

ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εισαγωγή

Αντικείμενο αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης του βέλους του χρόνου στα στοχαστικά μοντέλα μικρής χρονικής κλίμακας.

Η εργασία αυτή έχει επηρεαστεί από την πρόσφατη μελέτη του Δ. Κουτσογιάννη (2019): «Το βέλος του χρόνου στο στοχαστικό χαρακτηρισμό και την προσομοίωση των ατμοσφαιρικών και υδρολογικών διεργασιών». Στην αρχή της διπλωματικής γίνεται μια προσπάθεια παρουσίασης μέρους του επιστημονικού πλαισίου που αποτελεί τη βάση της πρόσφατης μελέτης. Συγχρόνως συζητείται και άλλη σχετική βιβλιογραφία. Αυτό γίνεται για να επισημανθεί η σημασία και η χρησιμότητα των μετέπειτα αποτελεσμάτων

Πραγματικές χρονοσειρές από μεγάλη βάση δεδομένων χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της μη αντιστρεψιμότητας σε ωριαία κλίμακα. Χρησιμοποιούνται χρονοσειρές απορροής μέχρι και την εκατοστή συναθροισμένη κλίμακα.

Σε αυτή τη μελέτη γίνεται μια τροποποίηση της υπάρχουσας μεθόδου, η οποία διατηρεί τη μη αντιστρεψιμότητα μόνο στην πρώτη κλίμακα και την καθιστά ικανή να διατηρεί την μη αντιστρεψιμότητα στην πρώτη και στη δεύτερη κλίμακα ταυτόχρονα. Στο τέλος, η βασική μέθοδος και η τροποποιημένη επαληθεύονται από φυσικά δεδομένα.

Αβεβαιότητα, αξιοπιστία και μέθοδοι Monte Carlo στα υδροσυστήματα

Στο πλαίσιο της παραγωγής υδρολογικών μοντέλων, η αβεβαιότητα είναι ένας τεράστιος παράγοντας. Γύρω από αυτόν τον όρο υπάρχουν πολλές παρανοήσεις. Επίσης πολλές φορές δεν λαμβάνεται υπόψη και το αποτέλεσμα είναι δαπανηρό.

Στην πραγματικότητα οι ντετερμινιστικοί νόμοι και η τυχαιότητα συνυπάρχουν και πρέπει να αντιμετωπίζονται και να μοντελοποιούνται με ολιστικό τρόπο. Το αν μια διεργασία είναι πιο στοχαστική ή ντετερμινιστική είναι μόνο ζήτημα χρονικού ορίζοντα.

Η πηγές της αβεβαιότητας στα υδροσυστήματα μπορεί να είναι (Μακρόπουλος και Ευστρατιάδης, 2018):

1. Απλοϊκές παραδοχές μοντέλου για κρίσιμες διεργασίες του συστήματος (σφάλματα δομικών μοντέλων - δομική αβεβαιότητα). Αυτό συμβαίνει όταν λαμβάνουμε υπόψη λιγότερους κανόνες από ότι στην πραγματικότητα υπάρχουν.
2. Ευαισθησία στις αρχικές και οριακές συνθήκες (χαοτικά συστήματα). Όπως και

στο προηγούμενο σχήμα.

3. Ανεπαρκής γνώση των κρίσιμων παραμέτρων του συστήματος.
4. Στοχαστική φύση και χωροχρονική μεταβλητότητα των υδρομετεωρολογικών διαδικασιών (π.χ. βροχή, εξάτμιση, απορροή, άνεμος).
5. Σφάλματα μέτρησης και ανακρίβειες.
6. Αλλαγή συστήματος με την πάροδο του χρόνου (λόγω εξωτερικών παραγόντων).
7. Αλλαγές στις αποφάσεις / πολιτικές και ως εκ τούτου στα μέτρα απόδοσης.

Ο βασικός στόχος της ανάλυσης αβεβαιότητας είναι να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά αβεβαιότητας της εξόδου του συστήματος ως συνάρτηση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με το ίδιο το μοντέλο συστήματος και τις στοχαστικές παραμέτρους του. Η ανάλυση αβεβαιότητας παρέχει μια επίσημη και μεθοδική δομή για τη μέτρηση της αβεβαιότητας του συστήματος. Επιπλέον, παρέχει πληροφορίες για τη συμβολή κάθε στοχαστικής βασικής παραμέτρου στη συνολική αβεβαιότητα των εξόδων του συστήματος. Οι πληροφορίες αυτές είναι απαραίτητες και μπορούν να οδηγήσουν στον εντοπισμό των παραμέτρων που παίζουν σημαντικότερο ρόλο στην αβεβαιότητα. Η εκτίμησή τους θα οδηγήσει στη μείωση της συνολικής αβεβαιότητας του συστήματος (Tung and Yen, 2005).

Στη συνέχεια γίνεται μία εισαγωγή στις πιθανότητες και τη στατιστική. Δίνονται τα βασικά αξιώματα και ορισμοί.

Ο ορισμός μιας στοχαστικής ανέλιξης $\{X(t), t \in T\}$ είναι ότι είναι "μια οικογένεια τυχαίων μεταβλητών" (Κουτσογιάννης, 1997). Δηλαδή, για κάθε $t \in T, X(t)$ είναι μια τυχαία μεταβλητή. Αναφερόμαστε στο $X(t)$ ως την κατάσταση της ανέλιξης κατά το χρόνο t εάν ο δείκτης t παριστάνει το χρόνο. Οι στοχαστικές ανελίξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν τη χρονική εξέλιξη ή τις χωρικές σχέσεις τυχαίων μεταβλητών

Οι υδρολογικές μεταβλητές μπορούν να θεωρηθούν στοχαστικές ανελίξεις (Κουτσογιάννης, 1997). Το γεγονός ότι μια φυσική διεργασία θεωρείται στοχαστική ανέλιξη δεν σημαίνει ότι δεν έχει καθοριστικό ρόλο. Είναι γνωστό ότι πολλές υδρολογικές διεργασίες παρουσιάζουν ετήσια ντετερμινιστική μεταβλητότητα π.χ. απορροής. Αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να θεωρηθεί ως τυχαία μεταβλητότητα που συμβαίνει σε διάφορες χρονικές κλίμακες. Το στοχαστικό μέρος της διαδικασίας δεν είναι εντελώς τυχαίο, έχει στοχαστική δομή ή στοχαστική μνήμη.

Στη συνέχεια αναπτύσσεται η έννοια των υδροσυστημάτων καθώς και θέματα διαχείρισης τους και ποσοτικοποίησης της αξιοπιστίας.

Ένα υδροσύστημα είναι ένα σύστημα που αποτελείται από φυσικά υδάτινα σώματα και τεχνικά έργα που συνεργάζονται για την εξυπηρέτηση ενός ή περισσότερων σκοπών, τα οποία αναφέρονται τόσο στην εκμετάλλευση του νερού ως φυσικού πόρου όσο και στην προστασία από την καταστροφική του δράση ως φυσικό κίνδυνο (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 2014).

Η διακινδύνευση ορίζεται ως η πιθανότητα αδυναμίας επίτευξης του στόχου. Η αξιοπιστία ορίζεται μαθηματικά ως συμπλήρωμα της διακινδύνευσης. Η μαθηματική ανάλυση της διακινδύνευσης και της αξιοπιστίας ορίζεται ως ανάλυση αξιοπιστίας.

Εάν το X αντιπροσωπεύει τη μέγιστη τιμή της φυσικής διεργασίας σε ετήσια βάση

(π.χ. μέγιστη ετήσια πλημμύρα) και n είναι η διάρκεια ζωής του έργου, τότε το γεγονός $\{L \leq C\}$ ισούται με τις διαδοχικές εμφανίσεις του συμβάντος $\{X \leq C\}$. Προκειμένου να μην υπερβεί η τιμή c καθ' όλη τη διάρκεια του έργου, δεν θα πρέπει να υπάρχει υπέρβαση σε όλα τα έτη της διάρκειας αυτής. Θεωρώντας ότι οι πλημμύρες διαδοχικών ετών είναι στοχαστικά ανεξάρτητες, η διακινδύνευση δίνεται από (Κουτσογιάννης, 1997):

$$R = 1 - [P(X \leq C)]^n = 1 - [F_X(C)]^n \quad (\text{ΕΠ.1})$$

Η στοχαστική συμπεριφορά ενός μηχανικού συστήματος είναι απαραίτητη εάν αποδεχτούμε ότι τα θέματα αβεβαιότητας είναι σημαντικά και πρέπει να τα διαχειριστούμε. Η πραγματική κατανομή της απόκρισης του συστήματος που υπόκειται στην αβεβαιότητα των παραμέτρων είναι πολλές φορές δύσκολη ή και αδύνατη να υπολογιστεί. Αυτό οφείλεται στην πολυπλοκότητα των υδροσυστημάτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η προσομοίωση Monte Carlo είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την παροχή αριθμητικών εκτιμήσεων των στοχαστικών χαρακτηριστικών της απόκρισης του συστήματος (Tung and Yen, 2005).

Στοχαστικά εργαλεία και μακροπρόθεσμη χρονική εξάρτηση

Εδώ εισάγονται κάποια εργαλεία που βοηθούν στη διερεύνηση της στοχαστικής δομής πραγματικών ή συνθετικών χρονοσειρών.

Το κλιμακόγραμμα ορίζεται ως η διασπορά του συναθροισμένου μέσου της διεργασίας $\underline{x}(t)$ σε κλιμακα συνάθροισης k και συμβολίζεται $\gamma(k)$. Ορίζουμε τη διεργασία $\underline{x}^{(k)}$ σε κάθε κλίμακα $k \geq 1$ ως:

$$\underline{x}_i^{(k)} := \frac{1}{k} \sum_{l=(i-1)k+1}^{ik} \underline{x}_l \quad (\text{ΕΠ.2})$$

Το φάσμα ισχύος $s(\omega)$ της στοχαστικής ανέλιξης σε διακριτο χρόνο $t = 0, 1, \dots$, με συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς $\gamma_m = \text{Cov}[x_t, x_{t+m}]$, $m = 0, \pm 1, \dots$, είναι ο αντιστροφος μετασχηματισμός Fourier της συνάρτησης αυτοσυνδιασποράς με ω στο διάστημα $[0, 1/2]$. Η επόμενη σχέση ισχύει (Κουτσογιάννης, 2013):

$$s(\omega) = 2\gamma_0 + 4 \sum_{m=1}^{\infty} \gamma_m \cos(2\pi m \omega) \quad (\text{ΕΠ.3})$$

Το κλιμακοφάσμα είναι ένα νεοεισαχθέν στοχαστικό εργαλείο. Ορίζεται από τον Κουτσογιάννη (2017):

$$\zeta(k) := \frac{k(\gamma(k) - \gamma(2k))}{\ln 2} \quad (\text{ΕΠ.4})$$

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την προσπάθεια κατανόησης των υδρολογικών διεργασιών είναι η μακροχρόνια χρονική εξάρτηση ή η εμμονή. Στην υδρολογία ο όρος αυτός είναι ισοδύναμος με τον όρο "φαινόμενο Hurst". Η μακροπρόθεσμη χρονική εξάρτηση ορίζεται από τους Everitt και Skrondal (2010) ως: "Μικρές αλλά αργά φθίνουσες συσχετίσεις σε μια στοχαστική ανελίξη. Τέτοιες συσχετίσεις συχνά δεν ανιχνεύονται με τυποποιημένα στατιστικά τεστ, αλλά το αποτέλεσμά τους μπορεί να είναι αρκετά σημαντικό." Στην υδρολογία αυτό παρατηρήθηκε αρχικά από τον Hurst. Είναι ουσιαστικά η τάση των υγρών ετών να συσσωρεύονται και να σχηματίζουν μεγαλύτερες υγρές περιόδους και τα ξηρά χρόνια σχηματίζοντας παρομοίως περιόδους ξηρασίας.

Το μοντέλο Filtered Hurst Kolmogorov (Κουτσογιάννης, 2015) είναι ένα μοντέλο που μπορεί να προσομοιώσει φυσικά φαινόμενα με μακροχρόνια εμμονή.

Το κλιμακόγραμμα της ανέλιξης δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\gamma(\Delta) = \lambda \left(1 + \left(\frac{\Delta}{\alpha} \right)^{2M} \right)^{\frac{H-1}{M}} \quad (\text{ΕΠ.5})$$

Το α και λ είναι παράμετροι κλίμακας με μονάδες $[t]$ and $[x]^2$, αντιστοίχως, H είναι η παράμετρος Hurst, στο διάστημα $(0,1)$, και M μία δεύτερη παράμετρος στο διάστημα $(0,1)$. Το H καθορίζει τις καθολικές ιδιότητες της ανέλιξης καθώς $(t \rightarrow \infty)$ και το M καθορίζει τις τοπικές ιδιότητες καθώς $(t \rightarrow 0)$.

Βέλος του χρόνου και στοχαστικές ανελίξεις

Ο όρος "βέλος του χρόνου" αναπτύχθηκε αρχικά από τον Eddington (1928) για να περιγράψει την κατεύθυνση χρόνου, η οποία μπορεί να προσδιοριστεί με τη μελέτη της οργάνωσης ατόμων, μορίων και σωμάτων. Η διαισθητική αντίληψή μας για τον χρόνο ότι κυλάει μόνο προς τα εμπρός χρόνο μπορεί να απορριφθεί ως απλώς υποκειμενική.

Η κατεύθυνση του χρόνου μπορεί να οριστεί από μια κατηγορία διαδικασιών που καταστρέφουν πληροφορίες και δημιουργούν χάος. Οι μη αναστρέψιμες διεργασίες που καταστρέφουν την μακροσκοπική πληροφορία είναι εκδηλώσεις του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν πολλές διεργασίες που είναι μη αναστρέψιμες και είναι αντιδιαμετρικά αντίθετες. Όλες αυτές οι διεργασίες έχουν κάτι κοινό παράγουν τάξη ή πληροφορία. Εκτρέπουν ένα σύστημα από μία απλή κατάσταση σε πιο σύνθετη.

Ο Weiss (1975) ορίζει μία στοχαστική ανέλιξη $\underline{x}(t)$, σε συνεχή χρόνο t , με πισστής τάξης συνάρτηση κατανομής.

$$F(x_1, x_1, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) := P\{ \underline{x}(t_1) \leq x_1, \underline{x}(t_2) \leq x_2, \dots, \underline{x}(t_n) \leq x_n \} \quad (\text{ΕΠ.6})$$

ως συμμετρική στο χρόνο αν η κοινή κατανομή δεν αλλάζει μετά από αντιστροφή του

χρόνου γύρω από την αρχή των αξόνων, δηλαδή αν για κάθε $n, t_1; t_2; \dots; t_{n-1}; t_n$,

$$F(x_1, x_1, \dots, x_n; t_1, t_2, \dots, t_n) = F(x_1, x_1, \dots, x_n; -t_1, -t_2, \dots, -t_n) \quad (\text{ΕΠ.7})$$

Η πρόσφατη μελέτη από τον Κουτσογιάννη (2019) παρέχει μία μεθοδολογία αναπαραγωγής της αντιστρεψιμότητας σε συνθετικές χρονοσειρές. Ο δείκτης αντιστρεψιμότητας ορίζεται ως ο λόγος της ασυμμετρίας της διαφορικής διεργασίας προς την ασυμμετρία της αρχικής διεργασίας.

Η μελέτη της μη αναστρεψιμότητας από τον Κουτσογιάννη (2019) δηλώνει ότι η ασυμμετρία απαιτεί τη μελέτη της τρίτης ροπής και του συντελεστή ασυμμετρίας της διεργασίας, της αρχικής αλλά και της διαφοροποιημένης. Η πρώτη ροπή (μέσος όρος) της διαφορικής διεργασίας είναι πάντα μηδενική ενώ η δεύτερη (διακύμανση) είναι πάντα θετική και έτσι καταλήγει στο συμπέρασμα ότι δεν παρέχουν ενδείξεις σχετικά με την ασυμμετρία του χρόνου. Ως εκ τούτου, η ροπή ελάχιστης τάξης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της αντιστρεψιμότητας είναι η τρίτη.

Η ασυμμετρία στις στοχαστικές ανελίξεις είναι συνώνυμη με απότομους ανοδικούς κλάδους και ομαλότερους καθοδικούς κλάδους στις δειγματοσυναρτήσεις. Το ίδιο συμβαίνει και σε ένα υδρογράφημα όταν εξετάζουμε παροχές μικρής χρονικής κλίμακας. Αυτή η συμπεριφορά γίνεται προσπάθεια να αναπαραχθεί με την έννοια της χρονικής ασυμμετρίας.

Το μοντέλο (MA) (Κουτσογιάννης, 2000),

$$\underline{x}_\tau = \sum_{i=-\infty}^{\infty} a_i \underline{v}_{\tau-i} \quad (\text{ΕΠ.8})$$

έχει την παρακάτω λύση

$$a_\eta = \int_{-1/2}^{1/2} e^{2\pi i(\theta(\omega) - \eta\omega)} A^R(\omega) d\omega \quad (\text{ΕΠ.9})$$

Όπου i είναι η φανταστική μονάδα, $\theta(\omega)$ είναι οποιαδήποτε περιττή πραγματική συνάρτηση (σημαίνει πως $\theta(-\omega) = -\theta(\omega)$) και

$$A^R(\omega) := \sqrt{2s_d(\omega)} \quad (\text{ΕΠ.10})$$

Τροποποίηση αλγορίθμου για περαιτέρω διατήρηση χρονικής ασυμμετρίας

Στην παρούσα μελέτη γίνεται προσπάθεια τροποποίησης του αλγορίθμου που πρότεινε ο Κουτσογιάννης (2019). Ο στόχος είναι να προσομοιωθούν οι χρονοσειρές που διατηρούν τη χρονική ασυμμετρία σε μεγαλύτερες κλίμακες συνάθροισης της

διεργασίας.

Για μήκος προσομοίωσης i , το AMA μοντέλο θα μπορούσε να γραφτεί επίσης ως:

$$X_i = \sum_{j=1}^{2q+1} a_{2q+2-j} V_{i+j-1} = a_{2q+1} V_i + \dots + a_1 V_{i+2q+1} \quad (\text{ΕΠ.11})$$

Η δεύτερη ροπή της αρχικής ακολουθίας σε δεύτερη κλίμακα υπολογίζεται ως:

$$M_{orig.}^{(2)} \quad (\kappa=2) = \sum_{j=1}^{2q+1} \frac{(a_{2q+1-j} + a_{2q+2-j})^2}{4} + \frac{a_{2q+1}^2}{4} \quad (\text{ΕΠ.12})$$

Η δεύτερη ροπή της διαφορικής ακολουθίας σε δεύτερη κλίμακα υπολογίζεται ως:

$$M_{differ.}^{(2)} \quad (\kappa=2) = \sum_{j=1}^{2q+1} \left[+ \frac{(a_{2q-1-j} + a_{2q-j} - a_{2q+1-j} - a_{2q+2-j})^2}{4} \right] + \frac{(a_{2q} + a_{2q-1} - a_{2q+1})^2}{4} + \frac{(a_{2q} + a_{2q+1})^2}{4} + \frac{a_{2q+1}^2}{4} \quad (\text{ΕΠ.13})$$

Η τρίτη ροπή της αρχικής ακολουθίας σε δεύτερη κλίμακα υπολογίζεται ως:

$$M_{orig.}^{(3)} \quad (\kappa=2) = \sum_{j=1}^{2q+1} \frac{(a_{2q+1-j} + a_{2q+2-j})^3}{8} + \frac{a_{2q+1}^3}{8} \quad (\text{ΕΠ.14})$$

Η τρίτη ροπή της διαφορικής ακολουθίας σε δεύτερη κλίμακα υπολογίζεται ως:

$$M_{differ.}^{(3)} \quad (\kappa=2) = \sum_{j=1}^{2q+1} \left[- \frac{(a_{2q-1-j} + a_{2q-j} - a_{2q+1-j} - a_{2q+2-j})^3}{8} \right] - \frac{(a_{2q} + a_{2q-1} - a_{2q+1})^3}{8} - \frac{(a_{2q} + a_{2q+1})^3}{8} - \frac{a_{2q+1}^3}{8} \quad (\text{ΕΠ.15})$$

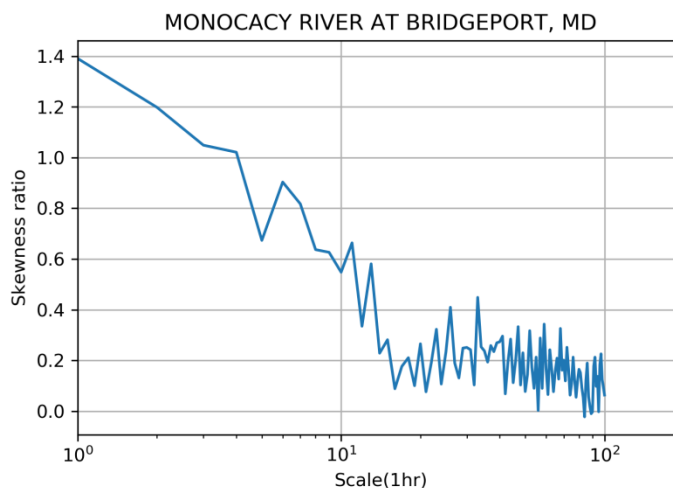
Μετά τον υπολογισμό των ροπών δειγματος, τα υπολογιστικά εργαλεία πρέπει να εξισώσουν τις ροπες του δείγματος (εμπειρικές) και τις ακολουθίας (θεωρητικές) έτσι ώστε να βρεθούν οι παράμετροι του μοντέλου. Τα εργαλεία βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται για την εύρεση των απαραίτητων παραμέτρων. Η παραμετροποίηση ακολουθεί την ίδια μεθοδολογία όπως στον Κουτσογιάννη (2019): ένας ορισμός του θ (ω) ως το ομαλό ελάχιστο των δύο υπερβολικών συναρτήσεων της συχνότητας, δηλαδή :

$$\theta(\omega) = \frac{1}{\zeta} \ln \left(e^{\zeta\theta_1(\omega)} + e^{\zeta\theta_2(1/2-\omega)} \right), \quad \theta_i(\omega) := \frac{C_{1,i}\omega}{C_{2,i} + \omega} + C_{0,i} \quad (\text{ΕΠ.16})$$

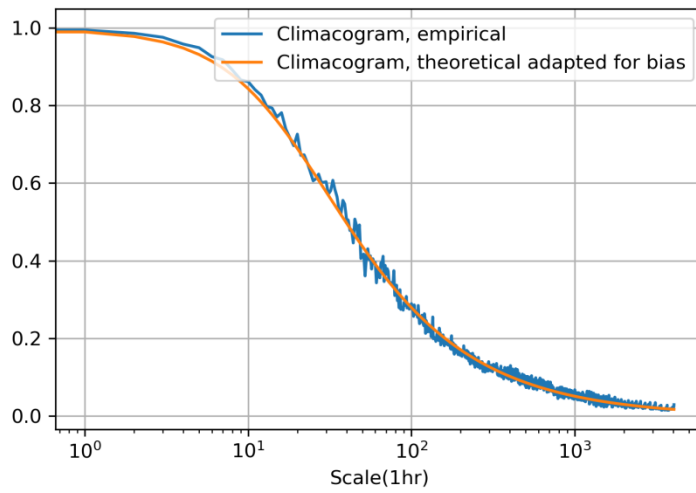
Αποτελέσματα για τη μελέτη της περίπτωσης του ποταμού Monacacy

Σε αυτό το κεφάλαιο εφαρμόζεται ένας τροποποιημένος αλγορίθμος που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο με πραγματικά δεδομένα. Αναλύεται η περίπτωση του ποταμού Monocacy από τη βάση δεδομένων USGS. Στην πρώτη περίπτωση γίνονται προσομοιώσεις με διατήρηση της χρονικής ασυμμετρίας στην πρώτη κλίμακα (Σχήμα 8). Στη δεύτερη περίπτωση γίνονται προσομοιώσεις με διατήρηση στις δύο πρώτες κλίμακες (Σχήμα 9).

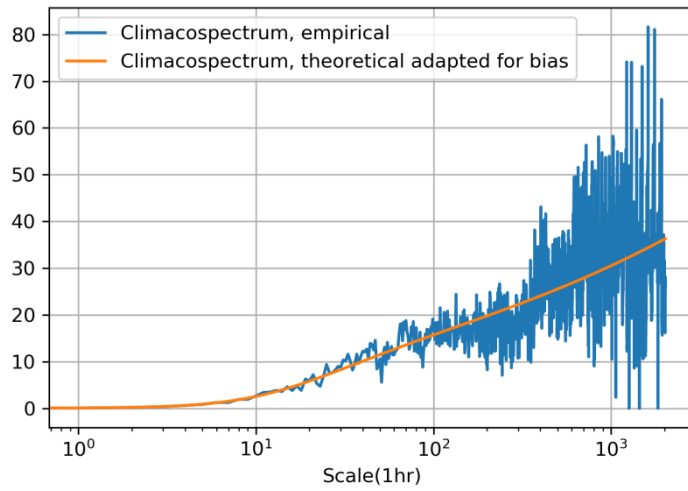
Τα αρχικά δεδομένα προέρχονταν από 15λεπτες μετρήσεις αλλά συναθροίστηκαν σε ωριαία κλίμακα. Μετά από αυτό, θεωρήθηκε σημαντικό να πραγματοποιηθεί η στασιμοποίηση της χονοσειράς και έγινε το τεστ αντιστρεψιμότητας (Σχήμα 1). Για την προσαρμογή του μοντέλου Filtered Hurst Kolmogorov ταυτόχρονα χρησιμοποιήθηκαν και το κλιμακόφασμα (Σχήμα 3) με έμφαση μικρές κλίμακες και στο κλιμακόγραμμα (Σχήμα 2) στις μεγαλύτερες κλίμακες. Για το σκοπό αυτόν έγινε πρώτα μονιμοποίηση. Οι παράμετροι υπολογίστηκαν: $a = 19.399$, $H = 0.628$, $M = 0.724$. Στην συνέχεια μέσω υπολογισμών που περιέχουν το φάσμα ισχύος (Σχήμα 4) υπολογίζονται οι συντελεστές α_η του AMA για την πρώτη και δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 5 και 7). Για τη δεύτερη περίπτωση υπολογίζονται επίσης και οι συντελεστές $\theta(\omega)$ (Σχήμα 6).



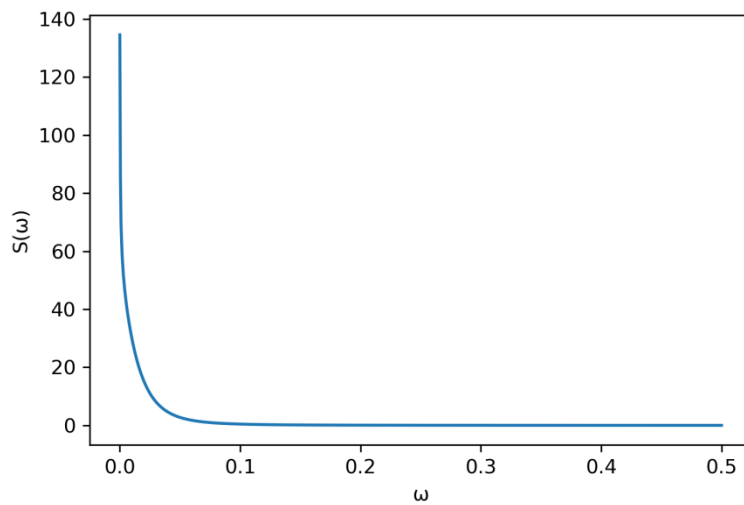
Σχήμα 1 Τεστ αντιστρεψιμότητας.



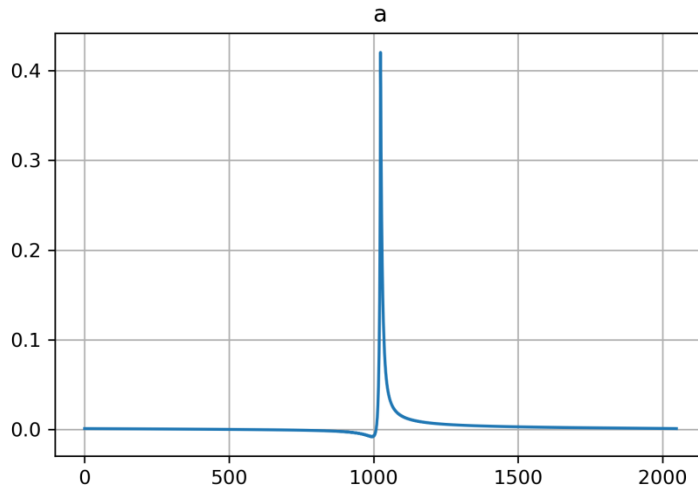
Σχήμα 2 Προσαρμογή δεδομένων με κλιμακόγραμμα .



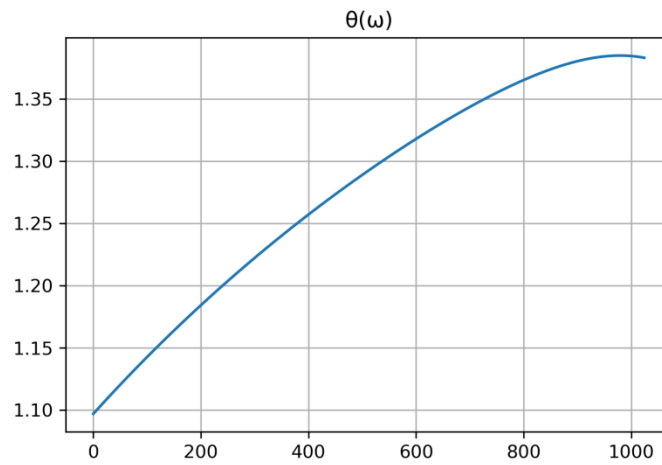
Σχήμα 3 Προσαρμογή δεδομένων με κλιμακόφασμα.



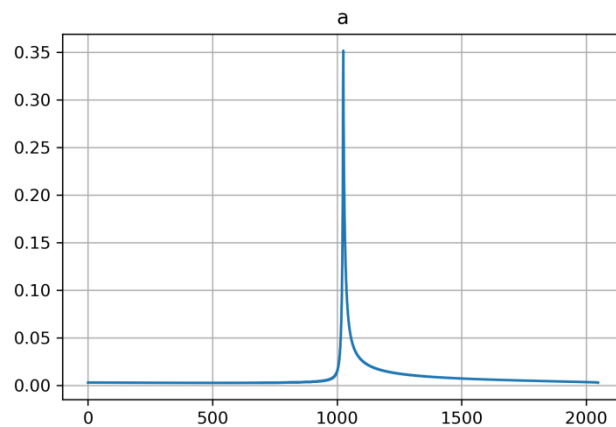
Σχήμα 4 Διακριτό φάσμα ισχύος.



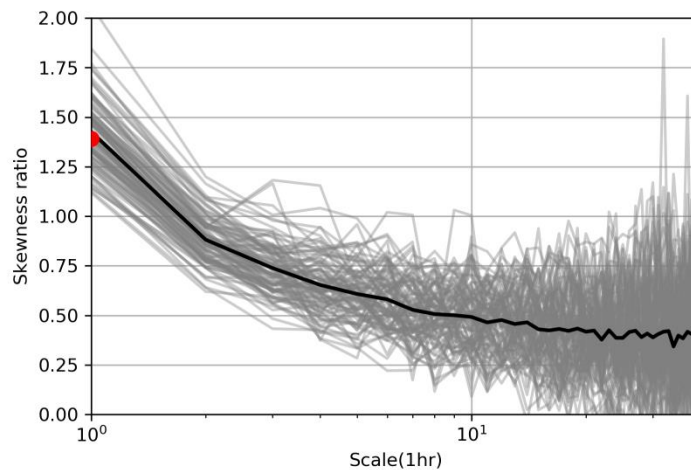
Σχήμα 5 a_n ακολουθία απο την πρώτη περίπτωση με σταθερό θ .



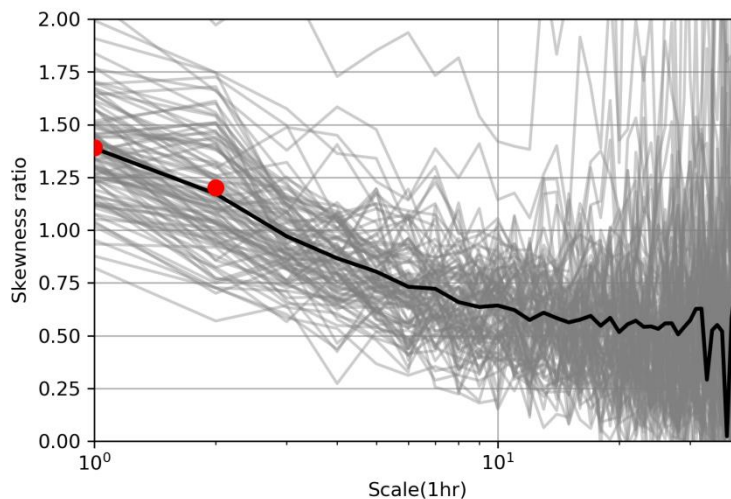
Σχήμα 6 θ ακολουθία για τη δεύτερη περίπτωση διατήρησης της ασυμμετρίας και στις δύο κλίμακες



Σχήμα 7 a_n ακολουθία απο την δεύτερη περίπτωση με μεταβλητό θ .



Σχήμα 8 100 προσομοιώσεις με 10000 μήκος, διατηρώντας τη χρονική αντιστρεψιμότητα μόνο στη πρώτη κλίμακα.

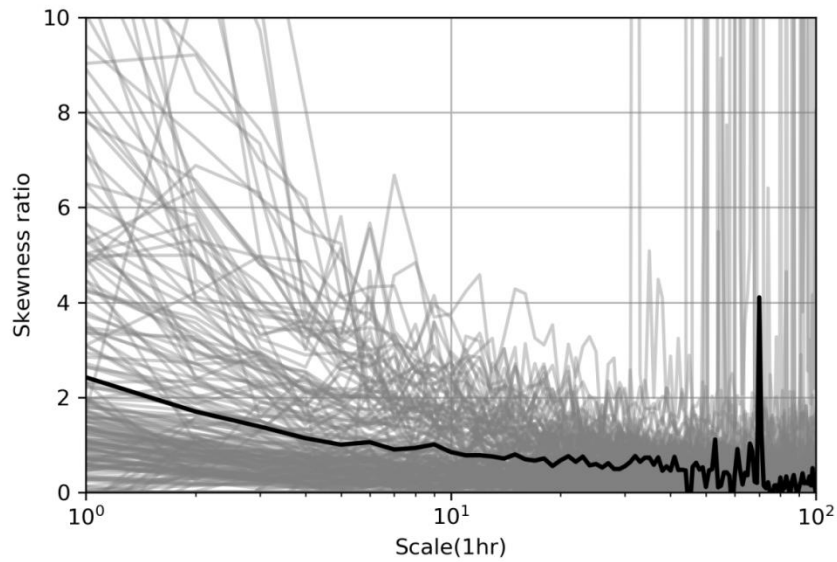


Σχήμα 9 100 προσομοιώσεις με 10000 μήκος, διατηρώντας τη χρονική αντιστρεψιμότητα ταυτόχρονα και στις δύο κλίμακες (πρώτη και δεύτερη)

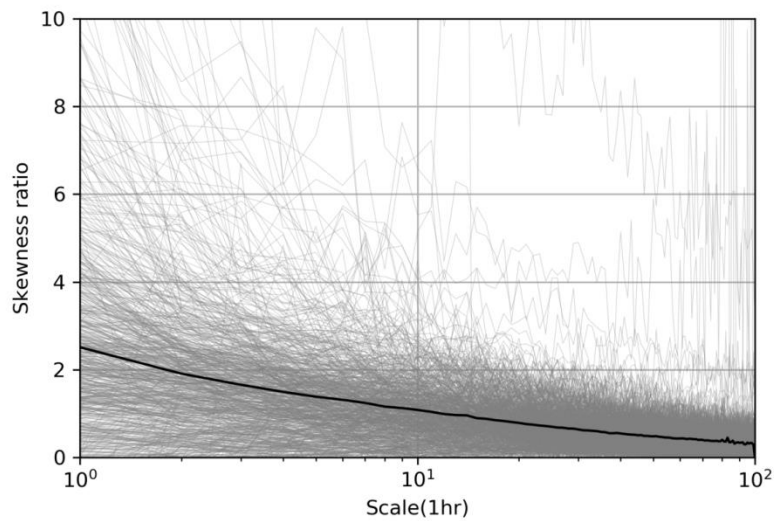
Αποτελέσματα απο τη διερεύνηση της αντιστρεψιμότητας στη βάση δεδομένων του USGS

Σε αυτή την ενότητα επιχειρείται η ποσοτικοποίηση της μη αναστρέψιμότητας στις πρώτες 100 κλίμακες από μία μεγάλη βάση δεδομένων απορροής. Ο στόχος είναι να μελετηθούν πολλοί σταθμοί και να βρεθεί η μέση τιμή του δείκτη ασυμμετρίας για κάθε κλίμακα. Η πρώτη περίπτωση είναι η πολιτεία του Maryland που αποτελείται από 222 σταθμούς (Σχήμα 10). Η δεύτερη περίπτωση είναι ένα ακόμη μεγαλύτερο σύνολο δεδομένων που αποτελείται από 762 σταθμούς στις ΗΠΑ (Σχήμα 11). Για τη συλλογή και επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν κωδικές python και συγκεκριμένα το πακέτο climata (www.pyri.org/project/climata/) και ενω

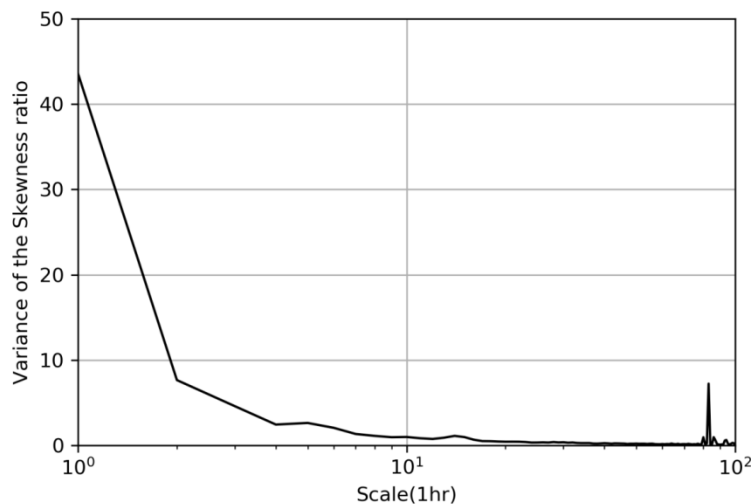
ήταν σε 15λεπτη κλίμακα μετατράπηκαν σε ωριαία δεδομένα. Όλες οι χρονοσειρές έχουν στασιμοποιηθεί με τον ίδιο τρόπο όπως στη μελέτη περίπτωσης. Στο τέλος υπολογίστηκε η διασπορά σε κάθε κλίμακα για τη δεύτερη περίπτωση (Σχήμα 12).



Σχήμα 10 Αντιστρεψιμότητα για ολο το Μέριλαντ, Η.Π.Α., 222 σταθμοί



Σχήμα 11 Αντιστρεψιμότητα για 762 σταθμούς στις Η.Π.Α



Σχήμα 12 Διασπορά του κριτηρίου αντιστρεψιμότητας για τη δεύτερη περίπτωση.

Συμπεράσματα

Η αβεβαιότητα είναι ένας σημαντικός παράγοντας στις φυσικές επιστήμες και στην επιστήμη του μηχανικού. Η πιθανοτική συμπεριφορά ενός μηχανικού συστήματος είναι απαραίτητο να μελετάται, δεδομένου ότι τα ζητήματα αβεβαιότητας είναι σημαντικά και πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η στοχαστική προσομοίωση είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την παροχή αριθμητικών εκτιμήσεων των στοχαστικών χαρακτηριστικών της απόκρισης του συστήματος.

Το βέλος του χρόνου έχει σημαντικό ρόλο στην επιστήμη και σχετίζεται στενά με την τυχαιότητα και την αβεβαιότητα. Η χρονική ασυμμετρία της απορροής σημειώνεται για κλίμακες αρκετών ημερών και αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη αναπαραγωγής σε προσομοιώσεις πλημμύρας.

Η ασυμμετρία στις στοχαστικές ανελίξεις είναι συνώνυμη με απότομους ανοδικούς κλάδους και ομαλότερους καθοδικούς κλάδους στις δειγματοσυναρτήσεις. Το ίδιο συμβαίνει και σε ένα υδρογράφημα όταν εξετάζουμε παροχές μικρής χρονικής κλίμακας. Αυτή η συμπεριφορά γίνεται προσπάθεια να αναπαραχθεί με την έννοια της χρονικής ασυμμετρίας.

Πραγματικές χρονοσειρές από μεγάλη βάση δεδομένων χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της μη αντιστρεψιμότητας σε ωριαία κλίμακα. Χρησιμοποιούνται χρονοσειρές απορροής μέχρι και την εκατοστή συναθροισμένη κλίμακα. Η χρονική ασυμμετρία της απορροής στις ΗΠΑ τουλάχιστον, έχει αναμενόμενη τιμή για το κριτήριο αντιστρεψιμότητας στην πρώτη κλίμακα γύρω στο 2,5 και στη δεύτερη κλίμακα γύρω στο 1,9. Ωστόσο, αυτό το αποτέλεσμα έχει μια πολύ μεγάλη διακύμανση στην πρώτη κλίμακα, η οποία τείνει να μειώνεται όσο αυξάνονται οι κλίμακες.

Η μελέτη αυτή προτείνει μια τροποποίηση της υπάρχουσας μεθόδου από τον Κουτσογιάννη (2019) που διατηρεί την μη αντιστρεψιμότητα μόνο στην πρώτη κλίμακα και την καθιστά ικανή να διατηρεί την μη αντιστρεψιμότητα ταυτόχρονα στην πρώτη και στη δεύτερη κλίμακα. Για να ελέγξουμε τη μέθοδο, χρησιμοποιούμε πραγματικά δεδομένα. Τα αποτελέσματα επαληθεύουν τη μέθοδο με επιτυχία