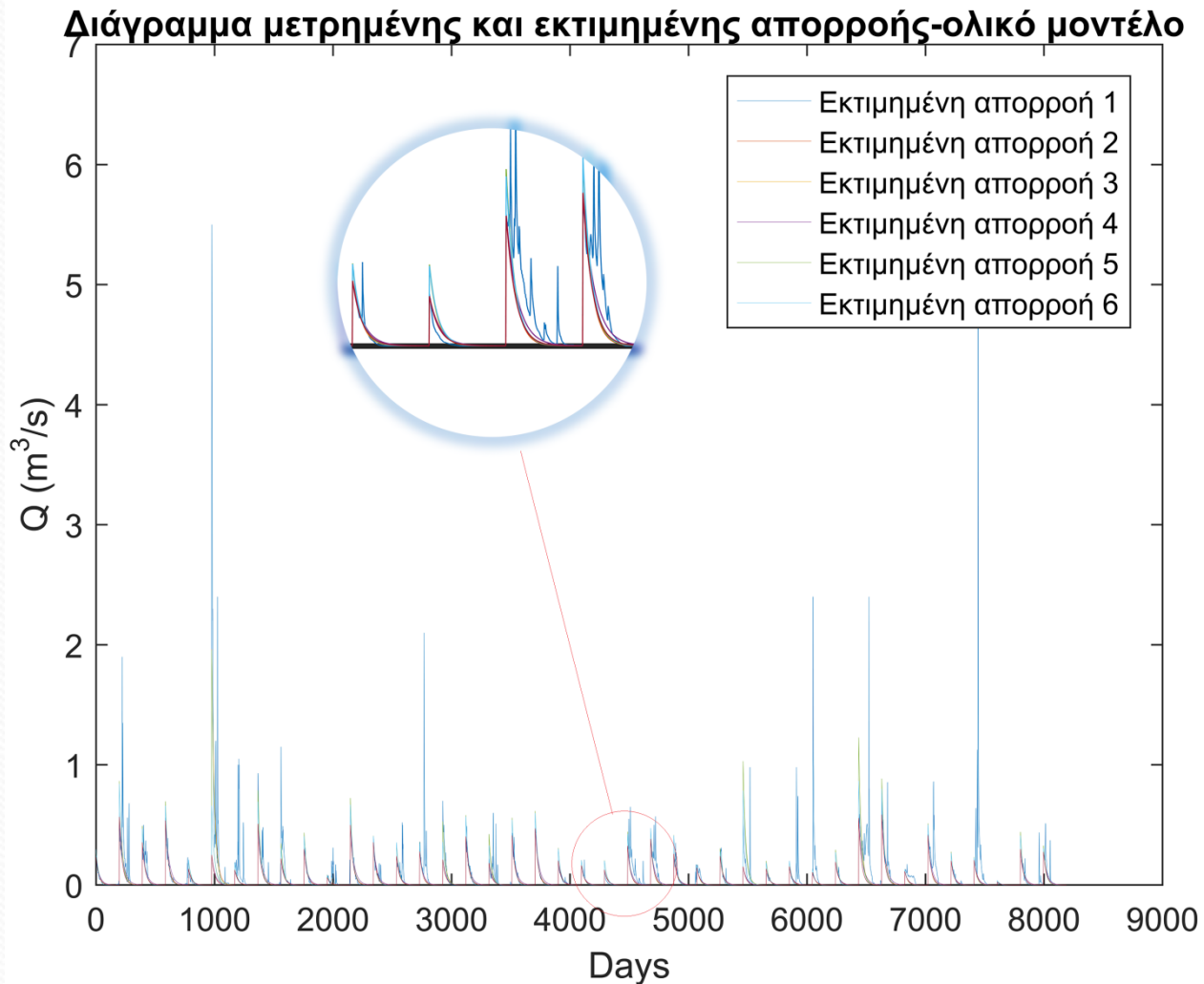
Λεκάνη
απορροής
Περιστερώνα

- Έτος: 1999
- $\min Q_0 - \text{error}_1$



Αποτελέσματα υπολοίπων λεκανών απορροής

- Λεκάνη απορροής Περιστερώνα



Συμπεράσματα

- Λεκάνη Κρεμαστών:
 - Στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση Q_0 και της παραμέτρου a
 - Κατασκευή απλού μοντέλου για την πρόγνωση των χαμηλών ροών
- Λαζάρηδες:
 - Κατασκευή απλού μοντέλου με μεγαλύτερα σφάλματα
- Υπόλοιπες λεκάνες απορροής:
 - Ασήμαντη στατιστικά συσχέτιση, αλλά καλή προσαρμογή του μοντέλου
- Καθολικό διπαραμετρικό μοντέλο
 - Καλή προσαρμογή του μοντέλου σε όλες τις λεκάνες

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Συσχέτιση παραμέτρων του μοντέλου με χαρακτηριστικά της λεκάνης, όπως, π.χ., τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά
- Διερεύνηση της συμπεριφοράς του μοντέλου υπό καθεστώς υδρολογικής αβεβαιότητας
- Περαιτέρω διερεύνηση δυνατοτήτων για αφαίρεση θορύβου από υδρολογικές χρονοσειρές, μέσω του φίλτρου εξομάλυνσης Savitzky – Golay
- Επέκταση και σε άλλες πλην της ημερήσιας χρονικές κλίμακες



Ευχαριστώ πολύ για την
προσοχή σας

Αποτελέσματα εφαρμογής στη λεκάνη Αχελώου

- error1: Αθροιστικό τετραγωνικό σφάλμα
- error2: Αθροιστικό λογαριθμικό σφάλμα
- mean Q0: Μέσος όρος των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- median Q0: Διάμεσος τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου
- min Q0: Ελάχιστη τιμή των 15 πρώτων ημερών του Απριλίου

	no filter	start day	dry season	linear filter	SG filter
error₁-mean Q₀	12.437	11.646	5.653	4.943	5.795
error₁-median Q₀	12.445	10.092	5.234	4.435	5.333
error₁-min Q₀	13.818	5.683	3.561	2.484	4.998
error₂-mean Q₀	7.191	6.626	4.644	4.276	6.693
error₂-median Q₀	7.084	6.353	4.428	4.021	6.021
error₂-min Q₀	6.968	5.000	3.563	2.993	5.225

Τα αποτελέσματα εφαρμογής στη λεκάνη Αχελώου στα Κρεμαστά θα παρουσιαστούν για τον συνδυασμό $error_1-min Q_0$

Αποτελέσματα μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης

Παράμετροι μοντέλου ολικής βελτιστοποίησης			Συνολικό σφάλμα
	a	b	
x1	0.0046	0.0031	2477.142
x2	0.0083	0.0017	34.9708
x3	0.0046	0.003	2297.2423
x4	0.0065	0.0021	34.0376
x5	0.1408	-0.0216	6453.8493
x6	0.0023	0.0034	31.7931

x_1 : συνδυασμός mean Q_0 - error₁

x_2 : συνδυασμός mean Q_0 - error₂

x_3 : συνδυασμός median Q_0 - error₁

x_4 : συνδυασμός median Q_0 - error₂

x_5 : συνδυασμός min Q_0 - error₁

x_5 : συνδυασμός min Q_0 - error₂

a, b : οι δύο παράμετροι του τελικού μοντέλου