



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Στοχαστική διερεύνηση της ατμοσφαιρικής
υγρασίας σε παγκόσμια κλίμακα**

Διπλωματική Εργασία

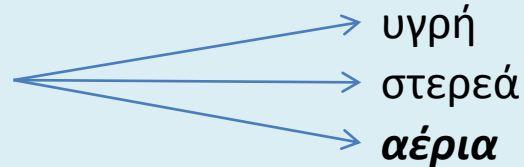
Αικατερίνη Σακελλάρη

Επιβλέπων: Δ. Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2017

1. Ορισμός ατμοσφαιρικής υγρασίας

○ Η Γη είναι ο μοναδικός πλανήτης στο ηλιακό σύστημα στον οποίο το νερό εμφανίζεται και με τις 3 φάσεις του:



○ Η αέρια φάση είναι αόρατη – όπως ακριβώς και ο αέρας- και συνήθως αναμιγνύεται πολύ καλά με αυτόν.


○ Η αέρια κατάσταση του νερού προσδιορίζεται με τον όρο «υδρατμός».

Ατμοσφαιρική υγρασία ονομάζεται η ποσότητα των υδρατμών που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα.

○ Αν και οι υδρατμοί αποτελούν μόλις το 0.0009% της συνολικής ποσότητας του νερού στη Γη, εντούτοις διαδραματίζουν εξέχοντα ρόλο στον κύκλο της ατμοσφαιρικής ενέργειας και αποτελούν σημαντική παράμετρο για την κατανόηση του κλίματος.

2. Λανθάνουσα θερμότητα νερού

- Λανθάνουσα θερμότητα: Είναι η ενέργεια που απαιτείται από μια ουσία για να μεταβεί από την μία φάση στην άλλη.
- Η λανθάνουσα θερμότητα που απορροφά ένα υλικό για να μεταβεί από τη μια φάση στην άλλη είναι ίση με αυτήν που αποδίδει στο περιβάλλον όταν η διαδικασία αντιστραφεί.
- Οι διαδικασίες της τήξης και της εξάτμισης απορροφούν ενέργεια από το περιβάλλον, ενώ οι διαδικασίες της πήξης και της συμπύκνωσης αποδίδουν ενέργεια.
- Μια δεδομένη μάζα νερού, όταν αλλάζει από την υγρή στην αέρια φάση (ή αντίστροφα), απορροφά (αντίστροφα αποδίδει) περισσότερη θερμότητα από σχεδόν κάθε άλλη ουσία ίσης μάζας, η οποία είναι ίση με 595.9 cal / g ($= 2.5 \times 10^6 \text{ J / kg}$).



Η παραπάνω ιδιότητα καθιστά τους υδρατμούς το πιο σημαντικό συστατικό της ατμόσφαιρας από δυναμική άποψη, γιατί, χάρη στις κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης που επικρατούν στη Γη, το νερό μπορεί εύκολα να περάσει από τη μια φάση στην άλλη προσλαμβάνοντας ή αποδεσμεύοντας, αντίστοιχα, τεράστιες ποσότητες ενέργειας.

3. Ο ρόλος των υδρατμών (1)

1. Στον υδρολογικό κύκλο:

- Η λανθάνουσα θερμότητα του νερού είναι η κινητήριος δύναμη του υδρολογικού κύκλου, χάρη στον οποίο το νερό ανακυκλώνεται συνεχώς στον πλανήτη.
- Το 39.5% των χερσαίων κατακρημνισμάτων, περίπου, οφείλεται στην μεταφορά των υδρατμών από τους ανέμους και στην τροφοδότηση με αυτούς των χερσαίων τμημάτων μέσω της θαλάσσιας εξάτμισης.
- Η ροή των υδρατμών από τον Ισημερινό προς τους πόλους είναι πολύ σπουδαίος παράγοντας για την ύπαρξη ζωής στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

2. Στο ενεργειακό ισοζύγιο:

- Το 45% της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης απορροφάται από την διαδικασία της εξάτμισης και στην συνέχεια αποδίδεται ξανά σε αυτήν με την συμπύκνωση των υδρατμών .

3. Ο ρόλος των υδρατμών (2)

- Ελέγχουν το ενεργειακό ισοζύγιο με την ανάκλαση, την απορρόφηση και την επανεκπομπή της ηλιακής και της γήινης ακτινοβολίας.

3. Στο φαινόμενο του θερμοκηπίου:

- Αποτελούν, μαζί με το CO₂ τους κύριους ρυθμιστές της θερμοοικονομίας του πλανήτη.
- Απορροφούν την (υπέρυθρη) ακτινοβολία που εκπέμπει η Γη εμποδίζοντάς την με αυτόν τον τρόπο να διαφύγει της ατμόσφαιρας.
- Την επανακτινοβολούν στην Γη αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο την μέση θερμοκρασία της στους 14°C (από τους -18°C) καθιστώντας την Γη ένα φιλόξενο πλανήτη για την ανάπτυξη ζωής.

4. Υγρομετρικές Παράμετροι

Τρόποι έκφρασης της περιεκτικότητας της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς.

α) απόλυτες: εξαρτώνται μόνο από την ποσότητα των υδρατμών στην ατμόσφαιρα

- Απόλυτη υγρασία ρ_v
- Ειδική υγρασία q /Λόγος ανάμιξης r
- **Θερμοκρασία δρόσου T_d**
- Μερική πίεση υδρατμών e

β) σχετικές: εξαρτώνται και από την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας

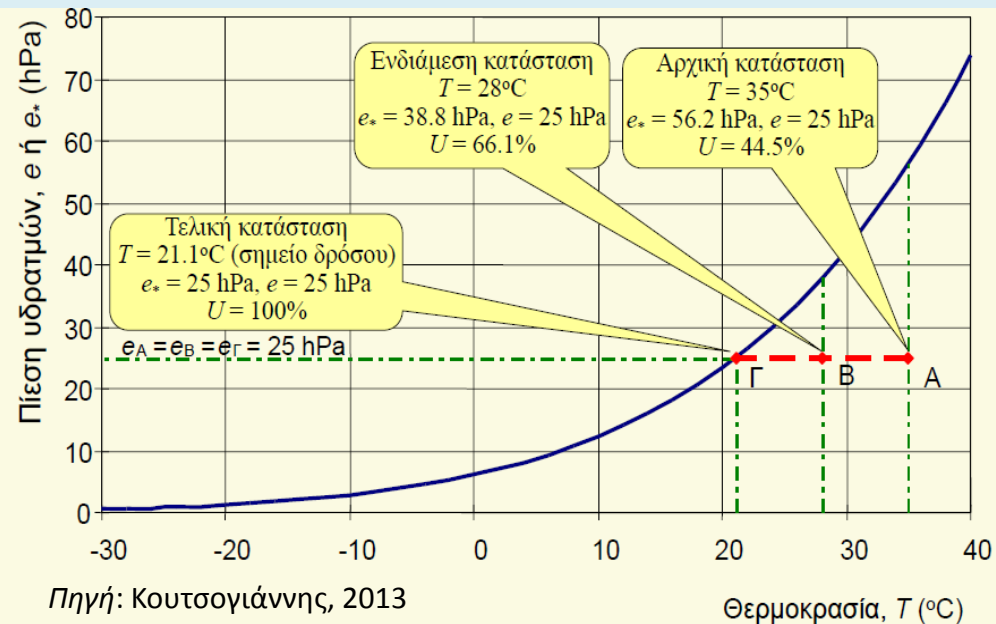
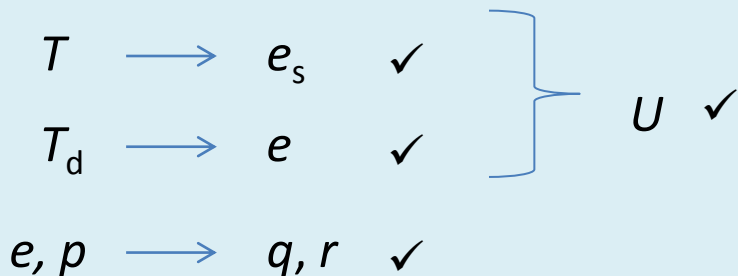
- Πίεση κορεσμένων υδρατμών e_s
- Σχετική Υγρασία U

○ **Θερμοκρασία δρόσου T_d :** Ονομάζεται η θερμοκρασία στην οποία πρέπει να ψυχθεί ισοβαρώς ο αέρας προκειμένου να καταστεί κορεσμένος.

○ Κορεσμένος ονομάζεται ο αέρας που περιλαμβάνει τη μέγιστη ποσότητα των υδρατμών για τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης στις οποίες βρίσκεται.

5. Μεταβλητές μελέτης

- Ως μεταβλητές μελέτης επιλέχθηκαν η **θερμοκρασία T** και το **σημείο δρόσου T_d** .
- Μέσω αυτών είναι δυνατόν να υπολογισθεί οποιαδήποτε από τις υγρομετρικές παραμέτρους.



$$e_* = f(T) = p_0 \exp \left[24.921 \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \right] \left(\frac{T_0}{T} \right)^{5.06}$$

$$T_0 = 273.16 \text{ K}, p_0 = 6.11657 \text{ hPa} \quad \text{Koutsoyannis, 2012}$$

$$U = \frac{e}{e_*}$$

$$r := \frac{\varepsilon e}{p - e}$$

$$q := \frac{\varepsilon e}{p - (1 - \varepsilon) e}$$

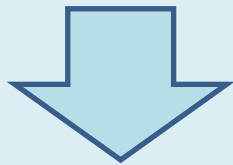
$$\varepsilon = 0.622$$

6. Επιλογή δεδομένων μελέτης (1)

- Βάση δεδομένων: National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA (<https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/>)
- Συλλογή ωριαίων τιμών θερμοκρασίας T και σημείου δρόσου T_d .
- Δύο στάδια επιλογής σταθμών μελέτης με διαφορετικά κριτήρια:

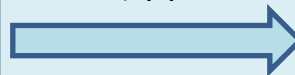
Στάδιο 1^ο:

1. Τουλάχιστον 30 έτη λειτουργίας
2. Τουλάχιστον 8760 μετρήσεις/έτος (κατά μέσο όρο)



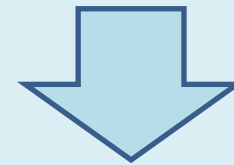
953 σταθμοί

προκαταρκτική
επεξεργασία



Στάδιο 2^ο:

1. Τουλάχιστον 65 χρόνια μετρήσεων.
2. Το πολύ 10% επί του συνόλου των μετρήσεων να είναι κενές.



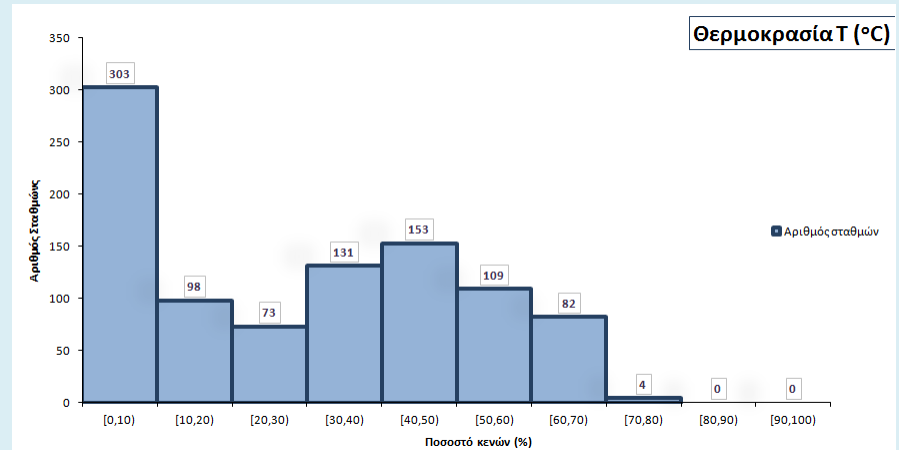
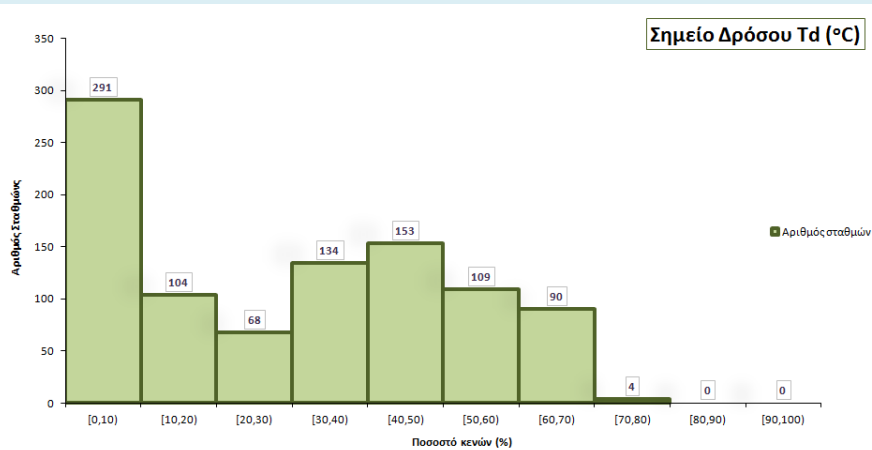
22σταθμοί

6. Επιλογή δεδομένων μελέτης (2)

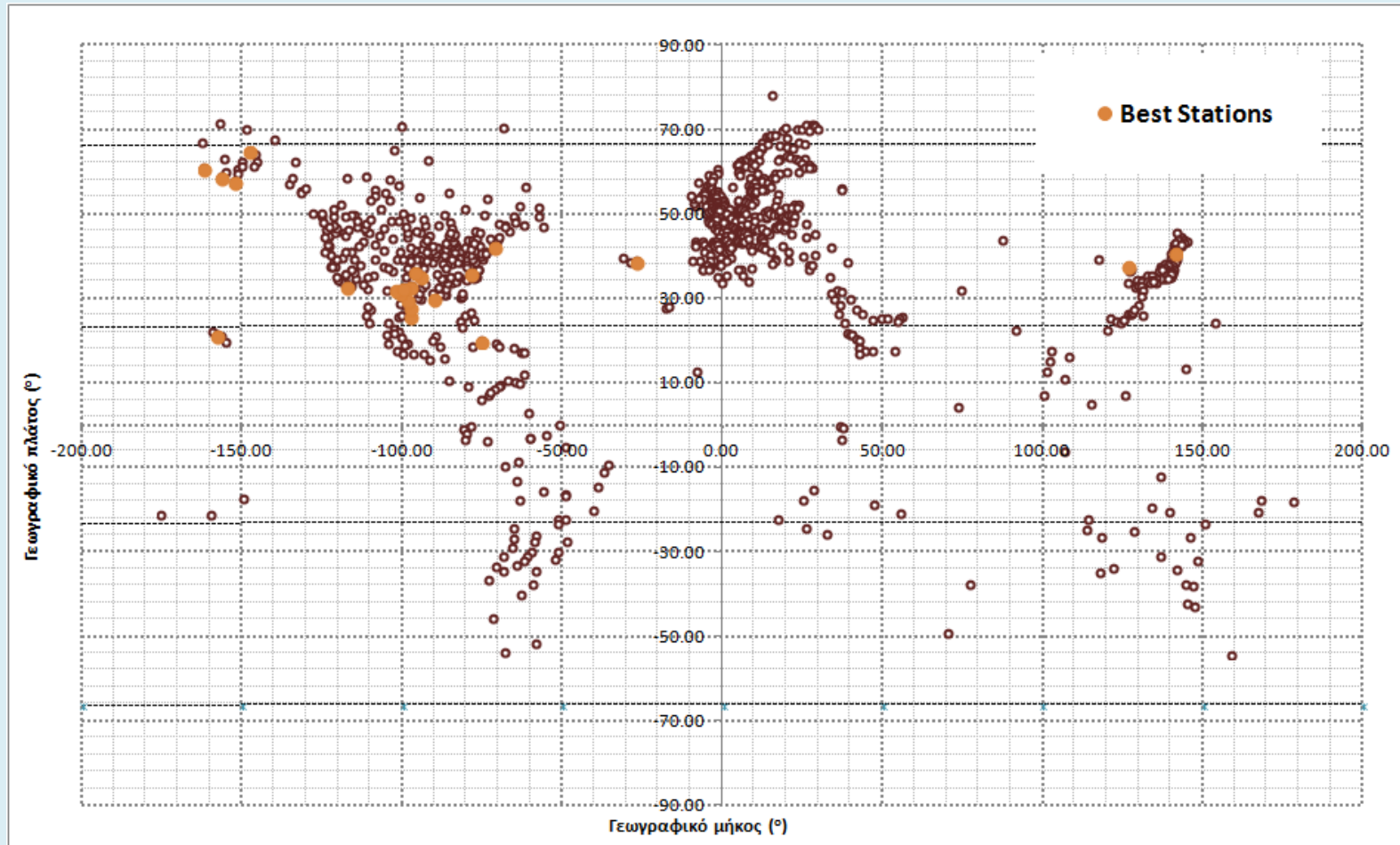
○ Προκαταρκτική επεξεργασία:

1. Συμπλήρωση των δεδομένων με ημερομηνίες που απουσίαζαν εντελώς.
2. Εύρεση των τιμών 999.9 στα αρχικά δεδομένα, οι οποίες ερμηνεύονται ως μη ύπαρξη μέτρησης.
3. Αντικατάσταση των θέσεων 1, 2 με κενό στις χρονοσειρές.
4. Εύρεση μέσης τιμής σε περιπτώσεις ύπαρξης πάνω από μιας μέτρησης μέσα στην ίδια ώρα.

○ Παρά το όριο που τέθηκε για πυκνότητα μετρήσεων ίση με 8760 μετρήσεις/έτος, στο δείγμα προέκυψαν ~200 σταθμοί ποσοστό κενών >50%. Επιλέχθηκε να εξετασθούν, προκειμένου να πετύχουμε μεγαλύτερη χωρική ομοιομορφία.



6. Επιλογή δεδομένων μελέτης (3)



Γεωγραφικές συντεταγμένες των 953 σταθμών του δείγματος. Με πορτοκαλί απεικονίζονται οι 22 καλύτεροι σταθμοί.

7. Στατιστική επεξεργασία των 22 καλύτερων σταθμών (1)

1. Εξέταση **κυκλοστασιμότητας** του σημείου δρόσου σε συνδυασμό με την θερμοκρασία.

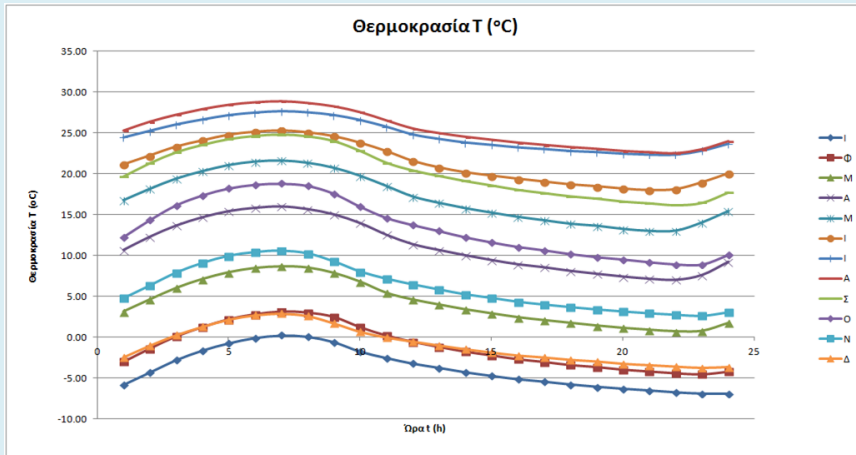
- Κυκλοστάσιμη ανέλιξη: τα στατιστικά της χαρακτηριστικά μεταβάλλονται περιοδικά συναρτήσει του χρόνου.
- Απλή/Διπλή κυκλοστασιμότητα

2. Έλεγχος προσαρμογής της κανονικής κατανομής σε κανονικοποιημένες ωριαίες τιμές σημείου δρόσου και θερμοκρασίας

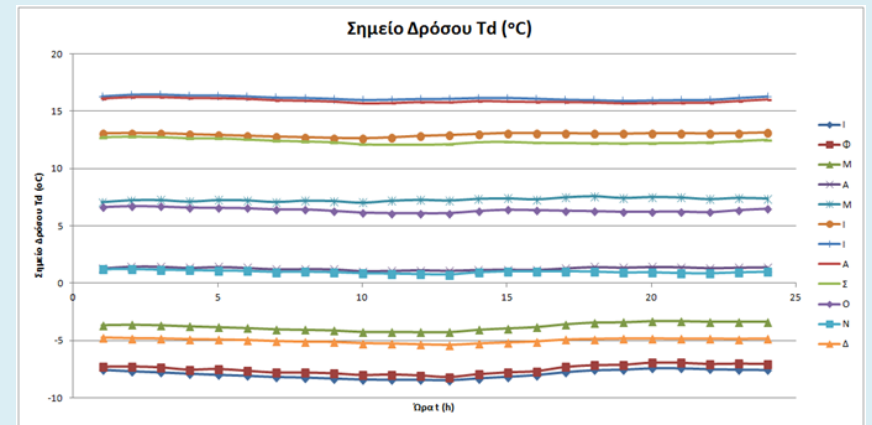
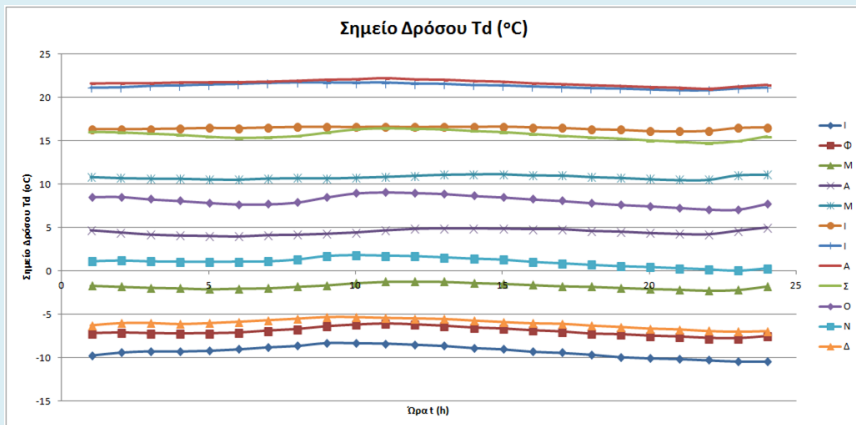
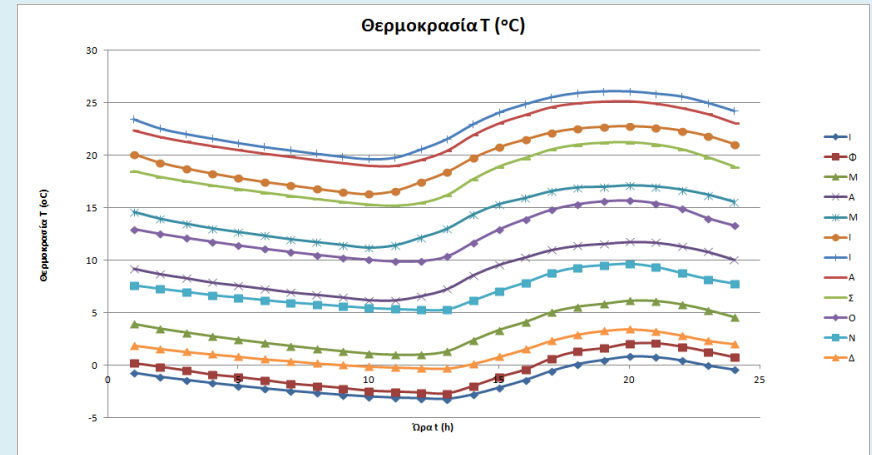
- Κανονικοποιημένες τιμές: αφαίρεση κατάλληλης μέσης τιμής και διαίρεση με κατάλληλη τυπική απόκλιση \longrightarrow απαλοιφή περιοδικοτήτων
- Εργαλείο ελέγχου προσαρμογής: **QQ-plot**
- QQ-plot: Γραφική παράσταση των δειγματικών ποσοστημορίων ως προς τα θεωρητικά ποσοστημόρια της κανονικής κατανομής, η οποία μας βοηθά να ελέγξουμε αν τα δεδομένα μας προέρχονται ή όχι από την κανονική κατανομή. Όσο πιο κοντά στην γραμμή που αναπαριστά τα θεωρητικά ποσοστημόρια, είναι τα σημεία που αναπαριστούν τα δειγματικά ποσοστημόρια, τόσο καλύτερη προσαρμογή έχουμε.

7. Στατιστική επεξεργασία των 22 καλύτερων σταθμών (2) - Χαρακτηριστικά παραδείγματα κυκλοστασιμότητας

α) Seoul, South Korea, Βόρεια εύκρατη ζώνη

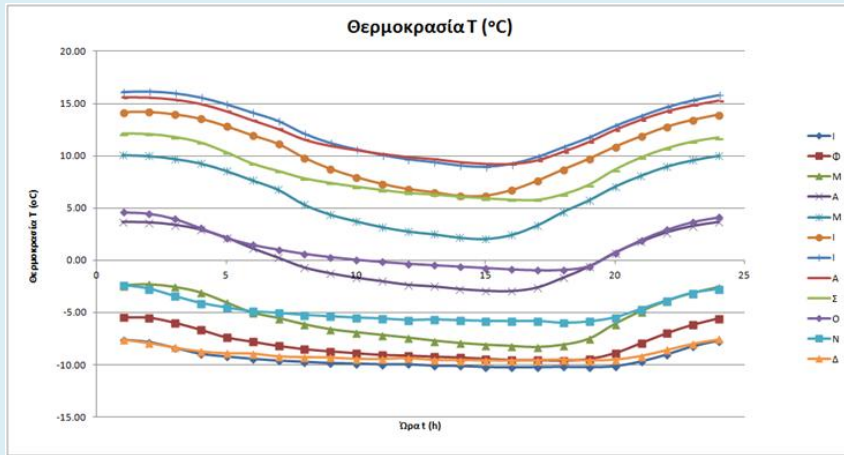


β) Boston, Βόρεια εύκρατη ζώνη

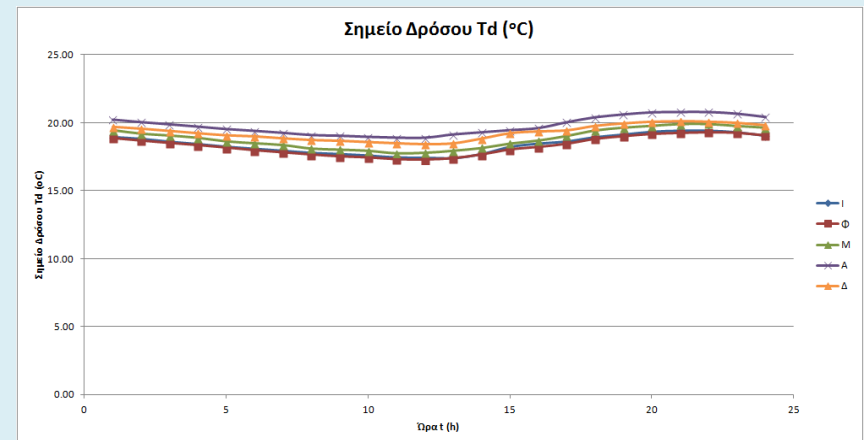
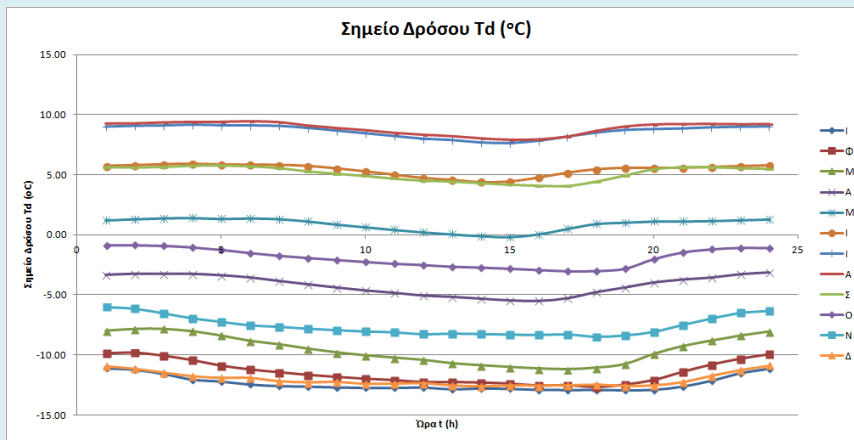
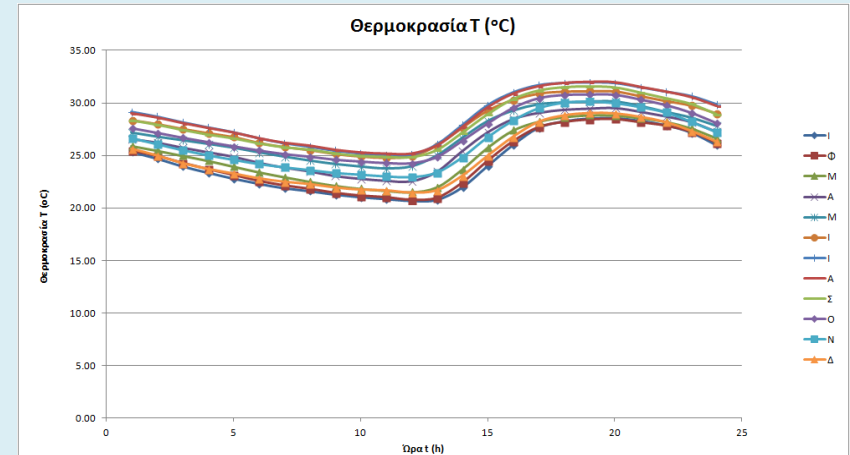


7. Στατιστική επεξεργασία των 22 καλύτερων σταθμών (3) - Χαρακτηριστικά παραδείγματα κυκλοστασιμότητας

γ) Alaska, Αρκτική ζώνη

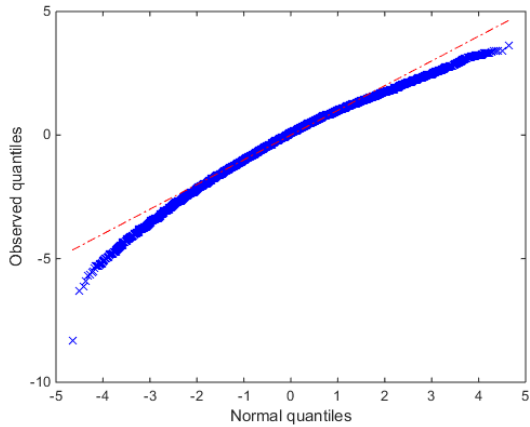


δ) Cuba, Τροπική ζώνη

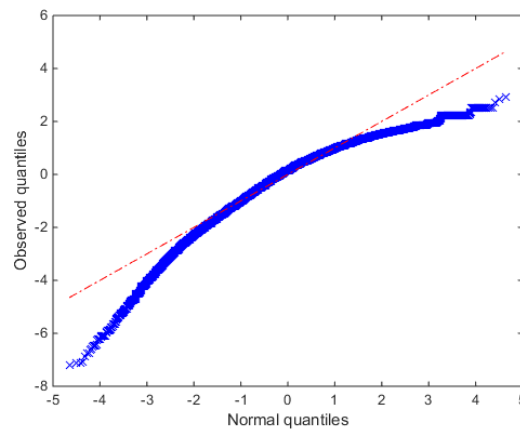


7. Στατιστική επεξεργασία των 22 καλύτερων σταθμών (4)- Χαρακτηριστικά παραδείγματα QQ-plots

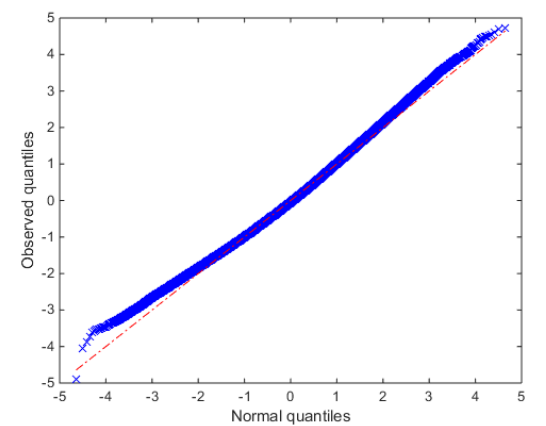
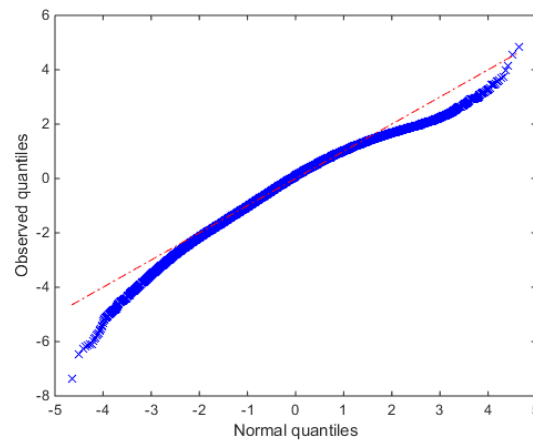
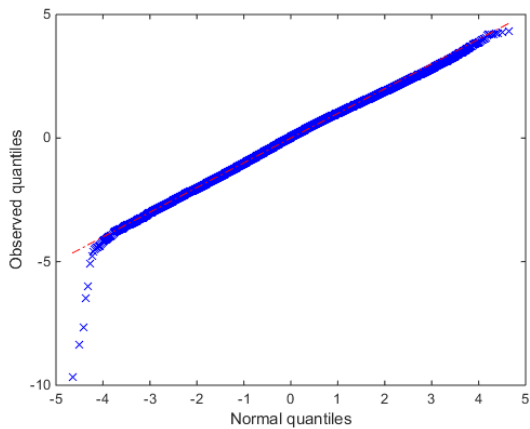
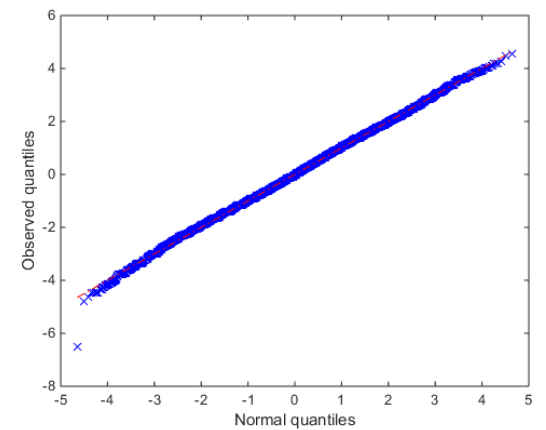
α) Seoul, South Korea



β) Kenner, Louisiana



γ) Japan



8. Στατιστική επεξεργασία των 953 σταθμών- Ασυμμετρία & Κύρτωση (1)

○ Ασυμμετρία: ▪ Ένα από τα πιο σημαντικά μέτρα θέσης.

- Συμμετρία: $x_\delta = M_o = x_{\text{mean}}$ ($\gamma=0$)
- Αρνητική Ασυμμετρία: $x_{\text{mean}} < x_\delta < M_o$ ($\gamma < 0$)
- Θετική Ασυμμετρία: $M_o < x_\delta < x_{\text{mean}}$ ($\gamma > 0$)



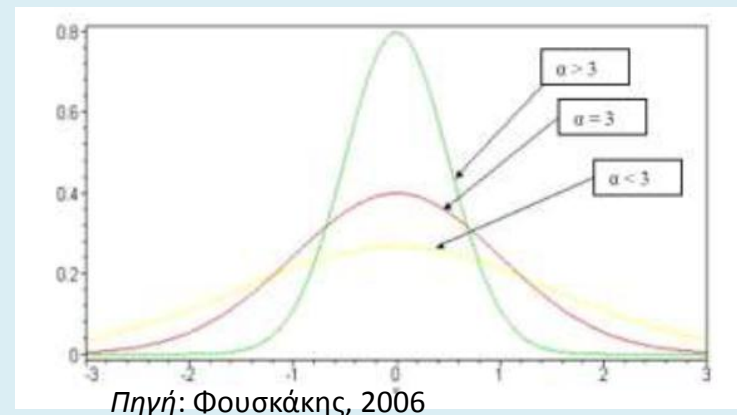
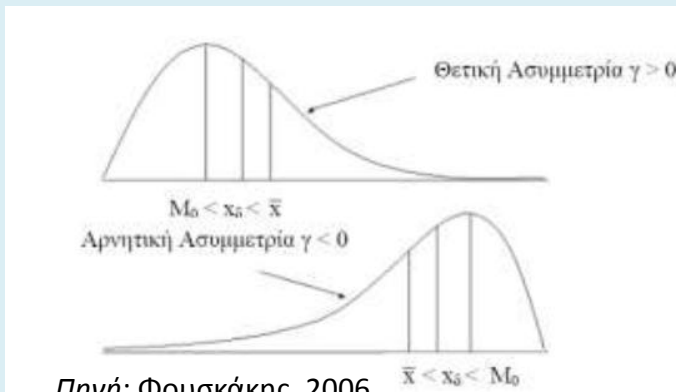
$$\gamma = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{\left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right\}^3}$$

○ Κύρτωση:

- Λεπτόκυρτη κατανομή: μεγάλη συχνότητα τιμών γύρω από το μέσο ($\alpha > 3$)
- Πλατύκυρτη κατανομή: η μέγιστη συχνότητά της εμφανίζει χαμηλή τιμή ($\alpha < 3$)
- Μεσόκυρτη κατανομή: η κανονική κατανομή ($\alpha = 3$)

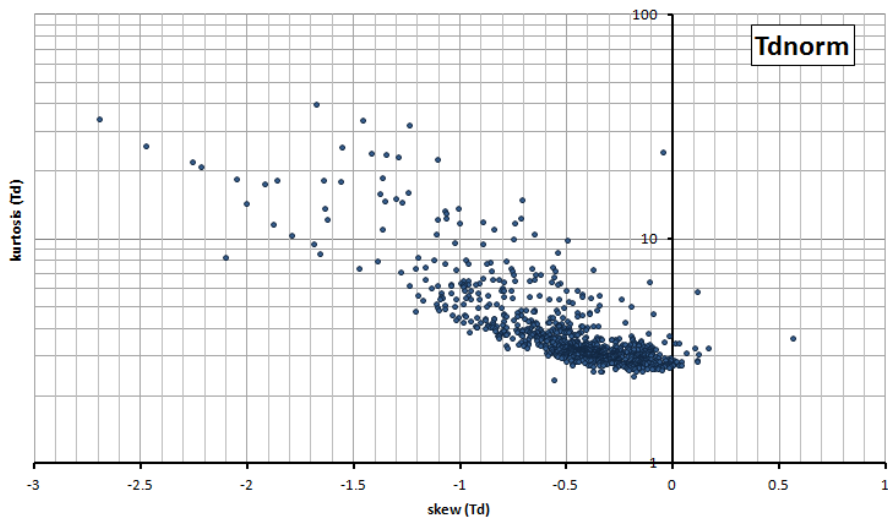


$$\alpha = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x}))^4}{\left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right\}^4}$$



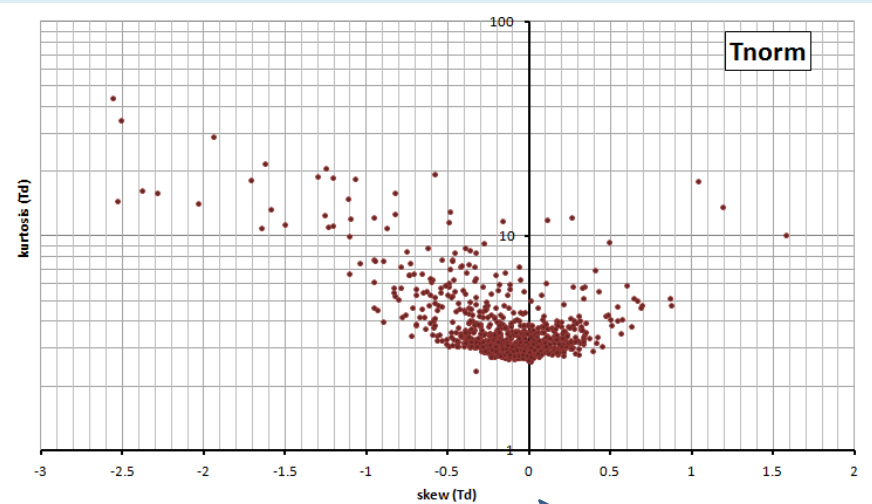
8. Στατιστική επεξεργασία των 953 σταθμών- Ασυμμετρία & Κύρτωση (2)

Αφύσικα υψηλές τιμές κύρτωσης....



Ξεκάθαρη αρνητική ασυμμετρία

Αφύσικα υψηλές τιμές κύρτωσης....

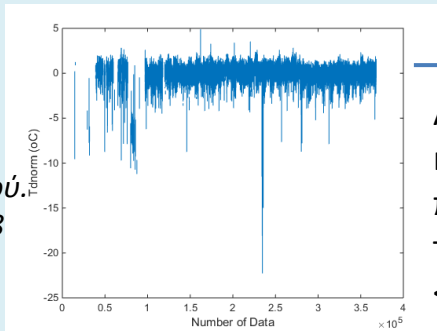


Ομοιόμορφη κατανομή των σημείων γύρω από το 0.

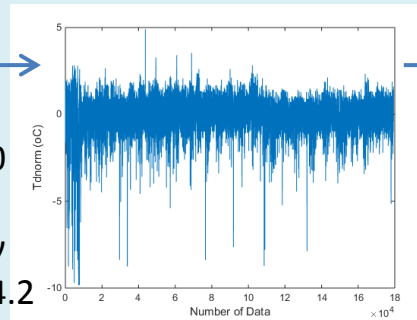
8. Στατιστική επεξεργασία των 953 σταθμών- Ασυμμετρία & Κύρτωση (3)

- **Διερεύνηση υψηλών τιμών κύρτωσης...**
- Εξετάσθηκαν οι σταθμοί που παρουσίαζαν τις 10 μεγαλύτερες τιμές κύρτωσης τόσο για το σημείο δρόσου όσο και για την θερμοκρασία. Παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά.
- Ενδεικτικά αναφέρεται ο σταθμός με A/A 5286, ο οποίος βρίσκεται στην Ονδούρα (κεντρική Αμερική). Διαθέτει 42 έτη μετρήσεων και ~50% των μετρήσεων είναι κενές.

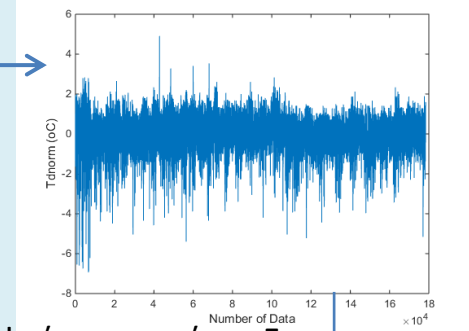
Αρχική
εικόνα
σταθμού.
kurt=48



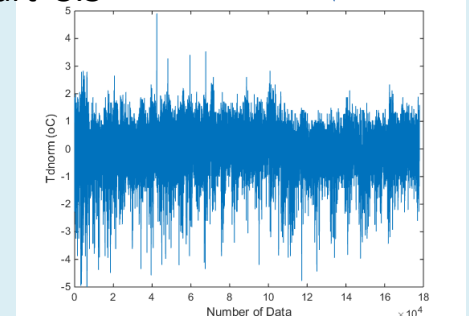
Αφαίρεση
κενών + 1000
πρώτων
τιμών+ τιμών
<-10. kurt=24.2



Αφαίρεση
τιμών <-7.
kurt=15

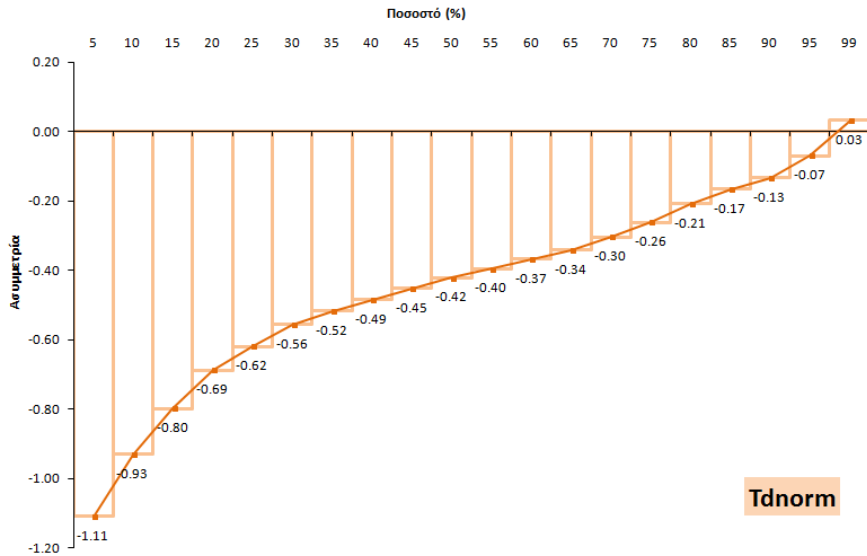


Αφαίρεση τιμών <-5.
kurt=5.3



Ποια είναι όμως τα ορθά κριτήρια για να θεωρηθεί ακραία κάποια τιμή;
Κίνδυνος να χαθεί πολύτιμη πληροφορία εξαιτίας λανθασμένης κρίσης!

8. Στατιστική επεξεργασία των 953 σταθμών- Ασυμμετρία & Κύρτωση (4)



Tdnorm

Τεταρτημόρια τιμών **ασυμμετρίας**
κανονικοποιημένου **σημείου δρόσου**

$$Q_{25} = -0.62$$

$$Q_{50} = -0.42 \text{ (διάμεσος)}$$

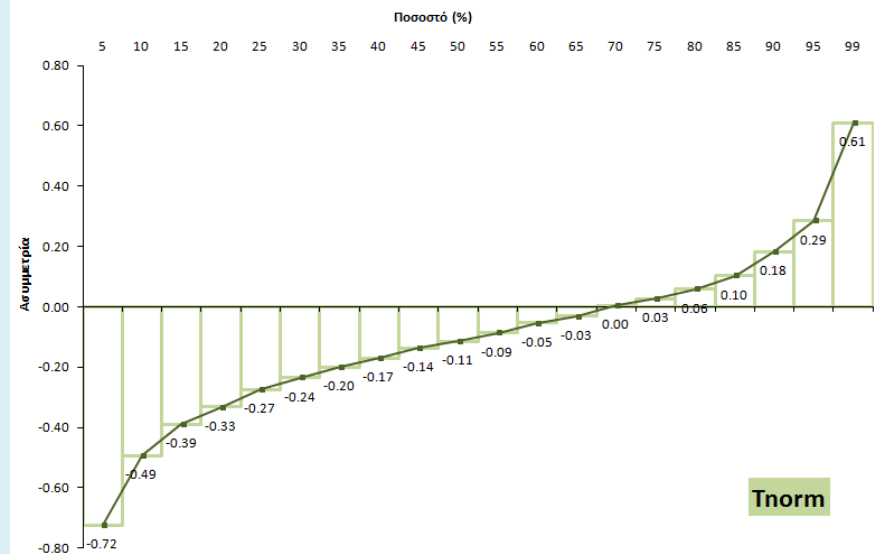
$$Q_{75} = -0.26$$

Τεταρτημόρια τιμών **ασυμμετρίας**
κανονικοποιημένης **θερμοκρασίας**

$$Q_{25} = -0.27$$

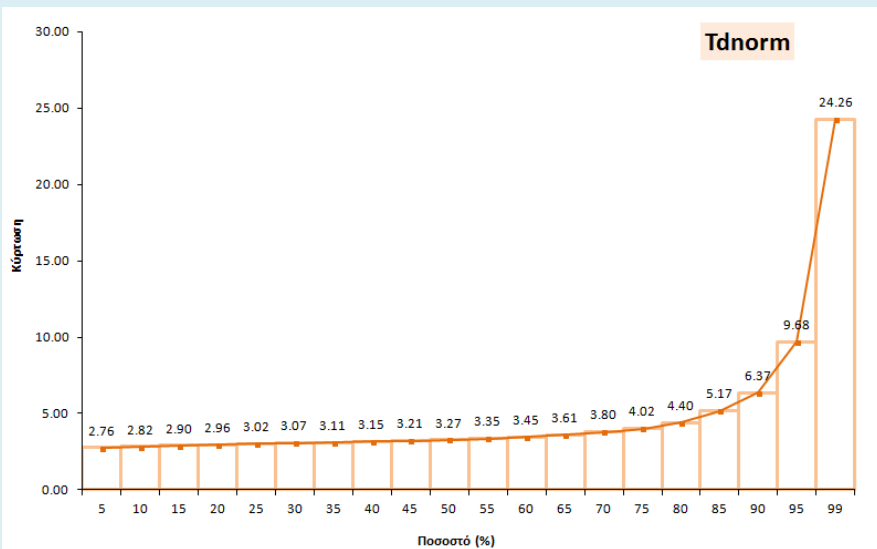
$$Q_{50} = -0.11 \text{ (διάμεσος)}$$

$$Q_{75} = 0.03$$



Tnorm

8. Στατιστική επεξεργασία των 953 σταθμών Ασυμμετρία & Κύρτωση (5)



Τεταρτημόρια τιμών **κύρτωσης**
κανονικοποιημένου **σημείου δρόσου**

$$Q_{25} = 3.02$$

$$Q_{50} = 3.27 \text{ (διάμεσος)}$$

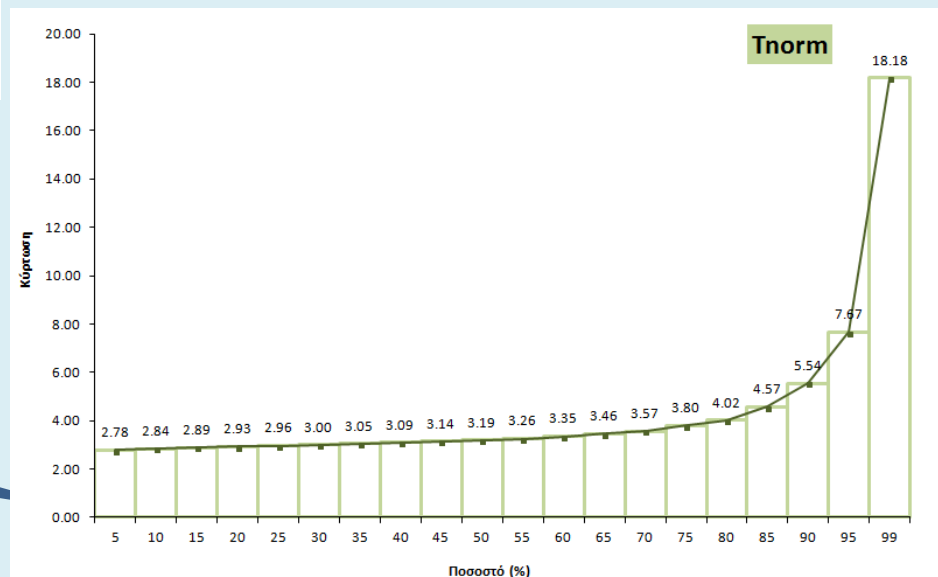
$$Q_{75} = 4.02$$

Τεταρτημόρια τιμών **κύρτωσης**
κανονικοποιημένης **θερμοκρασίας**

$$Q_{25} = 2.96$$

$$Q_{50} = 3.19 \text{ (διάμεσος)}$$

$$Q_{75} = 3.80$$



9. Διερεύνηση ύπαρξης μακροπρόθεσμης εμμονής (1) – Θεωρητικό υπόβαθρο

○ Βρετανός υδρολόγος Harold Edwin Hurst (1951): "*Μολονότι και στις τυχαίες διαδικασίες συμβαίνει να υπάρχει κάποια ομαδοποίηση των υψηλών και των χαμηλών τιμών, στις φυσικές διαδικασίες η τάση αυτή απαντάται ισχυρότερη. Αυτή είναι η κύρια διαφορά μεταξύ των φυσικών και των τυχαίων γεγονότων*"

○ Μαθηματική περιγραφή του φαινομένου από τους Kolmogorov (1940) και Mandelbrot (1968)

- Σημασία φαινομένου:
 - Έντονη διακύμανση σε μεγάλες χρονικές κλίμακες.
 - Υψηλός συντελεστής αυτοσυσχέτισης για μεγάλες τιμές υστέρησης.



Δεν ισχύει η αρχή της ανεξαρτησίας της κλασικής στατιστικής.



Εισάγεται μεγάλη αβεβαιότητα στην τυπική στατιστική εκτίμηση.

9. Διερεύνηση ύπαρξης μακροπρόθεσμης εμμονής (2) – Θεωρητικό υπόβαθρο

- Κλιμακόγραμμα: Λογαριθμικό διάγραμμα της διασποράς στην κλίμακα k $\sigma^2(k)$ συναρτήσει της κλίμακας k .
- Υπολογίζεται η (αρνητική) κλίση του διαγράμματος a με γραμμική παλινδρόμηση.
- Ο συντελεστής Hurst εκτιμάται από τη σχέση: $H=1-|a|/2$.
 - $H > 0.5$ εμμονή
 - $H = 0.5$ λευκός θόρυβος
 - $H < 0.5$ αντί-εμμονή
- Ο υπολογισμός της διασποράς $\sigma^2(k)$ στην κλίμακα k γίνεται με την μέθοδο της συναθροισμένης διασποράς. Η αρχική χρονοσειρά μήκους n χωρίζεται σε τμήματα μήκους k από κάθε ένα από τα οποία προκύπτει ένας μέσος όρος: $X^{(k)}(m) = \frac{1}{k} \sum_{i=(m-1)k+1}^{km} X(i)$
- Έτσι, δημιουργούνται νέες χρονοσειρές $X_i(k)$ μήκους n/k . Θεωρούμε $k_{\max} = n/2$. Για κάθε μια χρονοσειρά, λοιπόν, υπολογίζουμε την αντίστοιχη δειγματική διασπορά $\sigma^2(k)$.
 - Διασπορά στην κλίμακα 1: $\tilde{\sigma}^2 = \frac{n-1}{n-n^{2H-1}} S^2$ για H γνωστό.
 - Διασπορά στην κλίμακα k : $(\sigma^{(k)})^2 = k^{2H-2} \sigma^2 \xrightarrow{\text{μεροληψία}} \left(\sigma'_n(k)\right)^2 = \frac{\sigma^2}{k^{2-2H}} \left(\frac{1-(k/n)^{2-2H}}{1-(k/n)}\right)$
 - Ισοδύναμο μήκος n' : Το μήκος δείγματος που δίνει, στην κλασική στατιστική, ίδια αβεβαιότητα στην εκτίμηση της μέσης τιμής, όση και το μήκος n στην ΗΚΣ.

9. Διερεύνηση ύπαρξης μακροπρόθεσμης εμμονής (3) – Ιστορικές χρονοσειρές

- Απαραίτητη η εξάλειψη της εποχικότητας για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.
- Τιμές ωριαίες \longrightarrow κανονικοποίηση τιμών.

○ Βήματα:

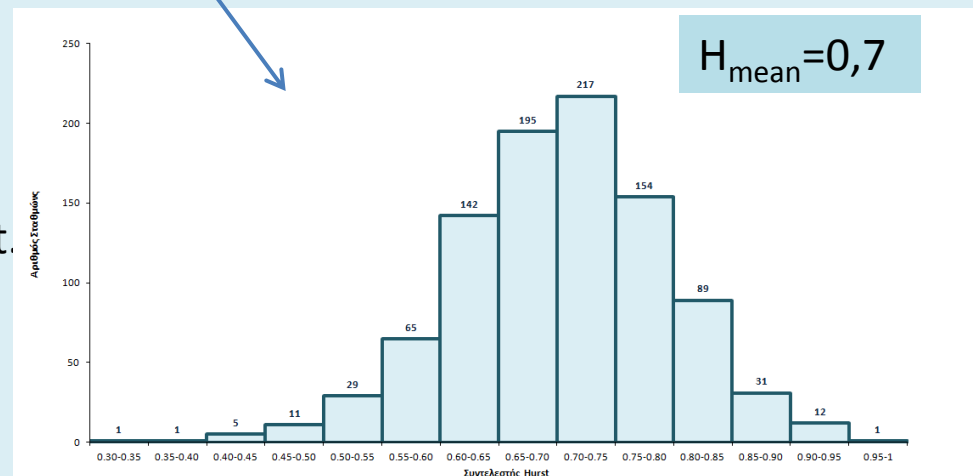
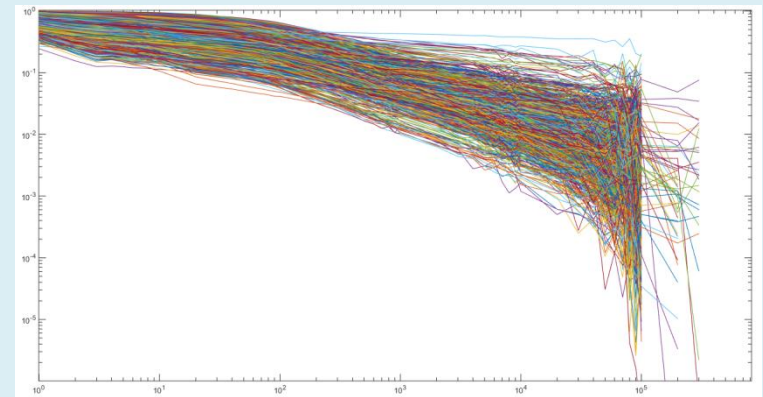
1. Κατασκευή 953 κλιμακογραμμάτων και (μεροληπτική) εκτίμηση συντελεστή Hurst για κάθε ένα από αυτά.

2. Υπολογισμός μέσου όρου σε κάθε κλίμακα.

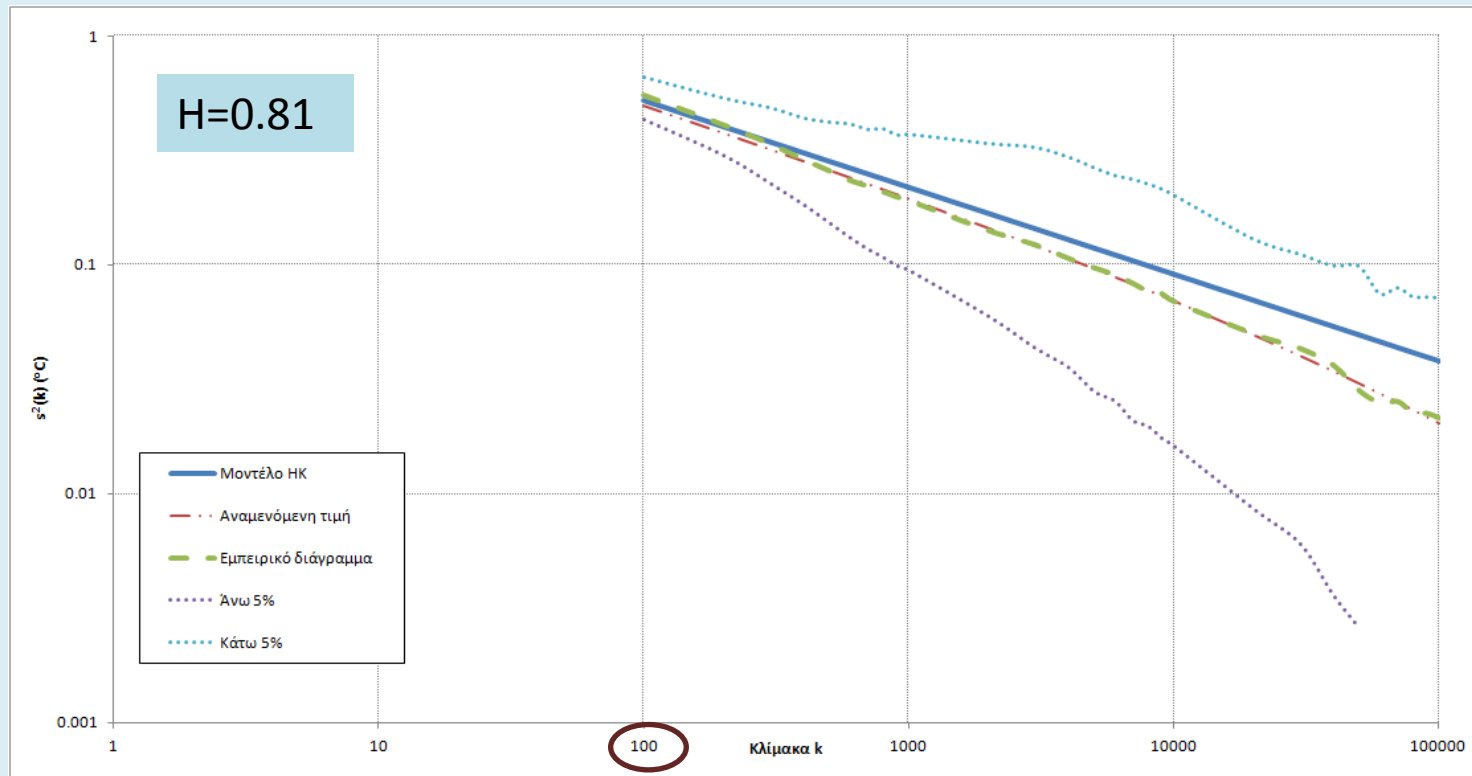
3. Κατασκευή μέσου ιστορικού κλιμακογράμματος.

4. Διόρθωση μεροληψίας: Ταύτιση μέσου ιστορικού κλιμακογράμματος με την αναμενόμενη τιμή.

5. Αμερόληπτη εκτίμηση συντελεστή Hurst.



9. Διερεύνηση ύπαρξης μακροπρόθεσμης εμμονής (4) – Ιστορικές χρονοσειρές



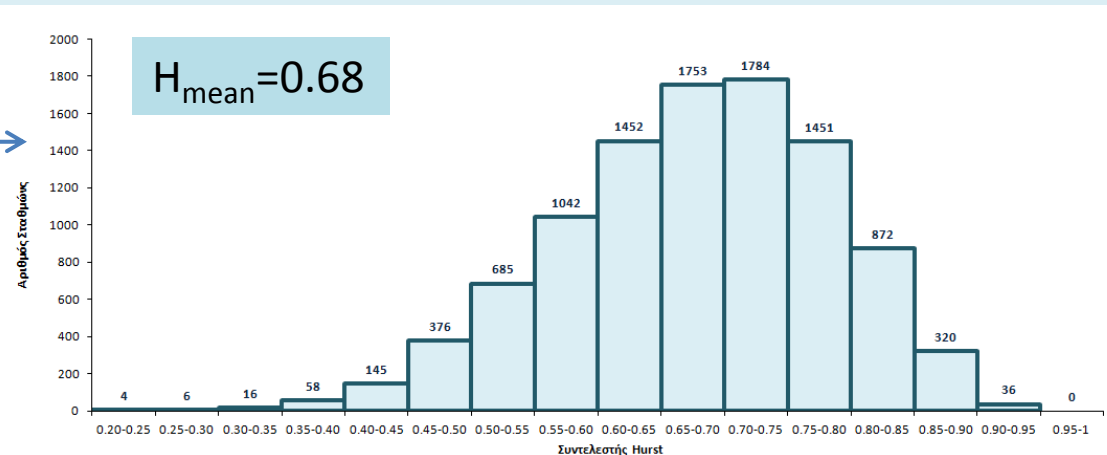
Μέσο κλιμακόγραμμα ιστορικών χρονοσειρών ωριαίων κανονικοποιημένων τιμών σημείου δρόσου (εμπειρικό διάγραμμα), αμερόληπτη εκτίμηση των διασπορών του μοντέλου Η-Κ (αναμενόμενη τιμή), μοντέλο Η-Κ καθώς και τα 95% άνω και κάτω όρια εμπιστοσύνης.

9. Διερεύνηση ύπαρξης μακροπρόθεσμης εμμονής (5) – Συνθετικές χρονοσειρές

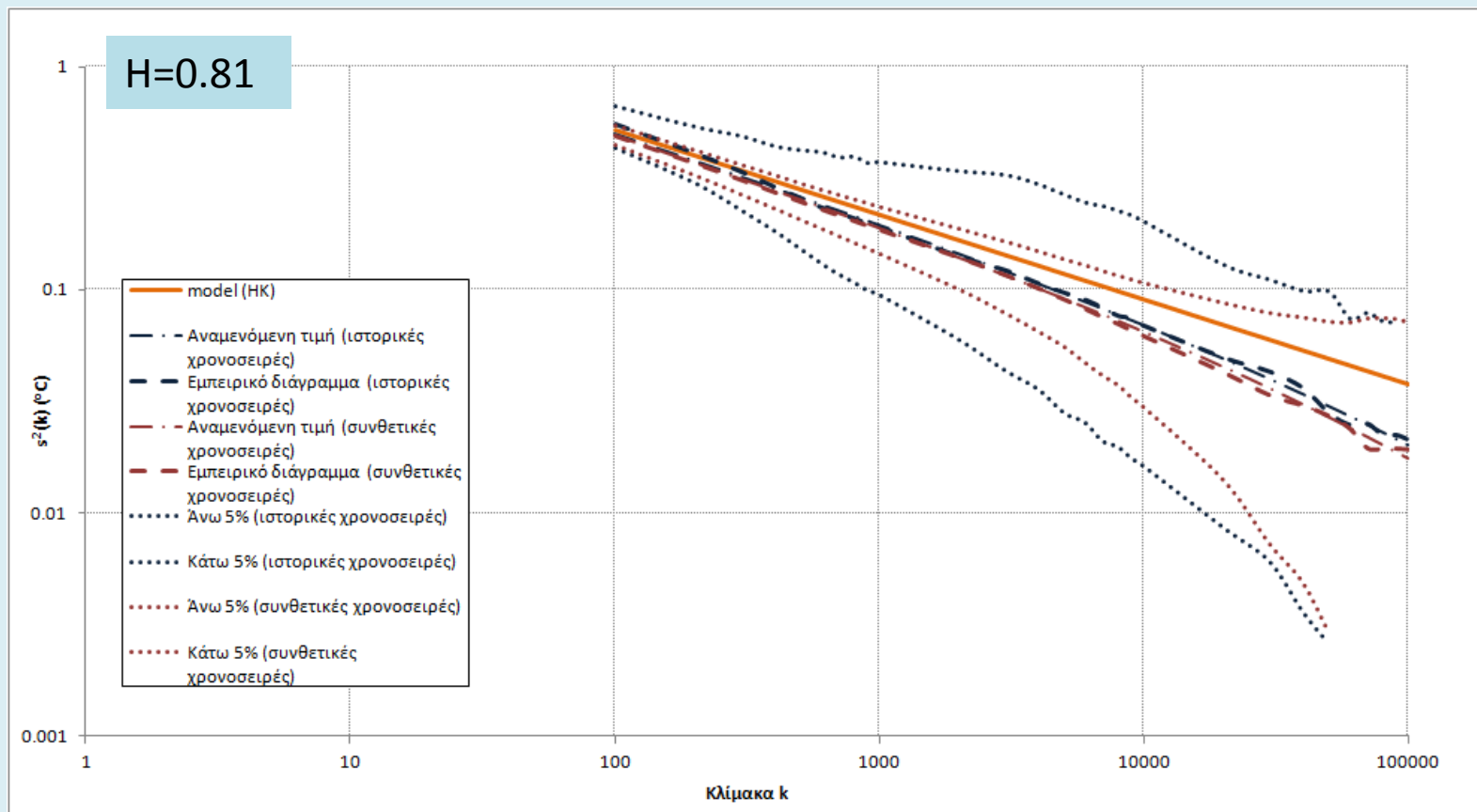
- Για την επαλήθευση της τιμής του συντελεστή Hurst που υπολογίσθηκε από τα ιστορικά δεδομένα κατασκευάσθηκαν 10 000 συνθετικές χρονοσειρές με την μέθοδο των τυχαίων διακυμάνσεων πολλαπλής κλίμακας.
- Εστίαση στο τμήμα του μέσου ιστορικού κλιμακογράμματος από $k=100$ έως $k=100\ 000$, το οποίο χρησίμευσε για τον υπολογισμό του συντελεστή Hurst.
- Η κλίμακα 1 των συνθετικών χρονοσειρών θα αντιστοιχεί στην κλίμακα 100 των ιστορικών και η κλίμακα 1 000 στην κλίμακα 100 000.
- Οι συνθετικές χρονοσειρές θα έχουν μέση τιμή ίση με 0, διασπορά στην κλίμακα 1 ίση με $\sigma = \gamma(100) = \frac{3}{100^2 - 2 \cdot 0.81} = 0,5213$ και μήκος n ίσο με $n=2000$ ($n/k_{\max}=2$)

1. (Μεροληπτική) εκτίμηση συντελεστή Hurst από τις συνθετικές χρονοσειρές.

2. Αμερόληπτη εκτίμηση συντελεστή Hurst.



9. Διερεύνηση ύπαρξης μακροπρόθεσμης εμμονής (6) - Κλιμακογράμματα



Συγκεντρωτικό διάγραμμα κλιμακογραμμάτων για ιστορικές και συνθετικές χρονοσειρές.

10. Συμπεράσματα-Προτάσεις (1)

○ Το σημείο δρόσου παρουσιάζει εποχιακή μεταβλητότητα. Στην διάρκεια της ημέρας η διακύμανση του δεν είναι τόσο έντονη όσο αυτή της θερμοκρασίας και διαφέρει, ανάλογα την τοποθεσία και τον μήνα που εξετάζουμε. Η σχετική σταθερότητα του σημείου δρόσου κατά την διάρκεια της ημέρας, σε αντίθεση με την θερμοκρασία που μπορεί να διακυμαίνεται κατά πολλούς βαθμούς, δείχνει ότι η συνολική ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα δεν μεταβάλλεται έντονα. Το σημείο δρόσου συνιστά απόλυτη υγρομετρική παράμετρο, συνεπώς εξαρτάται μόνο από την ποσότητα των υδρατμών που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα και όχι από τη θερμοκρασία. Μια πιο λεπτομερής μελέτη που θα προσπαθούσε να συσχετίσει το σημείο δρόσου με τον άνεμο (ο οποίος είναι υπεύθυνος για την μεταφορά των υδρατμών από τόπο σε τόπο) και με τον προσανατολισμό του, θα είχε πολύ ενδιαφέρον και θα μπορούσε να δώσει πιο ασφαλή συμπεράσματα.

- Ασυμμετρία:
- Η κατανομή του κανονικοποιημένο σημείο δρόσου παρουσιάζει σαφώς αρνητική ασυμμετρία: $Q_{25} = -0.62$, $Q_{50} = -0.42$ (διάμεσος), $Q_{75} = -0.26$.
 - Οι τιμές του συντελεστή ασυμμετρίας της κανονικοποιημένης θερμοκρασίας κατανέμονται περίπου ομοιόμορφα γύρω από το 0. $Q_{25} = -0.27$, $Q_{50} = -0.11$ (διάμεσος), $Q_{75} = 0.03$.

10. Συμπεράσματα-Προτάσεις (2)

○ Κύρτωση: Τόσο η κατανομή του κανονικοποιημένου σημείου δρόσου, όσο και η κατανομή της κανονικοποιημένης θερμοκρασίας είναι περίπου μεσόκυρτες με την τιμή της κύρτωσης να κυμαίνεται γύρω στο 3.

Συγκεκριμένα:

▪ Κανονικοποιημένο σημείο δρόσου:

$$Q_{25} = 3.02, Q_{50} = 3.27 \text{ (διάμεσος)}, Q_{75} = 4.02$$

▪ Κανονικοποιημένη θερμοκρασία:

$$Q_{25} = 2.96, Q_{50} = 3.19 \text{ (διάμεσος)}, Q_{75} = 3.80$$

○ Το σημείο δρόσου παρουσιάζει το φαινόμενο της μακροπρόθεσμης εμμονής με την τιμή του συντελεστή Hurst να είναι γύρω στο 0.8, δηλαδή αρκετά σημαντική. Συνεπώς, η συμπεριφορά αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την μελέτη αυτής της μεταβλητής για την εξαγωγή ρεαλιστικών συμπερασμάτων. Η αβεβαιότητα στην εκτίμηση των στατιστικών παραμέτρων αυξάνει δραματικά. Μέγεθος δείγματος ίσο με 400 000 τιμές, με την ύπαρξη εμμονής αντιστοιχεί σε μέγεθος ίσο με μόλις 174 στην κλασική στατιστική! Χρειάζεται, λοιπόν, μεγάλη προσοχή.

○ Η μεροληπτική εκτίμηση του Hurst υποεκτιμά την τιμή του κατά ~15% (από 0.81 σε 0.7), συνεπώς χρειάζεται να γίνεται διόρθωσή της.

Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!

