



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η επίδραση της δειγματοληπτικής αβεβαιότητας των εισροών στη στοχαστική προσομοίωση ταμιευτήρα

Ελένη Ζαχαροπούλου

Επιβλέπων: Α. Ευστρατιάδης

Υπεύθυνος Καθηγητής: Δ. Κουτσογιάννης

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

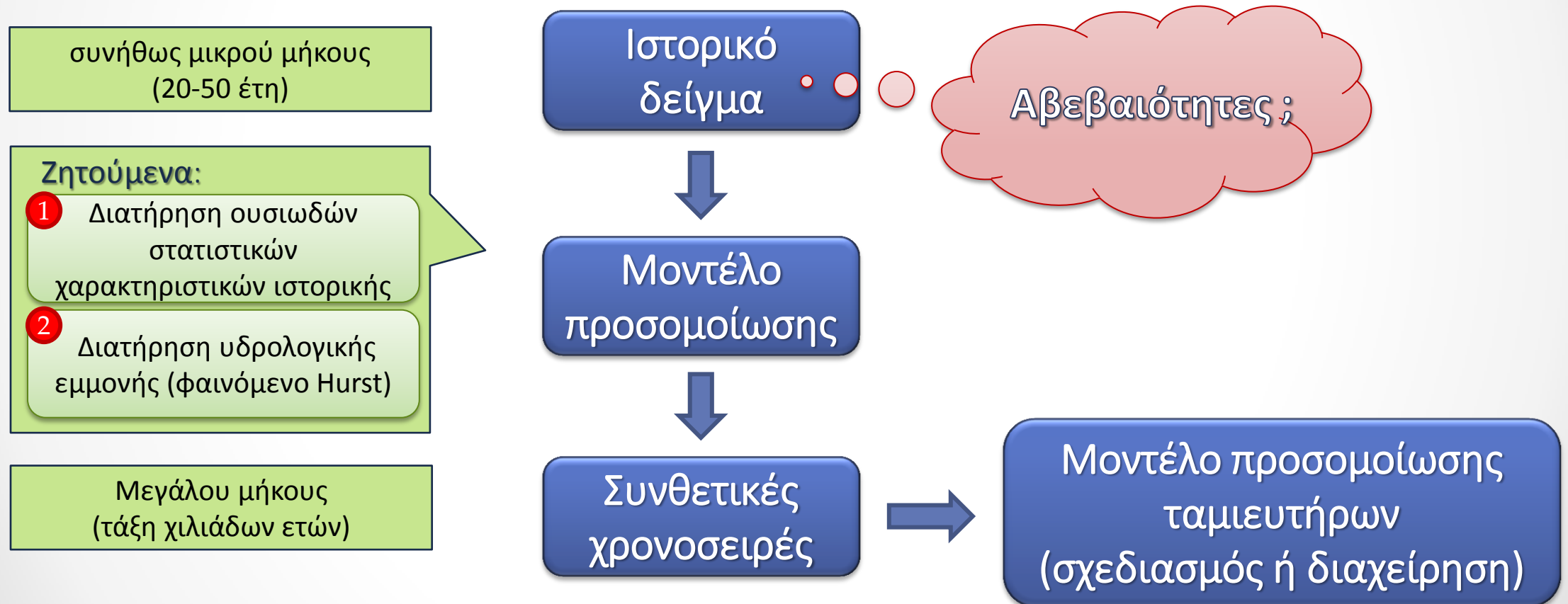


Εισαγωγή – Τοποθέτηση Προβλήματος

(1)

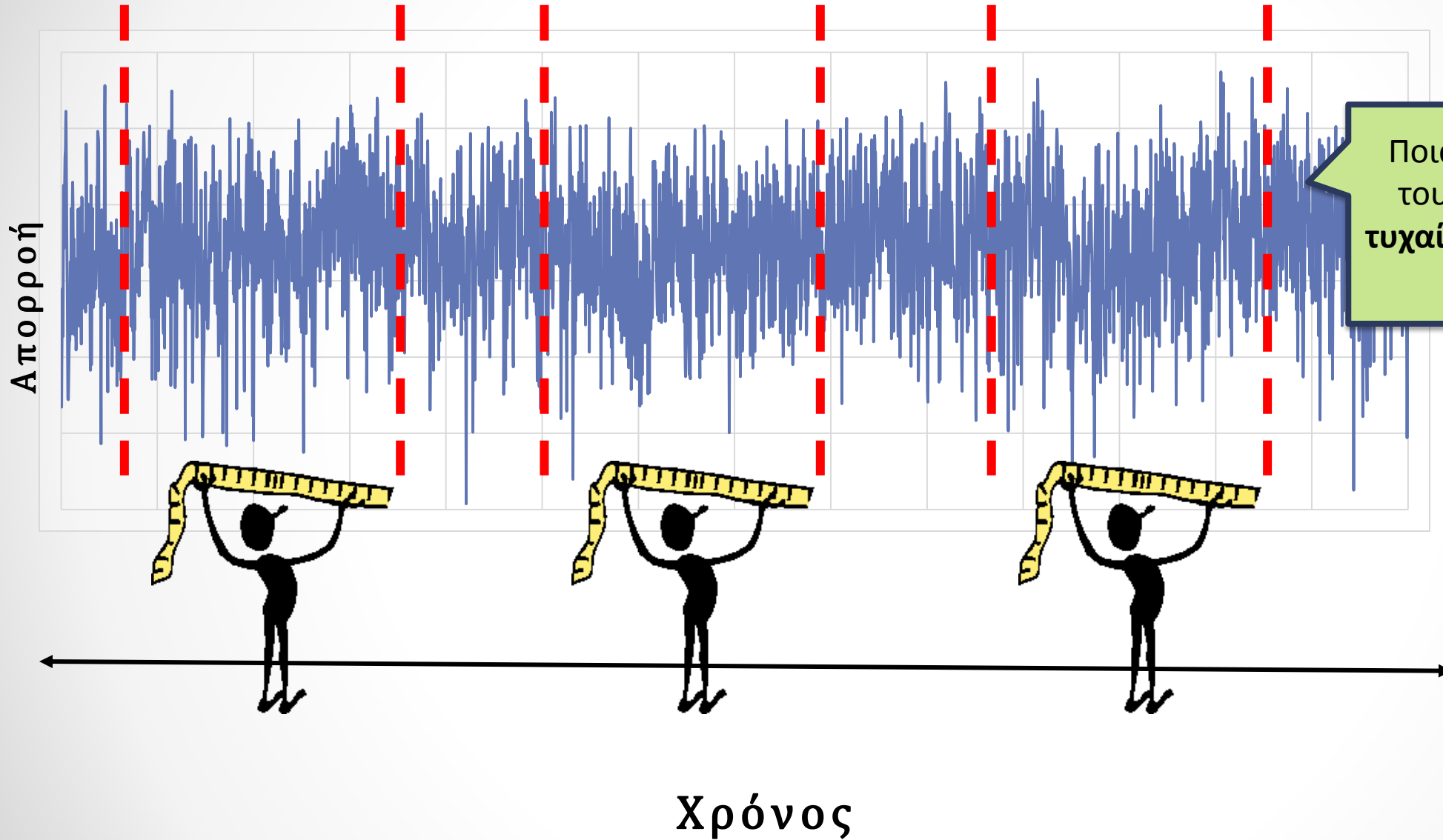
Πρόκληση: Αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων των υδρολογικών διεργασιών και των μεταξύ τους σχέσεων, κατά τον σχεδιασμό και τη διαχείριση ταμιευτήρων.

Καταλληλότερη προσέγγιση: στοχαστική προσομοίωση



Εισαγωγή – Τοποθέτηση Προβλήματος

(2)



Ποιά θα ήταν η απόκριση του συστήματος για ένα τυχαίο δείγμα, ίδιου μήκους με το ιστορικό;

Εκτίμηση δειγματικής αβεβαιότητας - Βιβλιογραφική επισκόπηση

✓ Υπαρξη θεωρητικών σχέσεων για εκτίμηση της αβεβαιότητας σε ειδικές περιπτώσεις (π.χ. τυπική απόκλιση της δειγματικής μέσης τιμής)

✗ Πολύπλοκες και μη γενικευμένες θεωρητικές σχέσεις για άλλα στατιστικά χαρακτηριστικά και κατανομές (πολυπλοκότητα, απαίτηση συγκεκριμένων συνθηκών)

Κλασική στατιστική

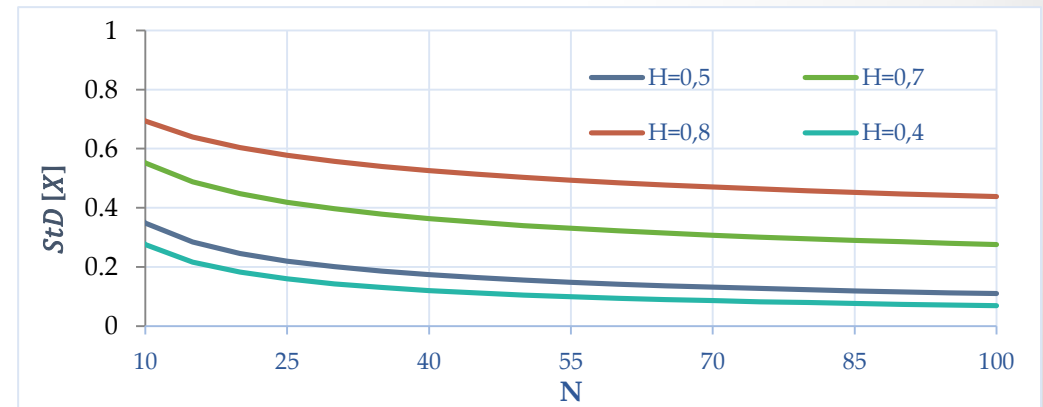
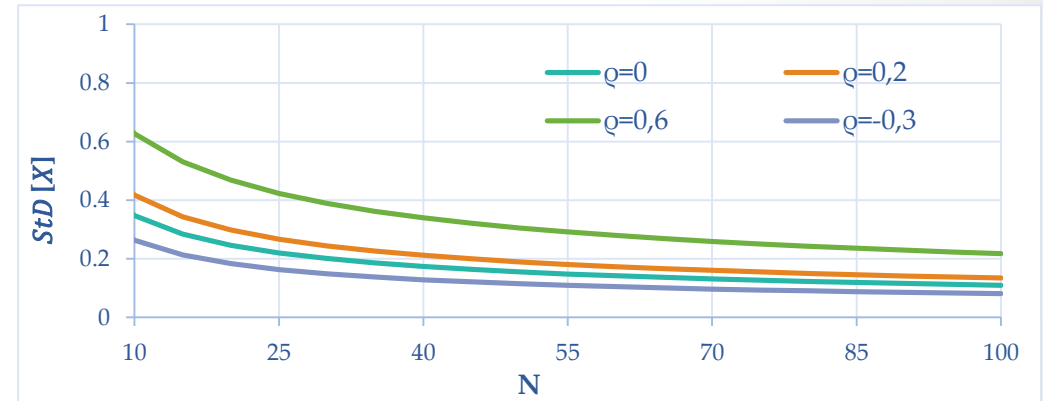
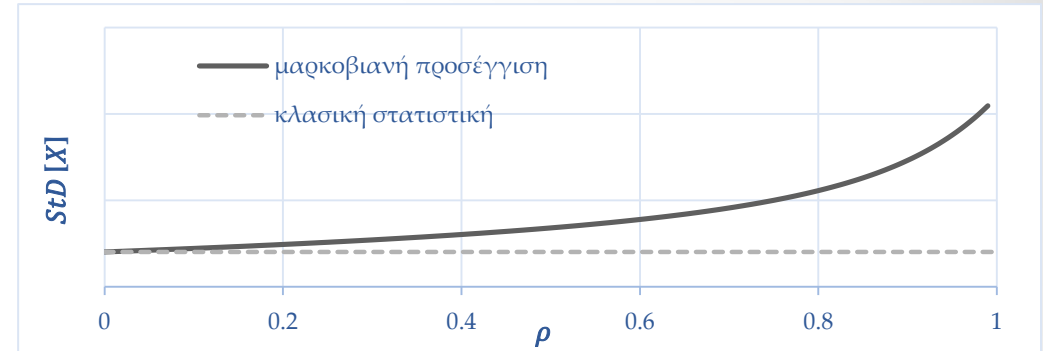
$$Std \bar{X} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Προσέγγιση Μαρκόφ

$$Std \bar{X} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{(1 - \rho^2) - 2\rho(1 - \rho^n)/n}{(1 - \rho)^2}}$$

Προσέγγιση ΗΚ

$$Std \bar{X} = \frac{\sigma}{n^{1-H}}$$



Προτεινόμενη προσέγγιση

- Στόχος:**
- «απεξάρτηση» από στατιστικά χαρακτηριστικά παρατηρημένου δείγματος
 - δημιουργία πλήθους «ψευδοϊστορικών» χρονοσειρών (αναπαράγοντας στατιστικά χαρακτηριστικά ιστορικής)
 - συνθετικές χρονοσειρές μεγάλου μήκους (αναπαράγοντας στατιστικά ψευδοϊστορικών)

- Υλοποίηση:**
- Ανάπτυξη κώδικα σε γλώσσα R
 - Χρήση *CastaliaR* (Ι.Τσουκαλάς & Π.Κοσσιέρης)

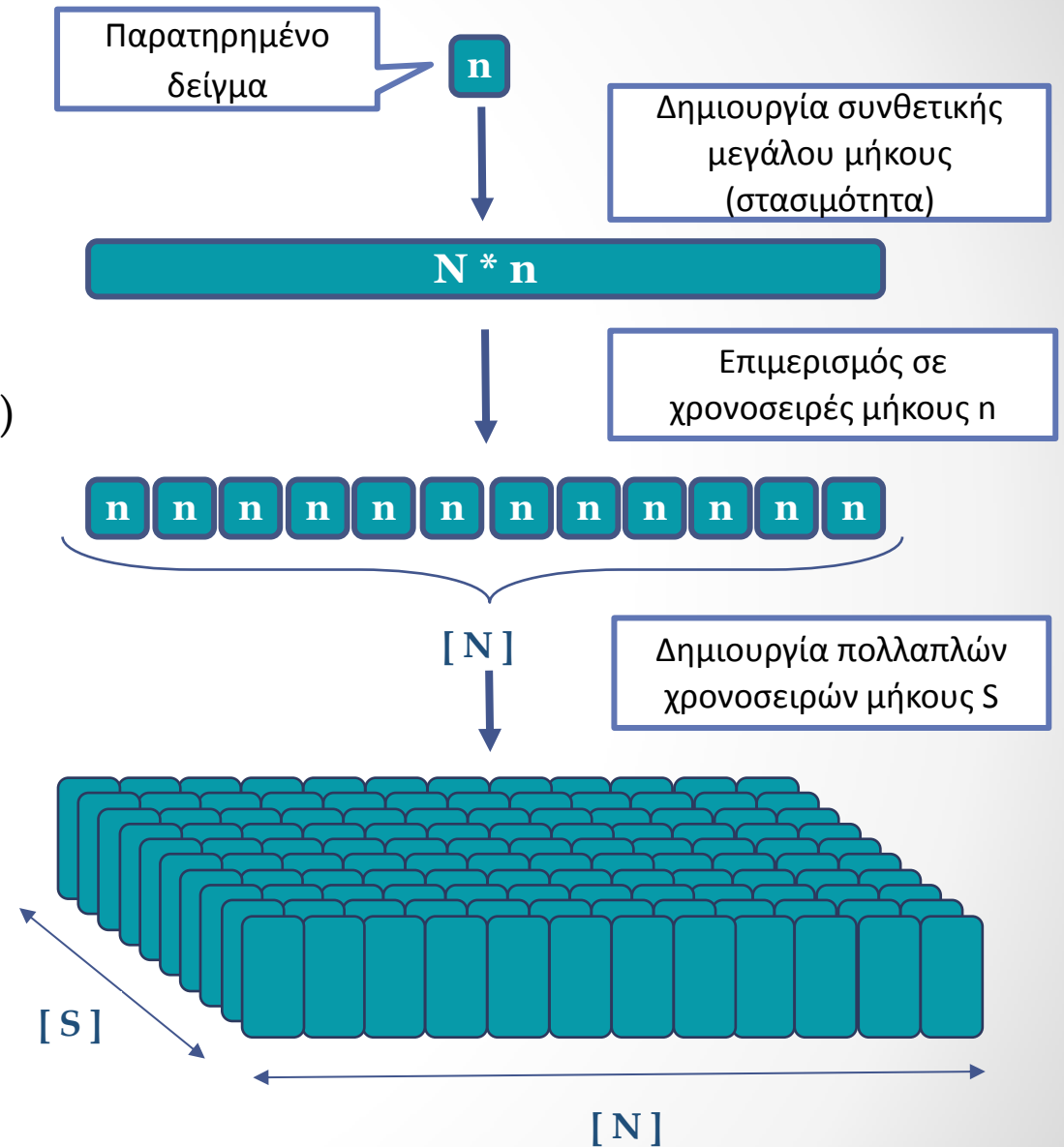
Εφαρμογή: Σε χρονοσειρά απορροής του Αχελώου, στα Κρεμαστά, με μήκος $n = 28$ έτη

$N = 100$ M-C αναλύσεις

$S = 1000$ έτη

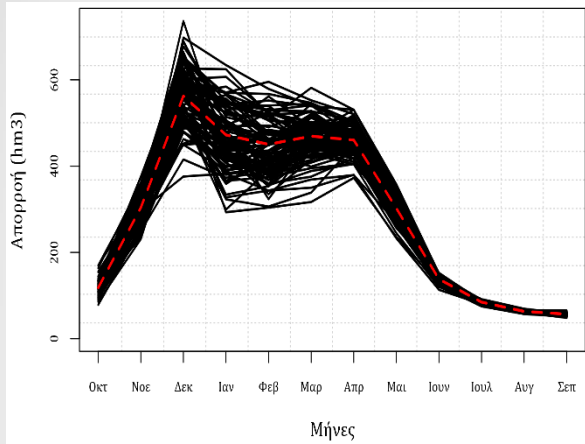
Διερεύνηση:

- επίδρασης μήκους δείγματος ($n = 28$, $n = 20$ και $n = 50$ έτη)
- επίδρασης υδρολογικής εμμονής ($H = 0.5$, $H = 0.7$ και $H = 0.9$)

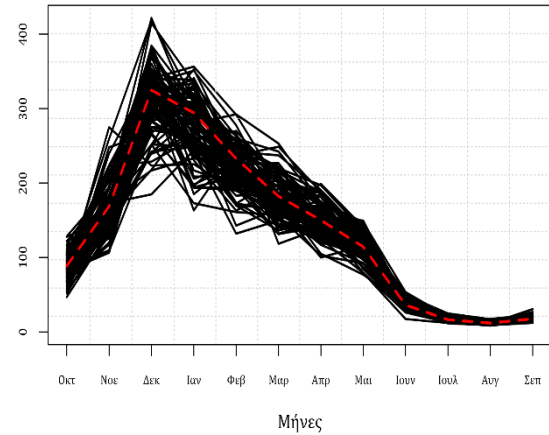


Αποτελέσματα Αναλύσεων (n=28 έτη , H= 0.7)

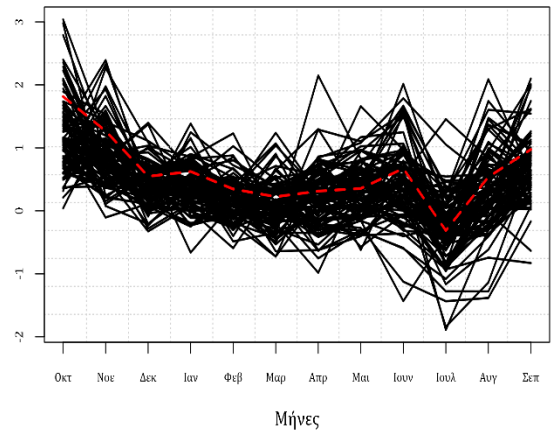
Μέση τιμή



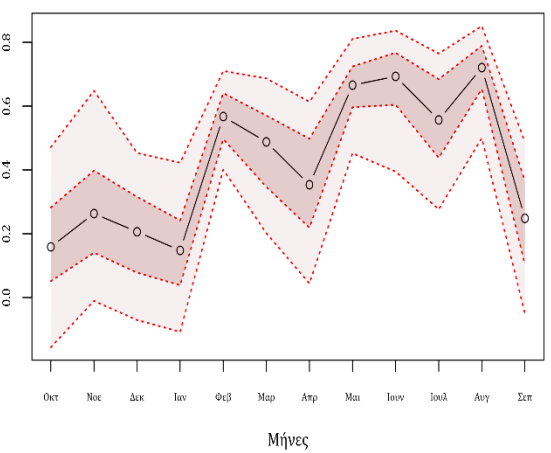
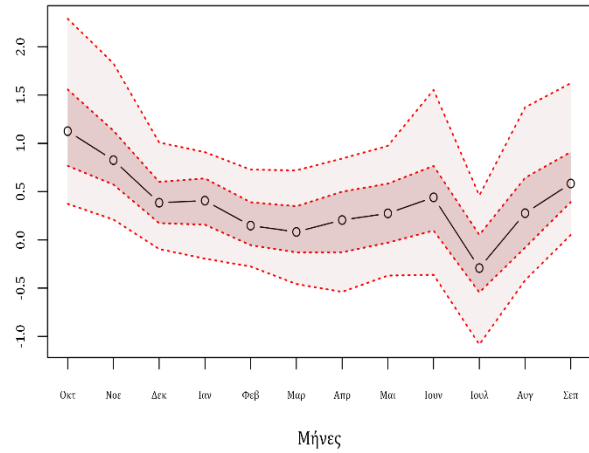
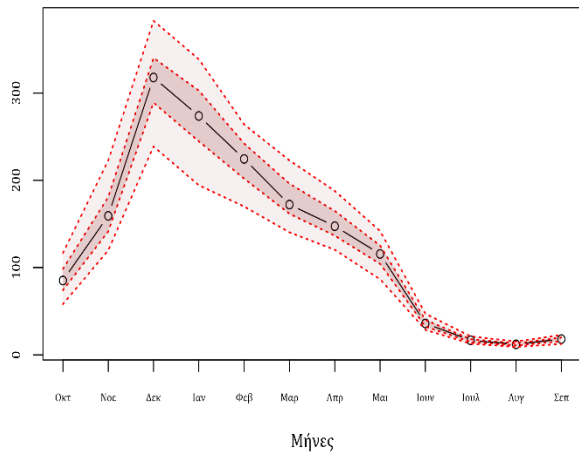
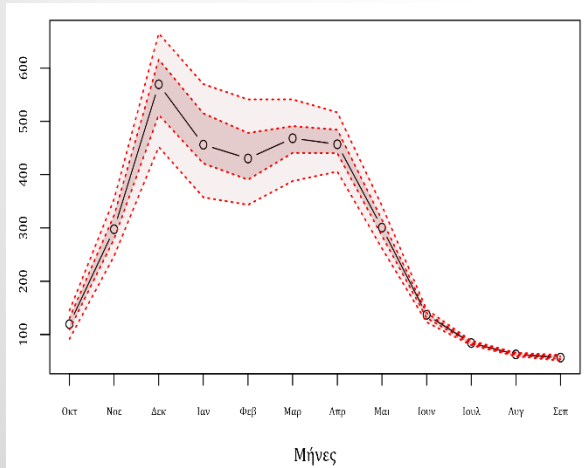
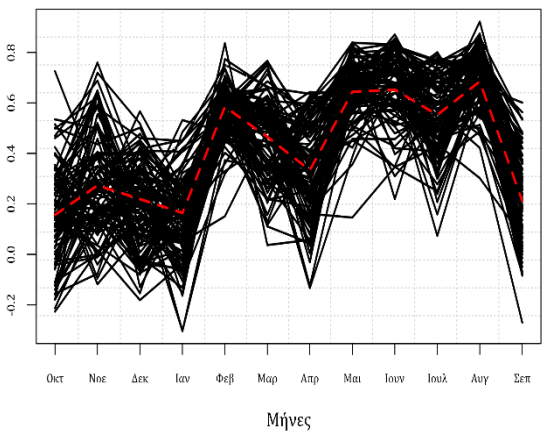
Τυπική απόκλιση



Συντελεστής ασυμμετρίας



Συντελεστής αυτοσυσχέτισης



Συμπεράσματα - Αβεβαιότητα δειγματικής μέσης τιμής

H=0.5

$n=28$	Τυπική Απόκλιση	ρ_1	Κλασική (σ/\sqrt{n})	Stdev[X]
Οκτώβριος	84,12	0,20	15,90	17,36
Φεβρουάριος	225,54	0,57	42,62	58,54

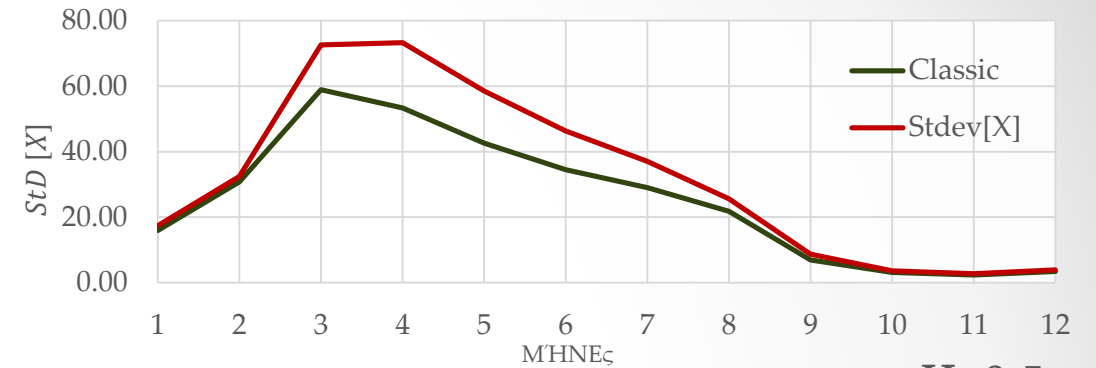
H=0.7

Οκτώβριος	86,41	0,16	16,33	18,13
Φεβρουάριος	216,25	0,56	40,87	65,30

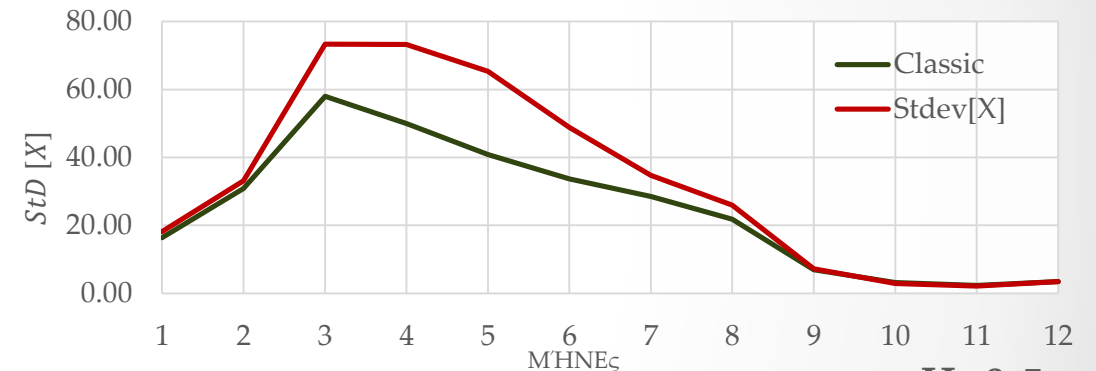
H=0.9

Οκτώβριος	83,22	0,16	15,73	22,33
Φεβρουάριος	206,93	0,53	39,11	95,14

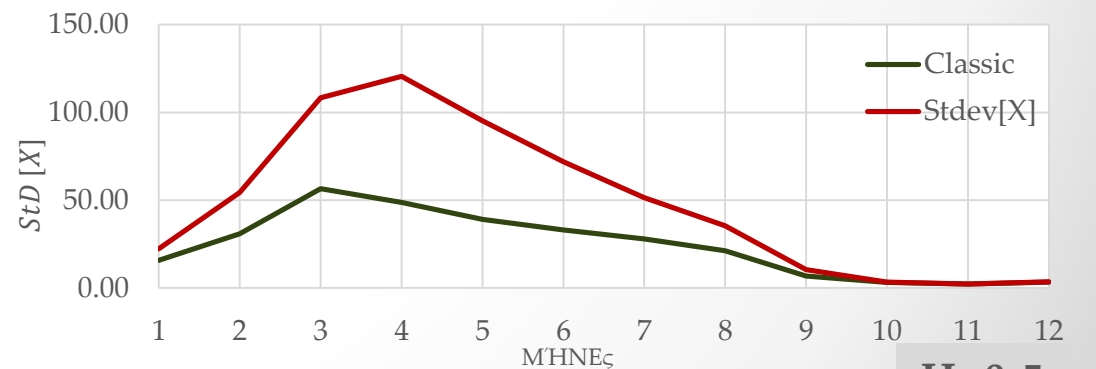
- Η τυπική σχέση για την αβεβαιότητα της δειγματικής μέσης τιμής επαληθεύεται μόνο για μικρούς συντελεστές αυτοσυσχέτισης και Hurst (H=0.5).
- Εντοπίζονται μεγάλες αποκλίσεις όσο αυξάνει ο συντελεστής Hurst.



H=0.5

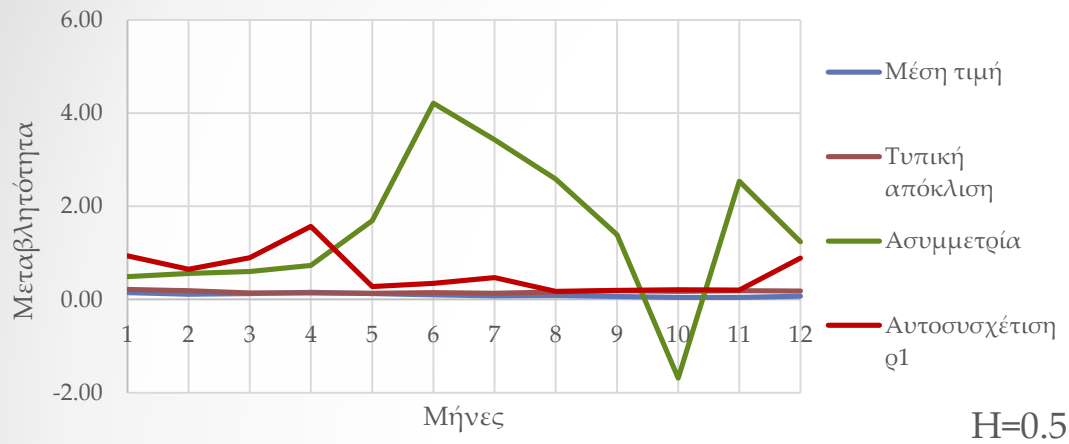


H=0.5

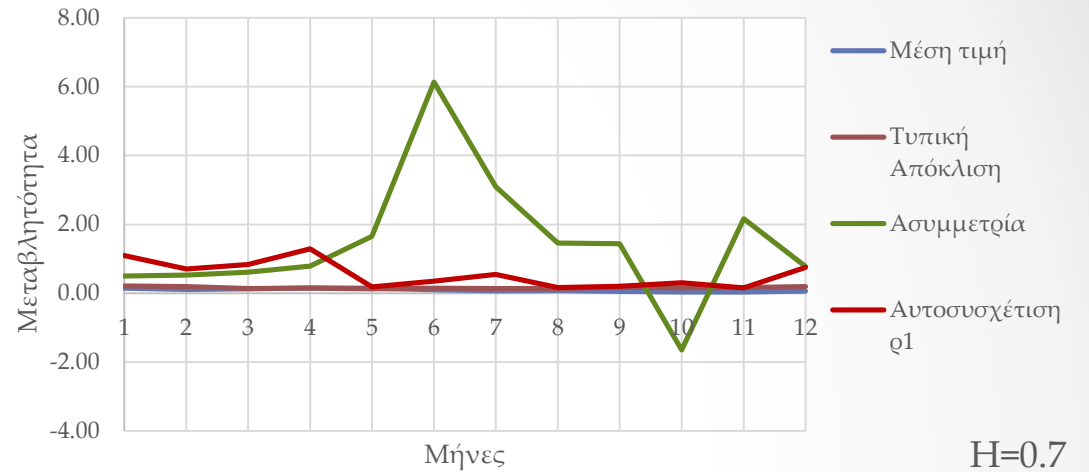


H=0.5

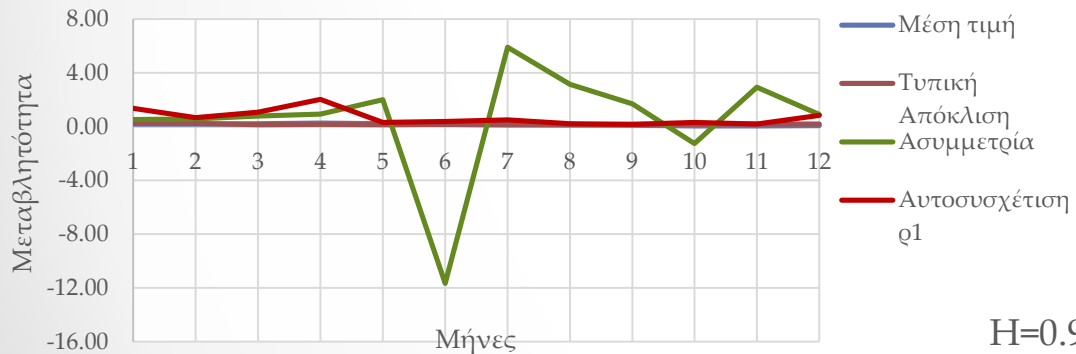
Συμπεράσματα – Μεταβλητότητα στατιστικών χαρακτηριστικών



H=0.5



H=0.7



H=0.9

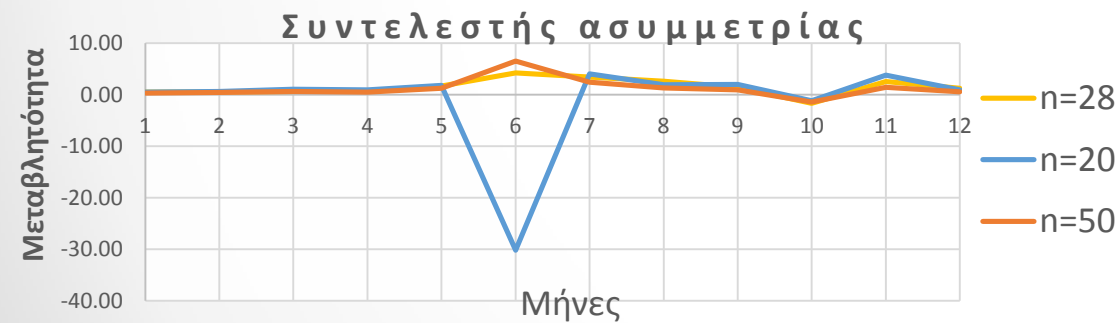
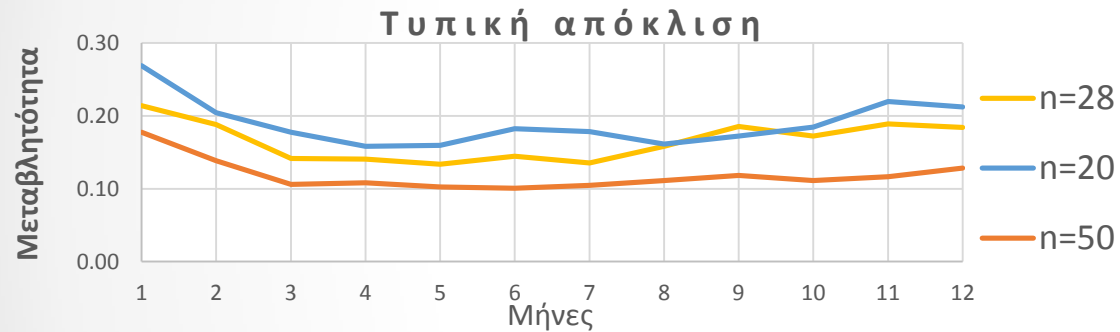
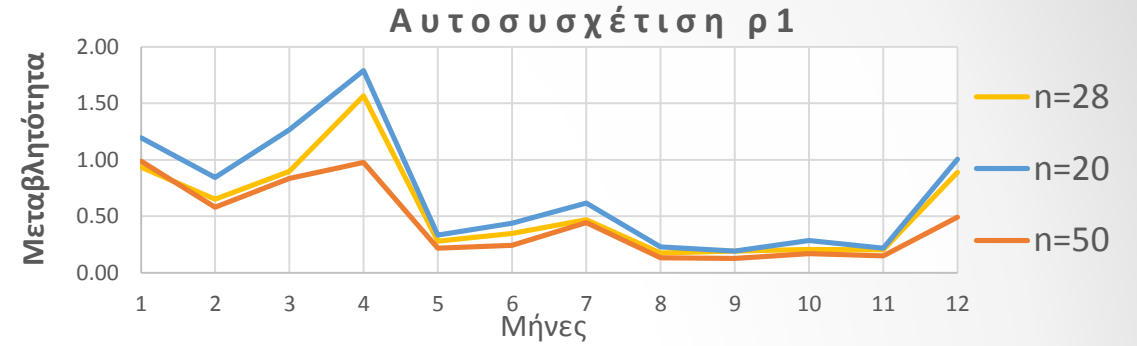
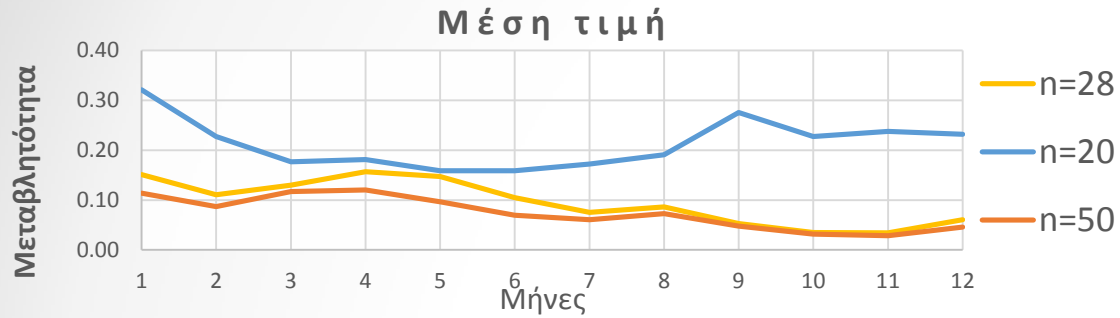
Διαφορετική συμπεριφορά για κάθε στατιστικό μέγεθος:

- Η μεταβλητότητα της τυπικής απόκλισης και του συντελεστή αυτοσυσχέτισης, εν μέρει, είναι αντίστοιχη της μέσης τιμής.
- Η μεταβλητότητα του συντελεστή ασυμμετρίας είναι ιδιαίτερα υψηλή

Προβληματισμός για καταλληλότητα αναπαραγωγής δειγματικών ασυμμετριών σε συνθετικές χρονοσειρές

$$Cv = \frac{\sigma}{\mu}$$

Συμπεράσματα – Επίδραση μήκους στη μεταβλητότητα



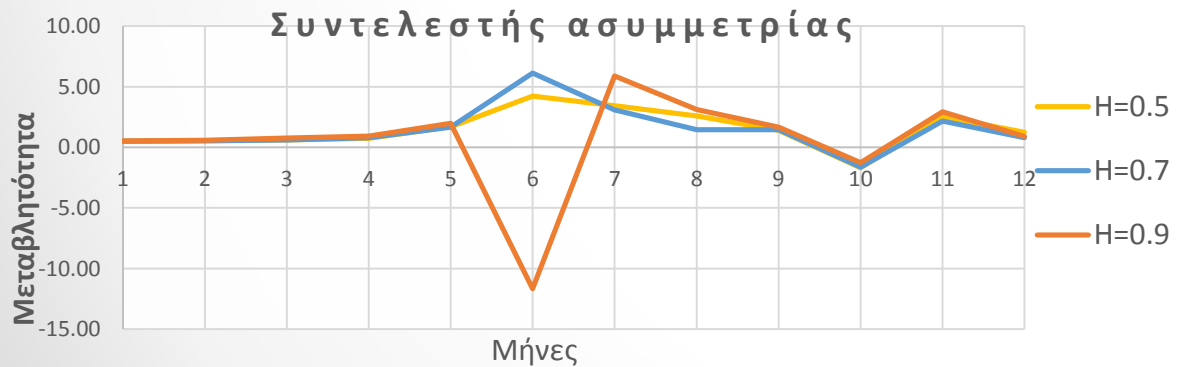
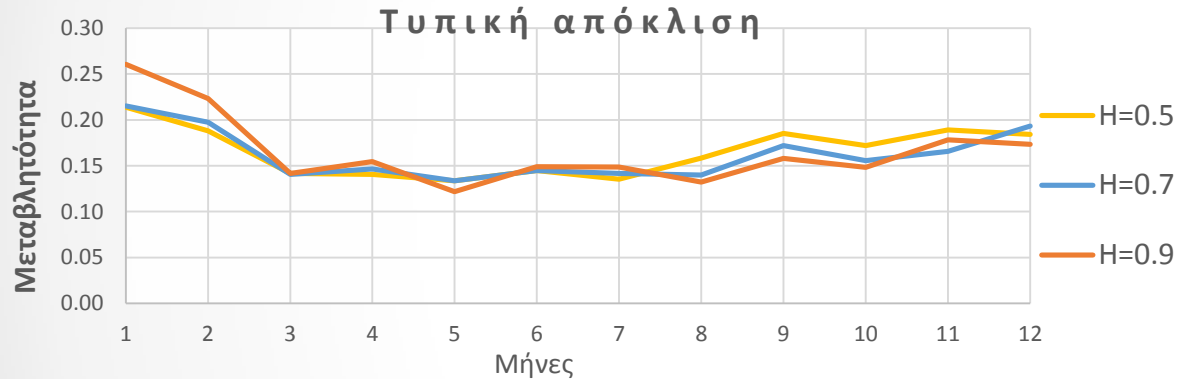
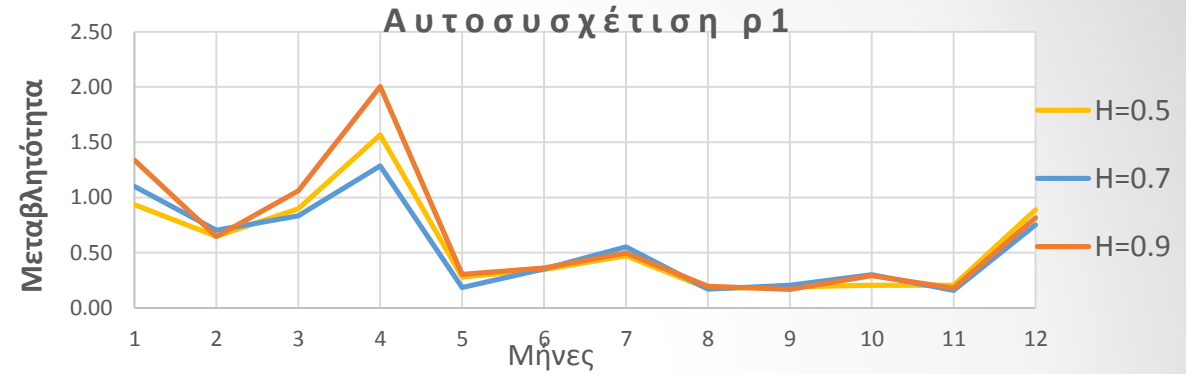
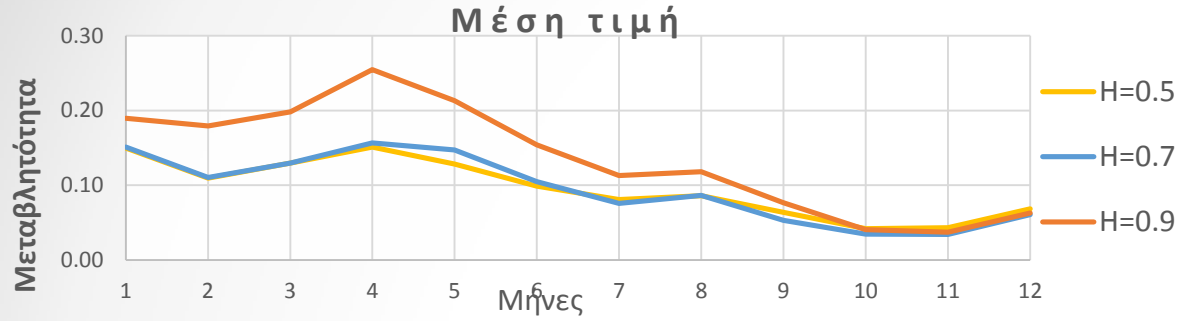
Άυξηση μήκους δείγματος



Μείωση συντελεστή μεταβλητότητας

(αναμενόμενο)

Συμπεράσματα – Επίδραση εμμοής στη μεταβλητότητα



Άυξηση συντελεστή Hurst



Τάση αύξησης συντελεστή μεταβλητότητας

Επίδραση δειγματοληπτικής αβεβαιότητας στο σχεδιασμό

Βασικό εργαλείο : Σχέση Χωρητικότητας – Απόληψης – Αξιοπιστίας (ΧΑΑ)

- συνοψίζει τα χαρακτηριστικά ενός ταμιευτήρα
- απαραίτητη σε μελέτες σχεδιασμού (ζητούμενο η χωρητικότητα K)
- απαραίτητη σε μελέτες διαχείρισης (ζητούμενο η ασφαλής απόληψη D ή η αξιοπιστία)

Τοποθέτηση προβλήματος:

Υπολογισμός απαιτούμενης χωρητικότητας ταμιευτήρα για την ικανοποίηση υδατικών αναγκών D με αξιοπιστία α , βάσει ιστορικών παρατηρήσεων απορροής σε μια λεκάνη απορροής

Παραδοχές :

- Σταθερή ζήτηση D
- Μέγιστη ετήσια ζήτηση δεν ξεπερνά τη μέση ετήσια απορροή
- Η αξιοπιστία υπολογίζεται σε ετήσια βάση

Δεν έχει νόημα θέσπιση υψηλότερης τιμής αφού θα οδηγεί σε μη απόδεκτες αστοχίες

Μεθοδολογία Επίλυσης

Βήμα 1^ο : Κατάστρωση Σεναρίων Ζήτησης

Έγιναν αναλύσεις για δώδεκα σενάρια, υπολογισμένα ως ποσοστά της μέγιστης ζήτησης (μέση ετήσια απορροή).

Συγκεκριμένα:

100 %	91.87 %	83.74 %	75.61 %
67.48 %	59.35 %	51.22 %	43.09%
34.96 %	26.83%	18.7 %	10.57%

Σενάρια Αξιοπιστίας

Έγιναν επιλύσεις για πέντε επίπεδα αξιοπιστίας

80%	85%	90%	95%	99%
-----	-----	-----	-----	-----

Βήμα 2^ο : Ισοζύγιο ταμιευτήρα

Απλό ισοζύγιο εισροών / εκροών

Αγνοήθηκαν εξατμίσεις και άλλες απώλειες

Υλοποίηση:

Ανάπτυξη κώδικα σε γλώσσα R

Εφαρμογή:

Στις χρονοσειρές που δημιουργήθηκαν με την νέα προσέγγιση, βασισμένες στα στατιστικά χαρακτηριστικά του Αχελώου (Κρεμαστά)

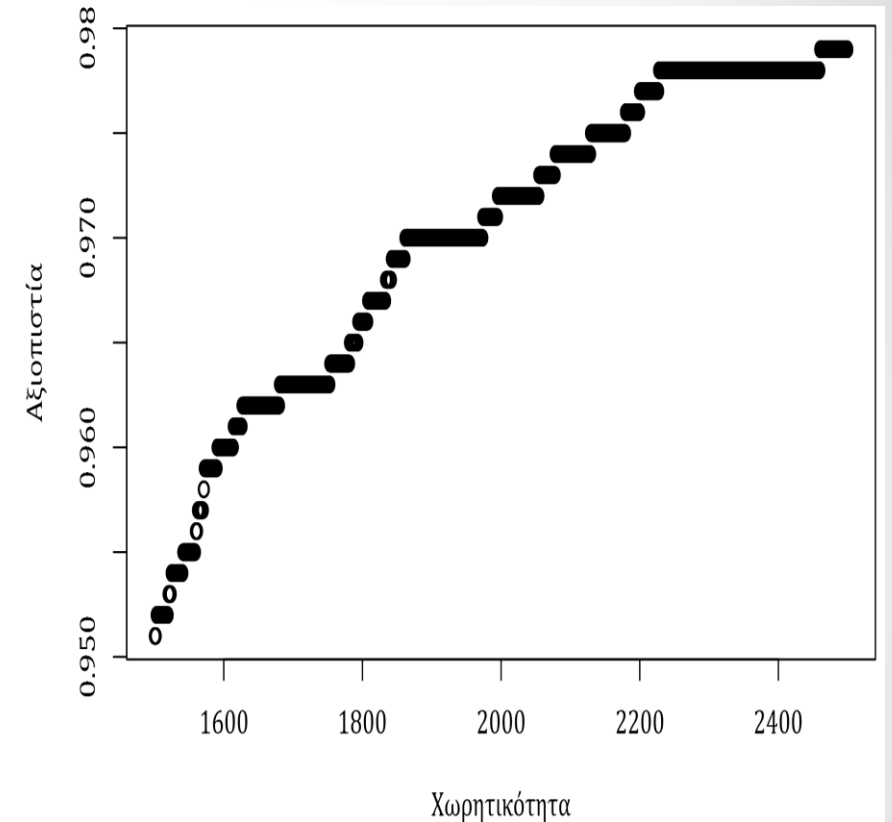
Μεθοδολογία Επίλυσης – το Πρόβλημα της Βελτιστοποίησης

~~Βήμα 3^ο~~ : Επιδιώκεται η εύρεση «βέλτιστης» χωρητικότητας με τη χρήση έτοιμων αλγορίθμων που προσφέρονται ως λογισμικά πακέτα της R.

Ωστόσο, τα αποτελέσματα που προέκυπταν ήταν ασύμβατα με τη λογική. Η απαίτηση να οριστεί ανώτατο όριο για τη βελτιστοποίηση, οδήγησε σε τεράστιους όγκους ακόμη και για πολύ μικρές ζητήσεις

Το πρόβλημα φαίνεται να οφείλεται στη μη συνεχή μορφή της καμπύλης ΧΑΑ, που έκανε τον αλγόριθμο να «εγκλωβίζεται» σε μη βέλτιστες λύσεις.

- ✓ Βήμα 3^ο :
- Κατάρτιση ολόκληρης της καμπύλης ΧΑΑ.
 - Γίνονται 1000 επιμερισμοί στην καμπύλη, αποδεχόμενοι αυτή την ακρίβεια
 - Ως άνω όριο ορίζεται η χωρητικότητα τετραπλάσια της ετήσιας απορροής της λεκάνης

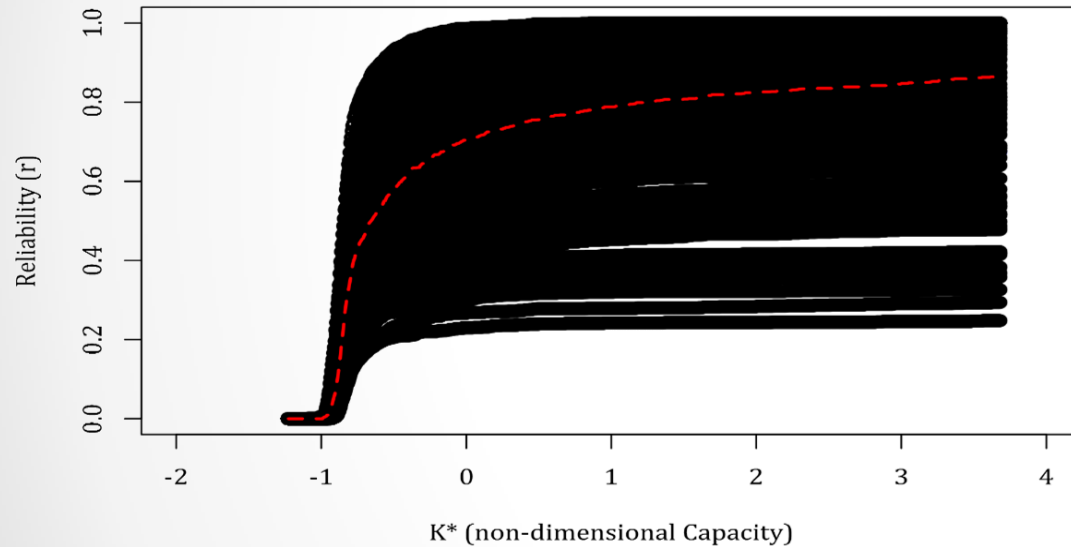


Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Επίδραση ζήτησης

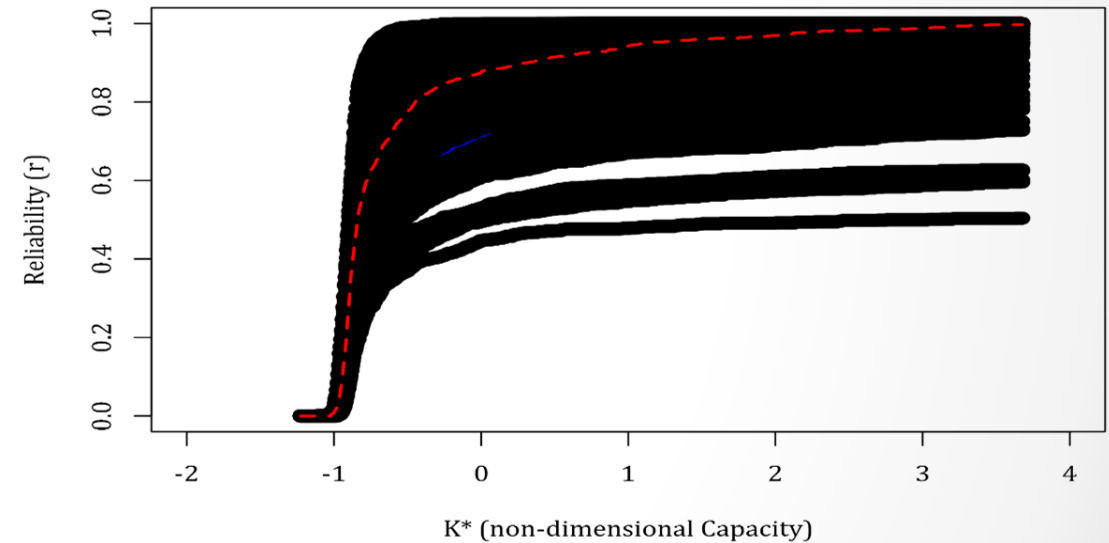
(1)

Η αβεβαιότητα της εκτίμησης της ωφέλιμης χωρητικότητας του ταμιευτήρα μεγιστοποιείται για ετήσια ζήτηση που προσεγγίζει τη μέση ετήσια απορροή και υψηλά επιθυμητά επίπεδα αξιοπιστίας (95-99%)

Reliability-Capacity Curves
(100 %)



Reliability-Capacity Curves
(91.87 %)

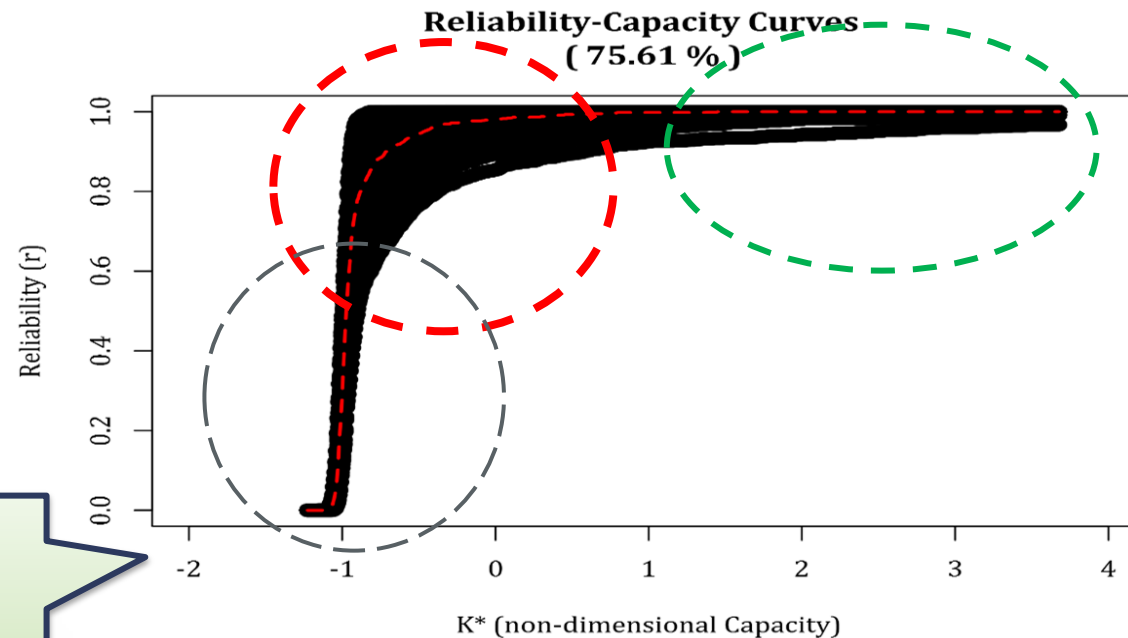


Εντυπωσιακά μεγάλο εύρος
μεταξύ ορίου 5 % - 95 % της
απαιτούμενης χωρητικότητας

Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Επίδραση χωρητικότητας

(2)

- Ταμιευτήρες με χωρητικότητα αρκετά μεγαλύτερη της μέσης ετήσιας απορροής επιτυγχάνουν πολύ υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας για οποιαδήποτε ζήτηση, με πολύ μικρή αβεβαιότητα ως προς την εκτίμηση της αξιοπιστίας.
- Σημαντική αύξηση στις εκτιμήσεις της αξιοπιστίας, όταν η χωρητικότητα κυμαίνεται γύρω από τα επίπεδα της μέσης ετήσιας απορροής, ακόμη και για μικρές ζητήσεις.



αδιαστατοποιημένος

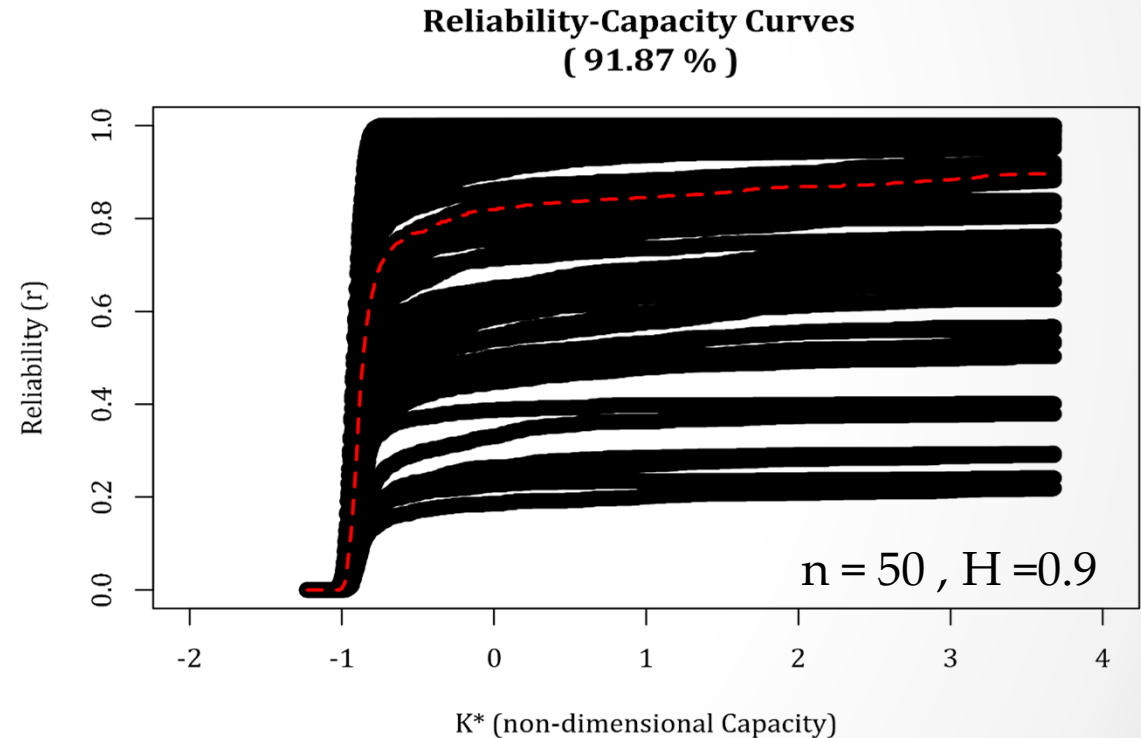
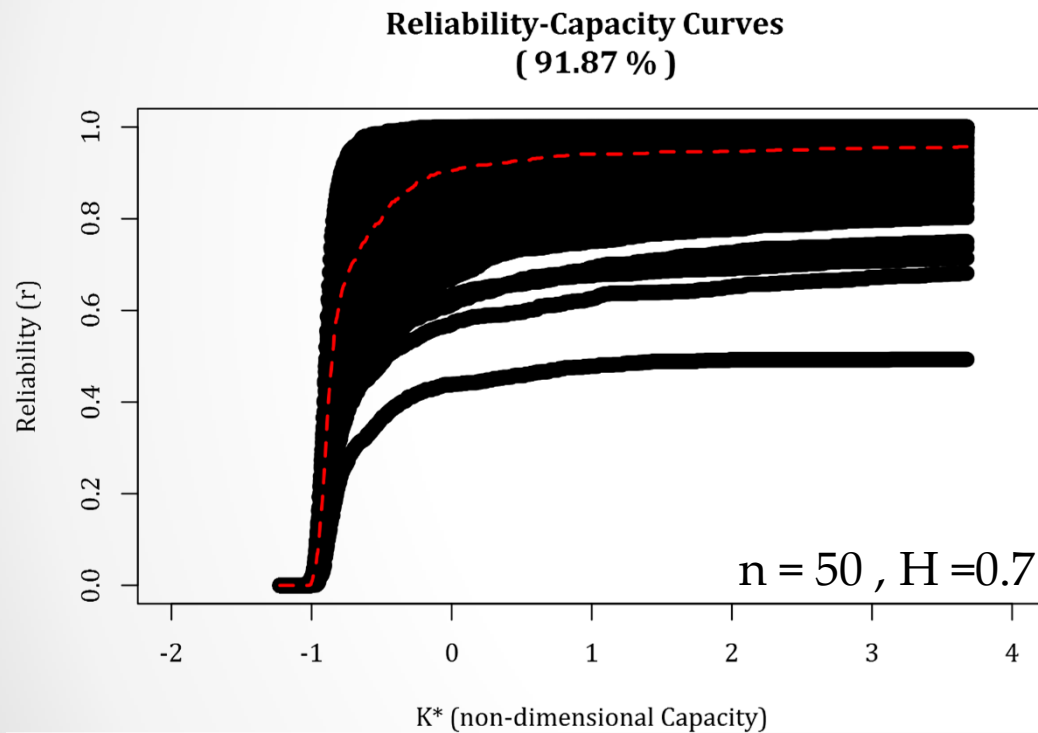
άξονας

$$K^* = \frac{K - \mu}{\sigma}$$

Για πολύ μικρές χωρητικότητας, υπάρχει απότομη μείωση της αξιοπιστίας, σε μη αποδεκτά επίπεδα

Σχολιασμός αποτελεσμάτων – Επιδόσεις κλασικής προσέγγισης (3)

Η κλασική στοχαστική προσέγγιση δίνει αρκετά συντηρητικές εκτιμήσεις, αρκετά πάνω από το μέσο σενάριο. Ωστόσο, όσο αυξάνει ο συντελεστής Hurst, η απόκλιση από το μέσο σενάριο μειώνεται.



Ανακεφαλαίωση – Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

Εγγενείς αβεβαιότητες δείγματος , σημαντικό πεδίο έρευνας με σημαντική επίδραση στις παραγόμενες συνθετικές χρονοσειρές και τελικά στο σχεδιασμό ταμιευτήρων.

1. Οι θεωρητικές εκτιμήσεις της αβεβαιότητας περιορίζονται σε κάποιες ειδικές περιπτώσεις
2. Η τυπική σχέση για την αβεβαιότητα της δειγματικής μέσης τιμής επαληθεύεται μόνο στην περίπτωση μικρών συντελεστών αυτοσυσχέτισης και Hurst
3. Η μεταβλητότητα του συντελεστή ασυμμετρίας είναι υψηλή, καθιστώντας προβληματική την υπόθεση αναπαραγωγής της σε συνθετικές χρονοσειρές
4. Η αβεβαιότητα εκτίμησης της ωφέλιμης χωρητικότητας μεγιστοποιείται όταν επιδιώκεται πλήρης εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης, με πολύ υψηλή αξιοπιστία (95-99%)
5. Χωρητικότητα αρκετά μεγαλύτερη της μέσης ετήσιας απορροής, επιτυγχάνει μεγάλη αξιοπιστία, με μικρή αβεβαιότητα. Όταν η χωρητικότητα κυμαίνεται γύρω από τα επίπεδα της μέσης ετήσιας απορροής, η αβεβαιότητα στις εκτιμήσεις αυξάνει αισθητά.
6. Η κλασική στοχαστική προσέγγιση δίνει αρκετά συντηρητικές εκτιμήσεις, αρκετά πάνω από το μέσο σενάριο. Με αύξηση του συντελεστή Hurst, η απόκλιση από το μέσο σενάριο μειώνεται.

Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

- Επέκταση σε συσχετισμένες μεταβλητές και μικρές χρονικές κλίμακες ή κλίμακες με ιδιαιτερότητες (π.χ. διαλείπουσα συμπεριφορά και οι πολύ μεγάλες ασυμμετρίες)
- Εφαρμογή αντίστοιχης μεθοδολογίας σε άλλες λεκάνες, ώστε να αποτυπωθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, αλλά και σε άλλες υδρομετεωρολογικές διεργασίες.
- Εφαρμογή της προτεινόμενης προσέγγισης σε κάποιο επιχειρησιακό διαχειριστικό πρόβλημα, δηλαδή σε κλίμακα υδροσυστήματος, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της δειγματικής αβεβαιότητας των δεδομένων εισόδου στις διάφορες διεργασίες του υδροσυστήματος.

Ευχαριστώ πολύ για
την προσοχή σας!