

5^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Αθήνα

14 & 15 Οκτωβρίου 2017

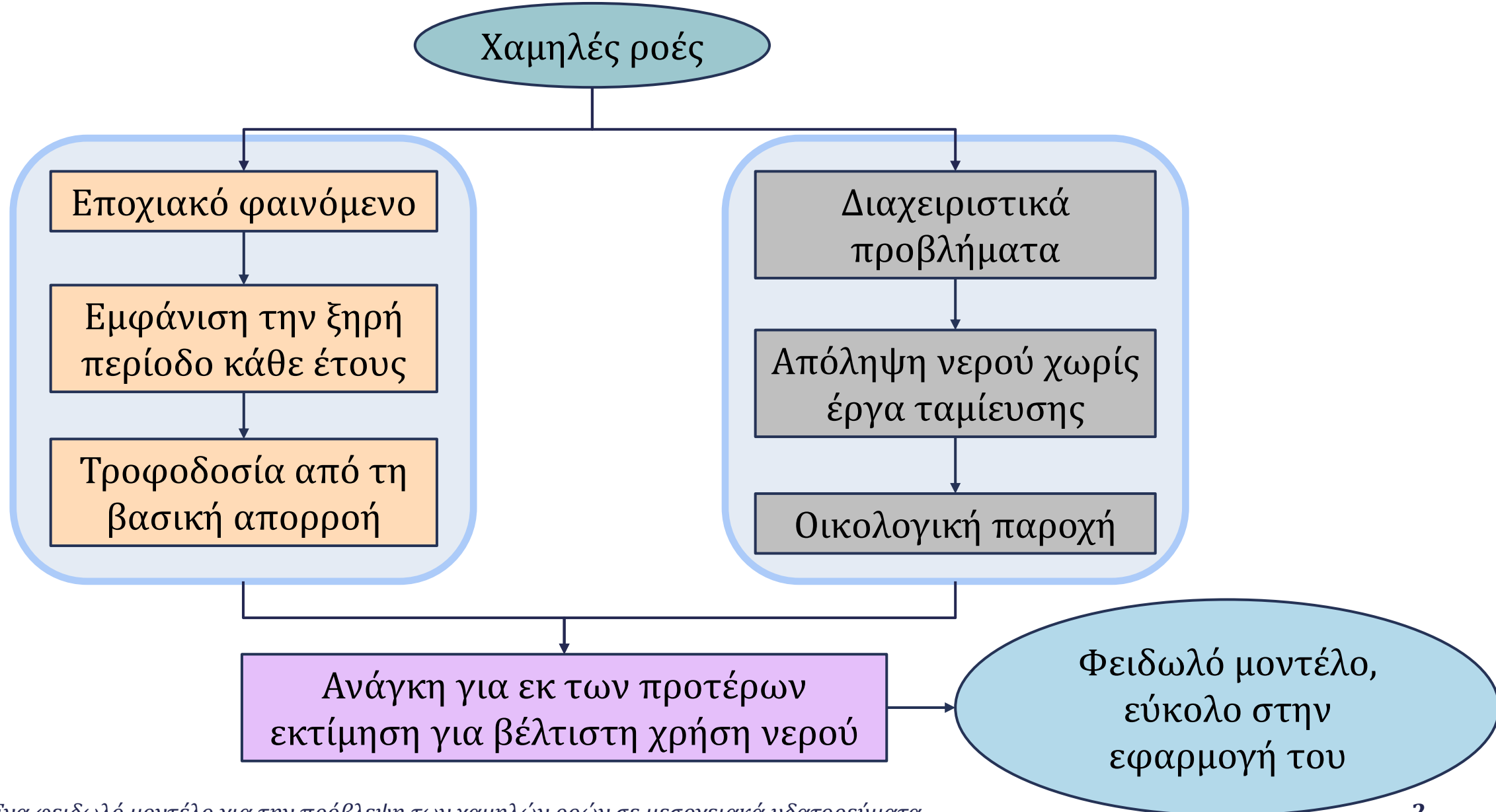
**Ένα φειδωλό μοντέλο για την πρόβλεψη των
χαμηλών ροών σε μεσογειακά υδατορεύματα**

**Κωνσταντίνα Ρίσβα⁽¹⁾, Διονύσιος Νικολόπουλος⁽²⁾, Ανδρέας Ευστρατιάδης⁽²⁾
, Ιωάννης Ναλμπάντης⁽¹⁾**

(1) Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

(2) Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

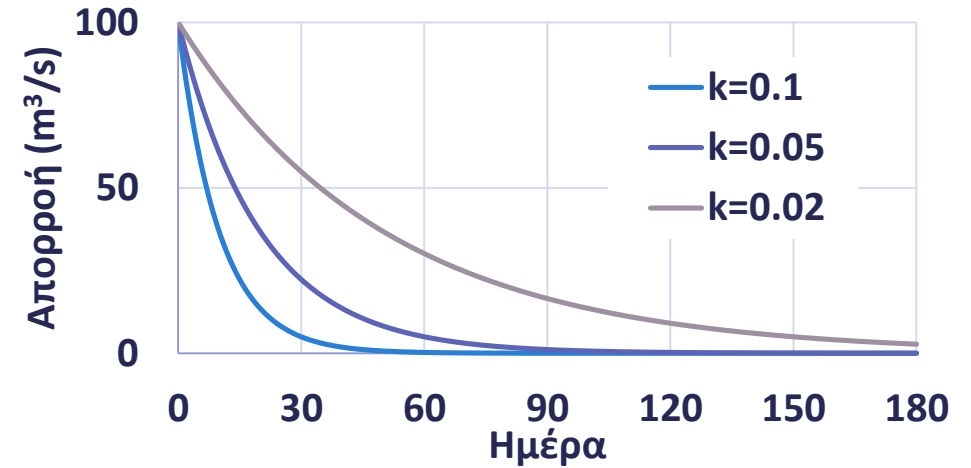
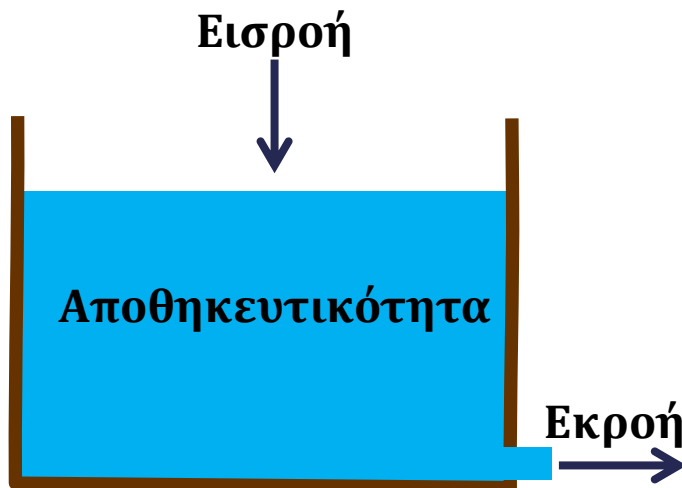
Χαμηλές ροές στη διαχείριση υδατικών πόρων



Βασικές υποθέσεις και ορισμοί

- **Αρχή:** Η βασική ροή είναι η κινητήρια δύναμη των χαμηλών ροών κατά τις ξηρές περιόδους, που αντιπροσωπεύεται ως εκροή μέσω ενός γραμμικού ταμιευτήρα.
- **Σχήμα μοντελοποίησης:** Η χαμηλή ροή κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου ενός συγκεκριμένου έτους j μοντελοποιείται ως μορφή εκθετικής μείωσης:

$$(1) q_{jt} = q_{0j} \exp(-k_j t)$$



- **Ορίζοντας αναφοράς:** 15 Απριλίου έως 15 Οκτωβρίου.
- **Τροποποιημένη χαμηλή ροή:** Βάσει του υδρογραφήματος ξηρής περιόδου, μετά από φιλτράρισμα και αφαίρεση των μέγιστων ροών.
- **Αρχική απορροή, q_{0j} :** Η ελάχιστη των δύο 15 πρώτων ημερών του Απριλίου, προσδιορισμένη a priori από τα παρατηρημένα δεδομένα.
- **Παράμετρος στείρευσης, k_j :** Μέσω βαθμονόμησης, εφαρμογή της (1) στα τροποποιημένα δεδομένα του έτους j .

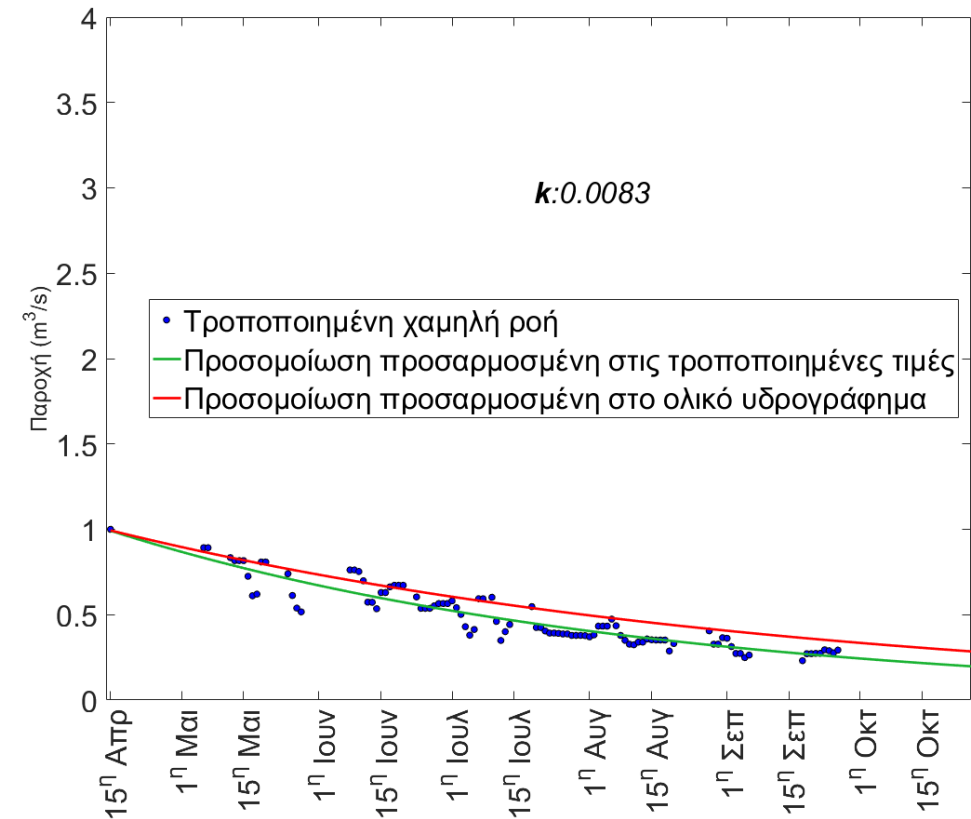
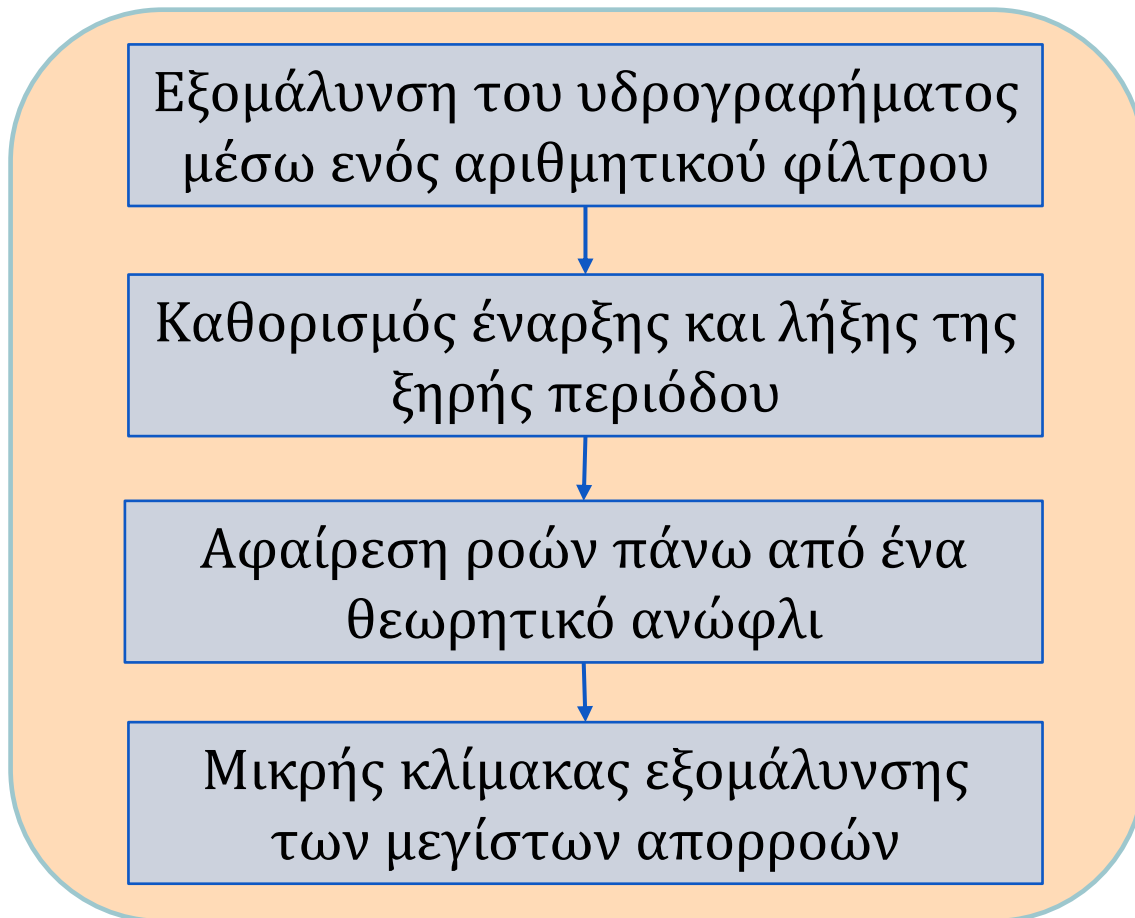
Περιοχές μελέτης



Παραγωγή τροποποιημένων δεδομένων χαμηλής ροής

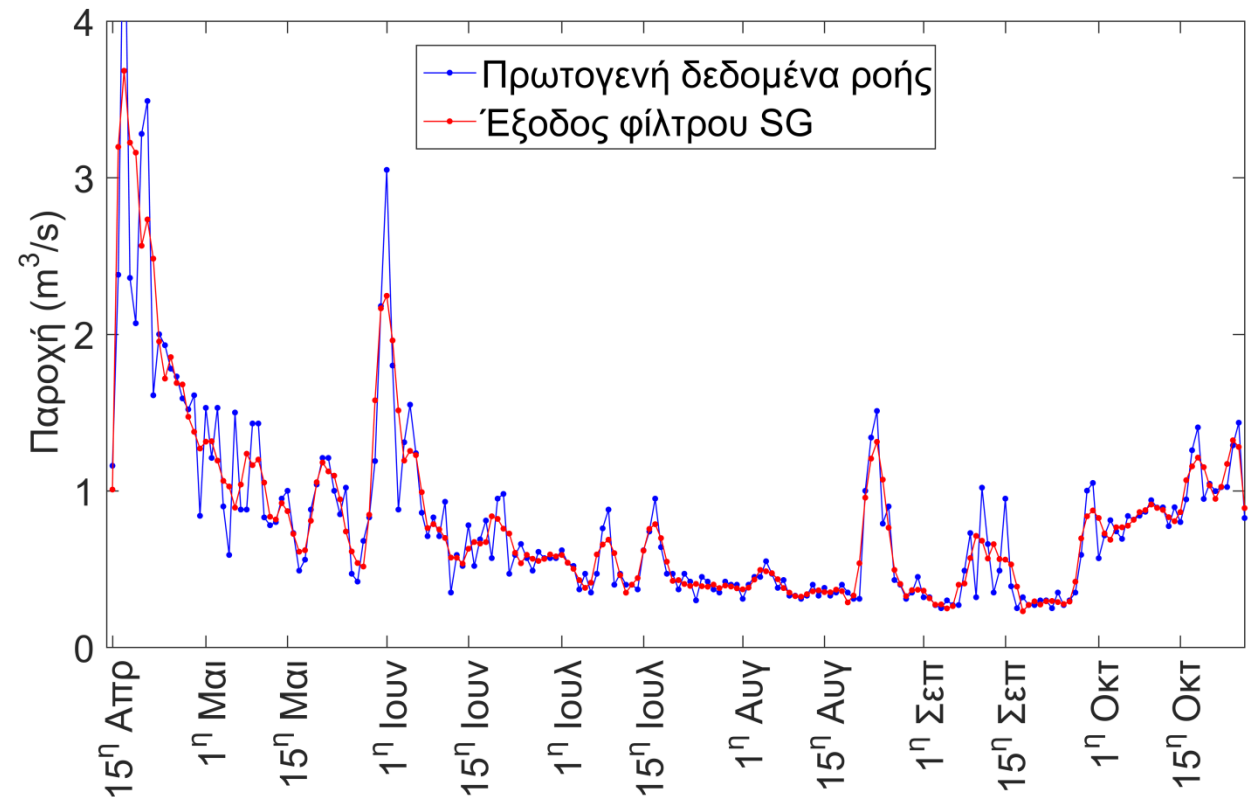
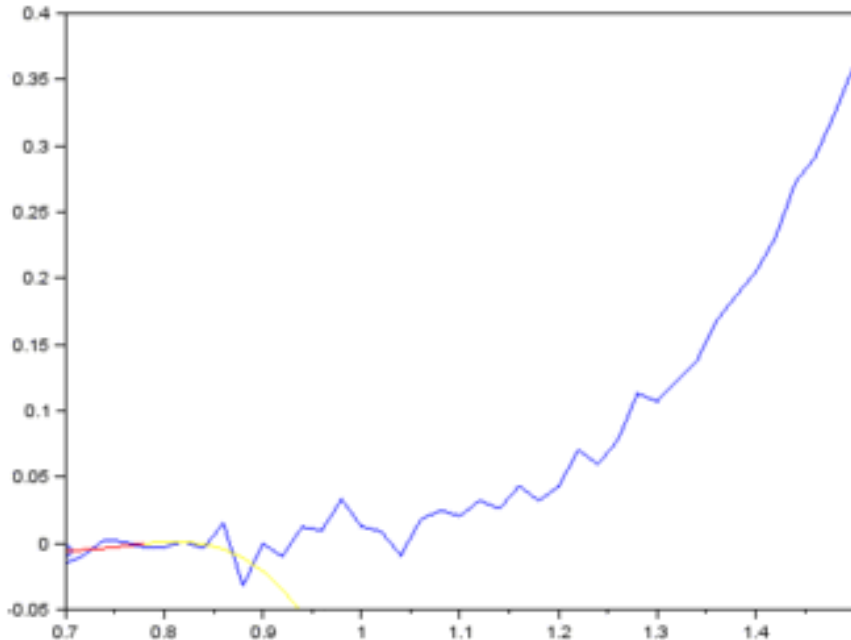
Πραγματικό υδρογράφημα ξηρής περιόδου → ανοδικά και καθοδικά μέρη, μεμονωμένες κορυφές → **υποεκτίμηση παραμέτρου στείρευσης**

Εξαγωγή χαμηλών ροών από το συνολικό υδρογράφημα → **τροποποιημένη χαμηλή ροή**



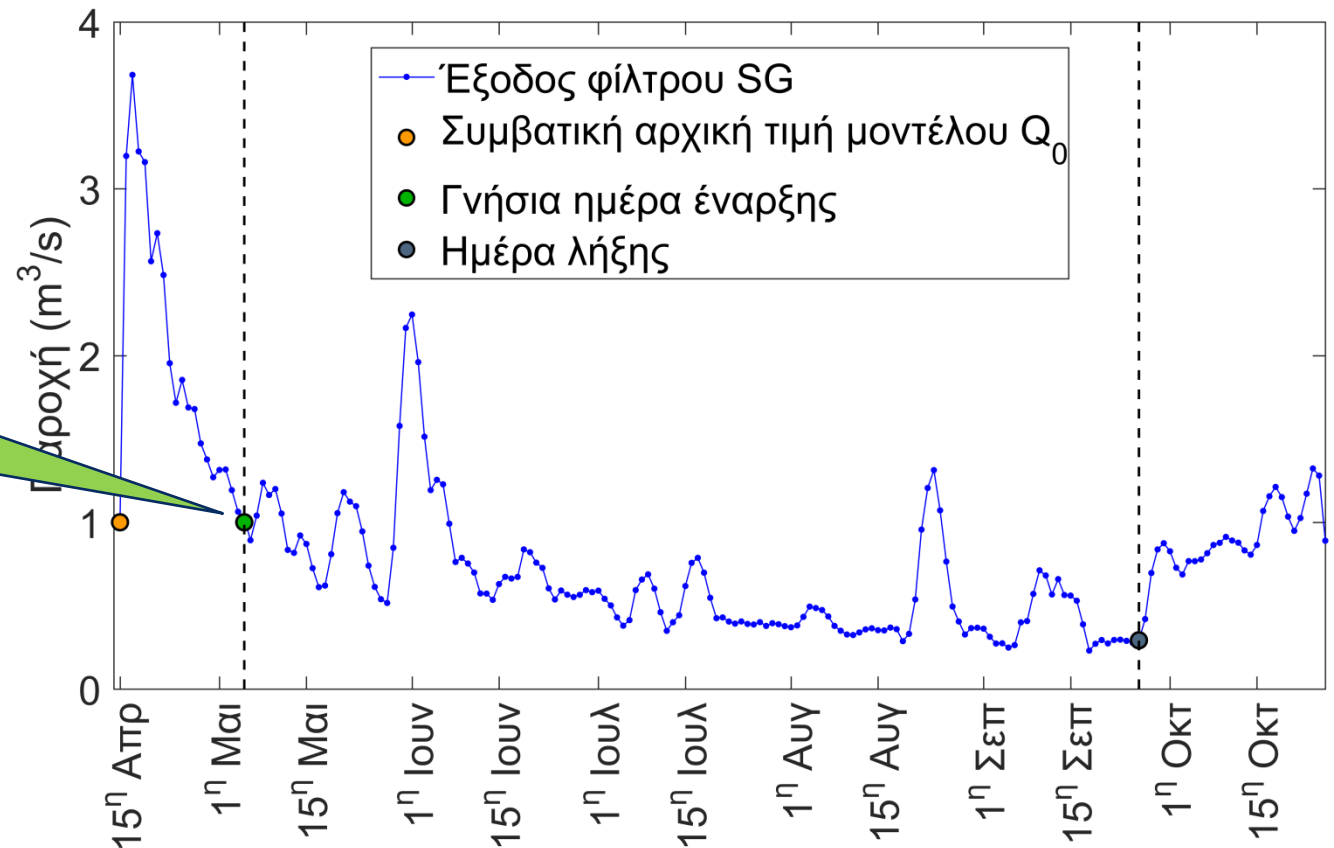
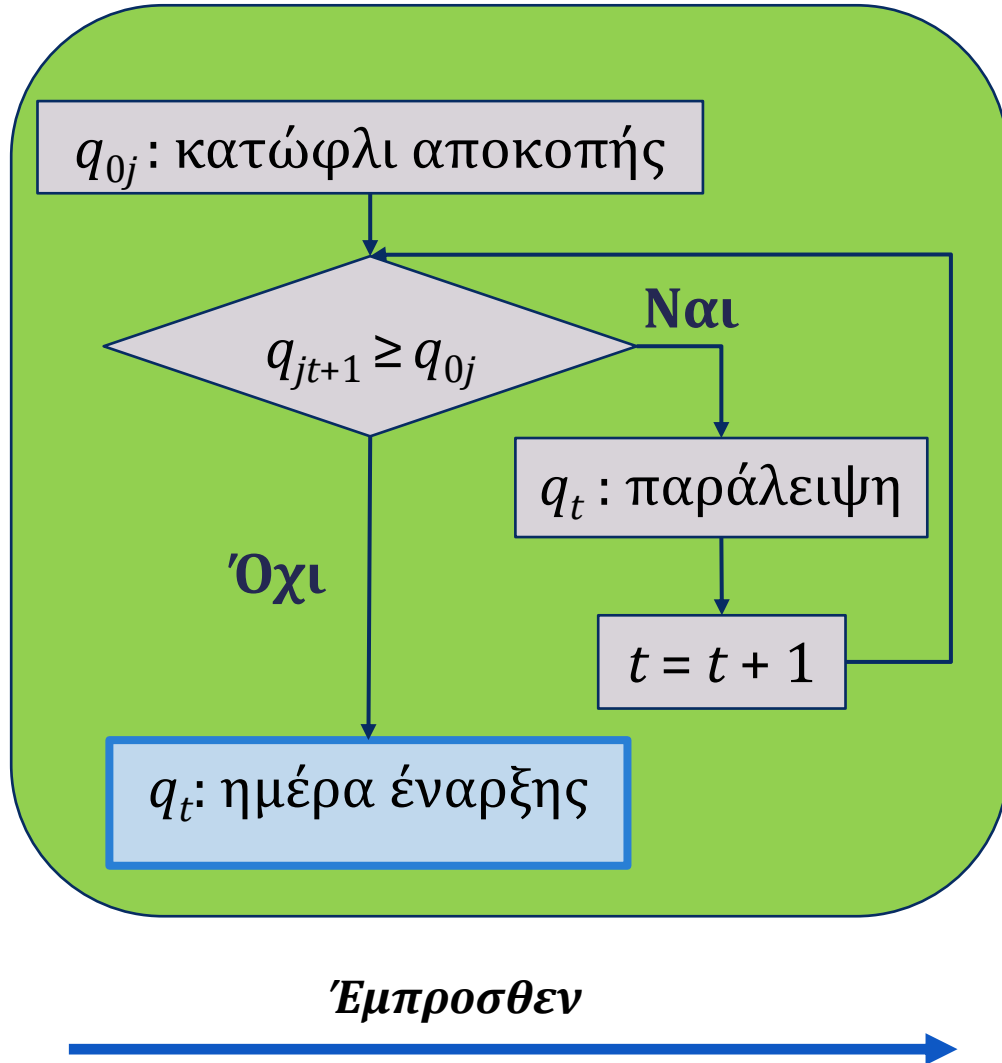
Στάδιο Α: Εξομάλυνση του συνολικού υδρογραφήματος

- Savitzky & Golay (1964) αριθμητικό φίλτρο
- 3^{ου} βαθμού πολυώνυμο
- Περίοδος εφαρμογής $n = 59$ days
- Κυλιόμενη προσαρμογή πολυωνύμου σε $2n + 1$ γειτονικά σημεία

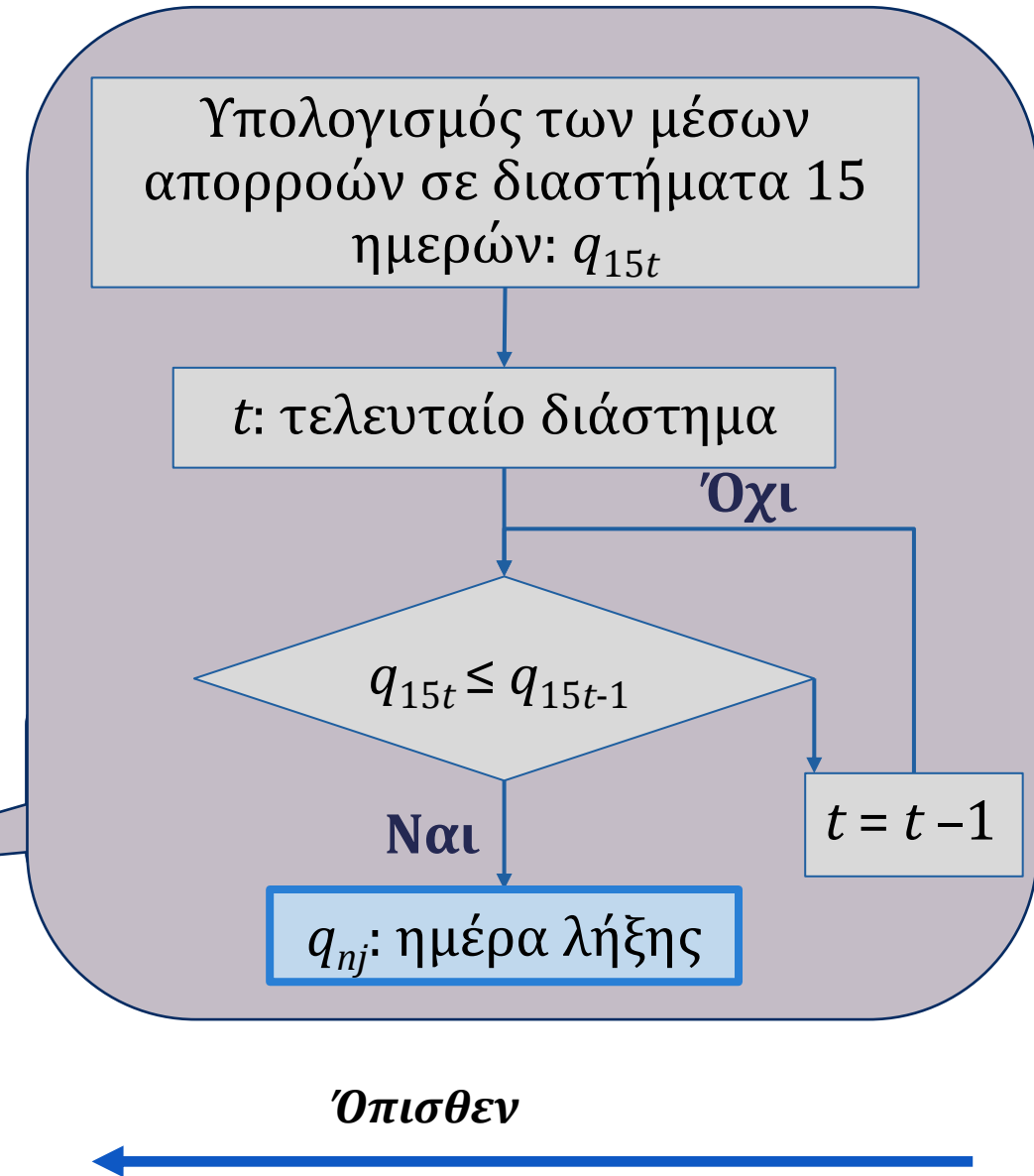
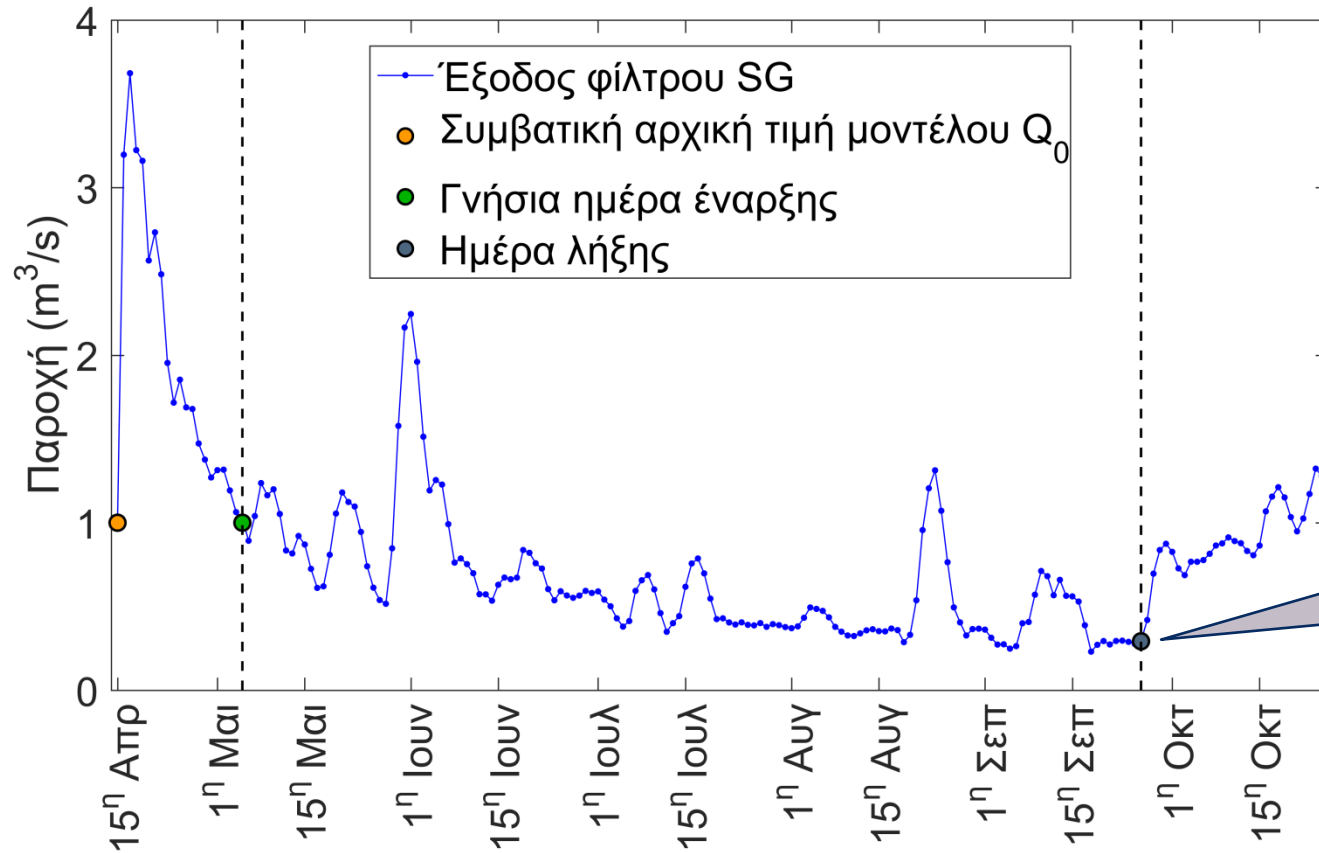


- Αύξηση του λόγου σήματος προς θόρυβο χωρίς σημαντική παραμόρφωση σήματος.
- Φιλτράρισμα μικρών και μεγάλων διακυμάνσεων.
- Ομοιότητα με MA μοντέλα

Στάδιο Β1: Υπολογισμός ημέρας έναρξης



Στάδιο Β2: Υπολογισμός ημέρας λήξης

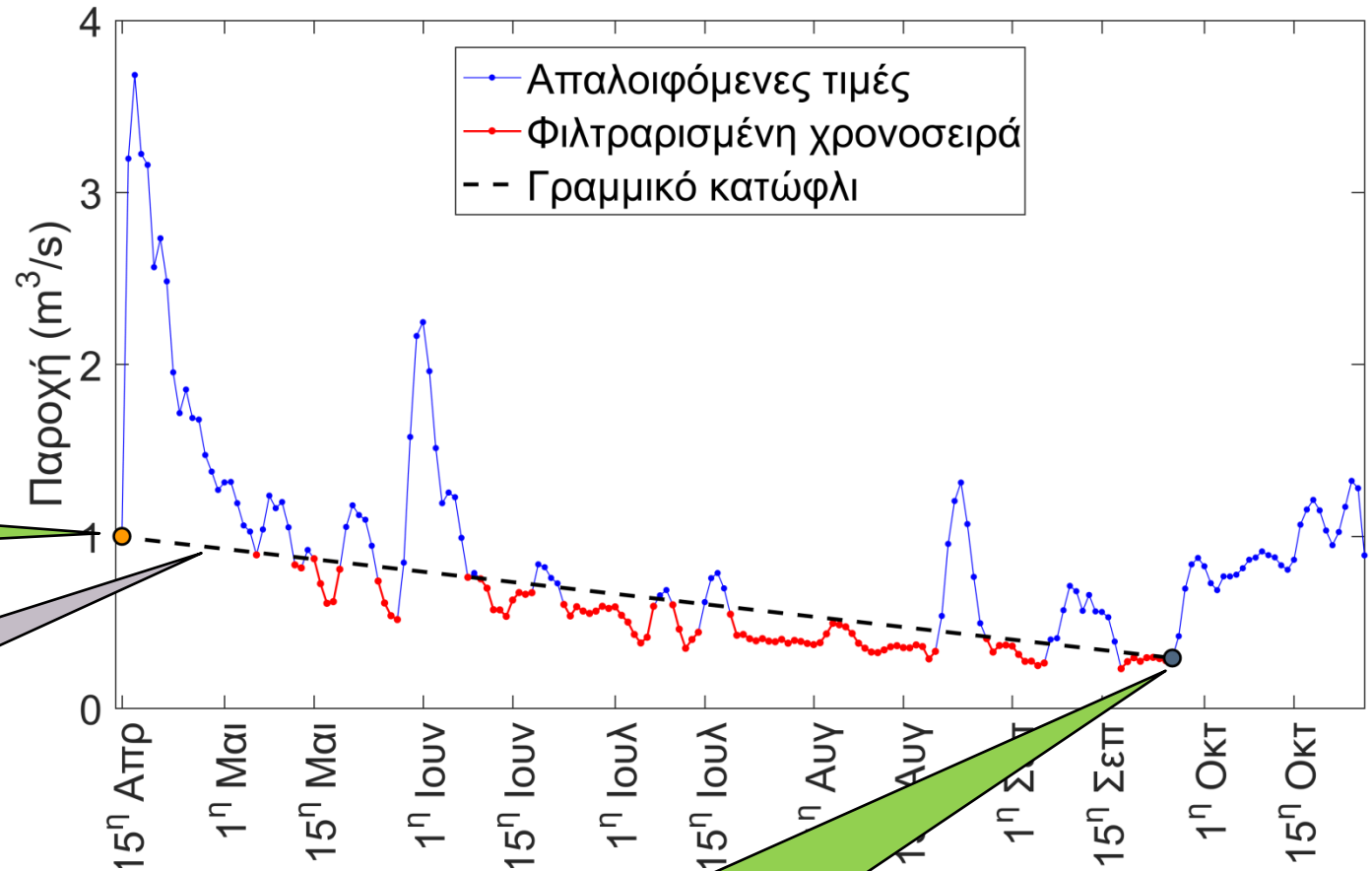


Στάδιο C: Αφαίρεση απορροών πάνω από ένα ανώφλι

- Θεωρητικό άνω όριο μοντέλου χαμηλής ροής → γραμμική μείωση μεταξύ αρχικής και τελικής ροής κάθε έτους j .
- Αφαίρεση τιμών απορροής πάνω από τη γραμμή που συνδέει q_{0j} με q_{nj} .

15 Απριλίου

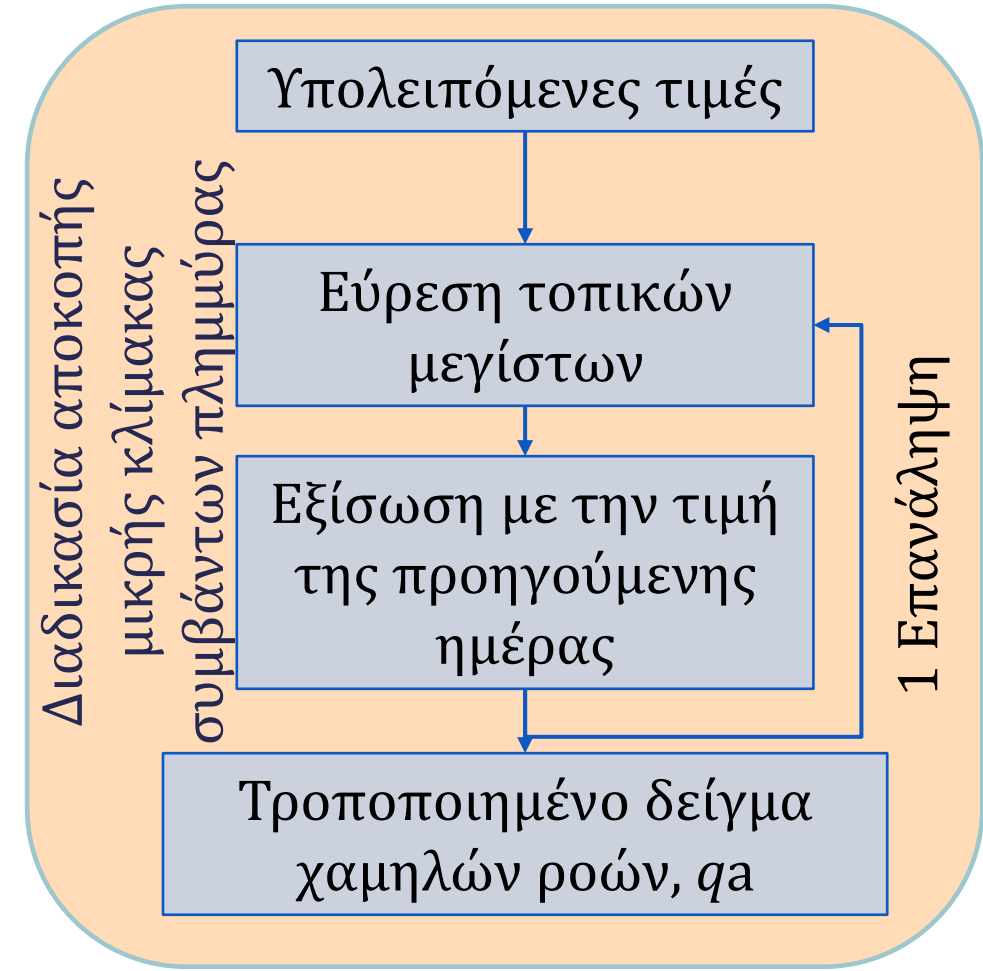
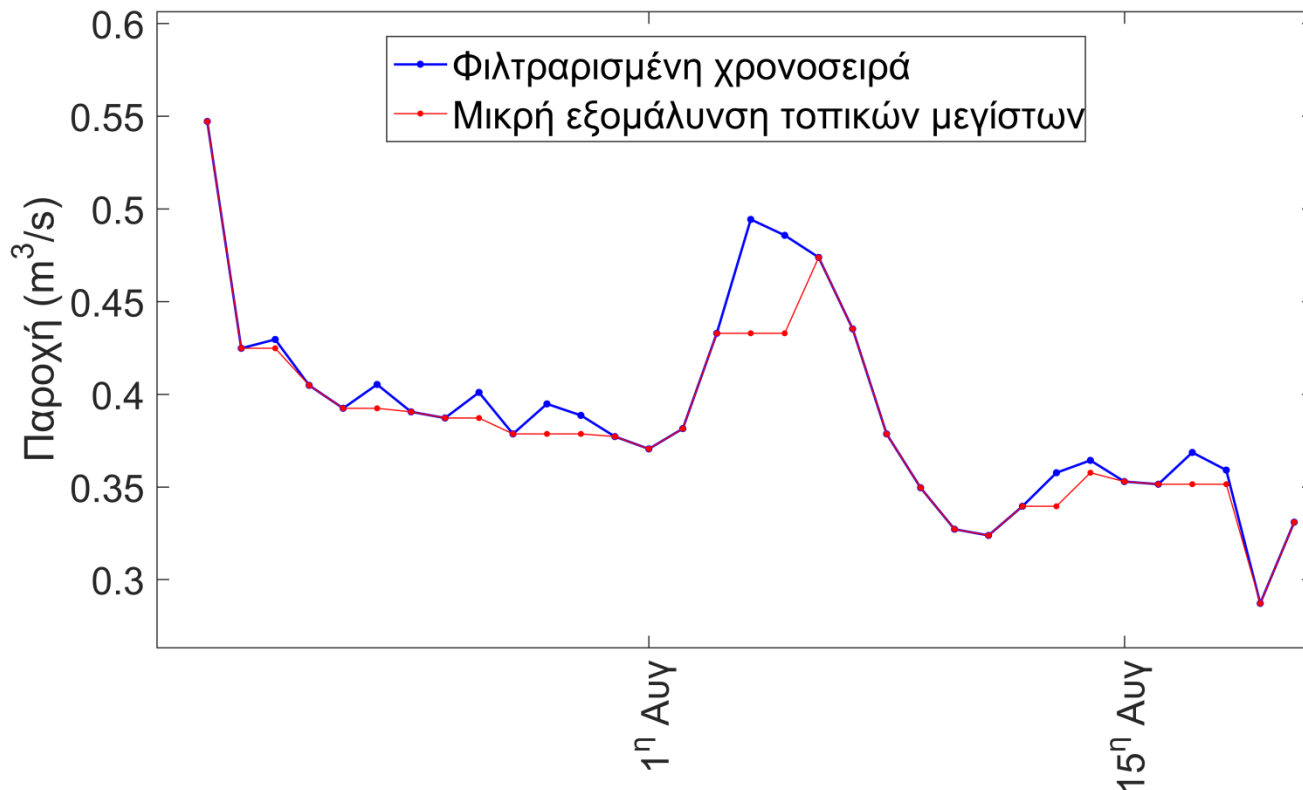
Τύπος γραμμικής μείωσης:
 $q_{jt} = q_{0j} - (q_{0j} - q_{nj}) t / n_j$



Λήξη ξηρής περιόδου,
καθορισμένη σύμφωνα
με το στάδιο B2

Step D: Μικρής κλίμακας εξομάλυνση των μεγίστων

- Μείωση των υπολοίπων τοπικών μεγίστων
- Τροποποιημένο δείγμα qa : μη συνεχές, αρκετά λιγότερες τιμές από το πλήρες δείγμα της ξηρής περιόδου μήκους n_j



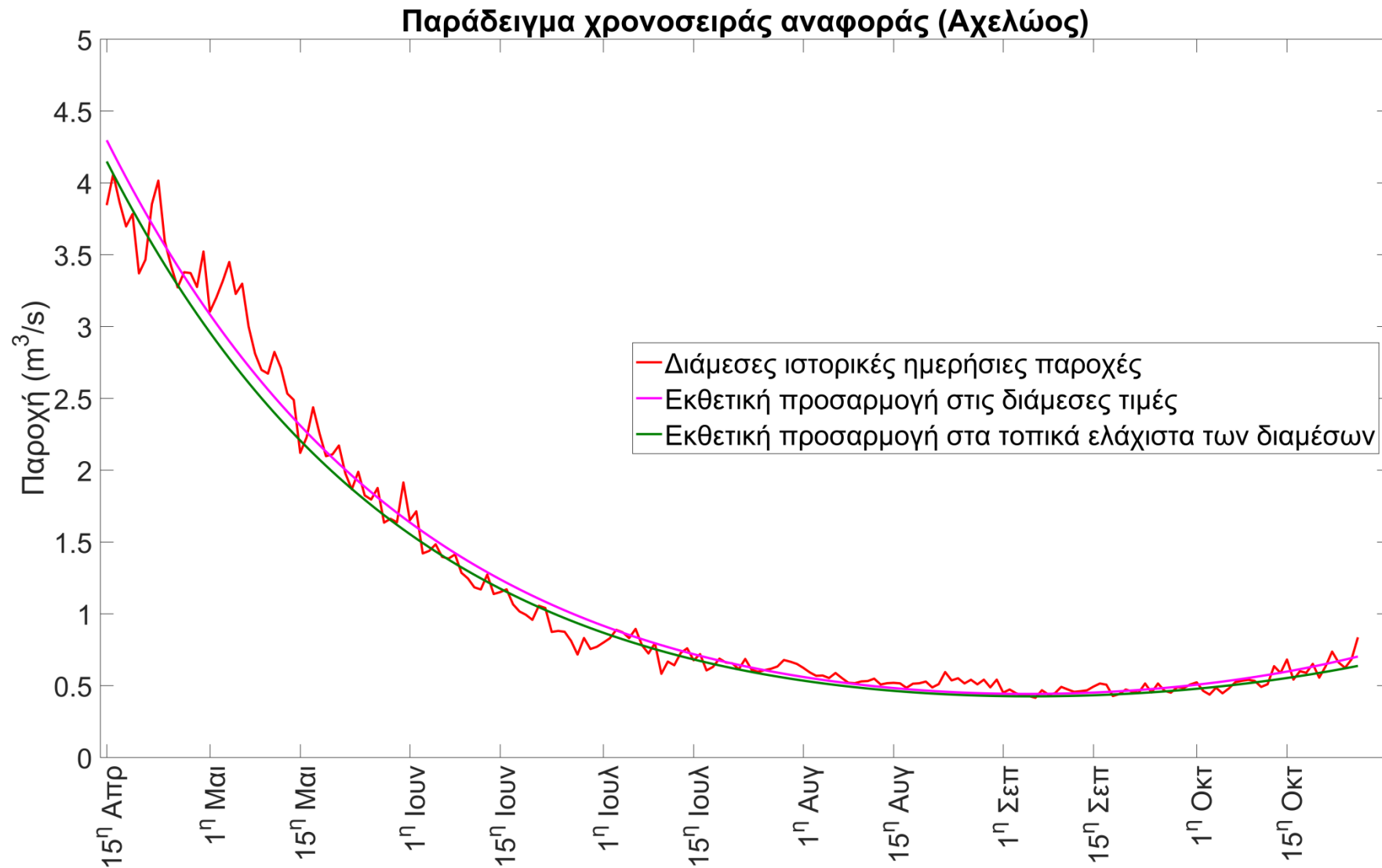
Βαθμονόμηση μοντέλου

- Αδυναμίες του παραδοσιακού μέτρου NSE:
 - Η σύγκριση των προσομοιωμένων απορροών με τη μέση απορροή παρέχει μη ρεαλιστικά υψηλές επιδόσεις του μοντέλου.
 - Η συστηματική μείωση της ροής είναι μη στατική.
- Στοχική συνάρτηση: Τροποποιημένη έκφραση απόδοσης (**modified expression of efficiency - MEF**)

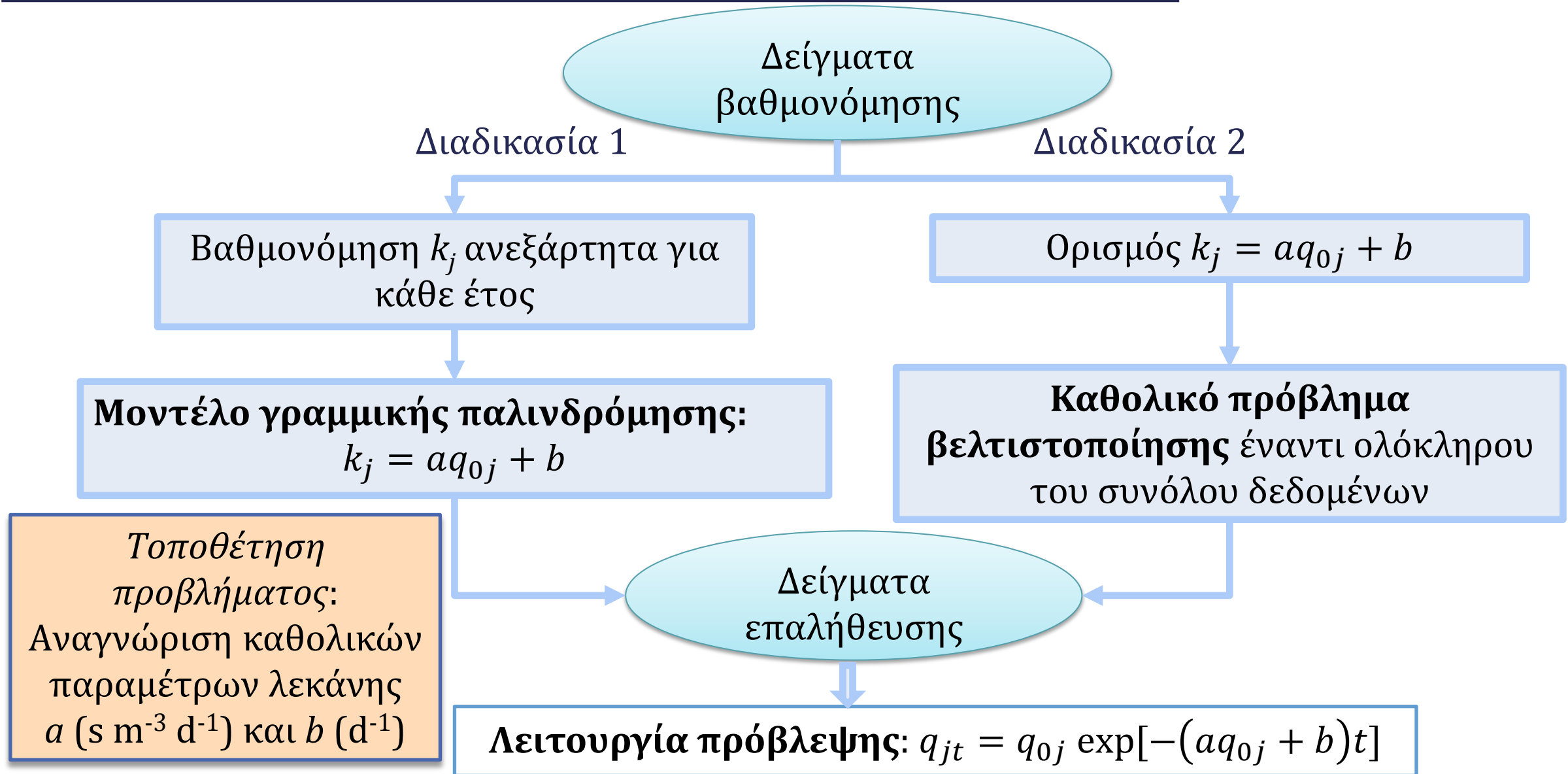
$$MEF = 1 - \frac{\sum\{qa_{jt} - q_{0j} \exp(-k_j t)\}^2}{\sum\{qa_{jt} - Benchmark_t\}^2}$$

- **Κριτήριο αναφοράς (Benchmark):** Μέση τιμή απορροής ή μέσος όρος κάθε μεμονωμένης ημέρας
- Stepwise exponential functions fitted to:
 - Ημερήσιοι μέσοι όροι
 - Ημερήσιες διάμεσες τιμές
 - **Τοπικά ελάχιστα των διαμέσων τιμών** → ορθότερη απεικόνιση των χαμηλών ροών

Παράδειγμα χρονοσειράς αναφοράς



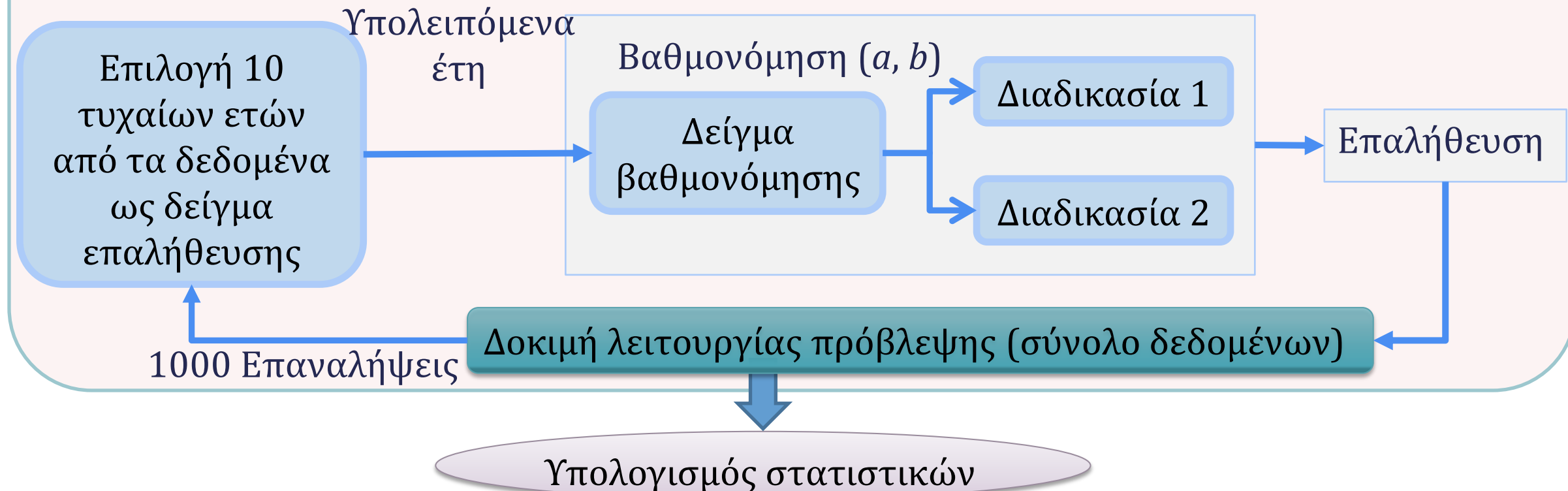
Σχηματοποίηση μοντέλου για πρόβλεψη



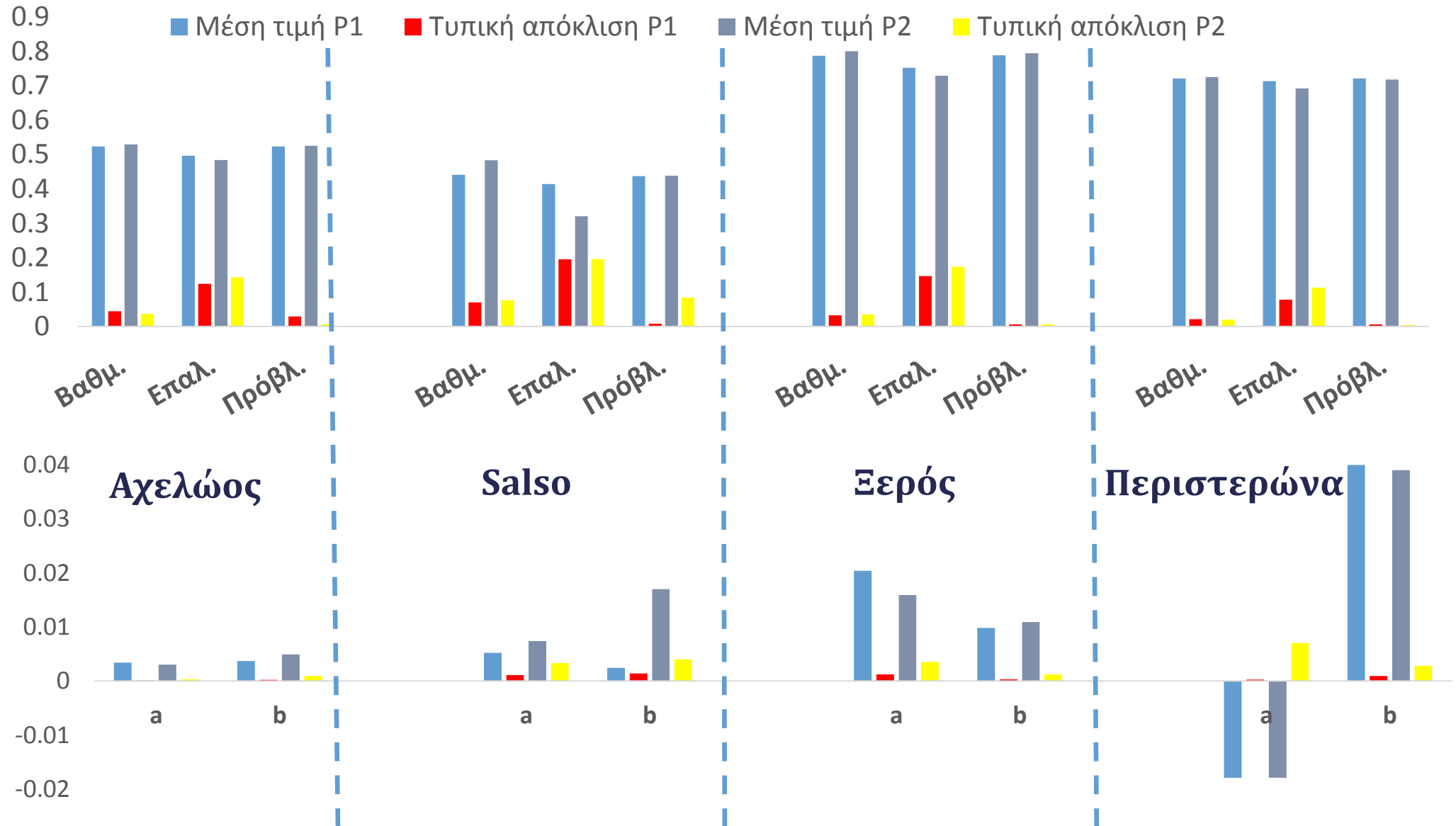
Ανάλυση αβεβαιότητας

Αδυναμία του κλασσικού παραδείγματος βαθμονόμησης - επαλήθευσης:
Εξάρτηση της απόδοσης του μοντέλου από το μήκος και το χρονικό διάστημα του δείγματος δεδομένων

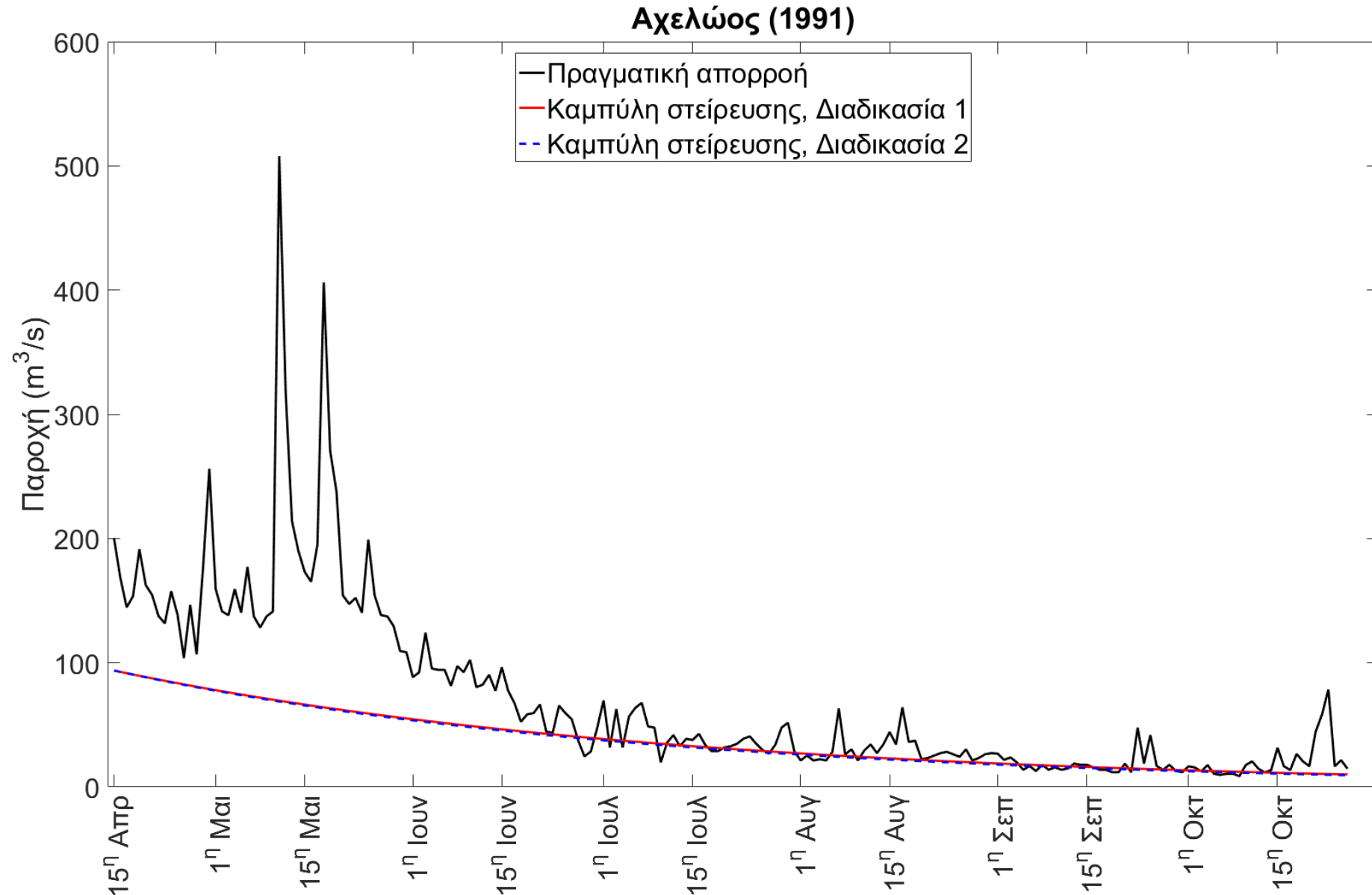
Σχήμα Monte Carlo βαθμονόμησης - επαλήθευσης



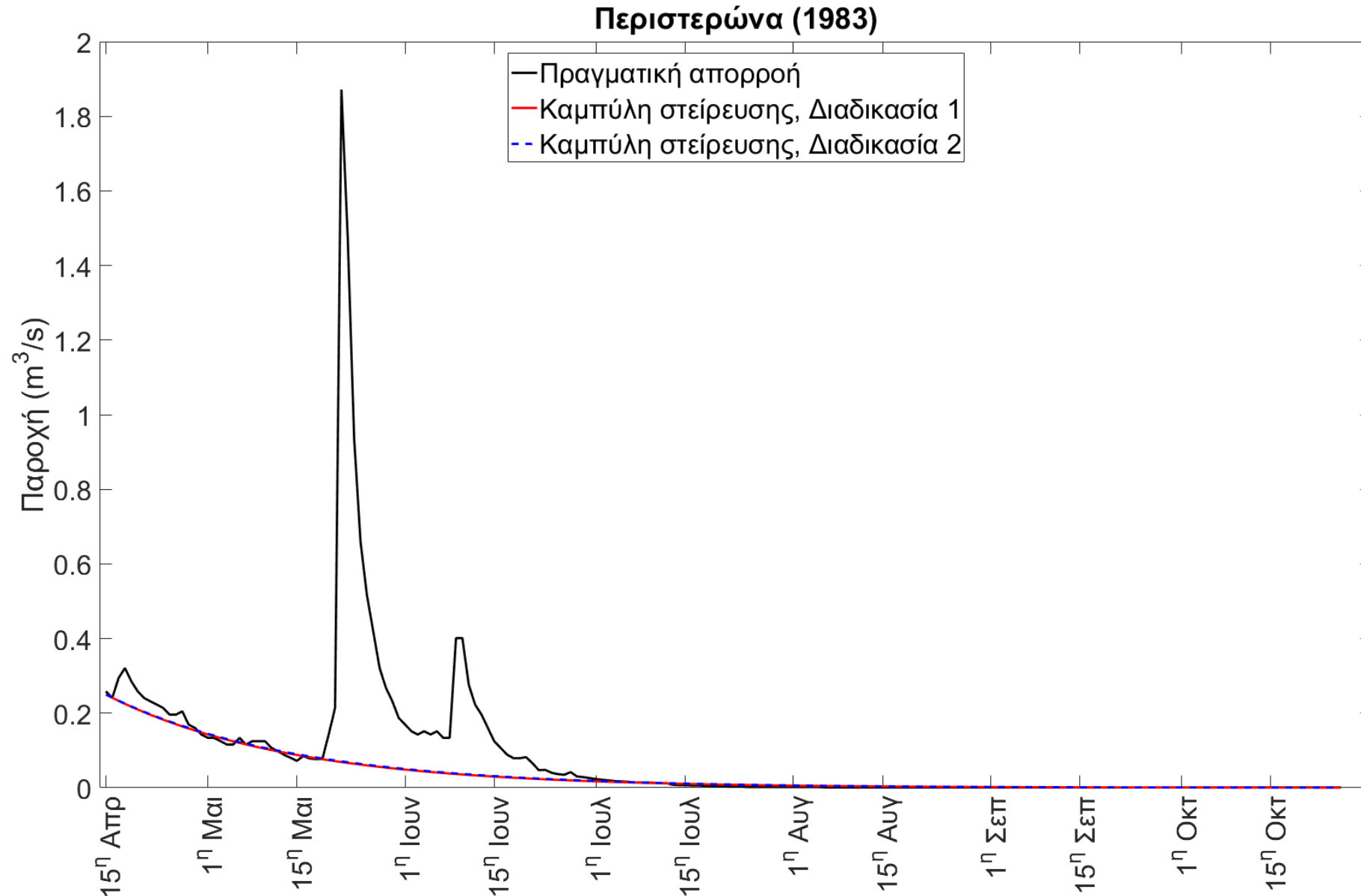
Αποτελέσματα διαδικασιών 1 (P1) και 2 (P2)



Παραδείγματα πρόβλεψης



Παραδείγματα πρόβλεψης



Συμπεράσματα

- Η δυναμική των χαμηλών ροών σε μεσογειακά υδατορεύματα μπορεί να προσεγγιστεί με τη χρήση του γραμμικού ταμιευτήρα.
- Η προτεινόμενη μεθοδολογία είναι κατάλληλη για λεκάνες απορροής ευρέος φάσματος χωρικών εκτάσεων, που παράγουν τόσο μόνιμη όσο και μη μόνιμη απορροή κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου.
- Το ισχυρό πλεονέκτημα του μοντέλου είναι η φειδολότητά του, ως προς τις:
 - απαιτήσεις δεδομένων
 - παραμέτρους
- Το μοντέλο είναι εύκολο να εφαρμοστεί σε λειτουργικό πλαίσιο, αφού μετά τη βαθμονόμηση η μόνη είσοδος είναι η q_0 , που είναι εφικτή η μέτρησή της.



Χαμηλές ροές στον ποταμό Lower Darling