



## ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

**ΟΛΙΑΝΝΑ ΑΚΟΥΜΙΑΝΑΚΗ**

ΑΘΗΝΑ, 2023

**ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ** Επιβλέπων Καθηγητής

**ΑΝΥ ΗΛΙΟΠΟΥΛΟΥ**

Συνεπιβλέπουσα



## ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Χωροχρονική ανάλυση της υδροκλιματικής μεταβλητότητας, για τις διεργασίες της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, στο νησί της Κρήτης, για την περίοδο 1950 - 2021.

Περιγραφή του κλίματος σε όλη την έκταση του νησιού, μέσω της ερμηνείας των χρονικών διακυμάνσεων και της χωρικής ανάλυσης της κατανομής των διεργασιών που μελετώνται.

→ εντοπισμός ευάλωτων περιοχών

Στατιστική ανάλυση → χρονικές ιδιότητες στα δεδομένα

Ανάλυση συσχέτισης μεταβλητότητας → σχέσεις μεταξύ σταθμών & περιοχών, για αναγνώριση χωρικών προτύπων

Χρήση στοχαστικής μεθόδου του κλιμακογράμματος, για την εκτίμηση της μακροπρόθεσμης εμμονής στις διεργασίες.

Τέλος, απεικονίζεται, μέσω χαρτογράφησης, η χωρική κατανομή των κλιματικών μεταβλητών της βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στην Κρήτη, με μεθόδους χωρικής παρεμβολής.

## ΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

- Βρίσκεται στο νοτιοανατολικό τμήμα της Μεσογείου & στο νότιο άκρο του Αιγαίου, όπου συναντώνται οι 3 ήπειροι (Ευρώπη, Ασία, Αφρική)
- Είναι το μεγαλύτερο & πολυπληθέστερο νησί της Ελλάδος και πέμπτο σε έκταση στη Μεσόγειο Θάλασσα.
- Έχει έκταση 8.336 km<sup>2</sup> (6,3 % της χώρας) & πληθυσμό 617.360 ατόμων (2021).
- 13<sup>ο</sup> από τα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της Ελλάδας.



« Χωροχρονική ανάλυση υδροκλιματικής μεταβλητότητας στην Κρήτη » .



## ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

- Μεταβατικό ενδιάμεσου τύπου μεταξύ χερσαίου και ερημοειδούς Μεσογειακού.
- Καλύπτει ευρύ φάσμα βιοκλιματικών ορόφων, με σημαντικές διακυμάνσεις :
  - από τα Ανατολικά στα Δυτικά
  - από τα πεδινά στα ορεινά
- Χειμώνες βροχεροί και συνήθως ήπιοι και τα καλοκαίρια ζεστά και ξηρά.

Σημαντική ανισοκατανομή του ετήσιου όγκους βροχόπτωσης, τόσο γεωγραφικά όσο και φυσιογραφικά.

→ **Μέγιστη** βροχόπτωση: Δεκέμβριο ή Ιανουάριο

→ **Ελάχιστη** βροχόπτωση: Ιούλιο ή Αύγουστο (σχεδόν άνομβροι στα πεδινά)

Μεγάλη θερμοκρασιακή διακύμανση από Βορρά προς Νότο και από Δύση προς Ανατολή, μεταφέροντας υγρασία από το Ιόνιο Πέλαγος.  $T_{\text{average}} = 18.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  στα Δυτικά έως  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  στα Νότια.

## ΒΑΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

- 70 ενεργοί μετεωρολογικοί σταθμοί στην Κρήτη (Ε.Α.Α & Α.Δ.Κ.)

→ ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, από το 2006.

Ε.Μ.Υ. : ημερήσια δεδομένα από 17 μετεωρολογικούς σταθμούς της Κρήτης, για την περίοδο 1950-2021

Τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω ανάλυση, μέσω στατιστικών μεθόδων και μεθόδων χωρικής παρεμβολής. Οι σταθμοί με τις μεγαλύτερες χρονοσειρές (>30 ετών) και το μικρότερο ποσοστό ελλείψεων στα δεδομένα, επιλέχθηκαν για στοχαστική ανάλυση.



« Χωροχρονική ανάλυση υδροκλιματικής μεταβλητότητας στην Κρήτη » .



## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### Στοχαστική Ανέλιξη (stochastic process) :

Αυθαίρετα (συνήθως απείρως) μεγάλη οικογένεια στοχαστικών μεταβλητών  $x(t)$ . (Papoulis, 1991).

Χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την χρονική εξέλιξη φυσικών φαινομένων.

Οι φυσικές διεργασίες, που εκφράζονται και ως στοχαστικές ανελίξεις εξελίσσονται σε συνεχή χρόνο.

Η μαθηματική σχέση για την στοχαστική ανέλιξη σε διακριτό χρόνο  $\underline{x}_i^{(\Delta)}$  για  $D = \Delta > 0$  είναι η εξής:

$$\underline{x}_i^{(\Delta)} = \frac{\int_{(i-1)\Delta}^i x(\xi) d\xi}{\Delta}$$

όπου :

- $i \in (1, n)$  είναι μια παράμετρος που αντιπροσωπεύει τον διακριτό χρόνο
- $n = [T / \Delta]$  είναι ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων
- $T \in [0, \infty)$  είναι η χρονική διάρκεια των παρατηρήσεων.



## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### Κλιμακόγραμμα :

Στοχαστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για να διακρίνει την μακροπρόθεσμη εμμονή σε μια φυσική διεργασία.

Ορίζεται ως η διακύμανση της μέσης διαδικασίας  $\underline{x}_{(\tau)}$  (υποθέτοντας ότι είναι στάσιμη) σε σχέση με τη χρονική κλίμακα  $k$  και συμβολίζεται με  $\gamma(k)$ . (Koutsoyiannis, 2013)

Για μεγάλες χρονικές κλίμακες  $k$  :

$$\gamma_k = \frac{\gamma_1}{k^{2-2H}}$$

Κλίση διπλής αλγοριθμικής γραφικής παράστασης του κλιμακογράμματος, για μεγάλες χρονικές κλίμακες

### Φαινόμενο Hurst ή συμπεριφορά Hurst- Kolmogorov

Τυχαία διαδικασία  $\rightarrow H = 0.5$  (λευκός θόρυβος)

Φυσικές διεργασίες  $\rightarrow 0.5 \leq H \leq 1$  (μακροχρόνια εμμονή σε μεγάλες κλίμακες)

$\rightarrow 0 \leq H \leq 0.5$  (αντιεμμονή)



## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

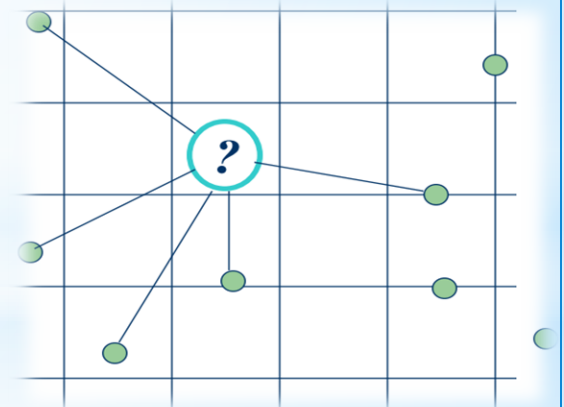
### Μέθοδοι Χωρικής Παρεμβολής :

Η βροχόπτωση και η θερμοκρασία, αποτελούν σημαντικό κομμάτι των υδρολογικών δεδομένων, τα οποία καταγράφονται ως δεδομένα παρατήρησης μέσω ολοκληρωμένα σχεδιασμένων δικτύων μετεωρολογικών σταθμών (Li & Heap, 2014).

Καταγραφές συχνά ελλιπείς { - έλλειψη δεδομένων κατά την περίοδο μέτρησης  
- ανεπαρκείς σταθμοί στην περιοχή μελέτης

Μέθοδοι που παράγουν τέτοια χωρικά συνεχή δεδομένα, με τη χρήση σημειακών δειγμάτων καθίστανται απαραίτητα εργαλεία.

Διαδικασία προσδιορισμού της τιμής μιας μεταβλητής  $z$  σε κάποιο σημείο  $(x, y)$  του χώρου, δεδομένου ότι είναι γνωστές οι τιμές της μεταβλητής αυτής σε ένα σύνολο σημείων, που είναι συνήθως τυχαία κατανεμημένα στο χώρο.







## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### Μέθοδος Αντιστρόφου Βαρύνουσας Απόστασης - Inverse Distance Weighted Method (IDW)

- Από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ντετερμινιστικά μοντέλα στη χωρική παρεμβολή.

Οι χαρακτηριστικές τιμές οποιουδήποτε δεδομένου ζεύγους σημείων σχετίζονται μεταξύ τους, αλλά η ομοιότητά τους είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης μεταξύ των δύο θέσεων (Lu and Wong 2008).

Κατά τον υπολογισμό μιας τιμής σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου, δίνεται μεγαλύτερο βάρος στις τιμές που αντιστοιχούν στα γειτονικά του σημεία, όπου έχουν διεξαχθεί μετρήσεις, απ' ότι στα πιο απομακρυσμένα.

$$f(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n w(d_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n (d_i)}$$

όπου,

- $f(x, y)$  : η προσομοιωμένη τιμή της υπό εξέταση παραμέτρου στο σημείο  $(x, y)$
- $w(d_i)$  : η συνάρτηση βάρους
- $z_i$  : η μετρημένη τιμή παραμέτρου στο σημείο  $i$
- $d_i$  : η απόσταση του σημείου  $i$  από το σημείο  $(x, y)$
- $n$  : ο αριθμός των γειτονικών / πιο κοντινών σταθμών δειγματοληψίας



## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### Μέθοδος Kriging

Γεωστατιστικές μέθοδοι, βασιζόμενες σε στατιστικά μοντέλα που περιλαμβάνουν την αυτοσυσχέτιση.

Η απόσταση μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας, αντανακλά μια χωρική συσχέτιση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξήγηση της μεταβολής στην επιφάνεια.

Προσαρμόζει μια μαθηματική συνάρτηση σε έναν καθορισμένο αριθμό σημείων ή σε όλα τα σημεία εντός μιας καθορισμένης ακτίνας, για να καθορίσει την τιμή εξόδου για κάθε θέση.

Κανονική Μέθοδος Kriging (Ordinary Kriging) → Κανονική Κατανομή στο δείγμα

- Βασίζεται στο ημι-βαριόγραμμα ώστε να προβλεφθεί η τιμή μιας μεταβλητής σε κάποιο σημείο.
- Ο σταθερός μέσος όρος όλων των δειγμάτων είναι άγνωστος, αλλά σταθερός στην περιοχική εκτίμησης.

$$Z_k^*(x) = \sum w_i Z(x_i)$$

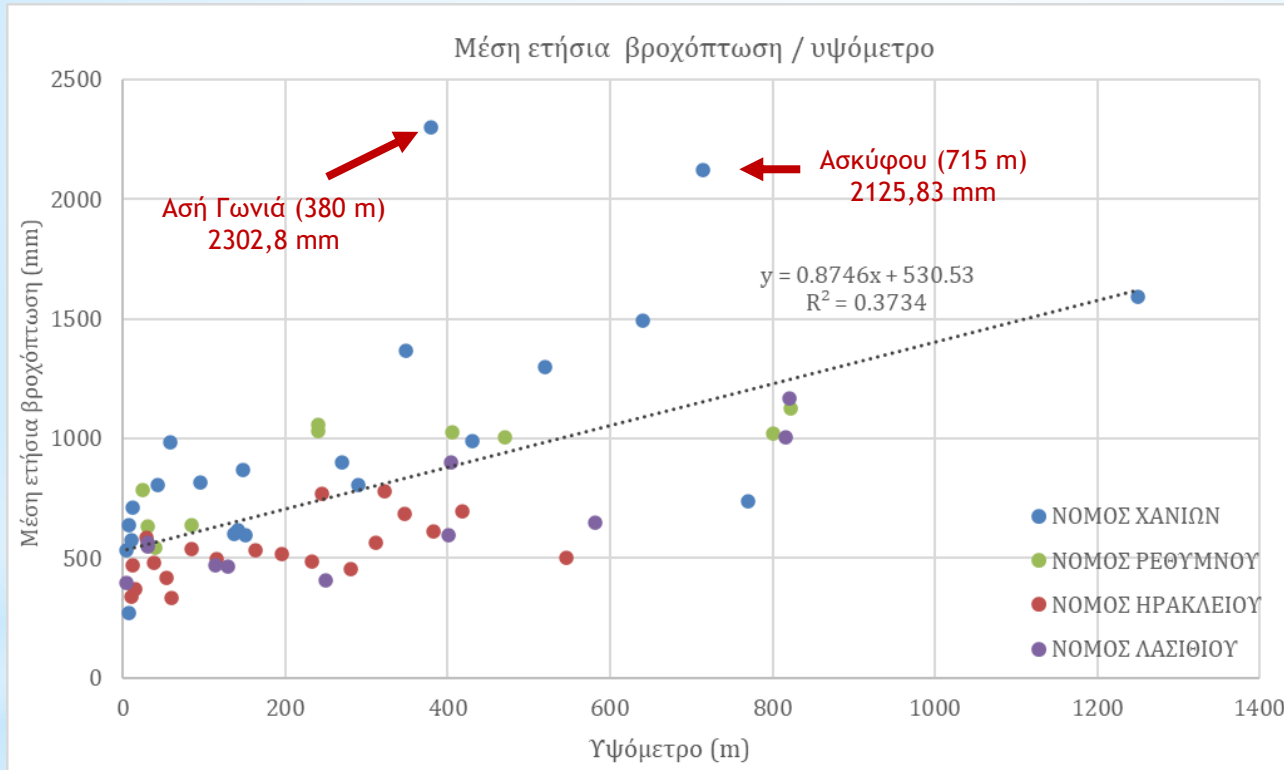
όπου,

- $Z_k^*(x)$  : η προβλεφθείσα τιμή της μεταβλητής
- $w_i$  : οι σταθμισμένοι συντελεστές του kriging
- $Z(x_i)$  : οι μετρηθείσες τιμές της μεταβλητής στα σημεία  $x_1, \dots, x_n$



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Επίδραση υψόμετρου στην Βροχόπτωση



Μέση τιμή ετήσιας βροχόπτωσης συναρτήσει του υψόμετρου για τους σταθμούς της Κρήτης, την περίοδο 1950 -2021

### Τυμπάκι Ηρακλείου

Υψόμετρο : 60 m  
Μέση ετήσια βροχόπτωση :  
333,3 mm

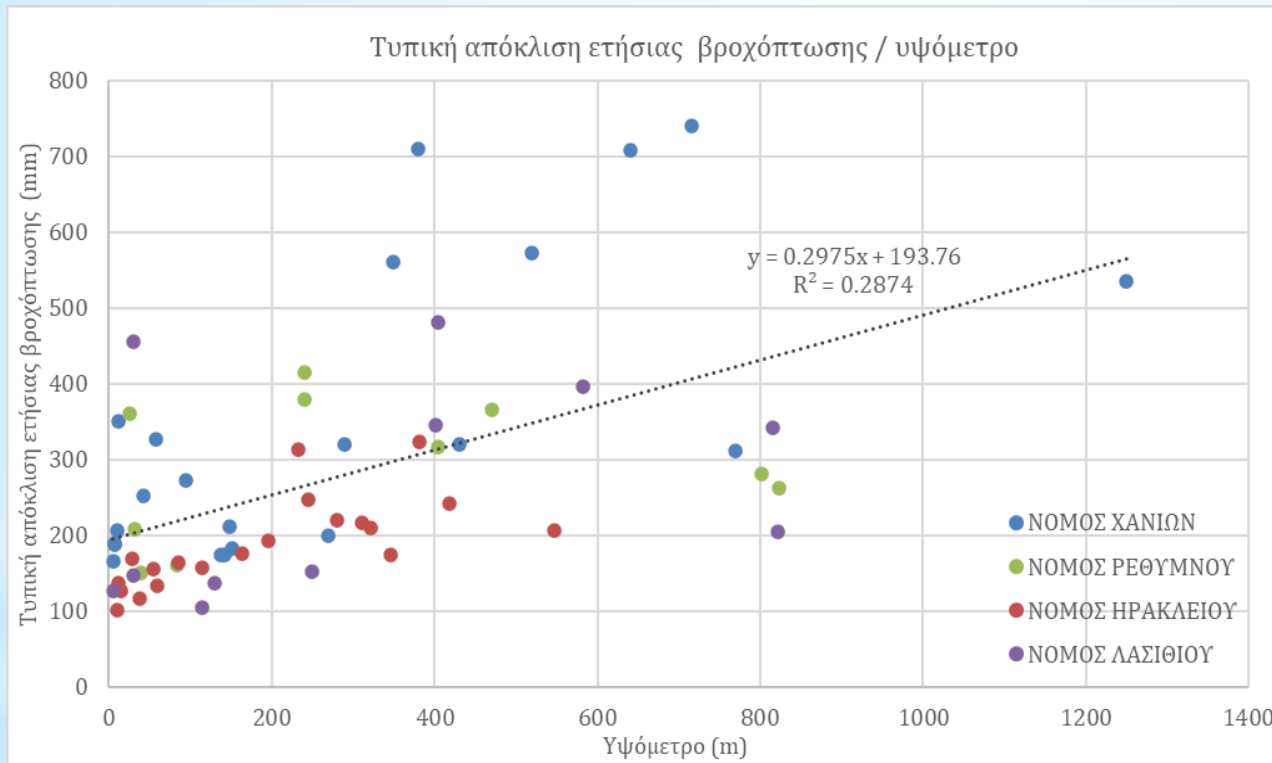
### Λέντας Ηρακλείου

Υψόμετρο : 15 m  
Μέση ετήσια βροχόπτωση :  
370, 78 mm



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Επίδραση υψόμετρου στην βροχόπτωση



Μεγαλύτερες τιμές τυπικής απόκλισης

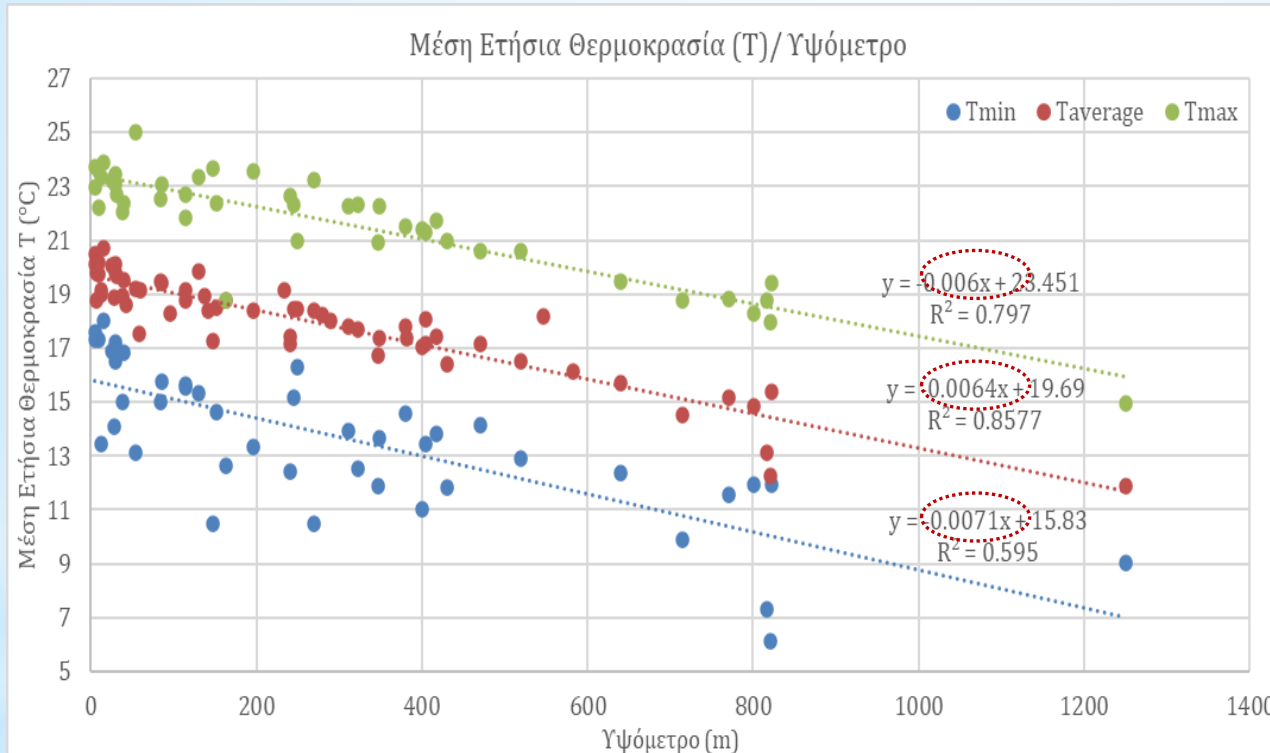


Σταθμοί με την υψηλότερη μέση βροχόπτωση

Τυπική απόκλιση ετήσιας βροχόπτωσης συναρτήσει του υψόμετρου για τους σταθμούς της Κρήτης, την περίοδο 1950 -2021.



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Επίδραση υψόμετρου στην θερμοκρασία

Μέση τιμή ετήσιας θερμοκρασίας (T<sub>min</sub>, T<sub>average</sub>, T<sub>max</sub>) συναρτήσεως του υψόμετρου για τους σταθμούς της Κρήτης, την περίοδο 1950 -2021.

Προβλεπόμενη τιμή ρυθμού μεταβολής θερμοκρασίας με το υψόμετρο :

6.5 °C / 1000 m



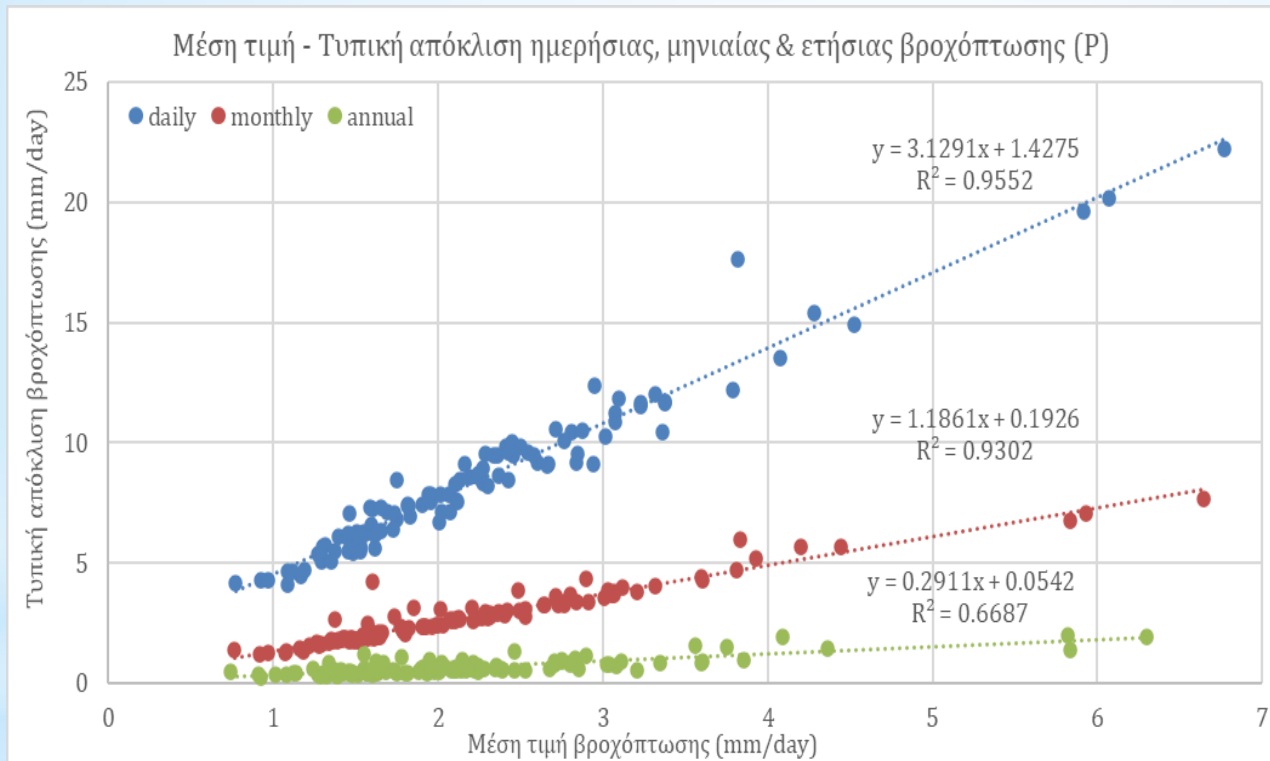
0.0065 °C / m

(Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 2016)



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Σχέση μέσης τιμής (μ) - τυπικής απόκλισης σχετικά με τη βροχόπτωση



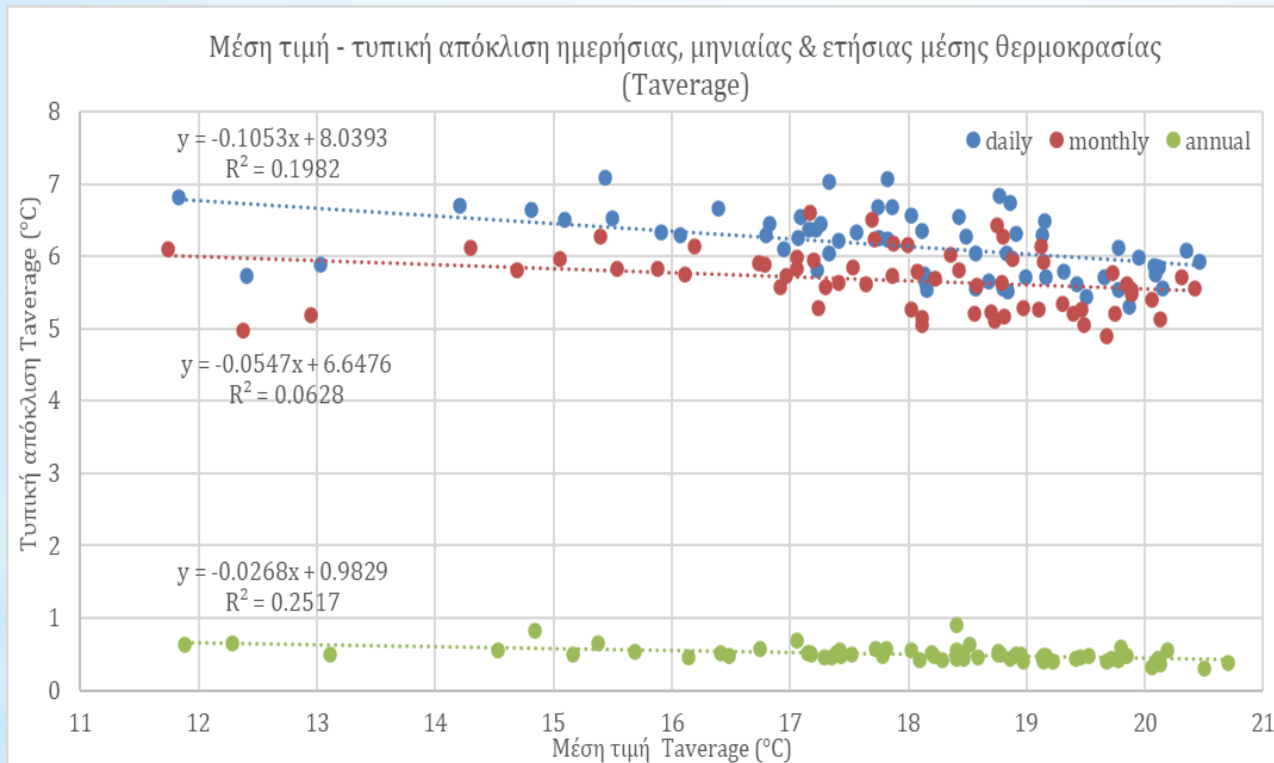
Γραμμική σχέση μεταξύ μέσης τιμής (μ) και τυπικής απόκλισης (σ) της βροχόπτωσης.

Όσο η κλίμακα αυξάνεται, εξομαλύνεται η ακραία συμπεριφορά της βροχόπτωσης.

Τυπική απόκλιση ετήσιας βροχόπτωσης συναρτήσει του υψομέτρου για τους σταθμούς της Κρήτη, την περίοδο 1950 -2021.



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σχέση μέσης τιμής ( $\mu$ ) - τυπικής απόκλισης σχετικά με τη θερμοκρασία

Σχεδόν μηδενική σχέση μεταξύ μέσης τιμής ( $\mu$ ) και τυπικής απόκλισης ( $\sigma$ ) θερμοκρασίας.

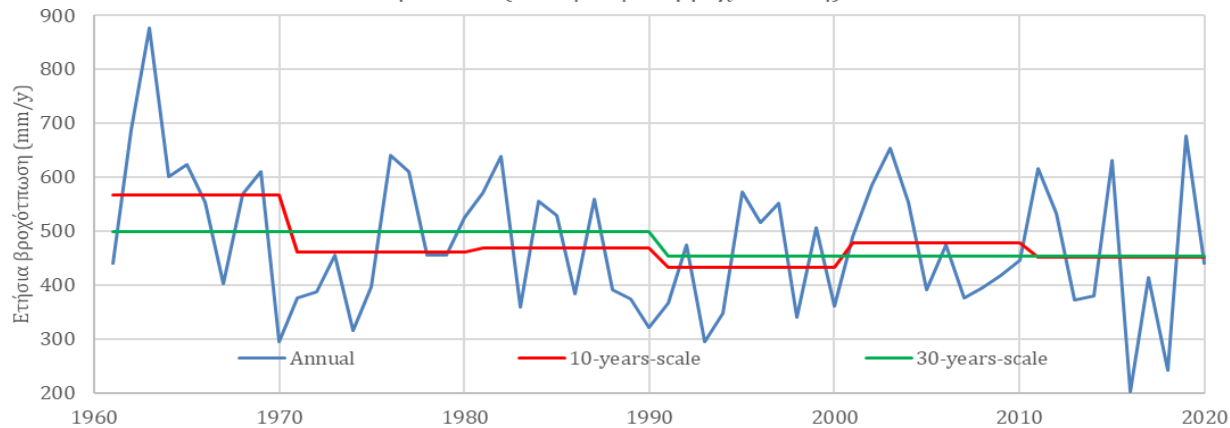
Τυπική απόκλιση ετήσιας βροχόπτωσης συναρτήσει του υψομέτρου για τους σταθμούς της Κρήτη, την περίοδο 1950 -2021.



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

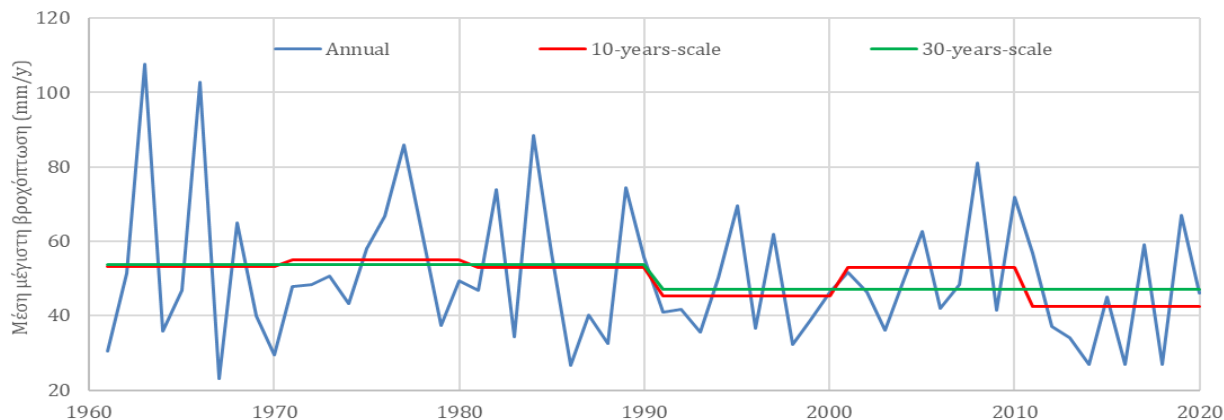
Κλιματική διακύμανση της βροχόπτωσης στην Κρήτη

Ηράκλειο (Μέση ετήσια βροχόπτωση)



Δεν εντοπίζονται έντονες μεταβολές στη συμπεριφορά της βροχόπτωσης, οι οποίες με τη πάροδο του χρόνου μοιάζουν ασήμαντες, γεγονός που υποδηλώνει στασιμότητα.

Ηράκλειο (Μέγιστη ετήσια βροχόπτωση)

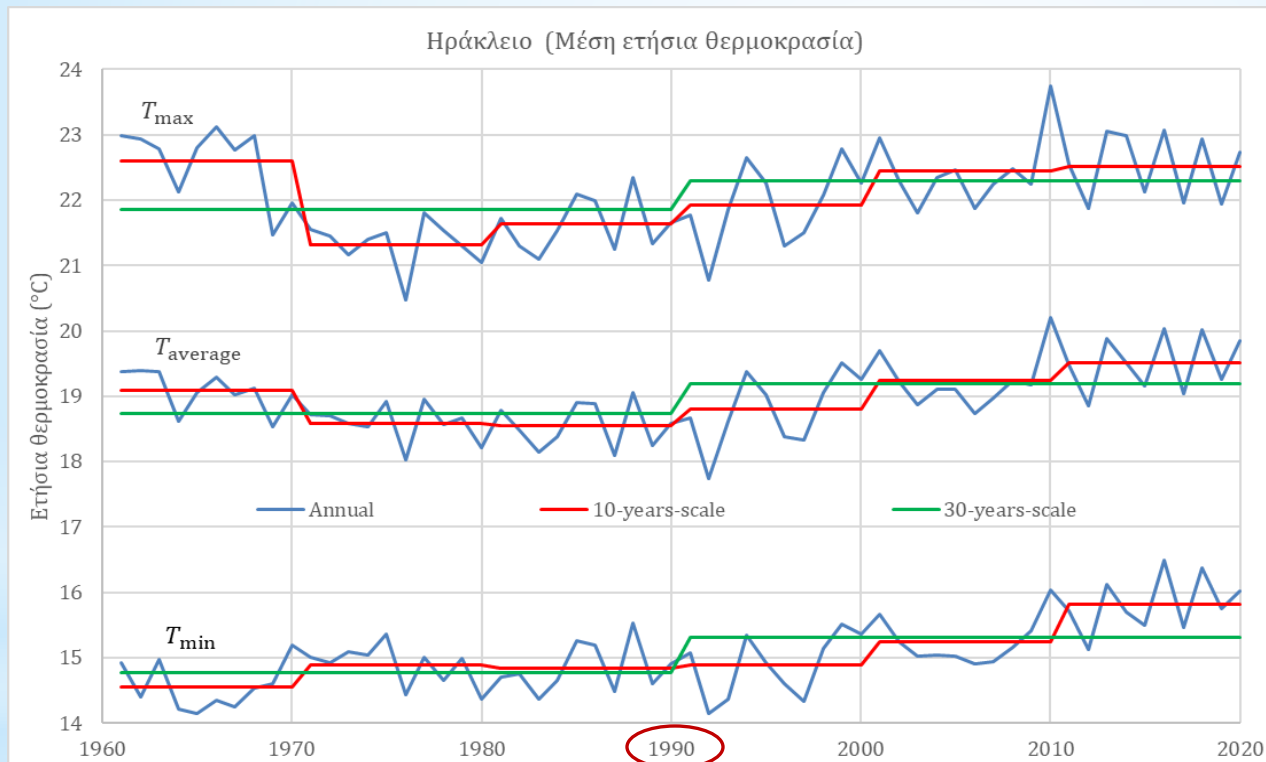


Η μεταβλητότητα και τα ακραία μειώνονται όσο η χρονική κλίμακα αυξάνεται, ποτέ όμως δε μηδενίζεται.





## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κλιματική διακύμανση της θερμοκρασίας στην Κρήτη

Ασταθής συμπεριφορά, με έντονες διακυμάνσεις στην κλιματική κλίμακα κατά τη διάρκεια των ετών.



Όσο η χρονική κλίμακα αυξάνεται, οι μεταβολές αυτές μειώνονται.

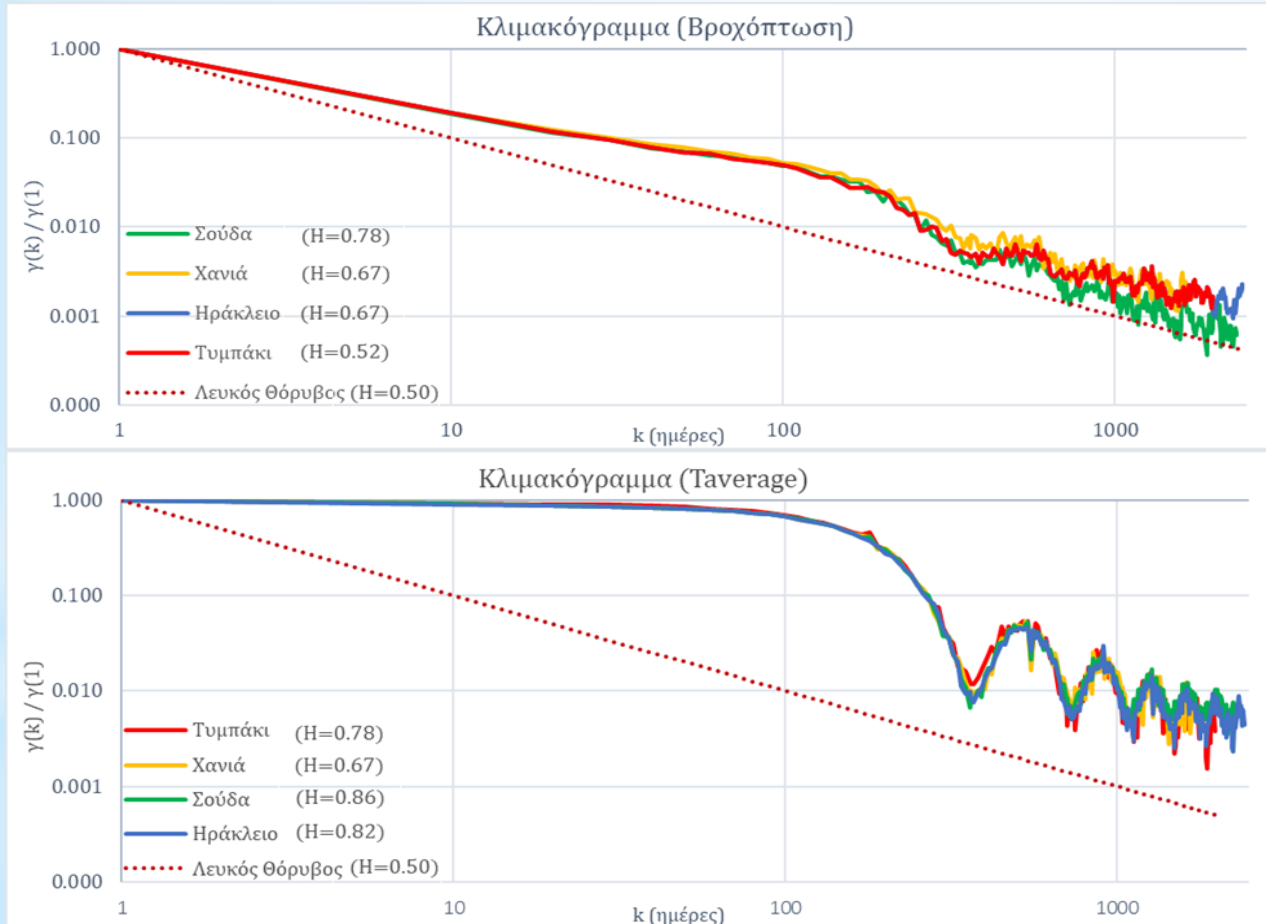
Από το έτος 1990, η θερμοκρασία τείνει να αυξάνεται ελαφρώς.

$T_{min}$  → μεγαλύτερη αύξηση αναλογικά με τις υπόλοιπες, της τάξης των 0.55 °C σε επίπεδο 30 ετών.



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Κλιμακόγραμμα



Ασθενής μακροχρόνια εμμονή  
( $H_{\text{average}} = 0.66$ )

παγκόσμια μέση τιμή για τη  
βροχόπτωση ( $H = 0.60$ )

(Iliopoulou et al., 2018)

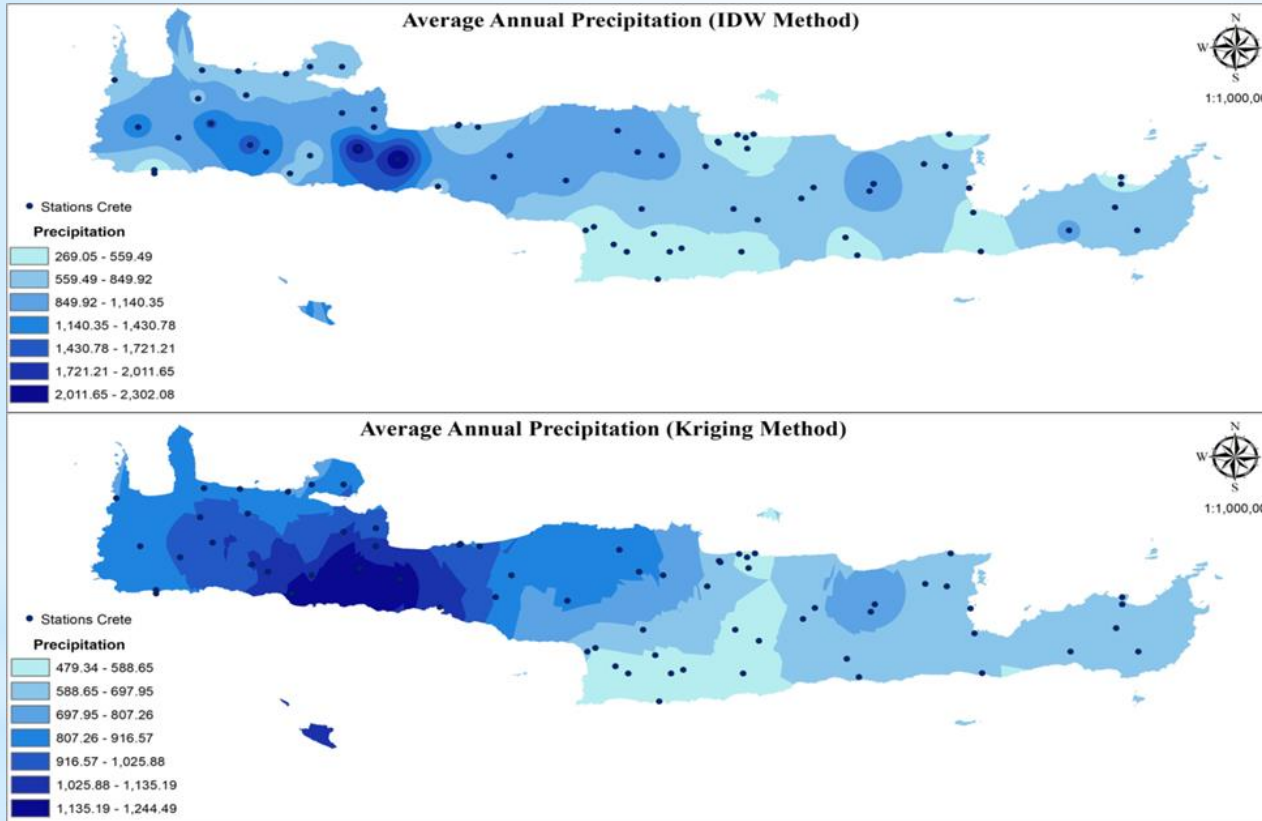
Συμπεριφορά μακροχρόνιας  
εμμονής ( $H_{\text{average}} = 0.78$ )

$H_{\text{average}} = 0.783$  για τη  
διεργασία της θερμοκρασίας

(Glynis et. al., 2021)



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Χωρική ανάλυση βροχόπτωσης

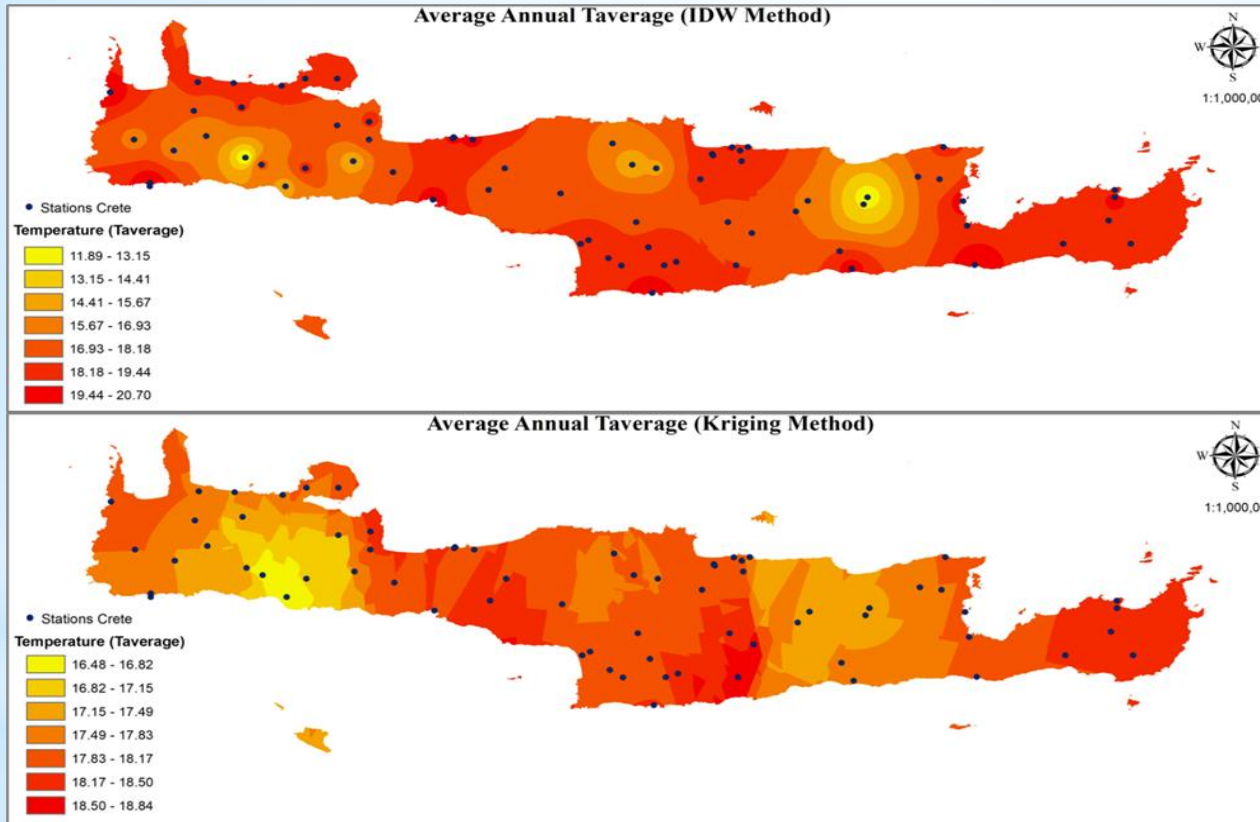
Η Δυτική Κρήτη δέχεται τα μεγαλύτερα ύψη βροχής σε σχέση με την Ανατολική σε ετήσια βάση, καθώς και τα μεγαλύτερα ακραία.

Μεγάλη ευκρίνεια στην κατανομή της βροχόπτωσης και για τις δύο μεθόδους.



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Χωρική ανάλυση θερμοκρασίας



Μεγαλύτερες τιμές μέσης θερμοκρασίας → παράκτια του νησιού.

Χαμηλότερες τιμές μέσης θερμοκρασίας → ορεινές περιοχές.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- **Ισχυρή ανισοκατανομή του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης**
  - **γεωγραφικά** (ανατολικά προς δυτικά)
  - **φυσιογραφικά** (πεδινές προς ορεινές περιοχές)
- Το μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης εντοπίζεται στον νομό Χανίων και στις ορεινές του περιοχές.
- Σημαντική επίδραση του υψομέτρου στην θερμοκρασία, με αντιστρόφως ανάλογη σχέση.
- Ομοιόμορφη πτωτική τάση και για την ελάχιστη, τη μέση και τη μέγιστη θερμοκρασία.
- Μεγάλη σχέση μέσης τιμής ( $\mu$ ) και τυπικής απόκλισης ( $\sigma$ ) βροχόπτωσης, για ημερήσια, μηνιαία και ετήσια δεδομένα. Όσο αυξάνεται η κλίμακα, τόσο μειώνεται η σχέση (τα ακραία εξομαλύνονται).
- Ελάχιστη σχέση μέσης τιμής ( $\mu$ ) και τυπικής απόκλισης ( $\sigma$ ) θερμοκρασίας → ελάχιστες μεταβολές ανά τα χρόνια. Εποχικότητα στις ημερήσιες & μηνιαίες τιμές της τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- **Βροχόπτωση:** δεν εντοπίζονται έντονες μεταβολές ανά τα χρόνια, οι οποίες μειώνονται όσο η κλίμακα αυξάνει, υποδηλώνοντας στασιμότητα.
- **Θερμοκρασία:** ασταθής συμπεριφορά ανά τα χρόνια, με έντονες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια των ετών. Μειώνονται όσο η κλίμακα αυξάνει.  
→ **1990 :** μικρή ανοδική τάση. Μεγαλύτερη θερμοκρασιακή αύξηση στην  $T_{min}$ .
- **Βροχόπτωση:** αυξημένη παρουσία μοτίβων αλλά και αβεβαιότητας → **τυχειότητα**
- **Θερμοκρασία:** παρουσία μακροχρόνιας εμμονής σε μεγάλες κλίμακες → **εποχικότητα**
- Οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής (**IDW & Kriging**) → μεγάλη ευκρίνεια στην χωρική διακύμανσή βροχόπτωσης και θερμοκρασίας σε όλο το νησί.
- Διαφορές μεταξύ τους, αλλά μεγάλη ευκρίνεια ως προς τη συνολική αποτύπωση τη πληροφορίας.



**ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ!**