



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

Στοχαστική Διερεύνηση της Συμπεριφοράς της Θερμοκρασίας στην Επιφάνεια της Γης σε παγκόσμια κλίμακα

Κωνσταντίνος-Γεώργιος Γλύνης

Επιβλέπων: Δημήτρης Κουτσογιάννης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 30 Οκτωβρίου 2019

Διάρθρωση παρουσίασης

- Αντικείμενο εργασίας
- Θεωρητικά στοιχεία
- Δεδομένα
- Μεθοδολογία
- Ευρήματα
- Συμπεράσματα



Στόχος της εργασίας

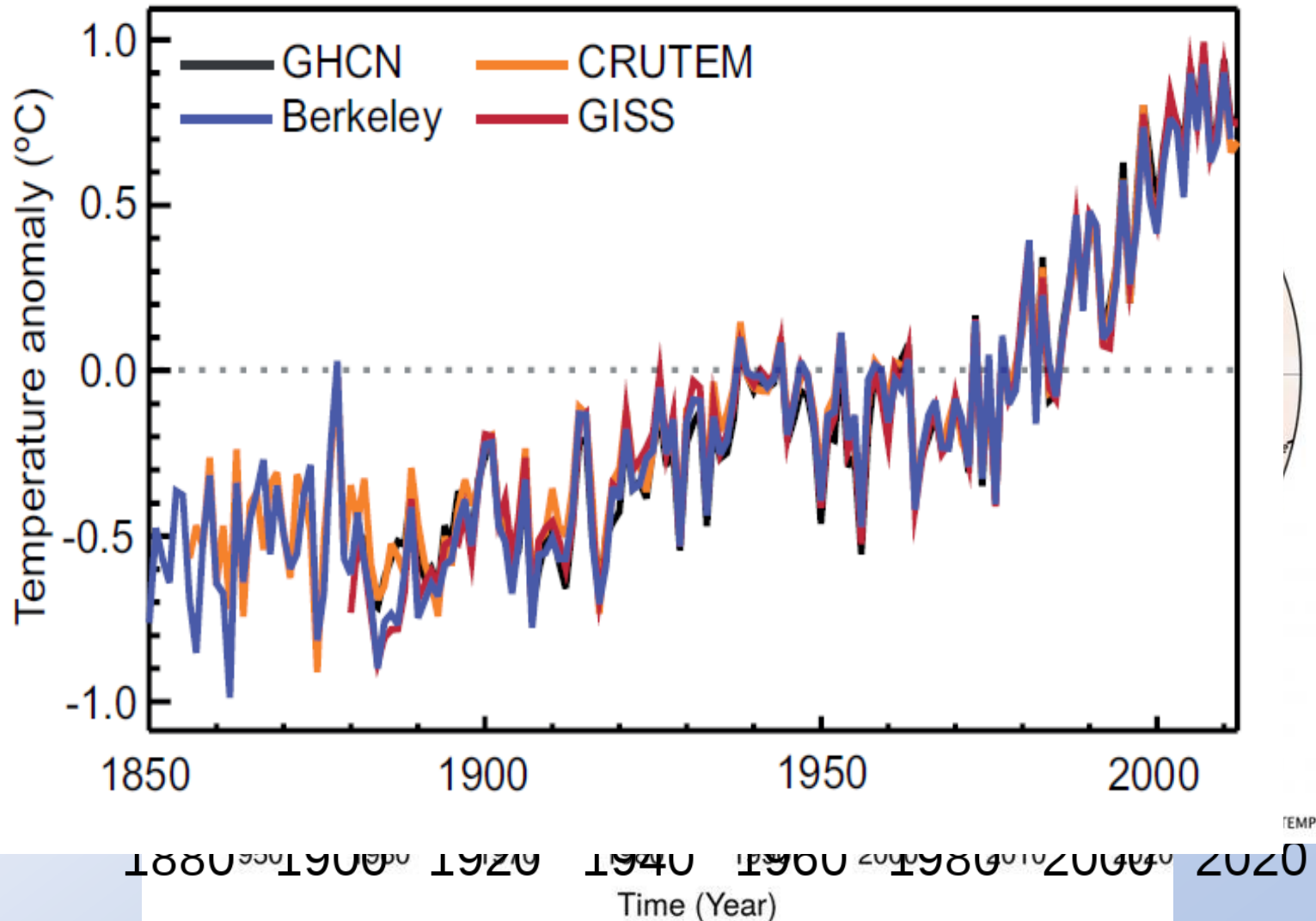
Μελέτη της χρονικής
εξέλιξης των
ακραίων
θερμοκρασιών



Αξιολόγηση της
στοχαστικής
συμπεριφοράς



Τι ευρήματα υπάρχουν;



Σημεία καινοτομίας



Σπουδαιότητα της θερμοκρασίας

Επιρροή (μεταξύ άλλων) σε:

- Καιρικά φαινόμενα
- Βιολογικές διεργασίες
- Αγροτική παραγωγή
- Ζήτηση ενέργειας



Παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία



Θεωρία

Συμπεριφορά Hurst-Kolmogorov

$$\left(Z_i^{(k)} - k\mu \right) = \left(\frac{k}{l} \right)^H \left(Z_j^{(l)} - l\mu \right)$$

Όπου: $Z_i^{(k)}$ η συναθροισμένη στοχαστική διεργασία σε κλίμακα k

$k\mu$ η μέση (αναμενόμενη) τιμή σε κλίμακα k

H η παράμετρος Hurst

Εύρος παραμέτρου Hurst



Θεωρία

Κλιμακόγραμμα

$$Z_u^{(k)} = \frac{1}{k} \sum_{i=(u-1)k}^{uk} Z_i$$

Όπου: $Z_u^{(k)}$ η μέση συναθροισμένη στοχαστική διεργασία σε κλίμακα k

Για διεργασία πεπερασμένου βήματος:

$$\gamma_d^{(\Delta)}(k) := \frac{\text{Var}[\sum_{l=k(i-1)+1}^{ki} x_l^{(\Delta)}]}{k^2} = \frac{\text{Var}[\sum_{l=1}^k x_l^{(\Delta)}]}{k^2} = \gamma(k\Delta)$$

Θεωρία

Κλιμακόγραμμα

Hurst-Kolmogorov:

$$\gamma(k) = \lambda \left(\frac{a}{k} \right)^{2-2H}$$

Markov:

$$\gamma(k) = \frac{2\lambda}{k/a} \left(1 - \frac{1 - e^{-k/a}}{k/a} \right)$$

Υβριδικό Η-Κ & Markov:

$$\gamma(k) = \frac{\lambda}{2} \left(1 + \left(\frac{k}{a} \right)^{2M} \right)^{\frac{H-1}{M}} + \frac{\lambda}{k/a} \left(1 - \frac{1 - e^{-k/a}}{k/a} \right)$$

Θεωρία

K-ροπές

$$K'_{pq} := (p - q + 1)E \left[\left(F(\underline{x}) \right)^{p-q} \underline{x}^q \right], \quad p \geq q$$

Όπου: $F(x)$ η συνάρτηση κατανομής
 \underline{x} στοχαστική μεταβλητή

$$K'_{pq} = \frac{p - q + 1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{i - 1}{n - 1} \right)^{p-q} \underline{x}_{(i)}^q, \quad p \geq q$$

Θεωρία

Περίοδοι επαναφοράς

Γενικός ορισμός:

$$\frac{T(K'_{p1})}{D} = \Lambda_p p$$

Όπου: D αναφορά χρόνου

Λ_p συντελεστής, που εξαρτάται από τη συνάρτηση κατανομής και την τάξη p

$$\frac{T(K'_{p1})}{D} = p\Lambda_p \approx \Lambda_\infty p + (\Lambda_1 - \Lambda_\infty)$$

Για κανονική κατανομή: $\Lambda_1 = 2$ and $\Lambda_\infty = e^{1/2} = 1.649$



Θεωρία

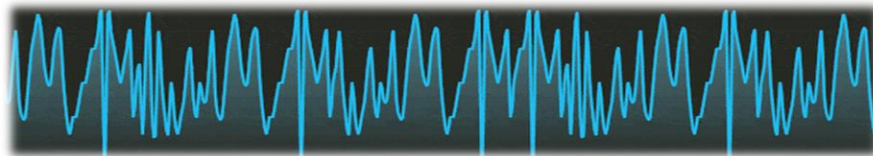
Σχήμα Συμμετρικού Κυλιόμενου Μέσου (SMA)

$$X_i = \sum_{j=-q}^q a_{|j|} V_{i+j} = a_q V_{i-q} + \dots + a_1 V_{i-1} + a_0 V_i + a_1 V_{i+1} + \dots + a_q V_{i+q}$$

Όπου: V_i διεργασία λευκού θορύβου

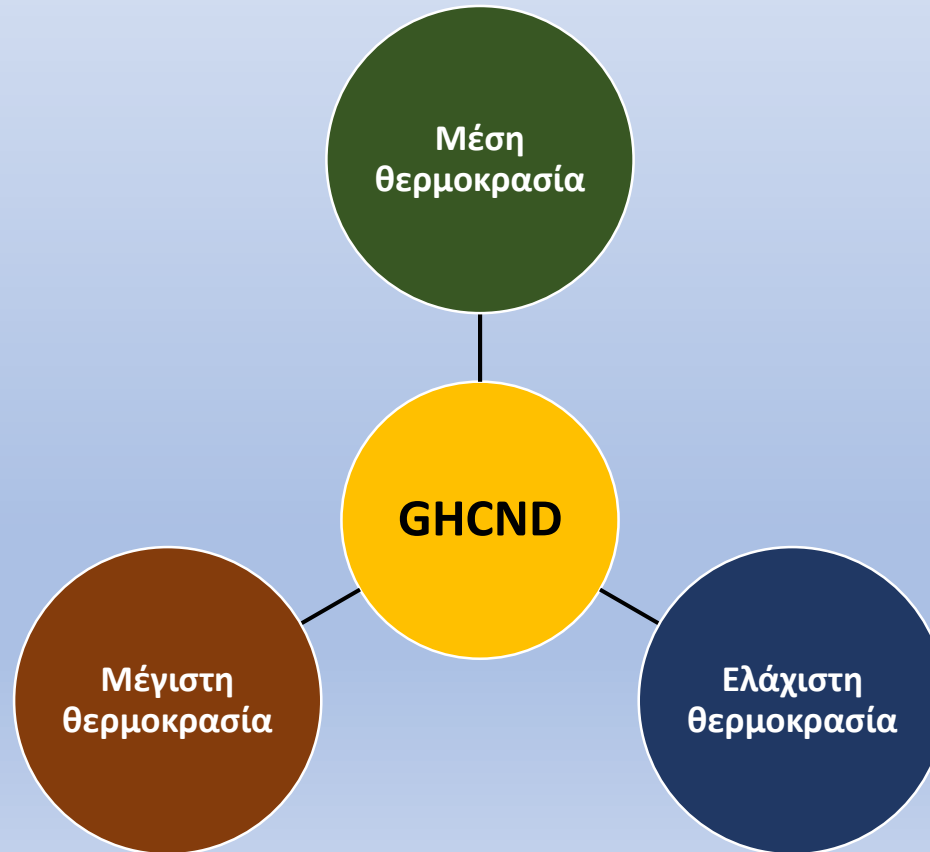
a_j συντελεστές βαρύτητας, συμμετρικοί ως προς a_0

Ακρίβεια μεθόδου = $f(q)$



Βάση δεδομένων

G.H.C.N. (Global Historical Climatology Network)-Daily της N.O.A.A.



Βάση δεδομένων

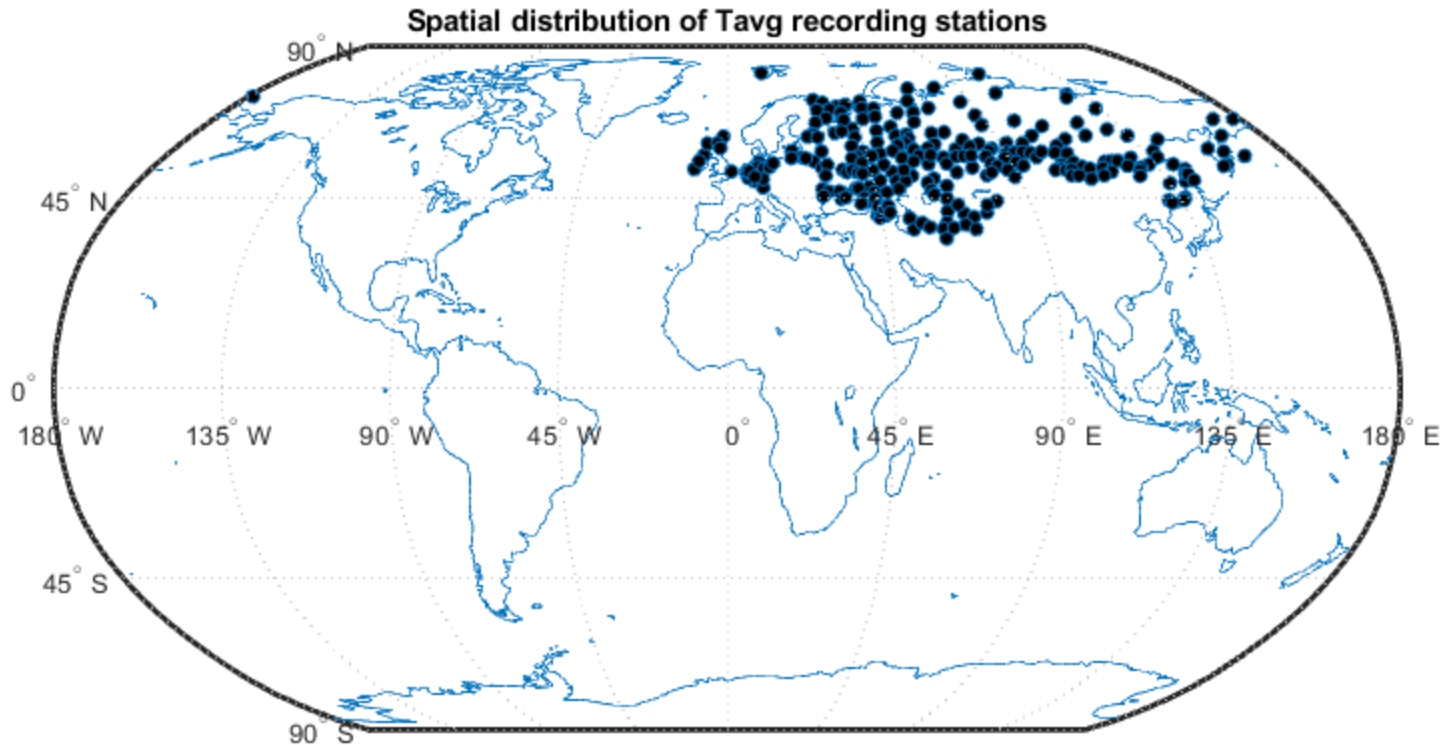
Αρχική επιλογή χρονοσειρών

- Αφαίρεση επισημασμένων καταχωρήσεων
- Αφαίρεση χρονοσειρών με διάρκεια μικρότερη από 30 έτη
- Αφαίρεση χρονοσειρών με έτος έναρξης μετά το 1935



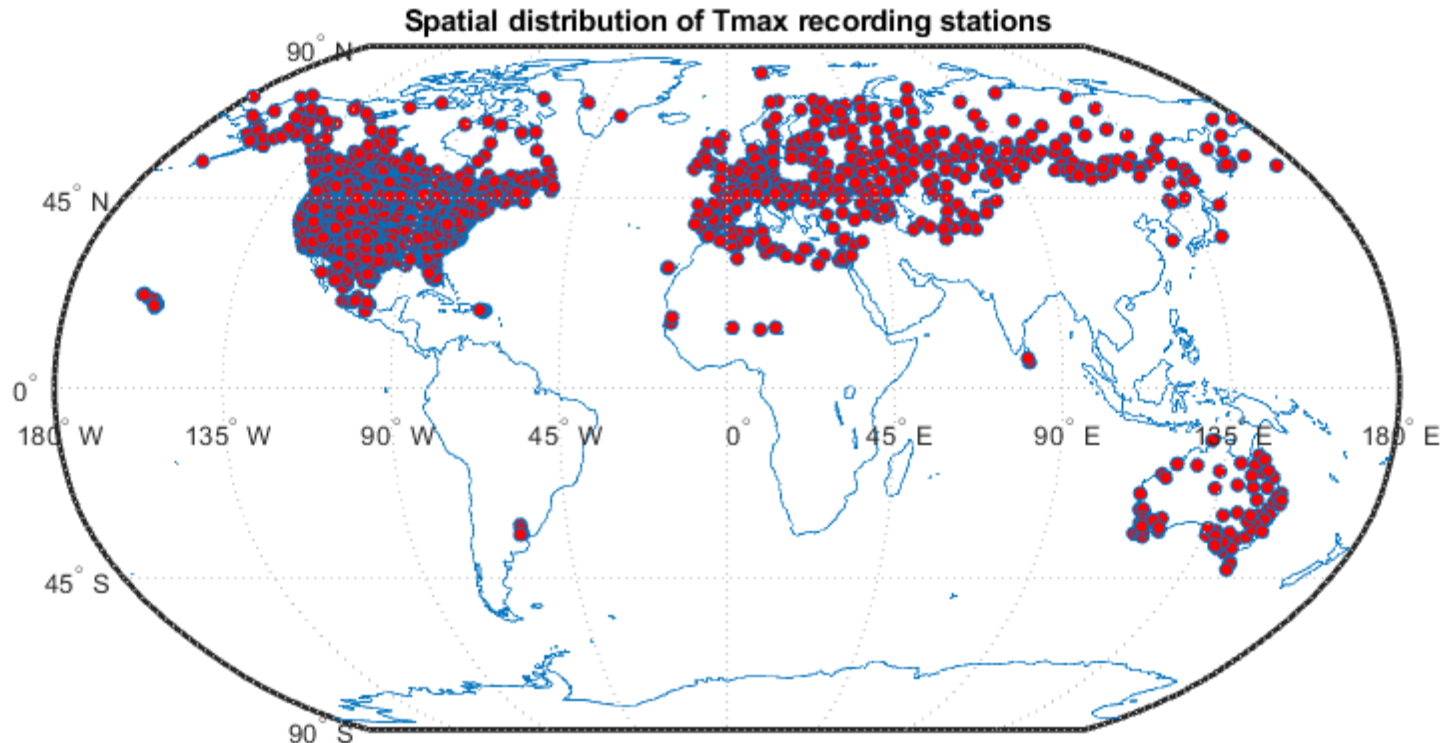
Δεδομένα

245 χρονοσειρές μέσης θερμοκρασίας



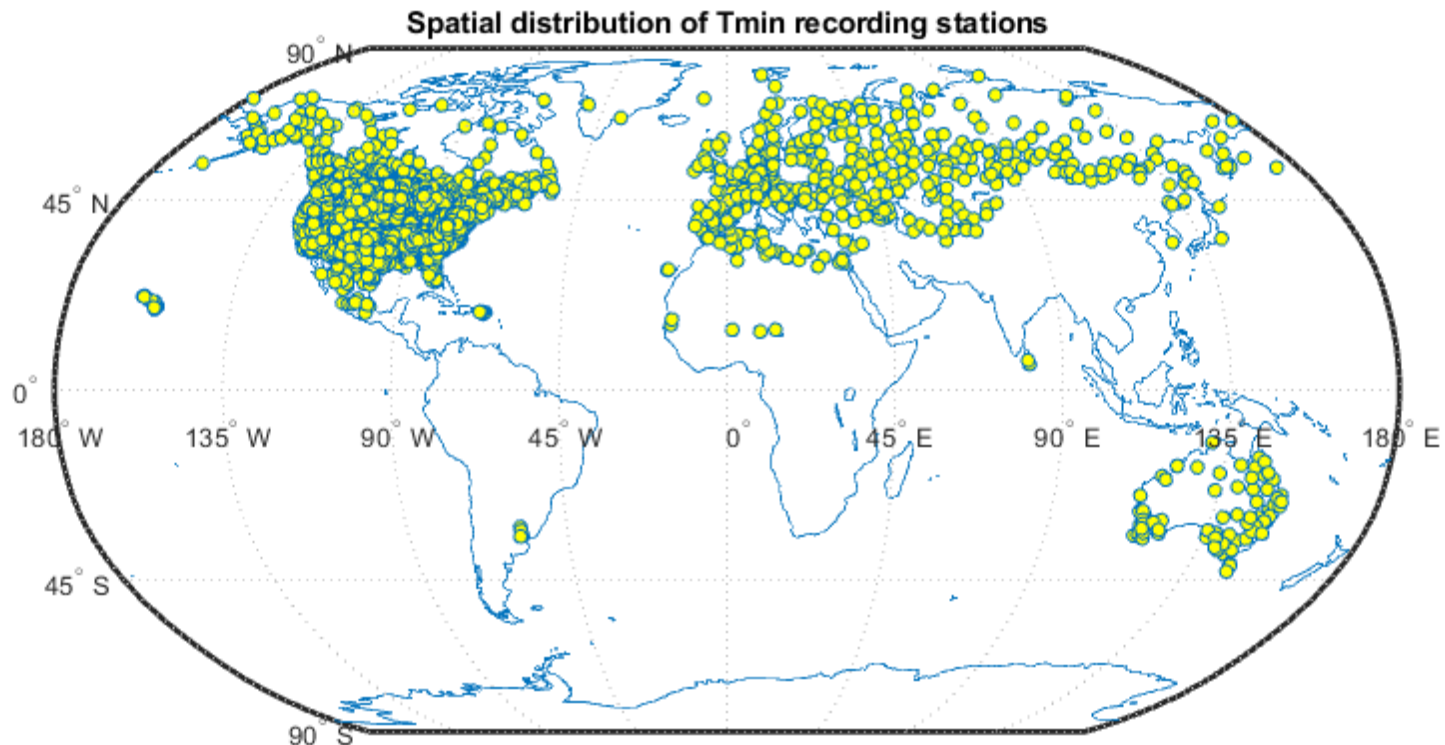
Δεδομένα

5,006 χρονοσειρές μέγιστης θερμοκρασίας



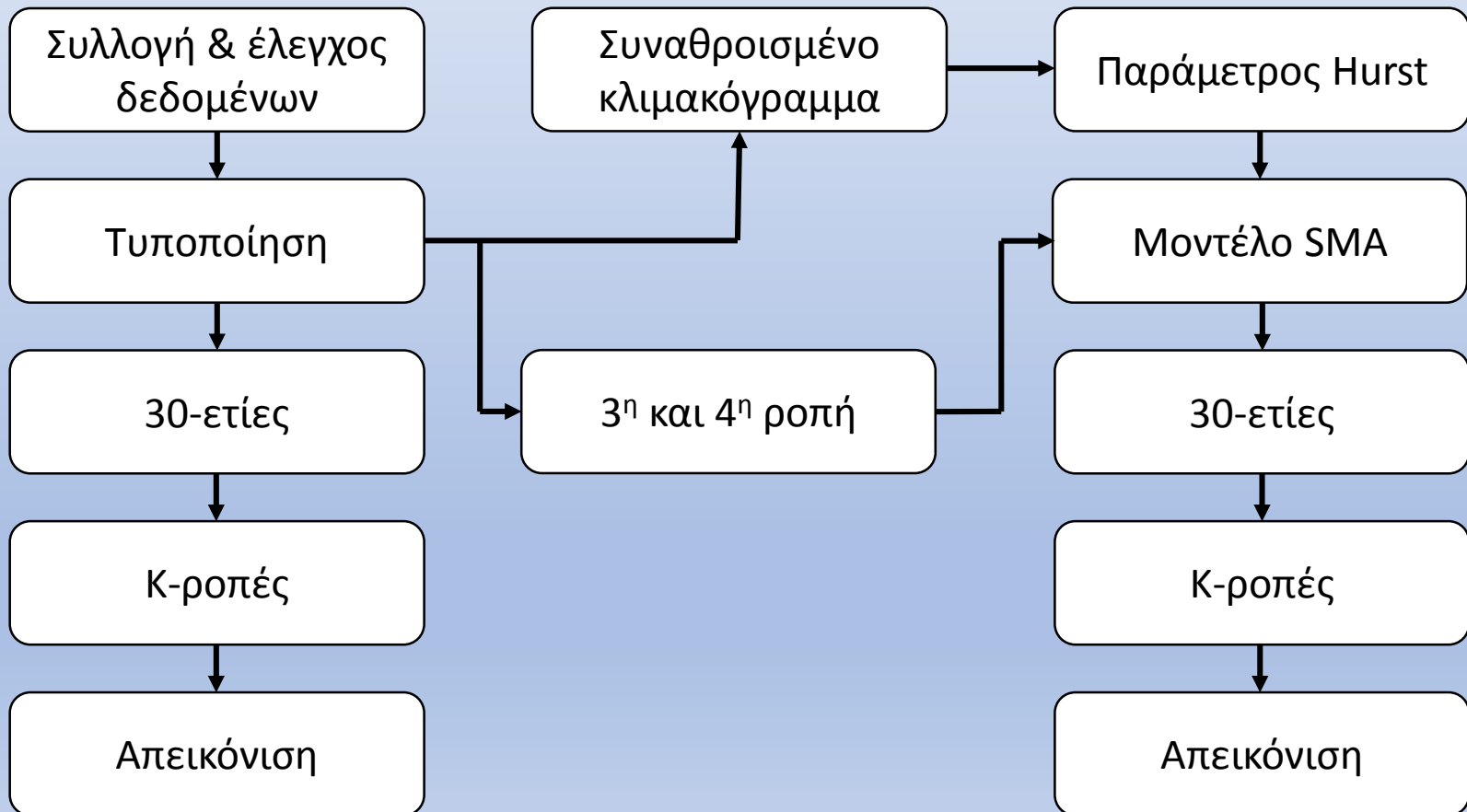
Δεδομένα

5,006 χρονοσειρές ελάχιστης θερμοκρασίας



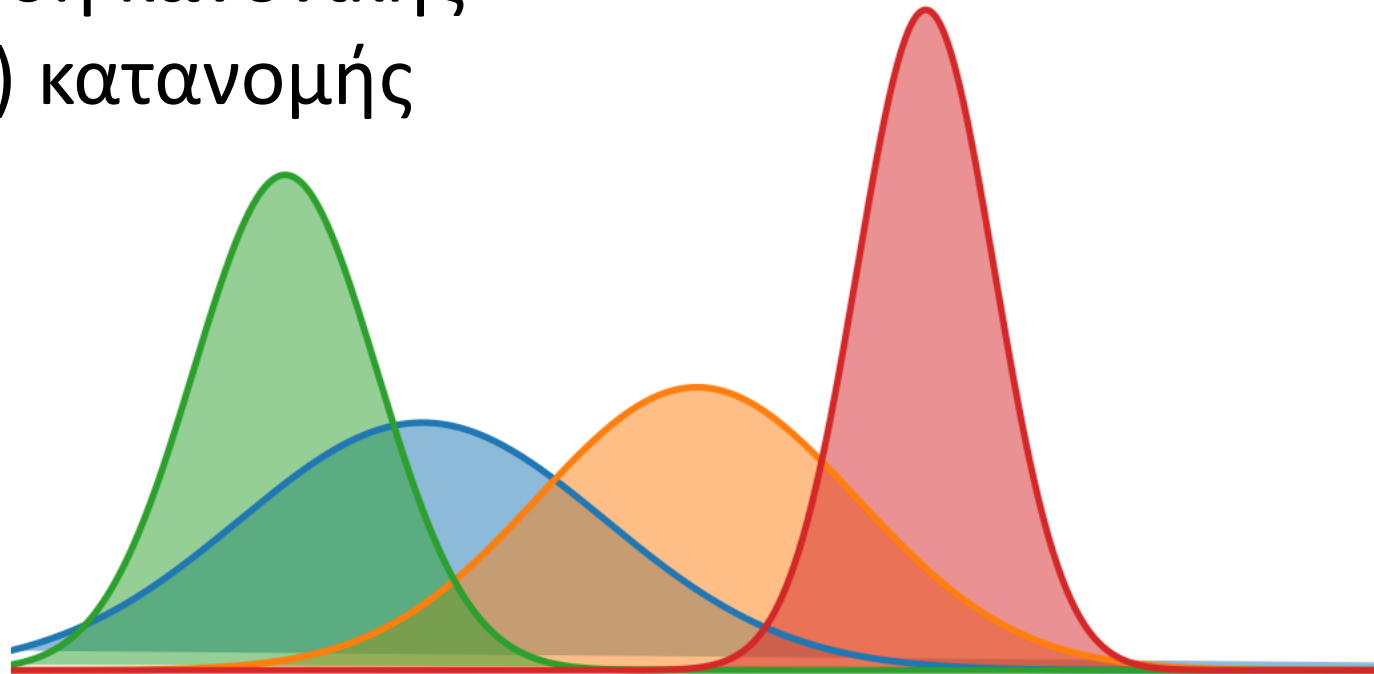
Μεθοδολογία

Για κάθε παράμετρο της θερμοκρασίας:



Τυποποίηση

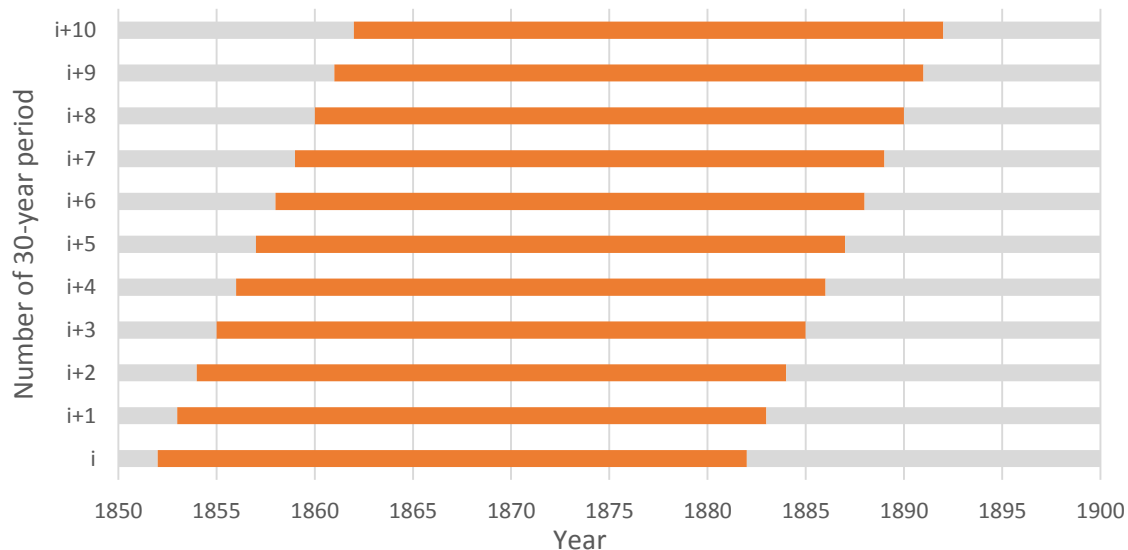
- Για κάθε χρονοσειρά
- Για κάθε μήνα
- Με υπόθεση κανονικής (Gaussian) κατανομής



30-ετίες

Γιατί 30-ετίες;

- Εξαγωγή ακραίων γεγονότων μεγάλης περιόδου επαναφοράς
- Δυνατότητα εξαγωγής πολλών περιόδων από χρονοσειρές μεγέθους αιώνα

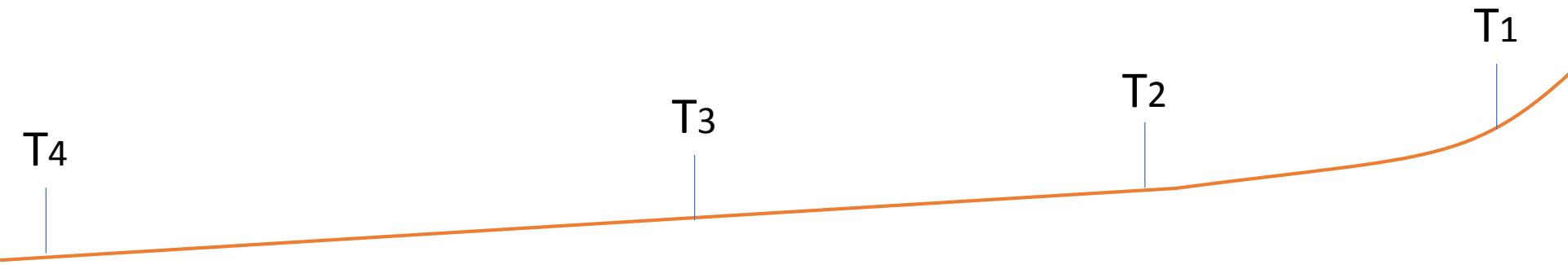


Κ-ροπές

- Επάνω και κάτω ουρές μέσης θερμοκρασίας
- Επάνω ουρά μέγιστης θερμοκρασίας
- Κάτω ουρά ελάχιστης θερμοκρασίας

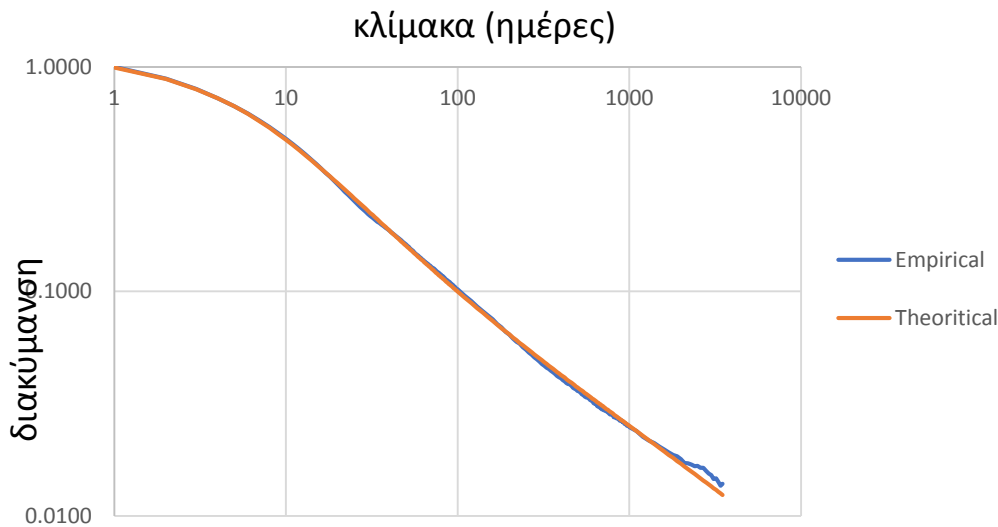
$$\frac{T(K'_{p1})}{D} = p\Lambda_p \approx \Lambda_\infty p + (\Lambda_1 - \Lambda_\infty)$$

T1	4.95 έτη
T2	16.49 έτη
T3	32.98 έτη
T4	49.47 έτη



Συναθροισμένο κλιμακόγραμμα

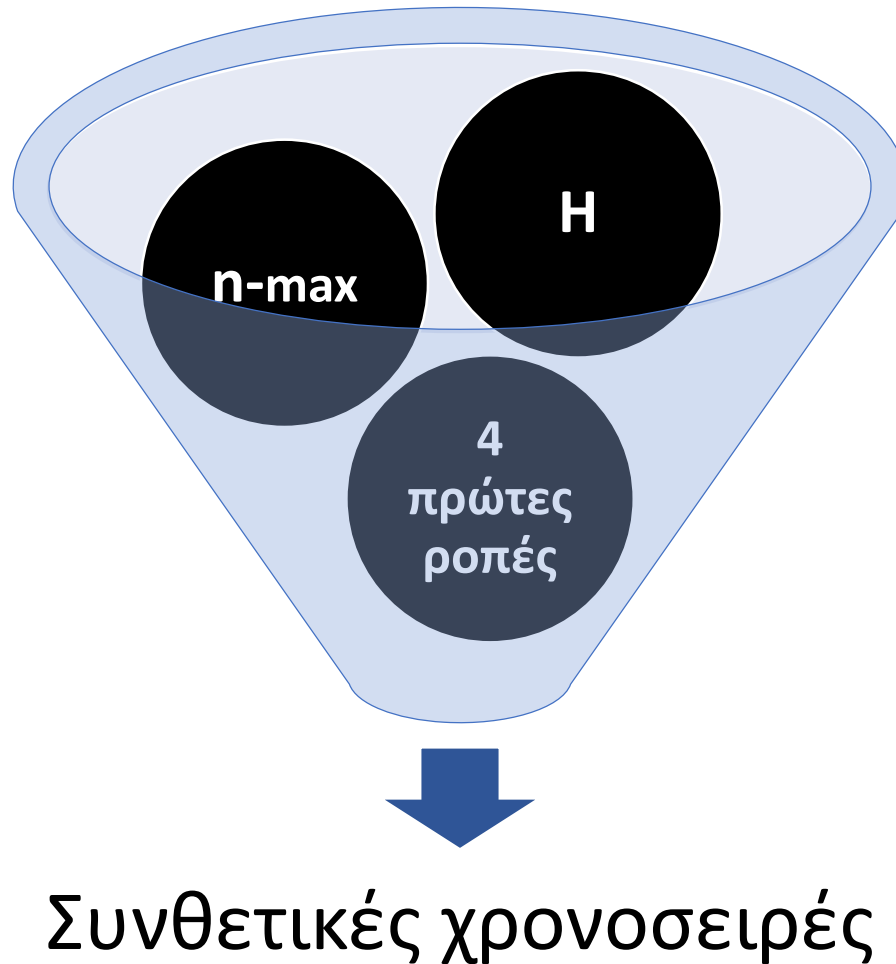
- Δημιουργία επιμέρους κλιμακογραμμάτων
- Συνάθροιση τιμών ίδιας κλίμακας
- Προσαρμογή υβριδικού μοντέλου H-K & Markov



Θερμοκρασία	H
Μέση	0.760
Μέγιστη	0.752
Ελάχιστη	0.806

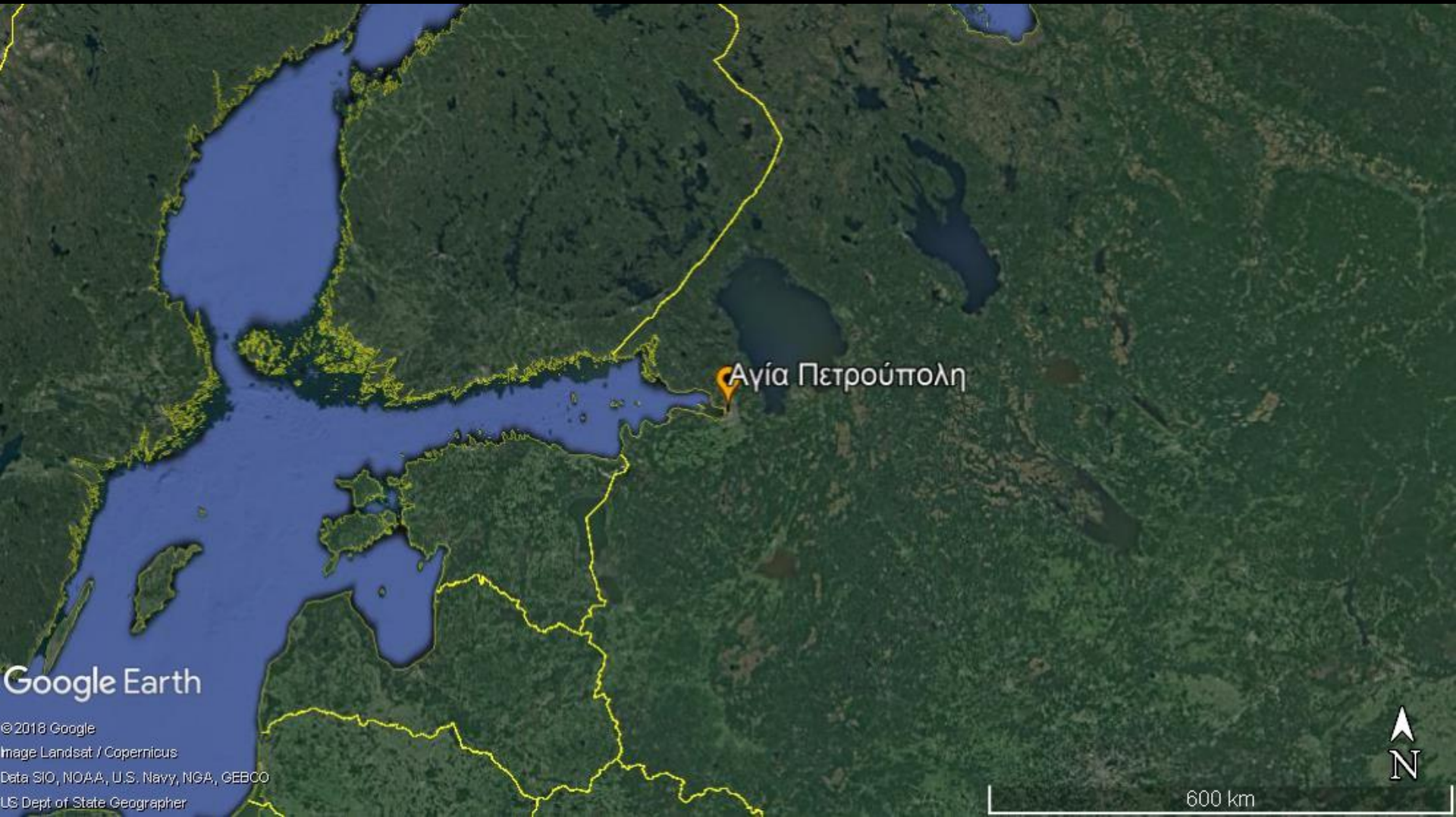
$$\gamma(k) = \frac{\lambda}{2} \left(1 + \left(\frac{k}{a} \right)^{2M} \right)^{\frac{H-1}{M}} + \frac{\lambda}{k/a} \left(1 - \frac{1 - e^{-k/a}}{k/a} \right)$$

Μοντέλο SMA



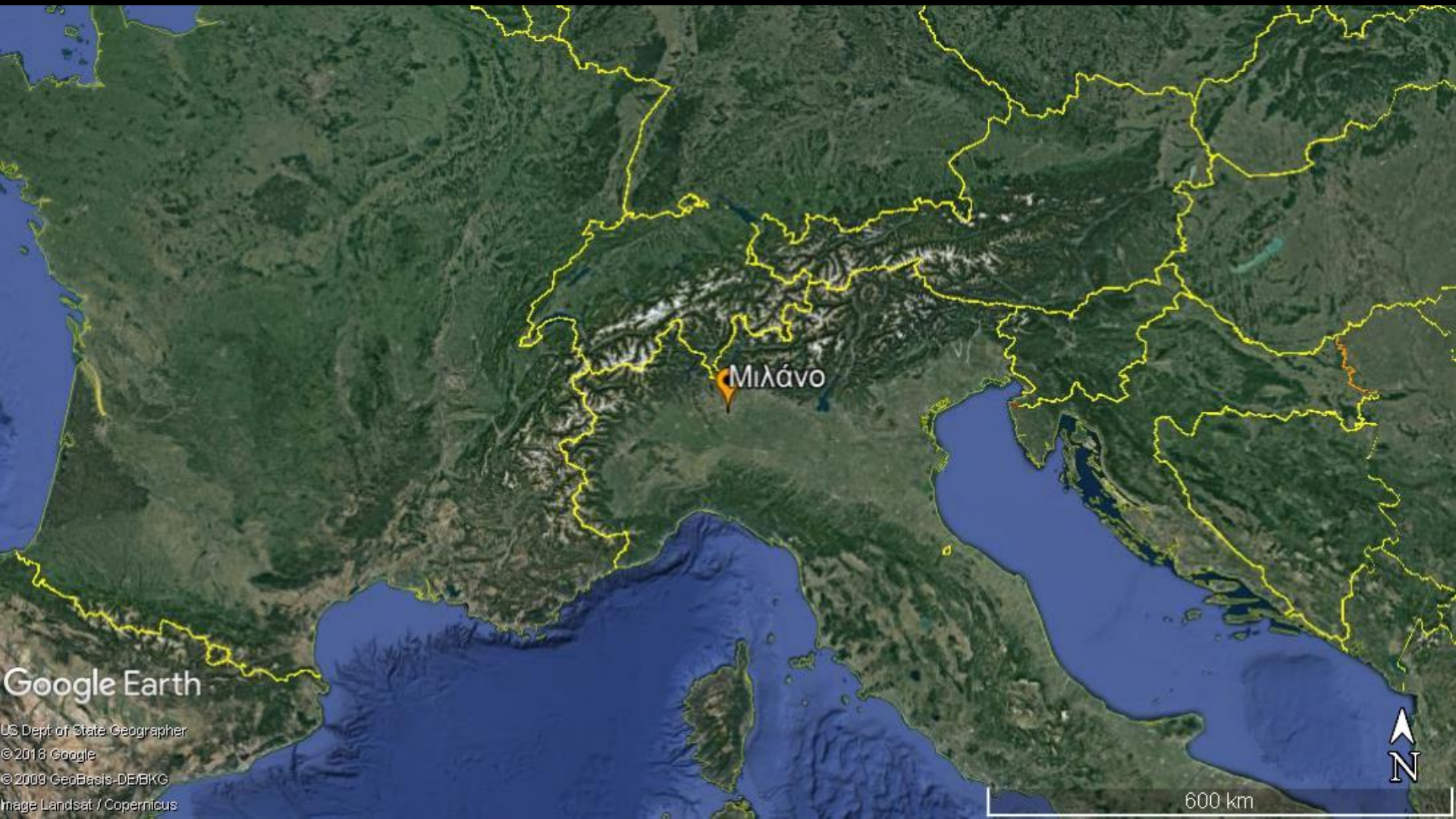
Μεμονωμένες χρονοσειρές

Για τη μέση θερμοκρασία: Αγία Πετρούπολη (136 έτη)



Μεμονωμένες χρονοσειρές

Για τη μέγιστη & ελάχιστη θερμοκρασία: Μιλάνο (246 έτη)



Google Earth

US Dept of State Geographer

© 2018 Google

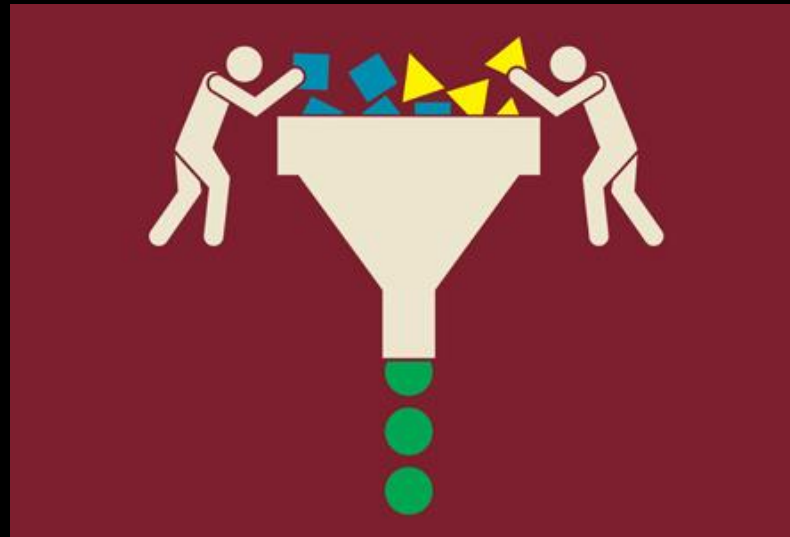
© 2009 GeoEasis-DE/BKG

Image Landsat / Copernicus

600 km



Ευρήματα



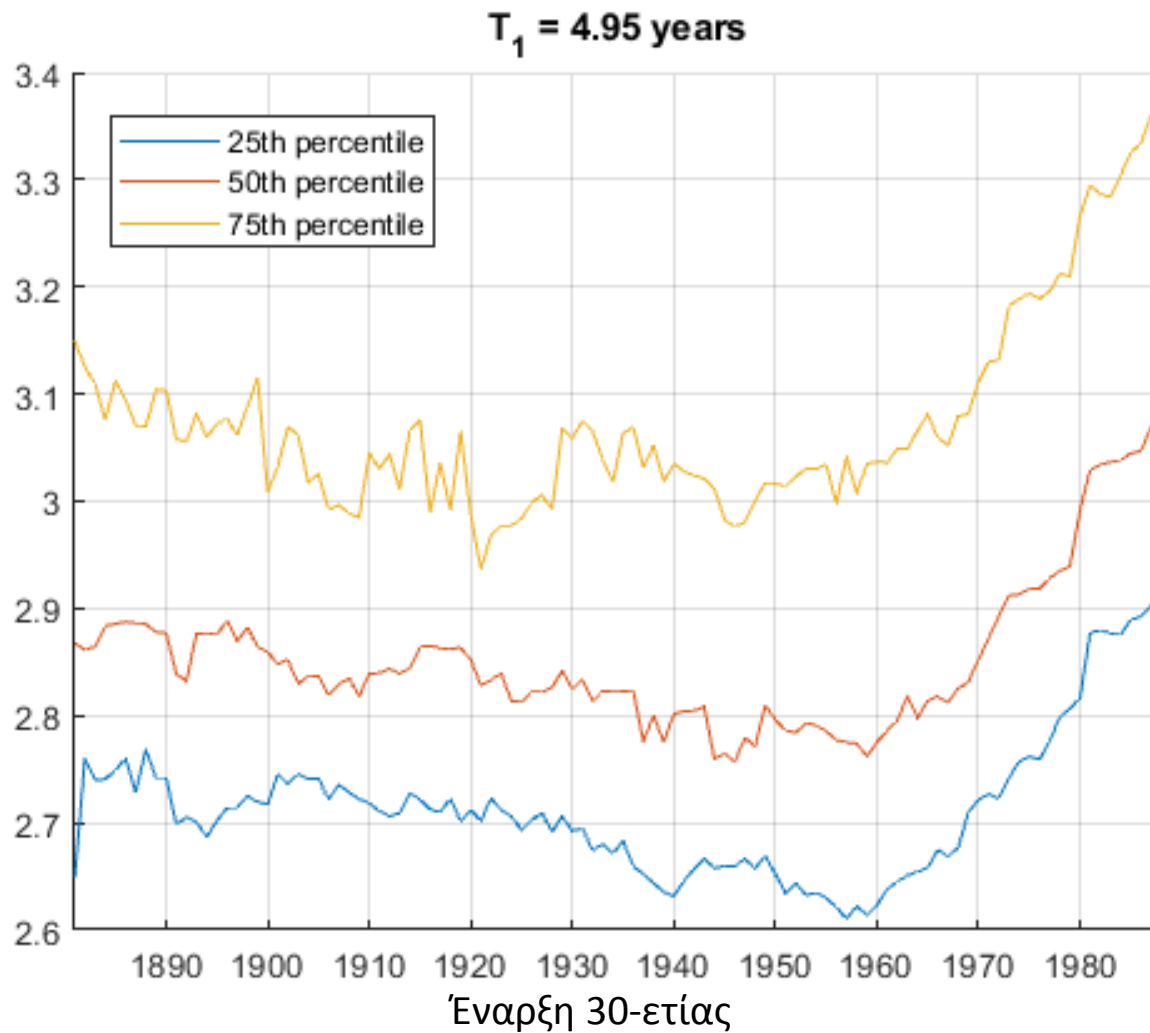
Ουρές
παρατηρημένων
χρονοσειρών

Ουρές συνθετικών
χρονοσειρών

Ουρές μακρόβιων
παρατηρημένων
χρονοσειρών

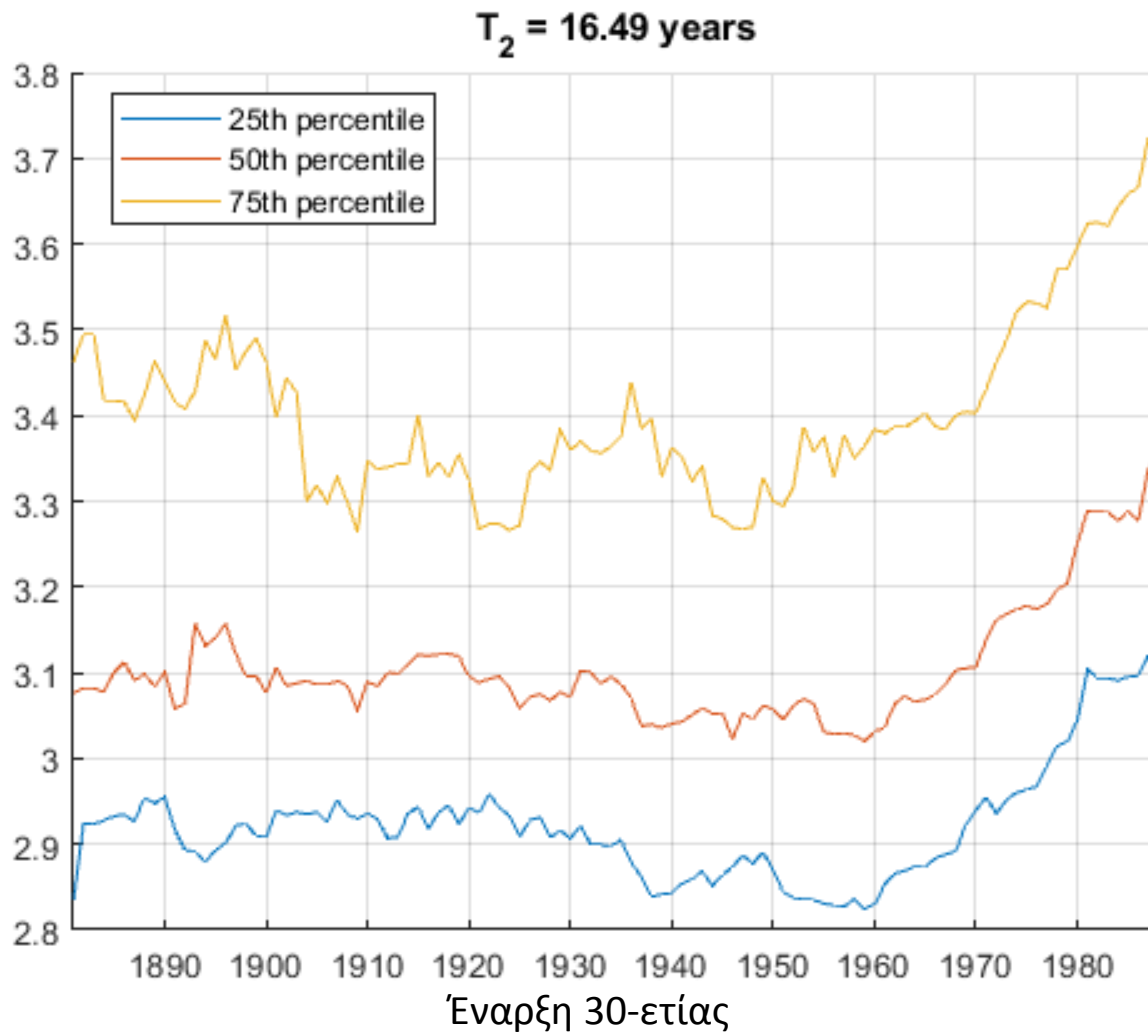
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας



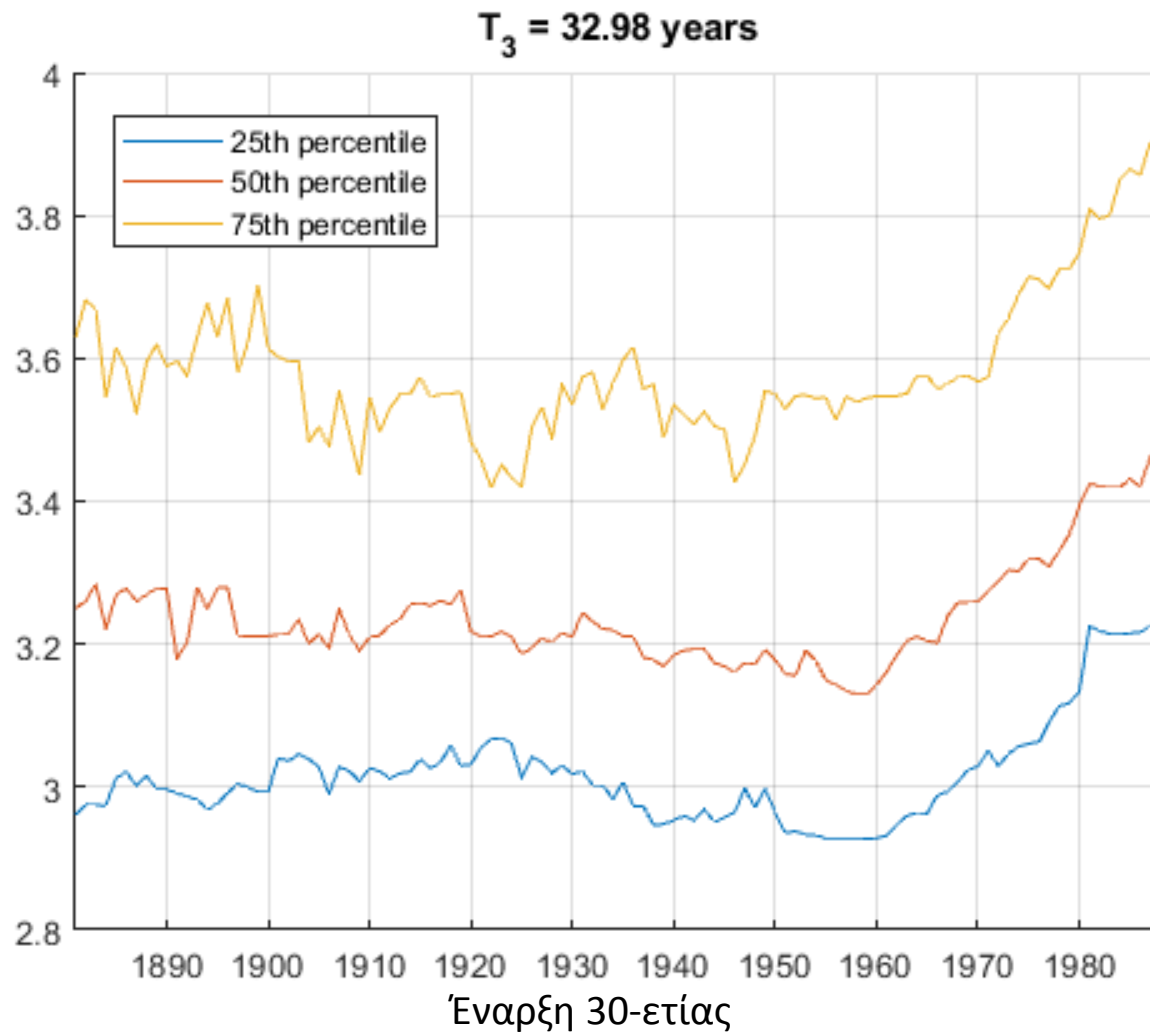
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας



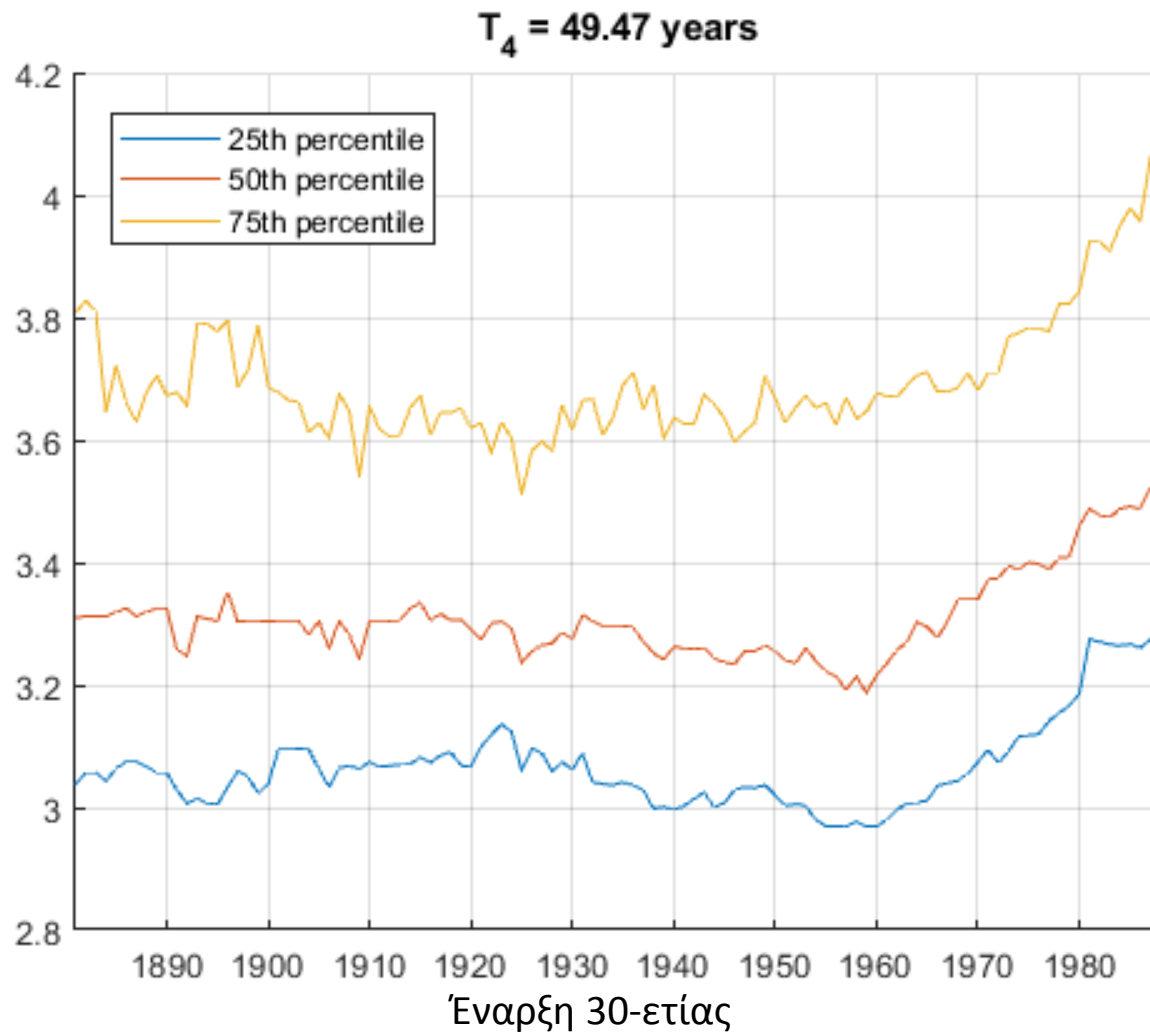
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας



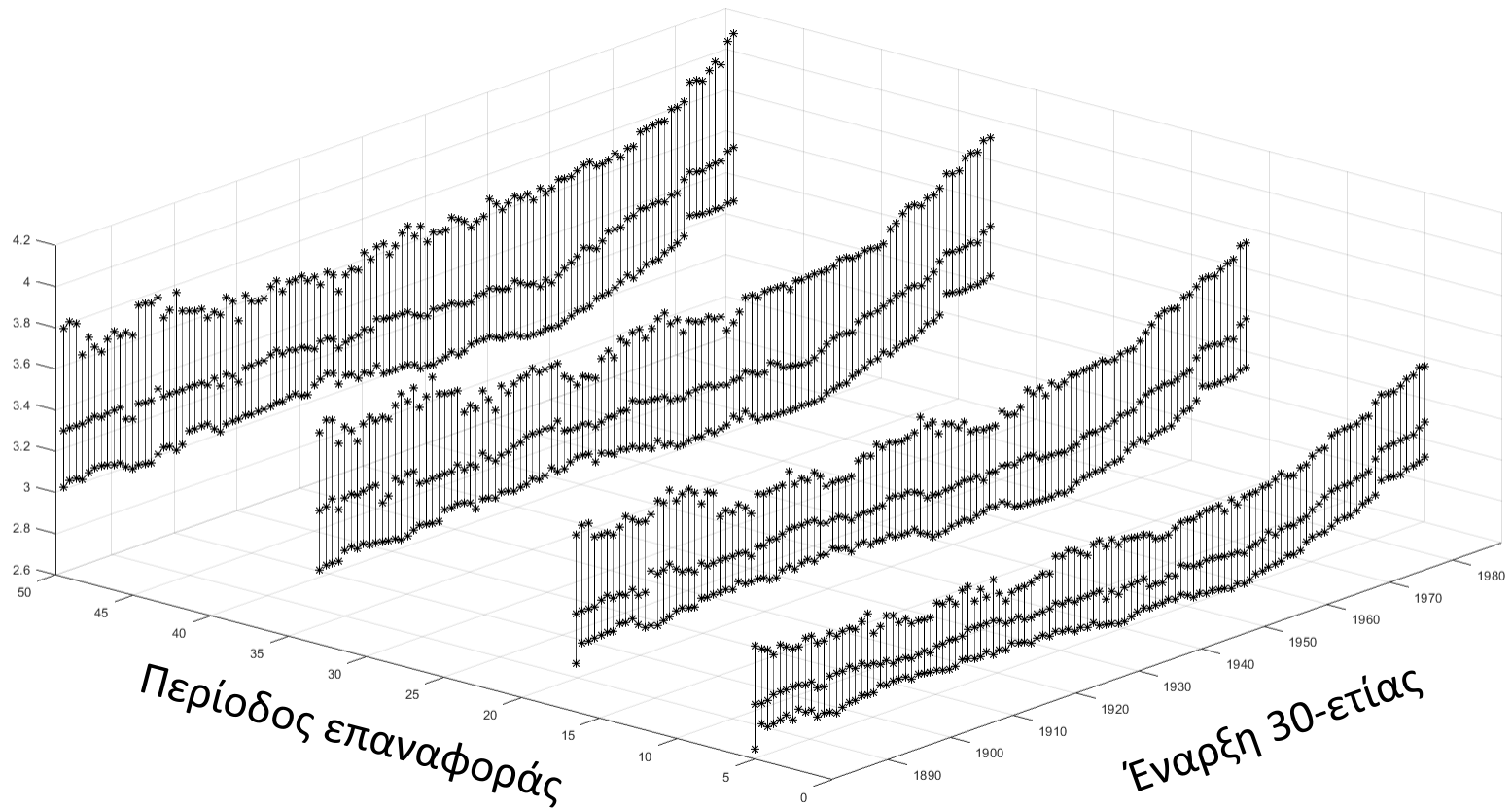
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας



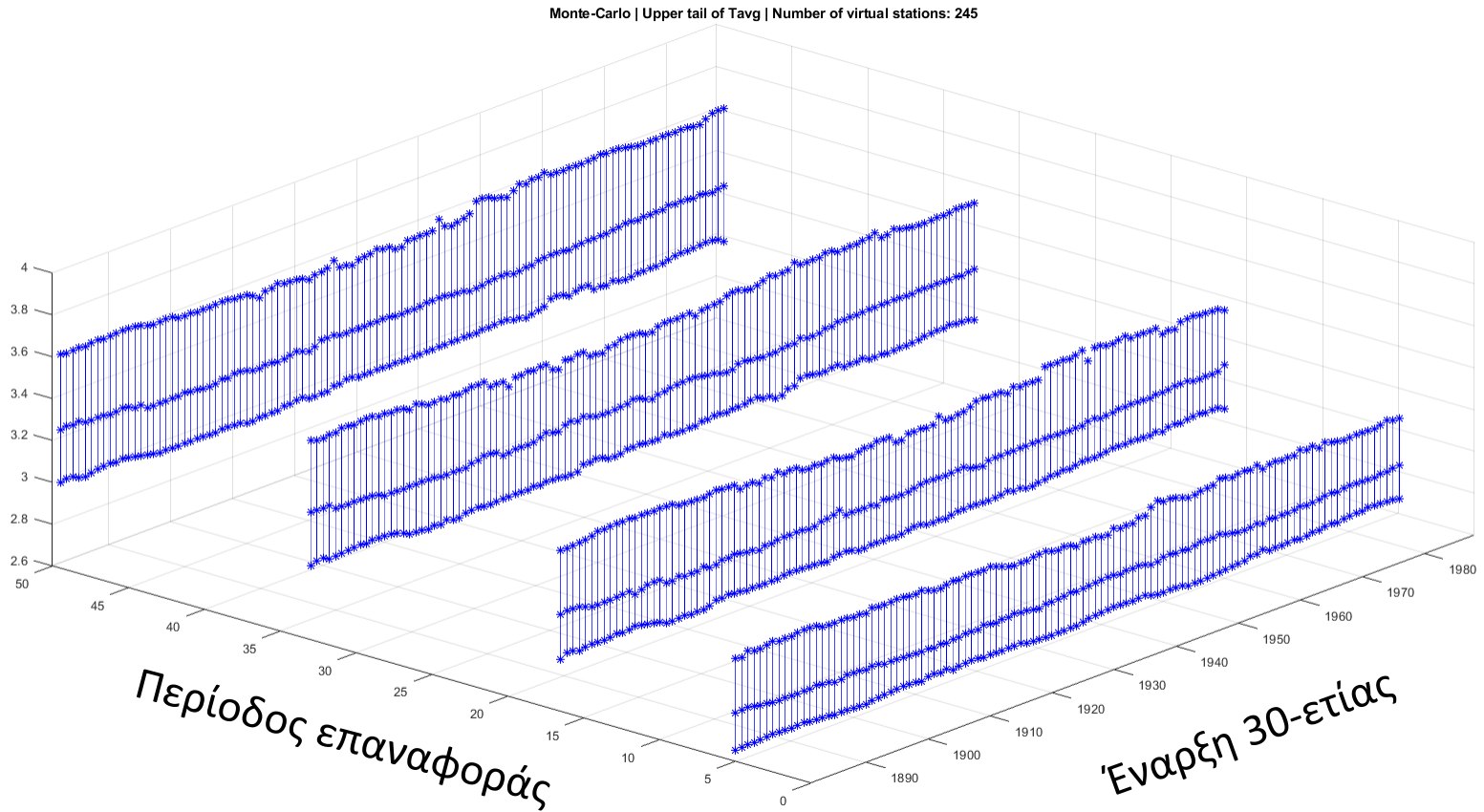
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας



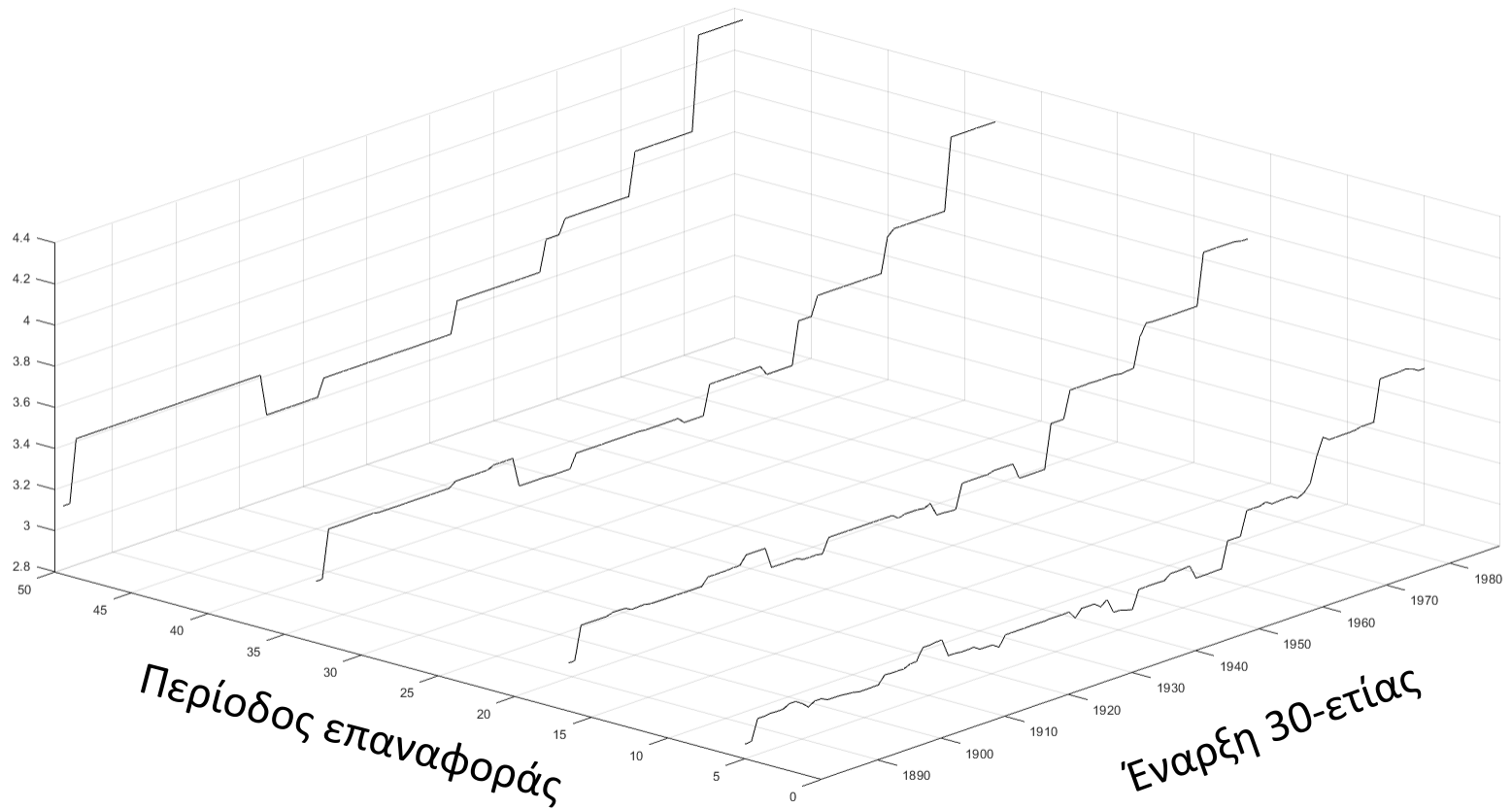
Ευρήματα

Επάνω ουρά της συνθετικής μέσης θερμοκρασίας



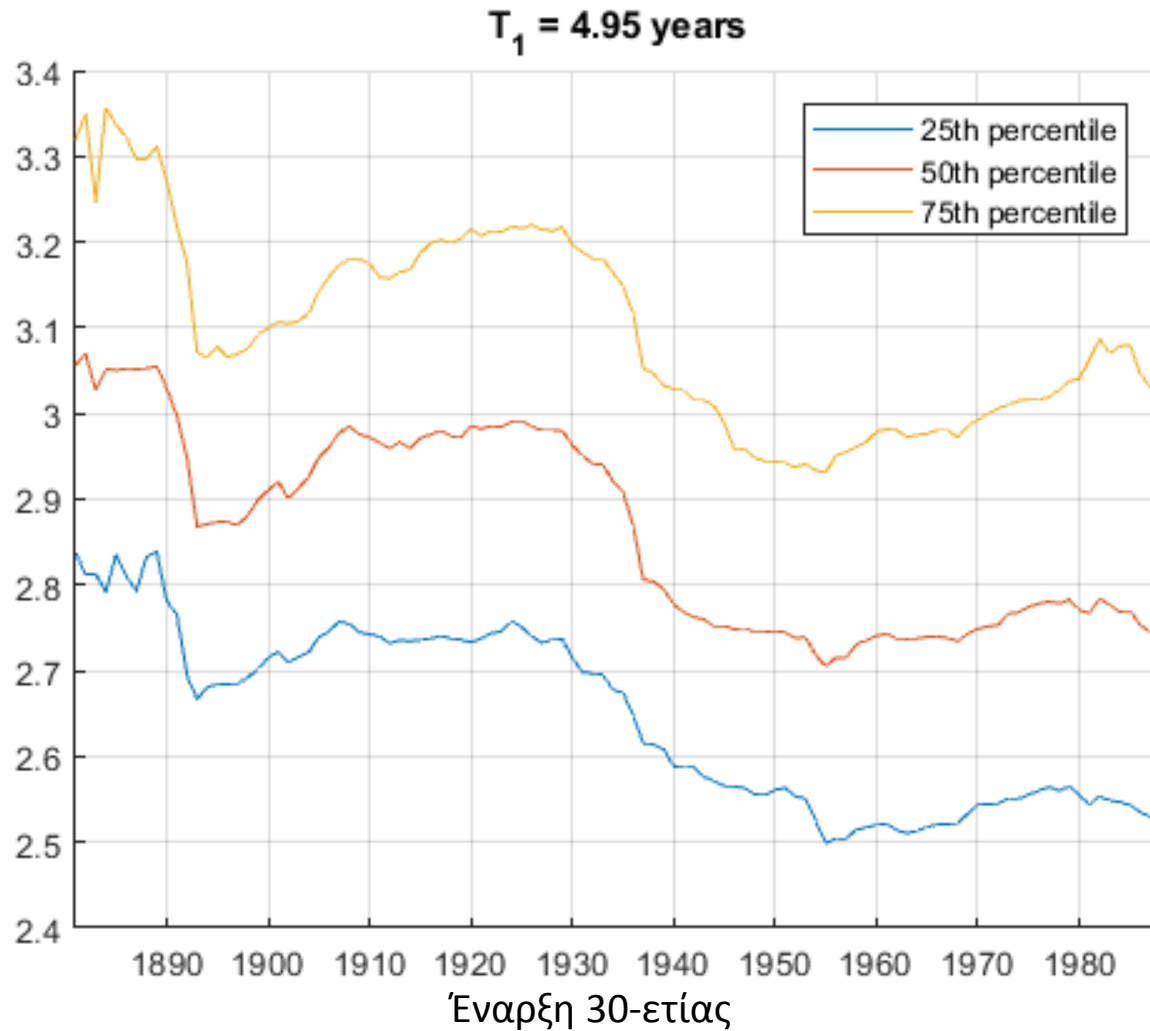
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας (Αγία Πετρούπολη)



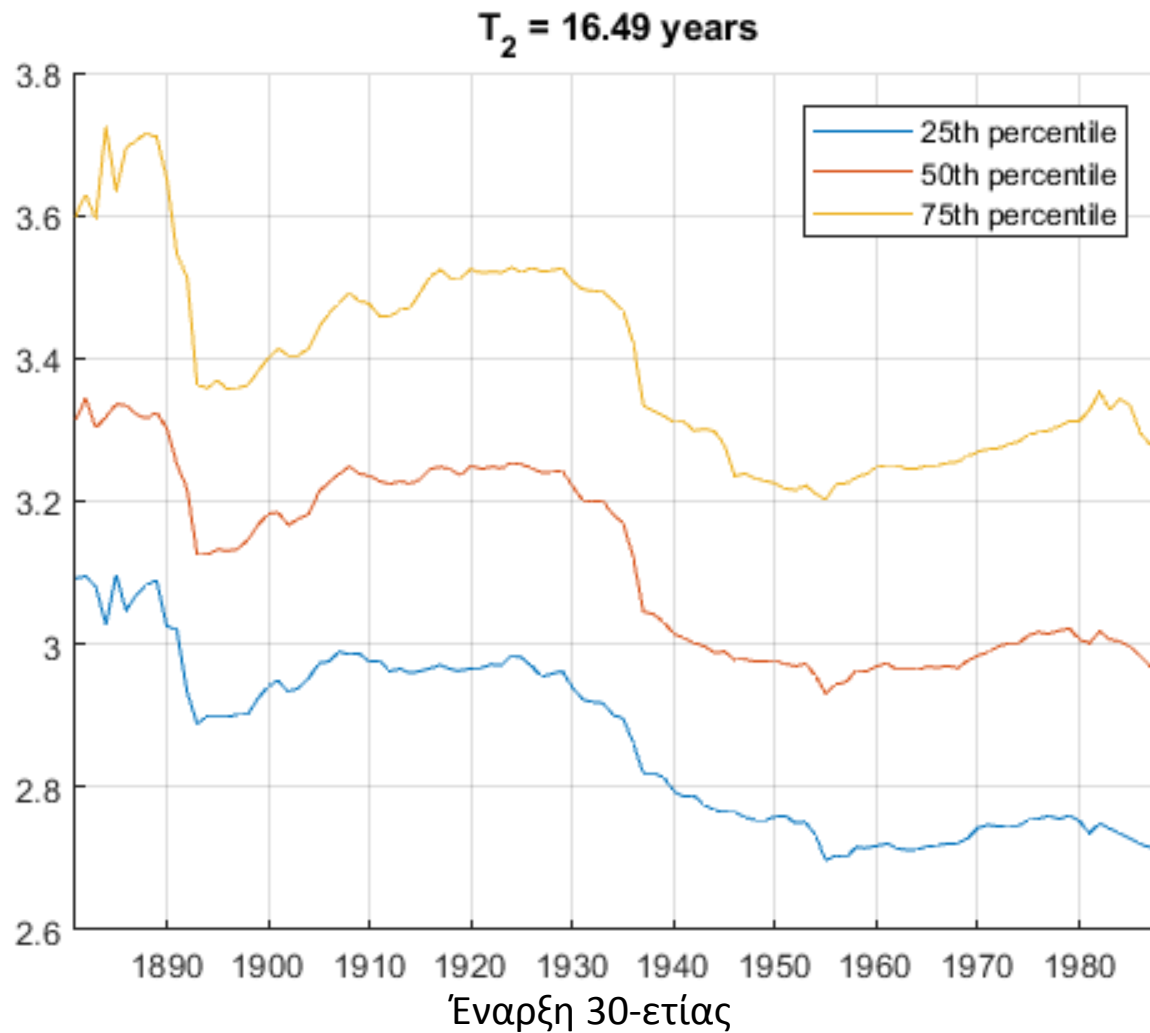
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέγιστης θερμοκρασίας



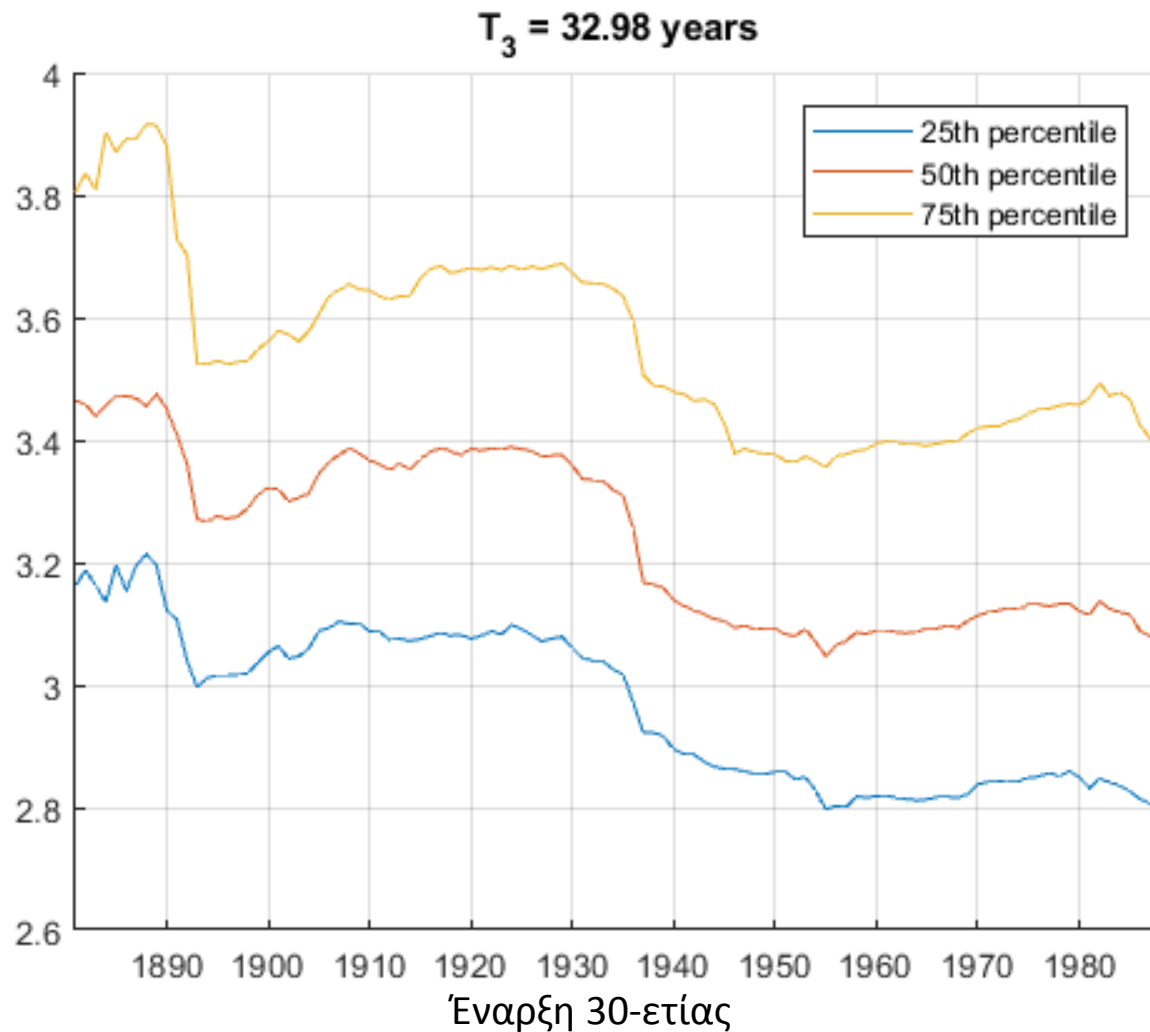
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέγιστης θερμοκρασίας



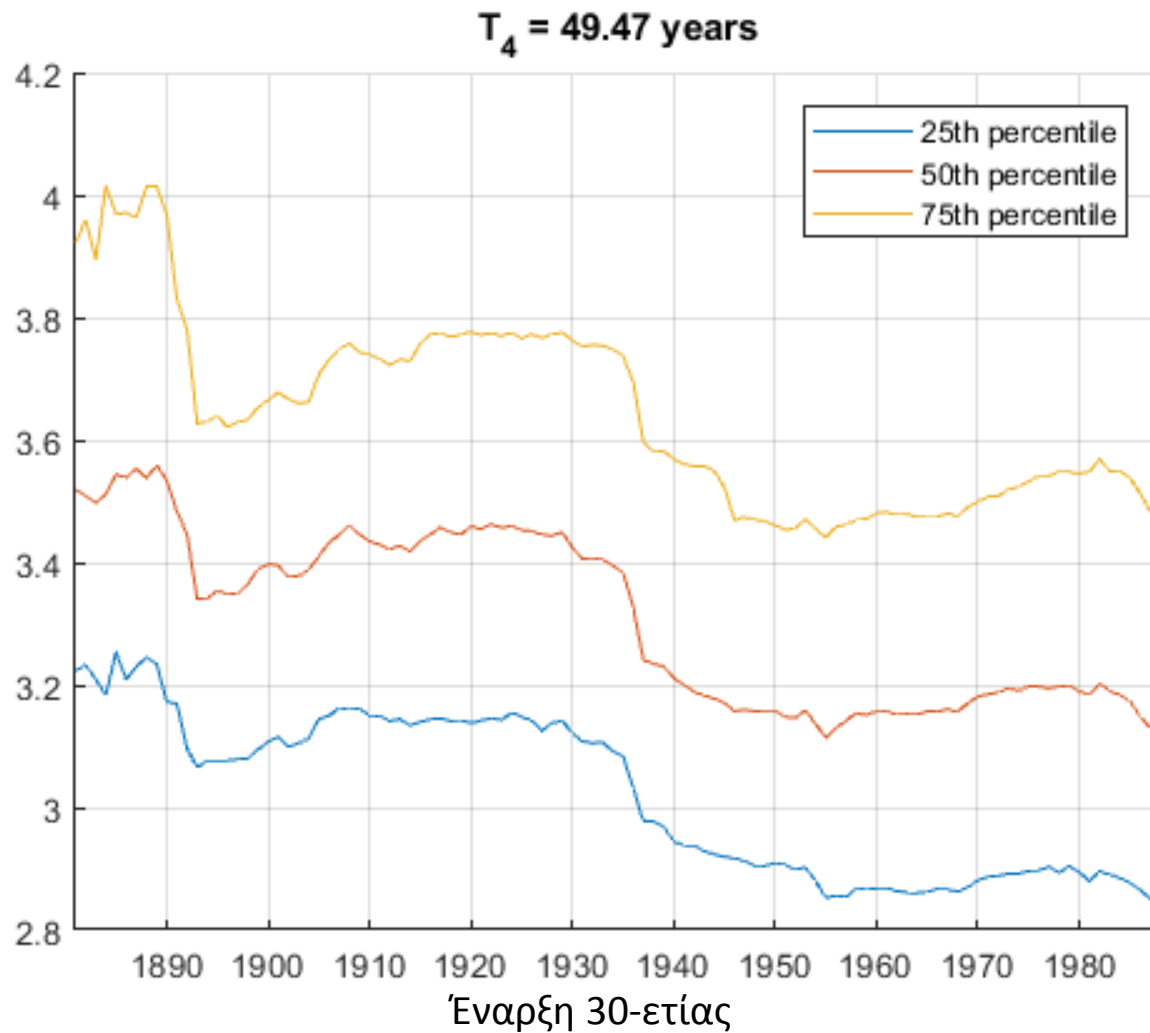
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέγιστης θερμοκρασίας



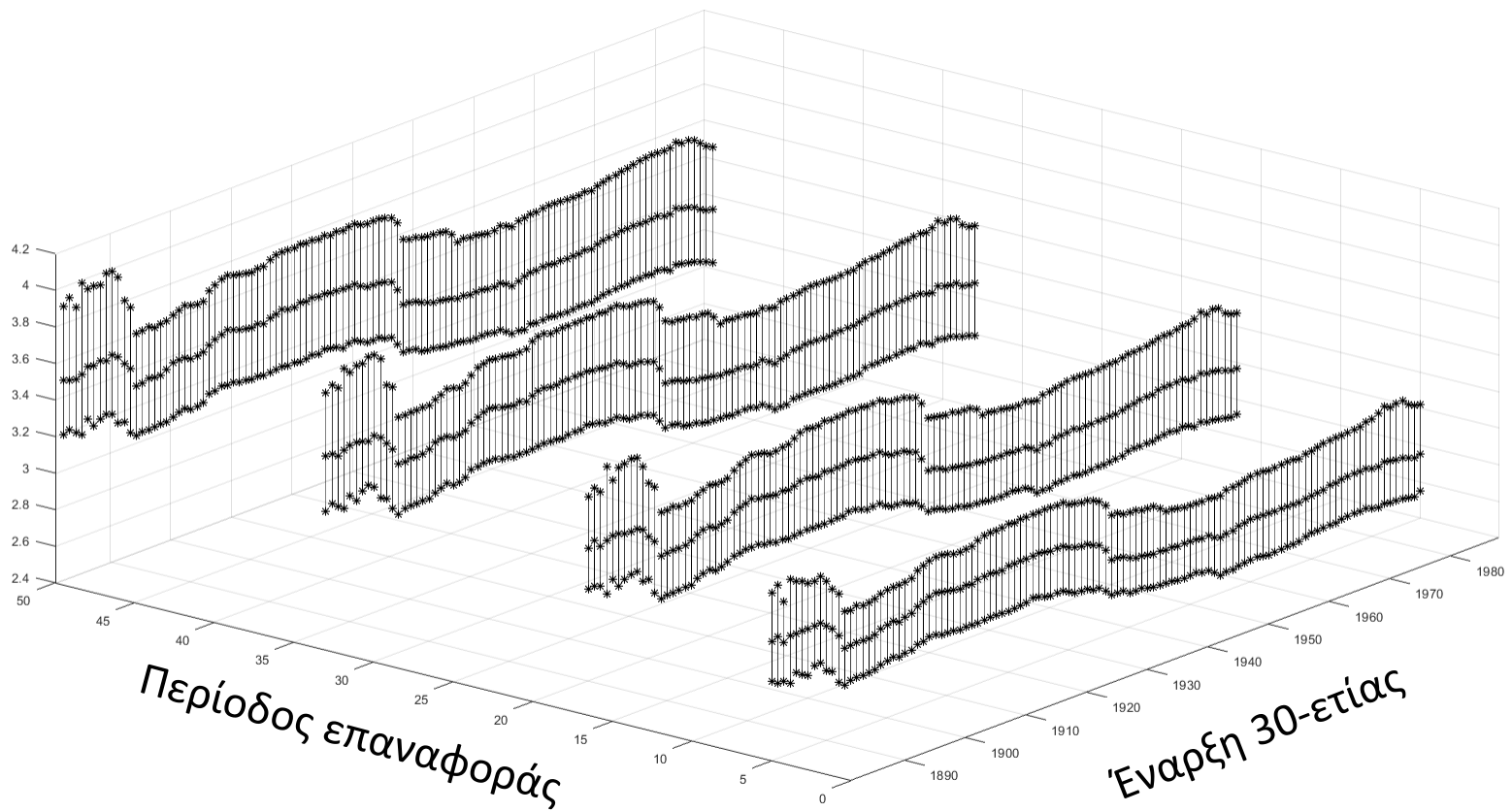
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέγιστης θερμοκρασίας



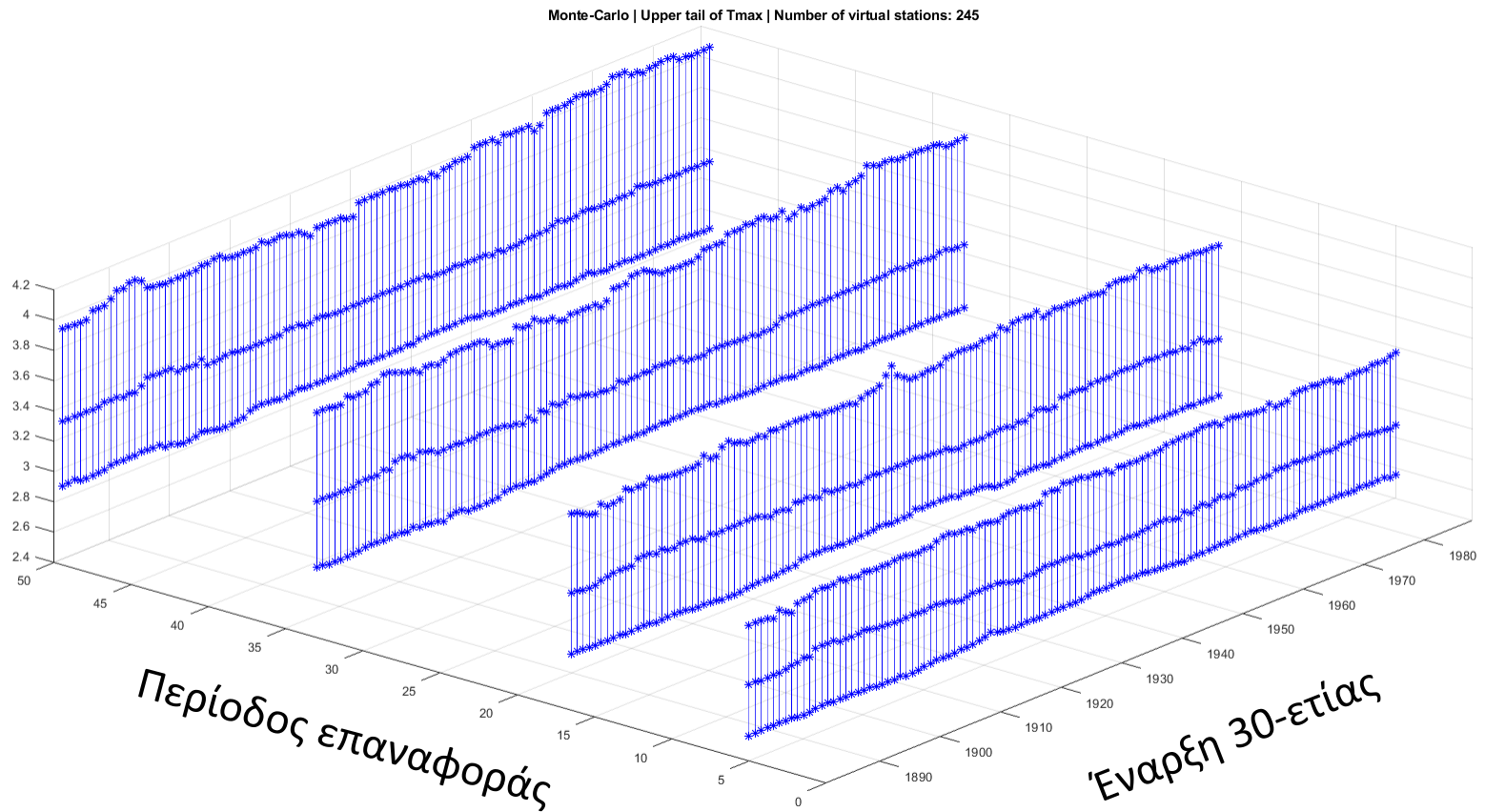
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέγιστης θερμοκρασίας



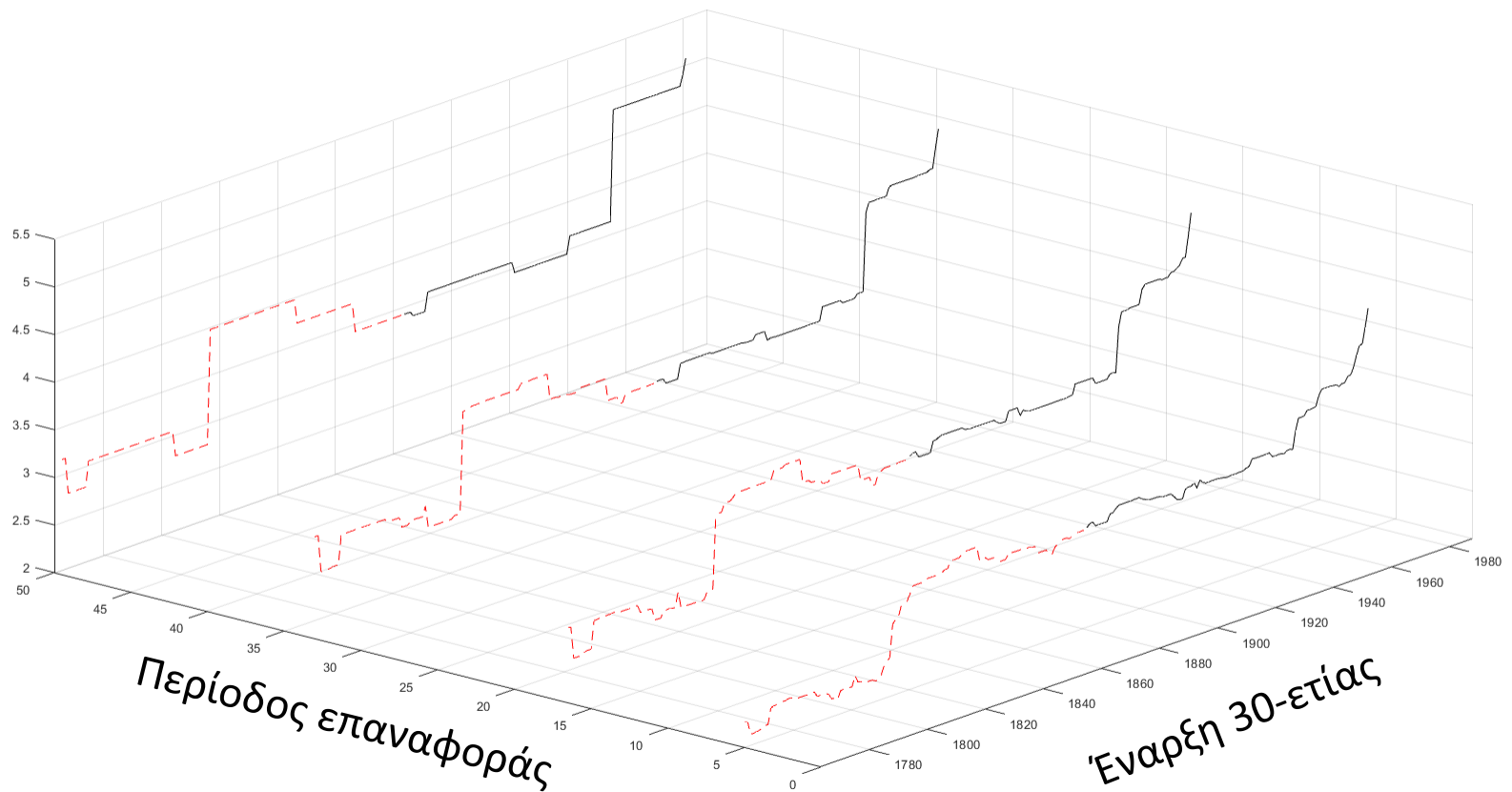
Ευρήματα

Επάνω ουρά της συνθετικής μέγιστης θερμοκρασίας



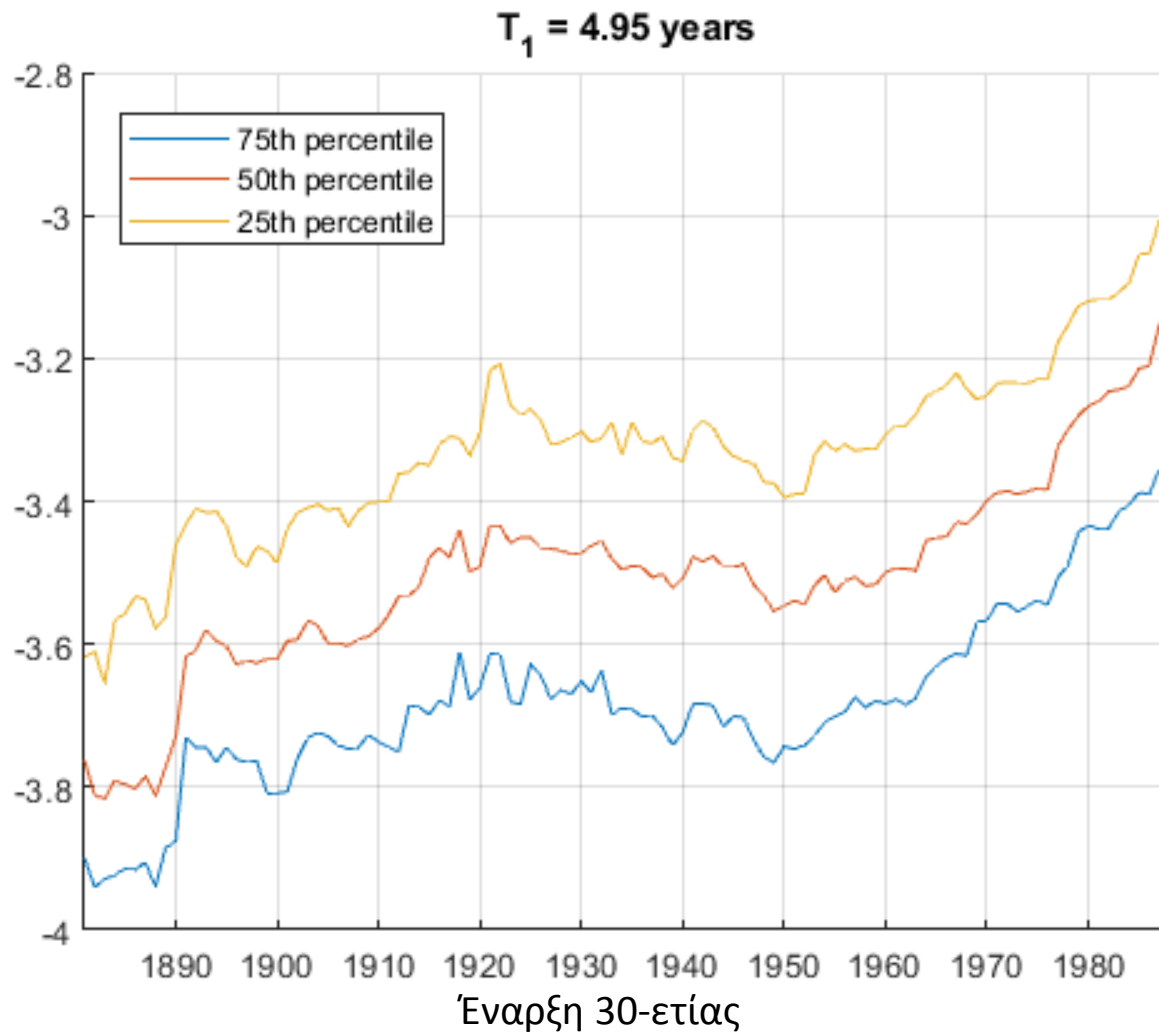
Ευρήματα

Επάνω ουρά της παρατηρημένης μέγιστης θερμοκρασίας (Μιλάνο)



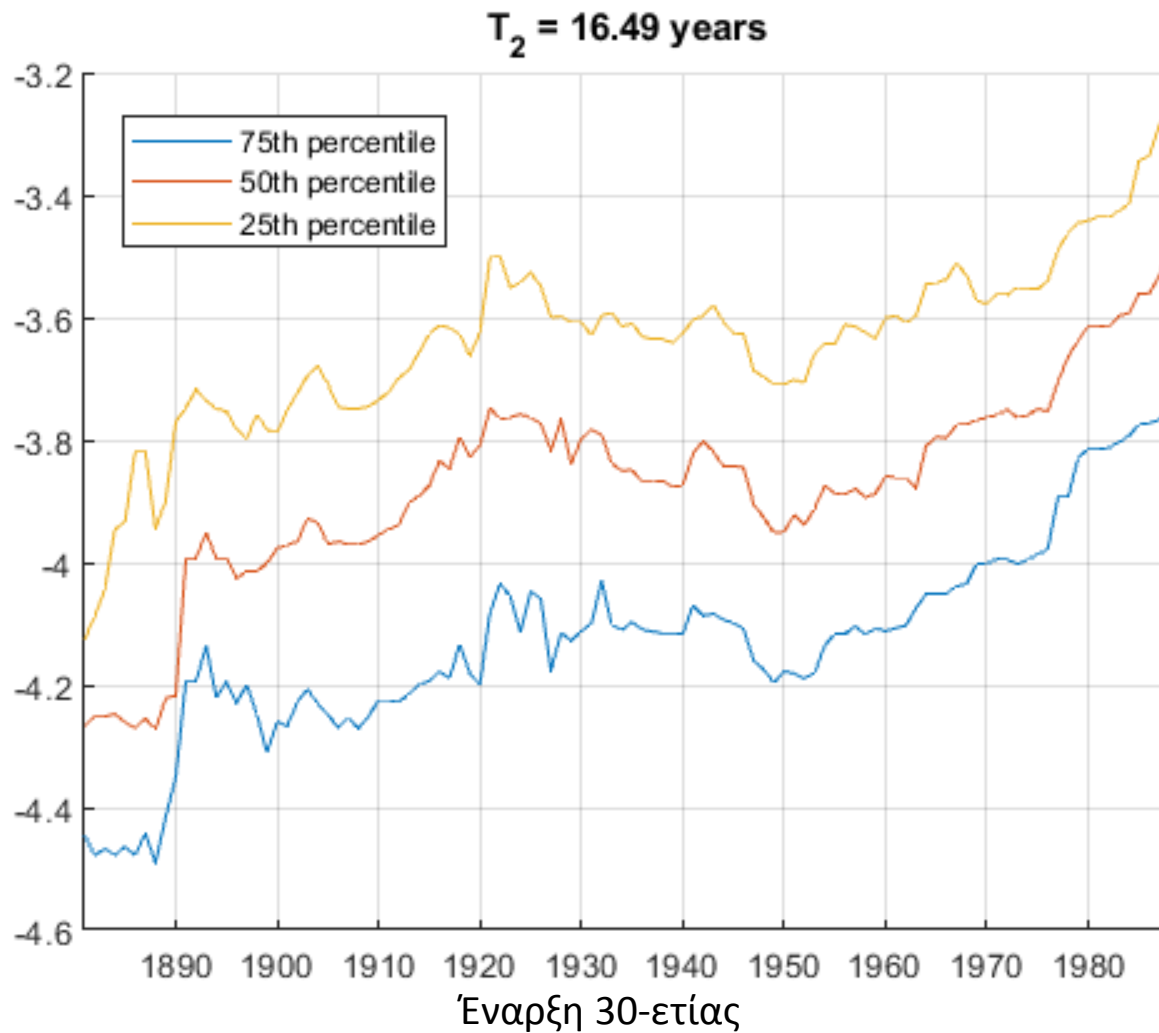
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας



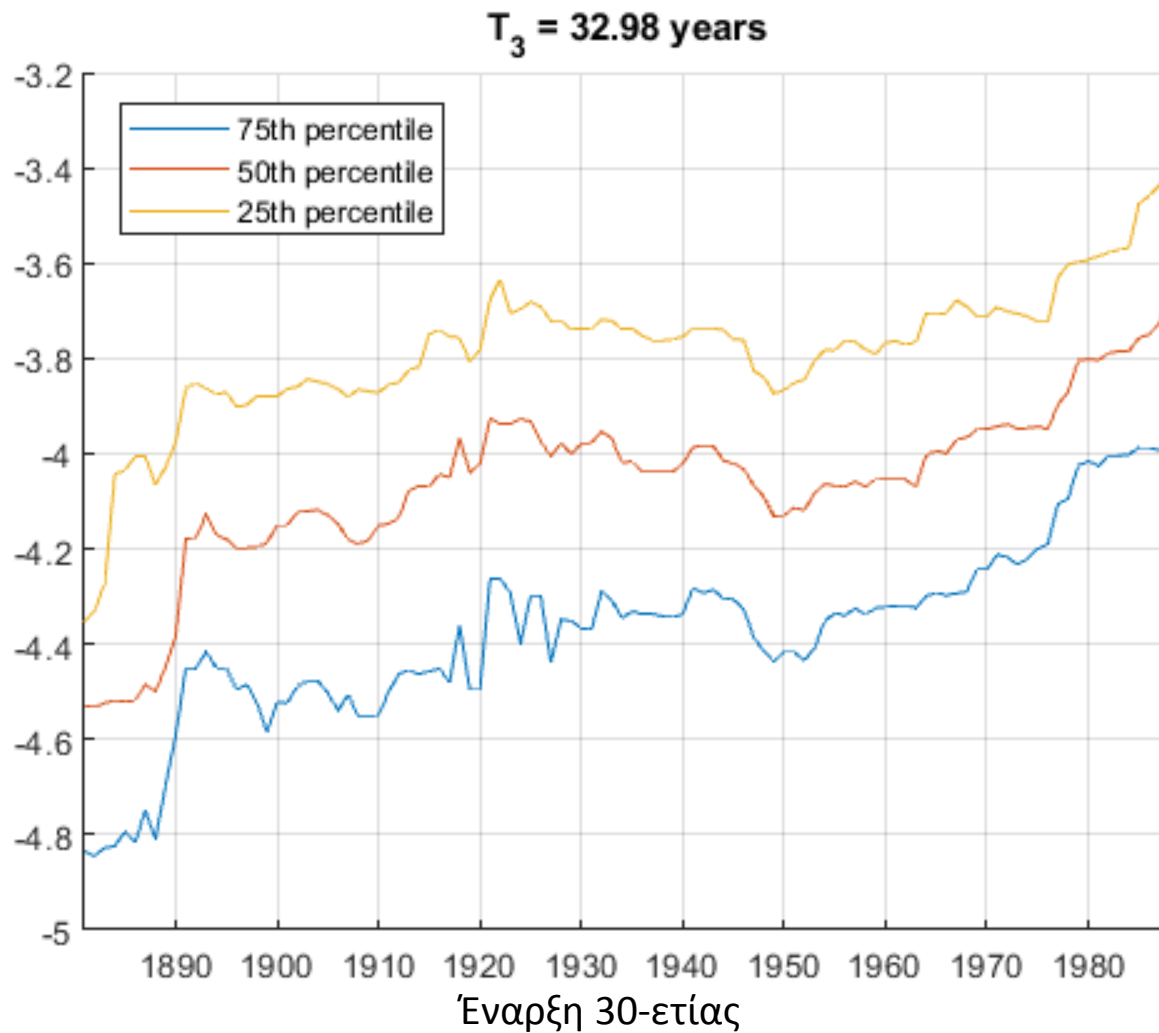
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας



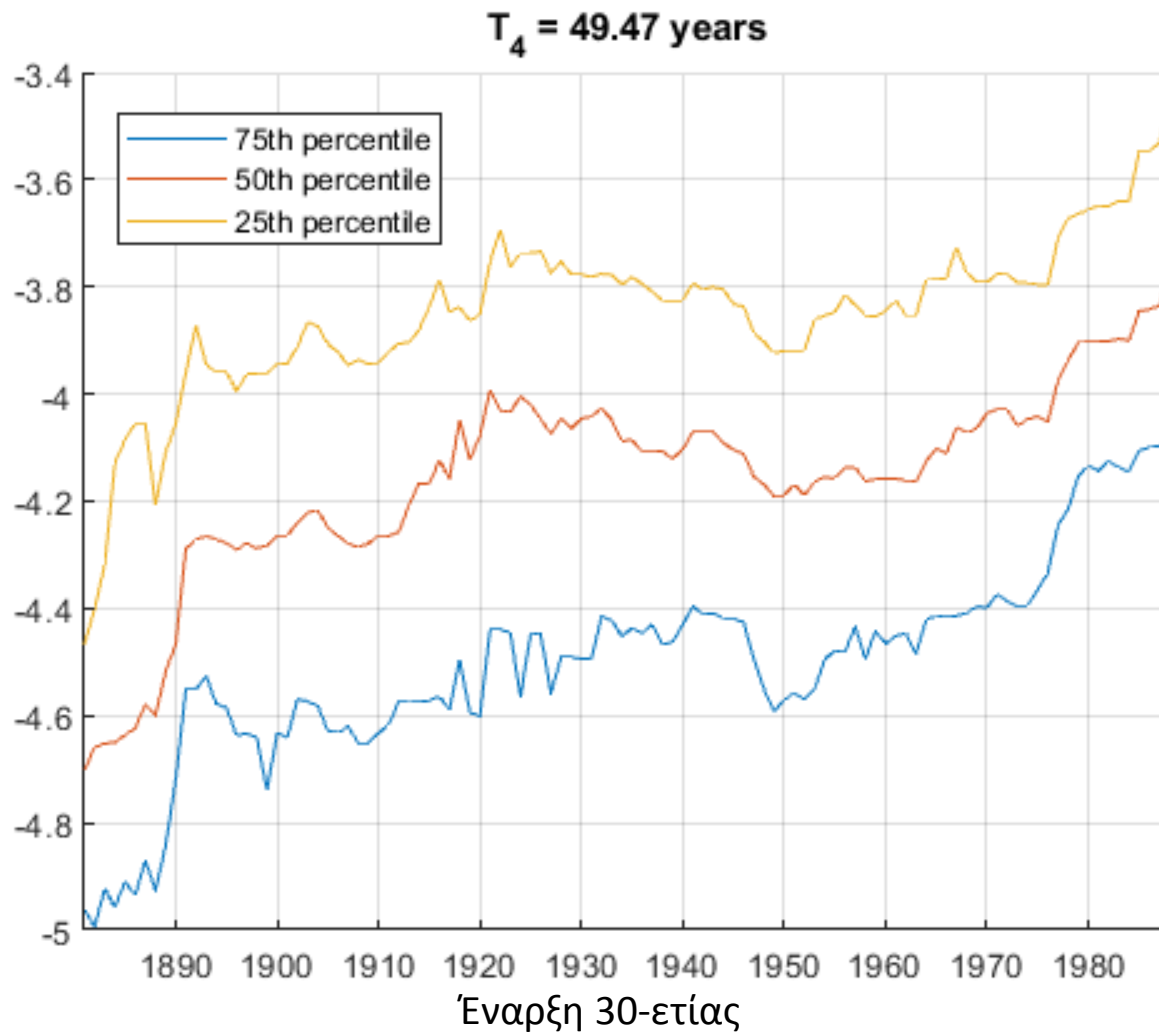
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας



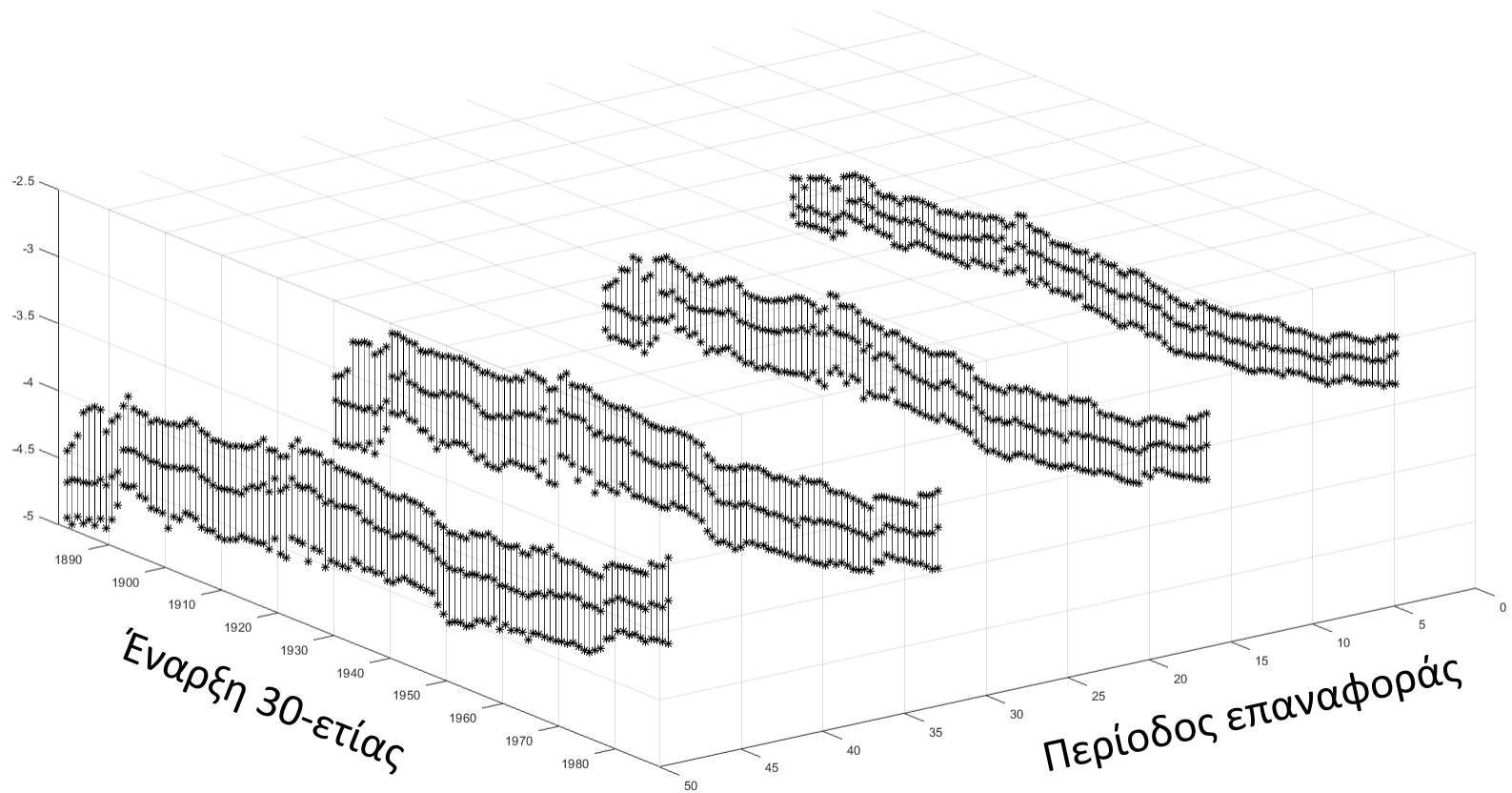
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας



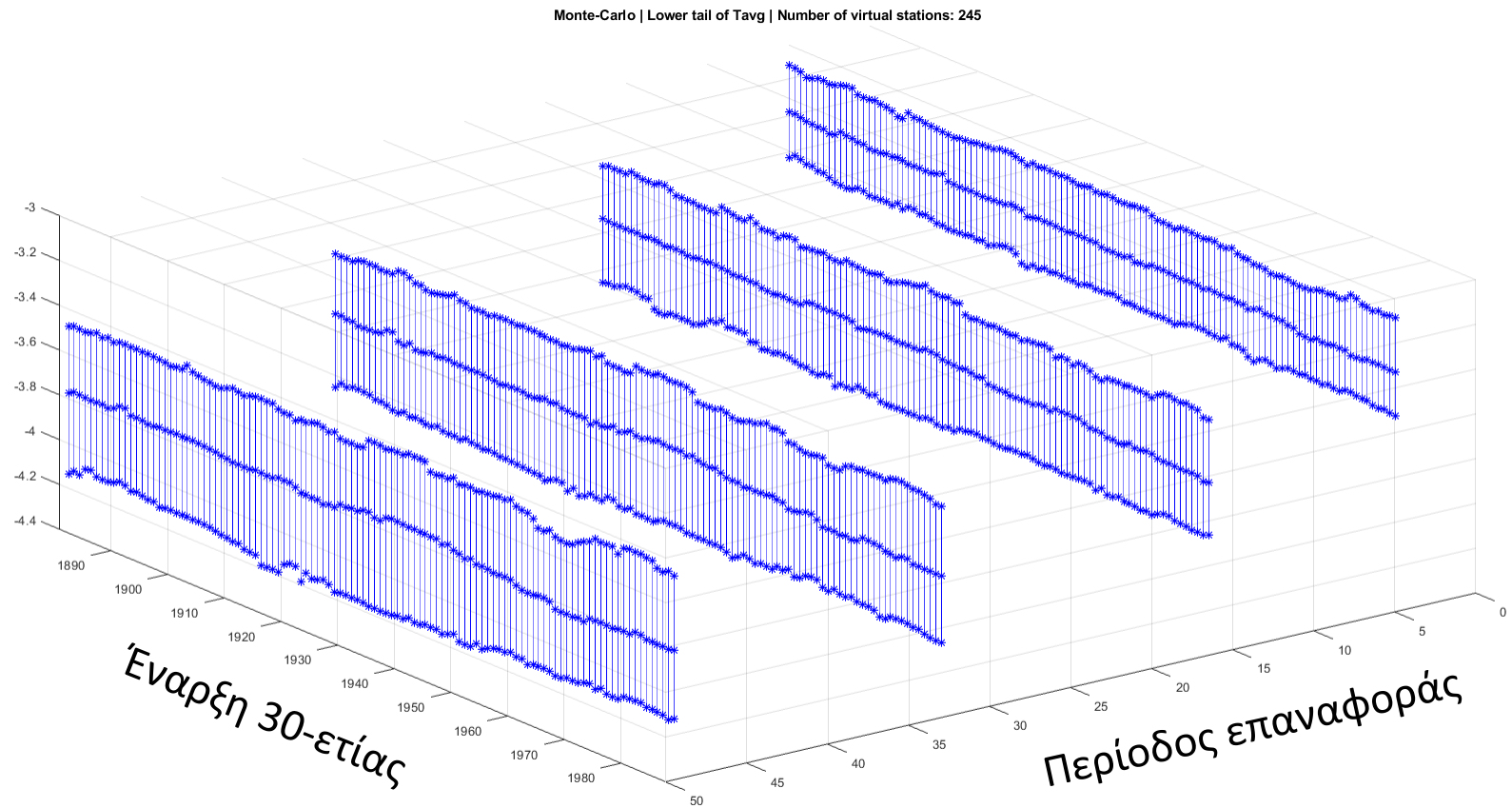
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας



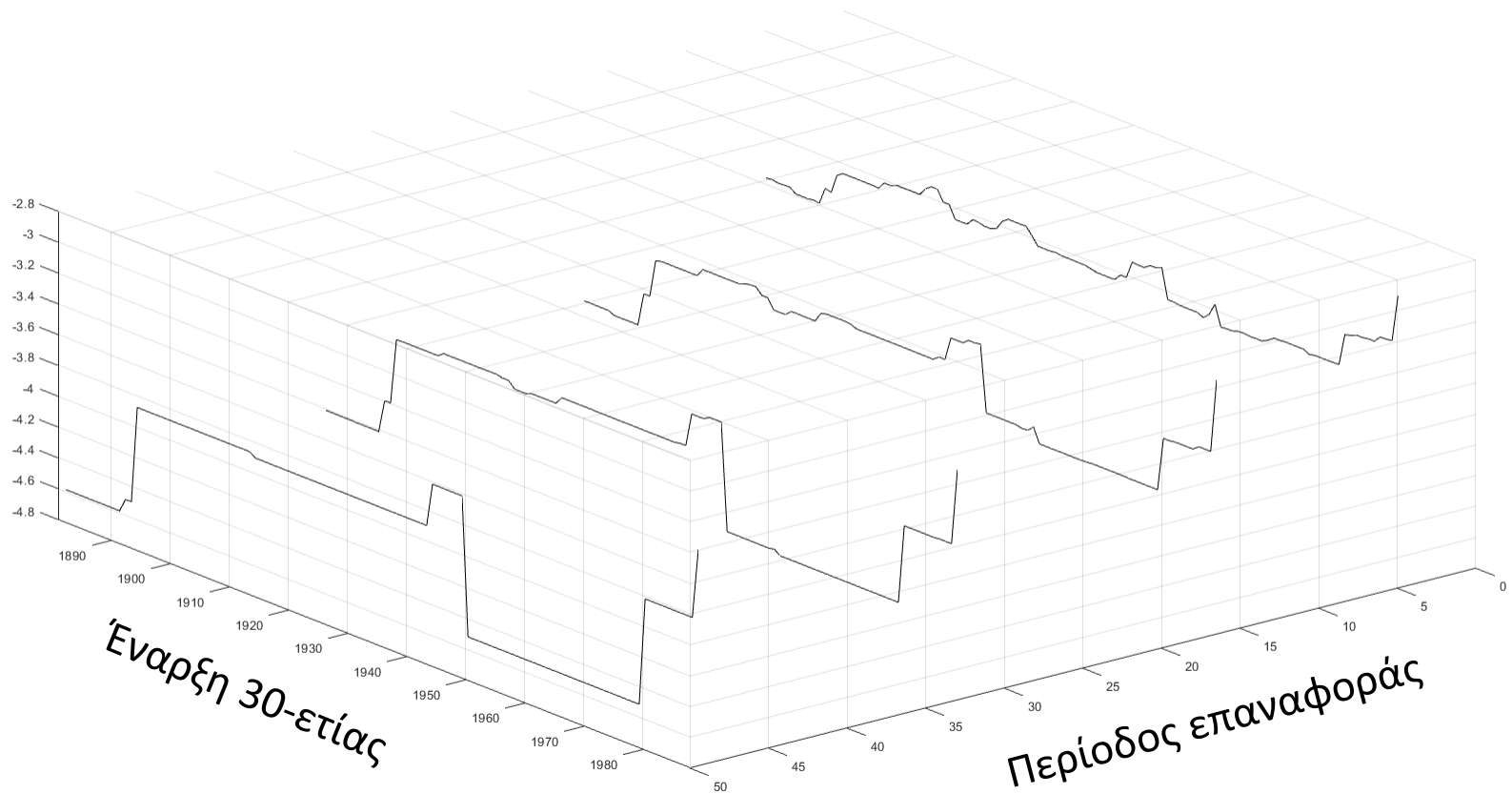
Ευρήματα

Κάτω ουρά της συνθετικής μέσης θερμοκρασίας



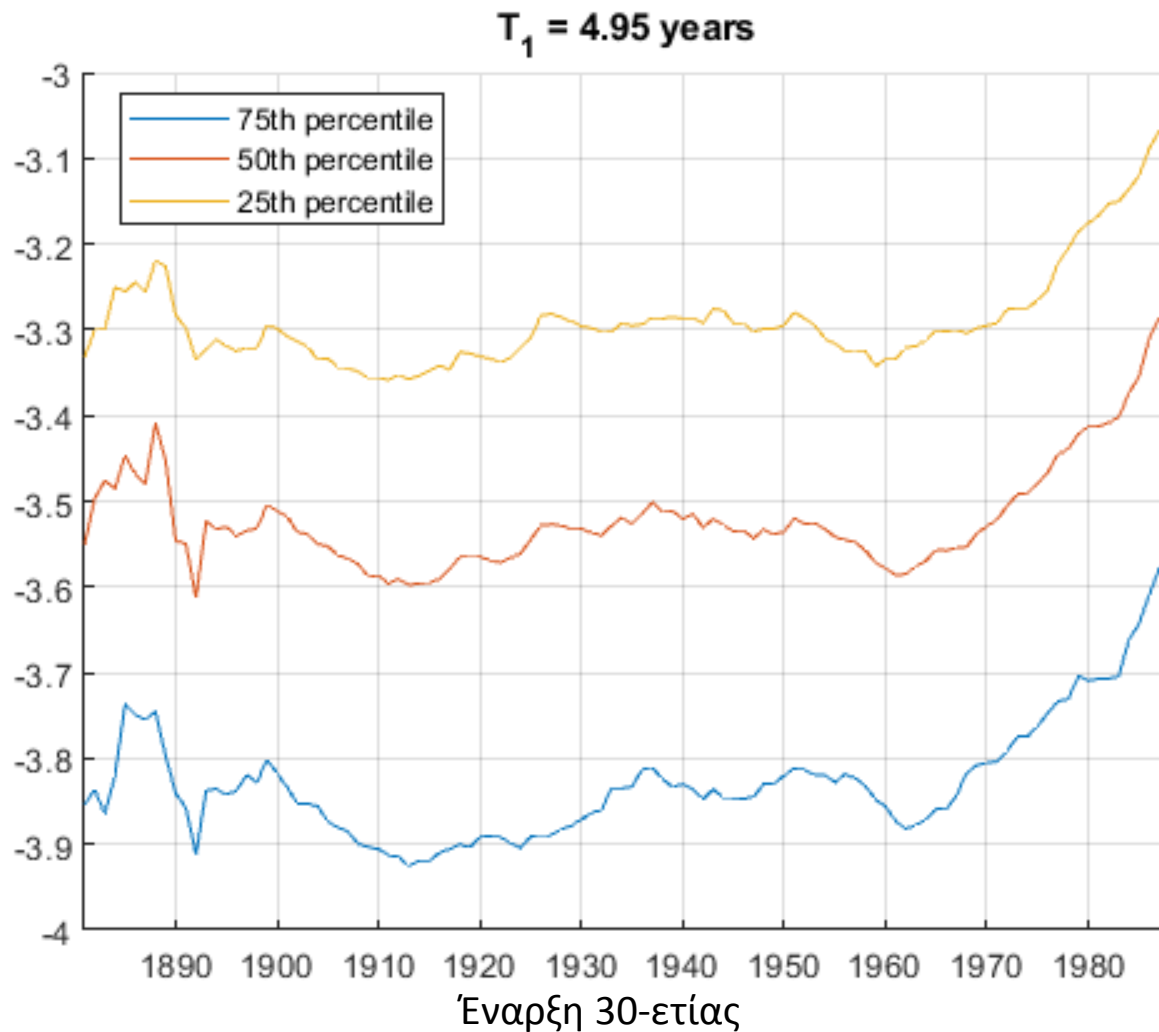
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης μέσης θερμοκρασίας (Αγία Πετρούπολη)



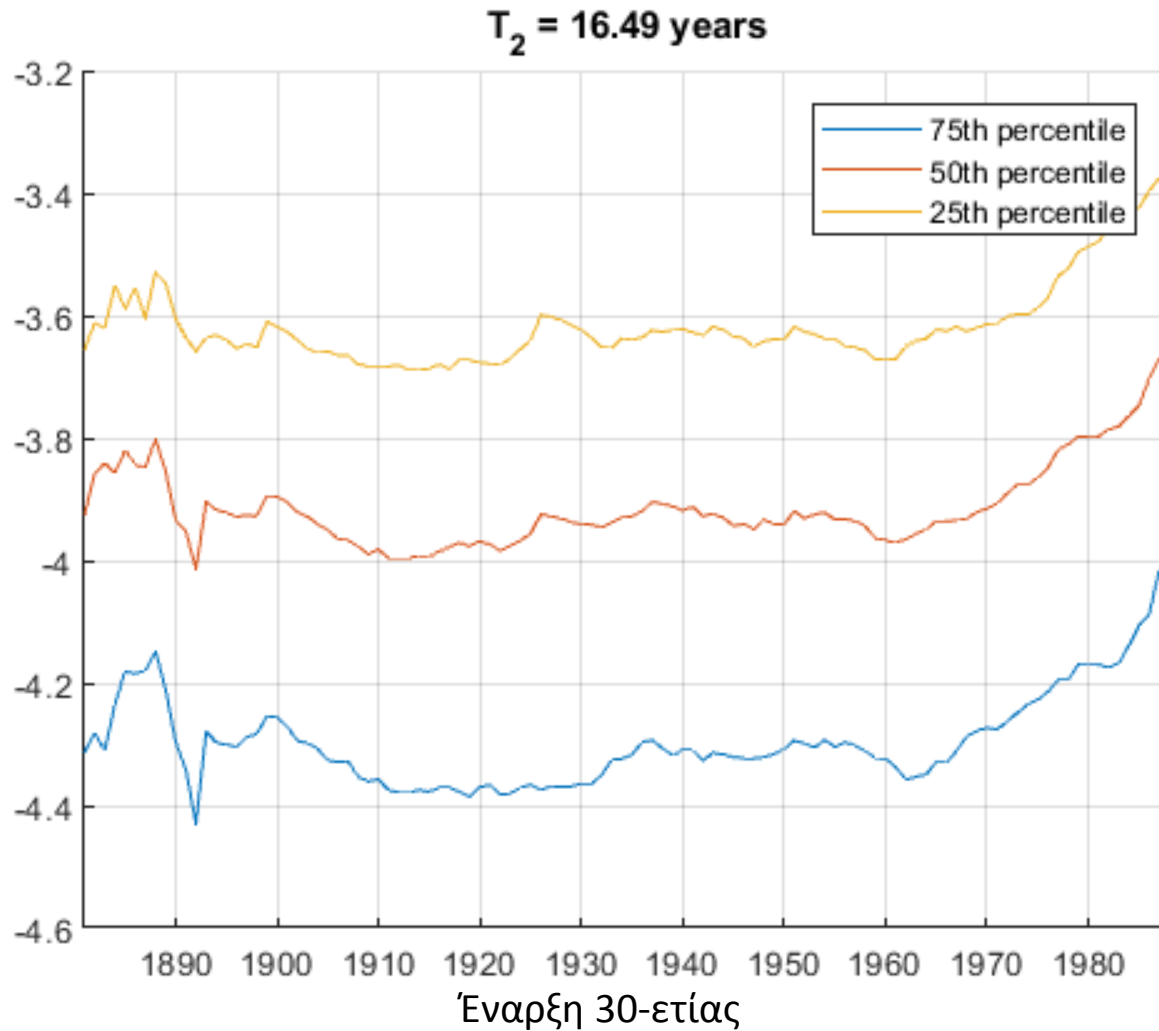
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης ελάχιστης θερμοκρασίας



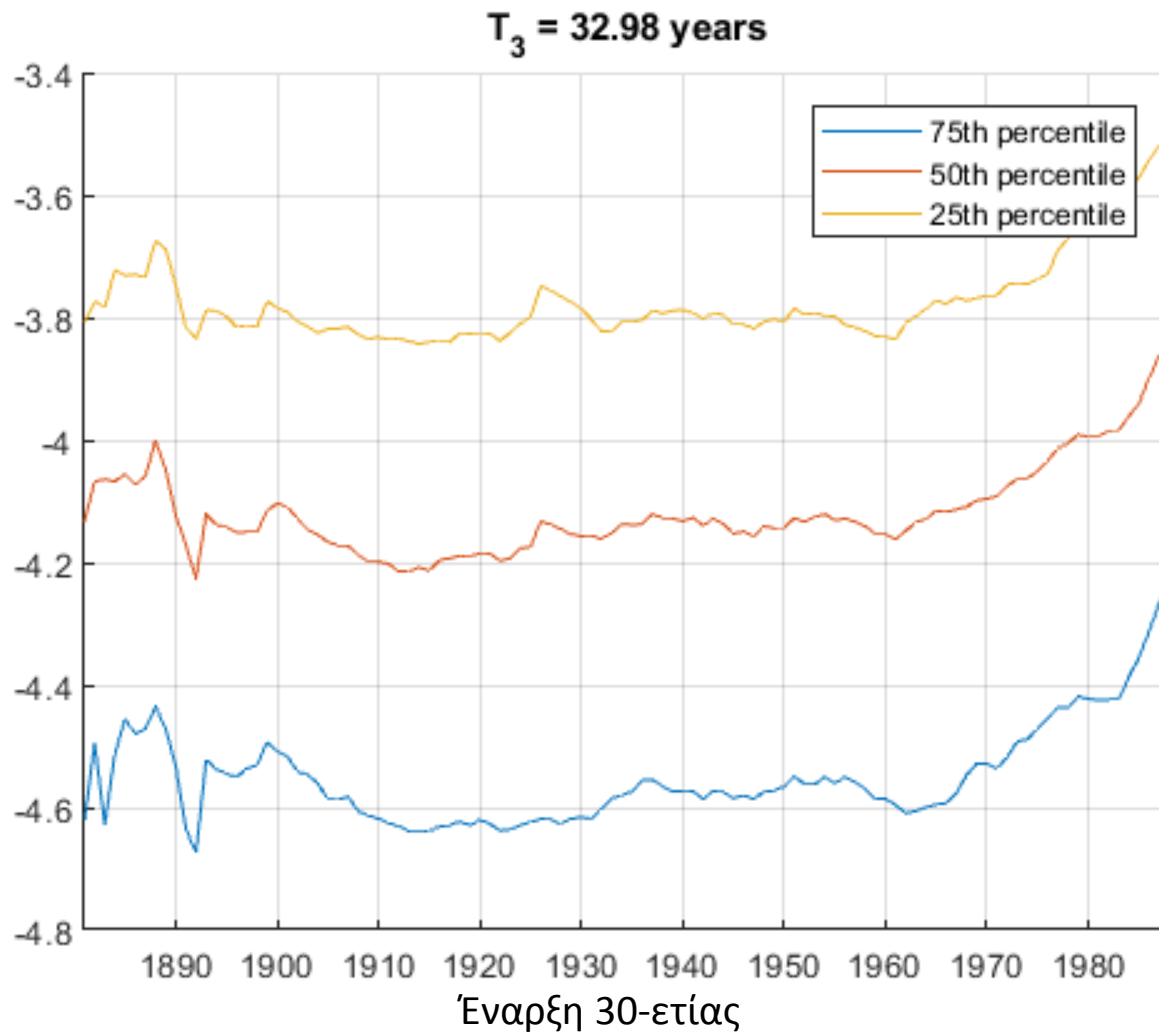
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης ελάχιστης θερμοκρασίας



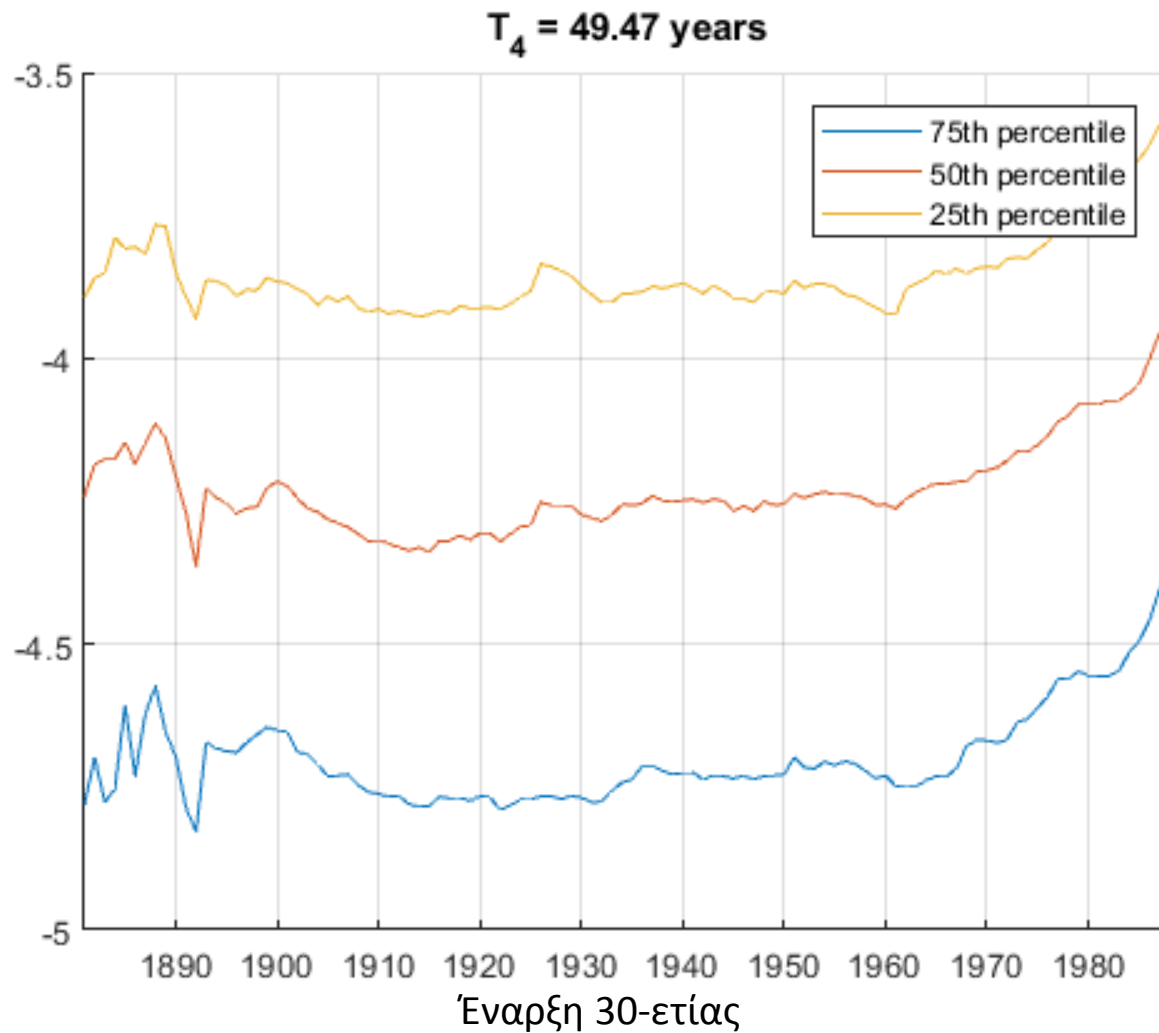
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης ελάχιστης θερμοκρασίας



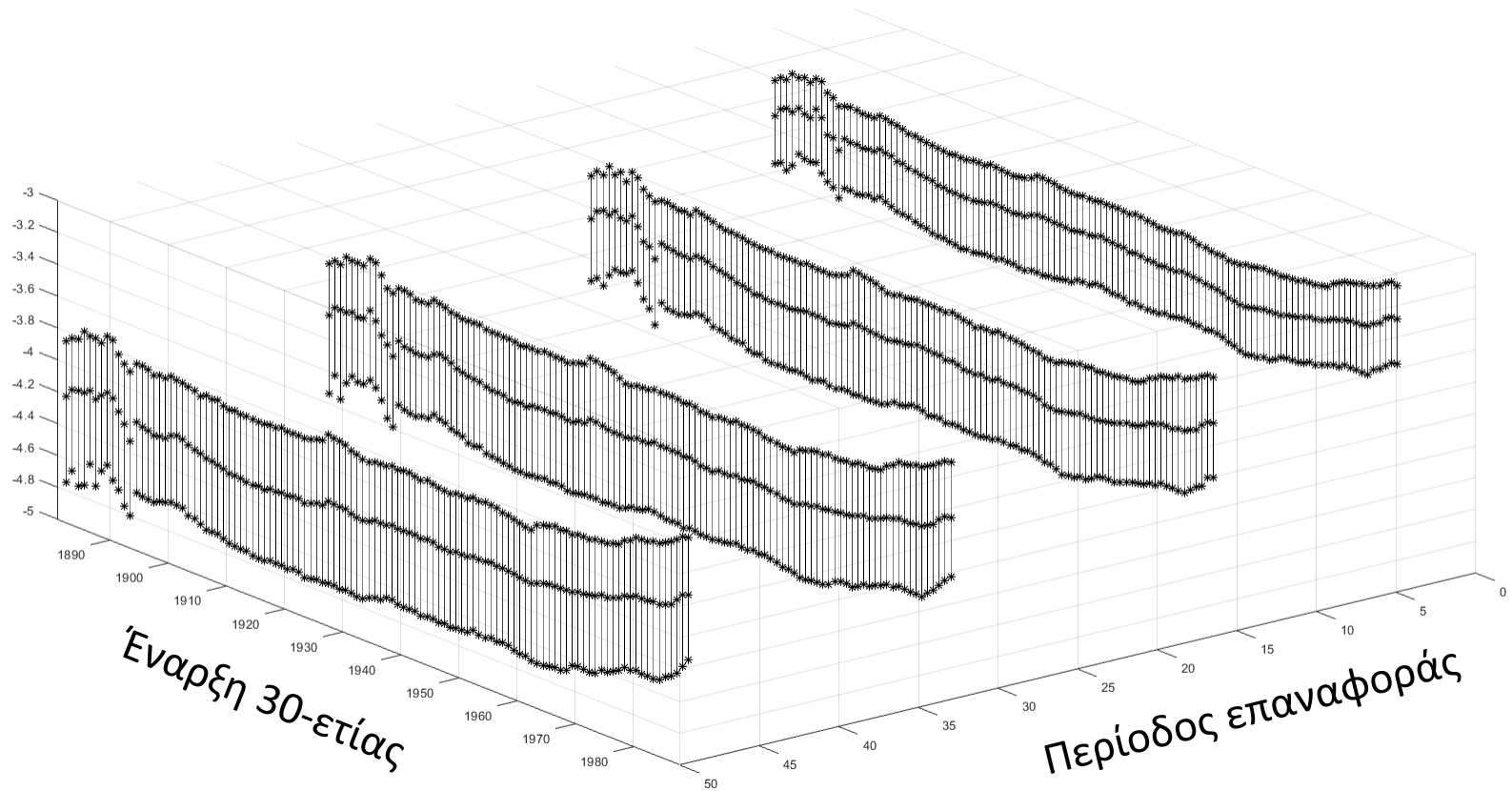
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης ελάχιστης θερμοκρασίας



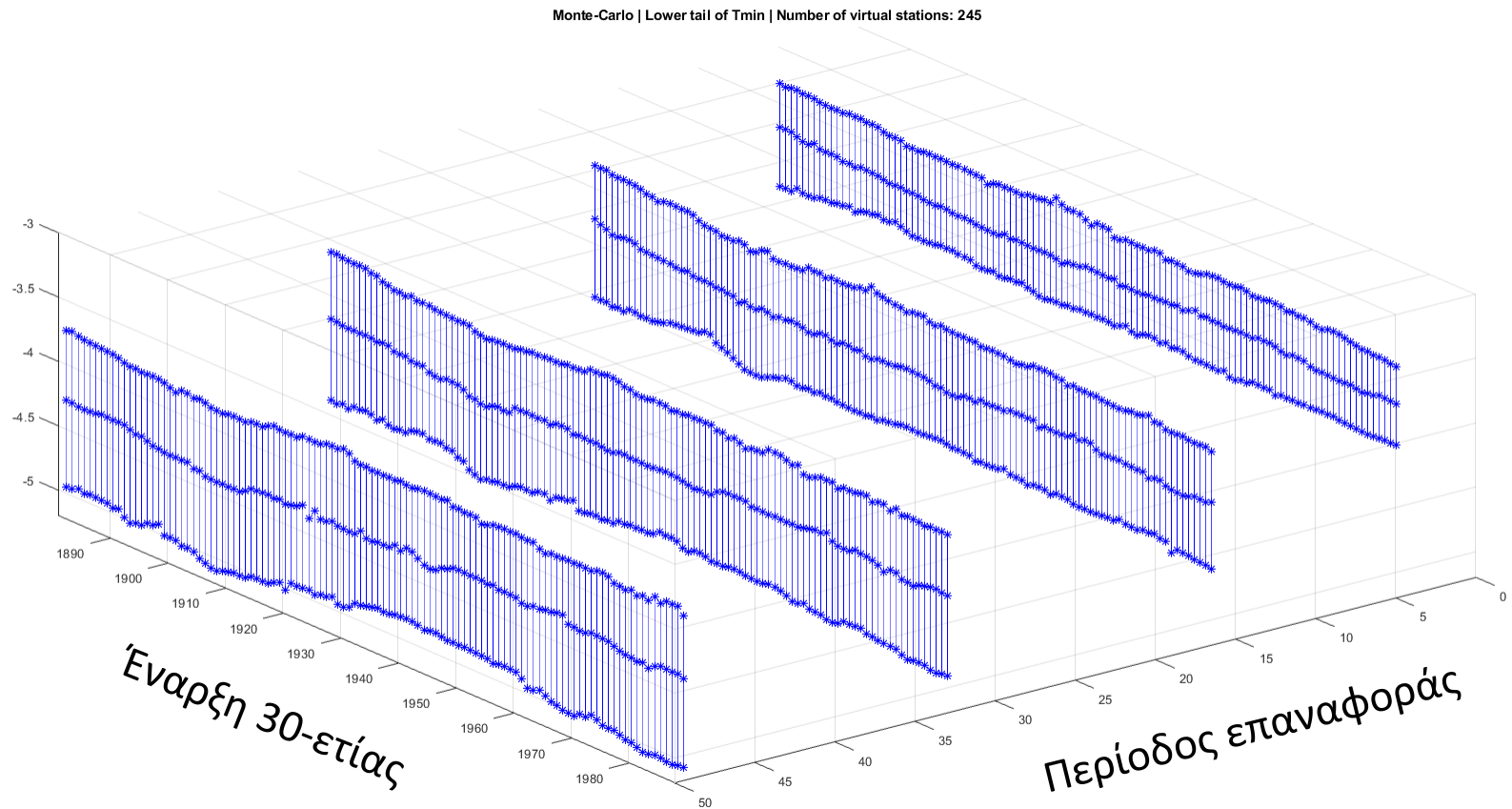
Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης ελάχιστης θερμοκρασίας



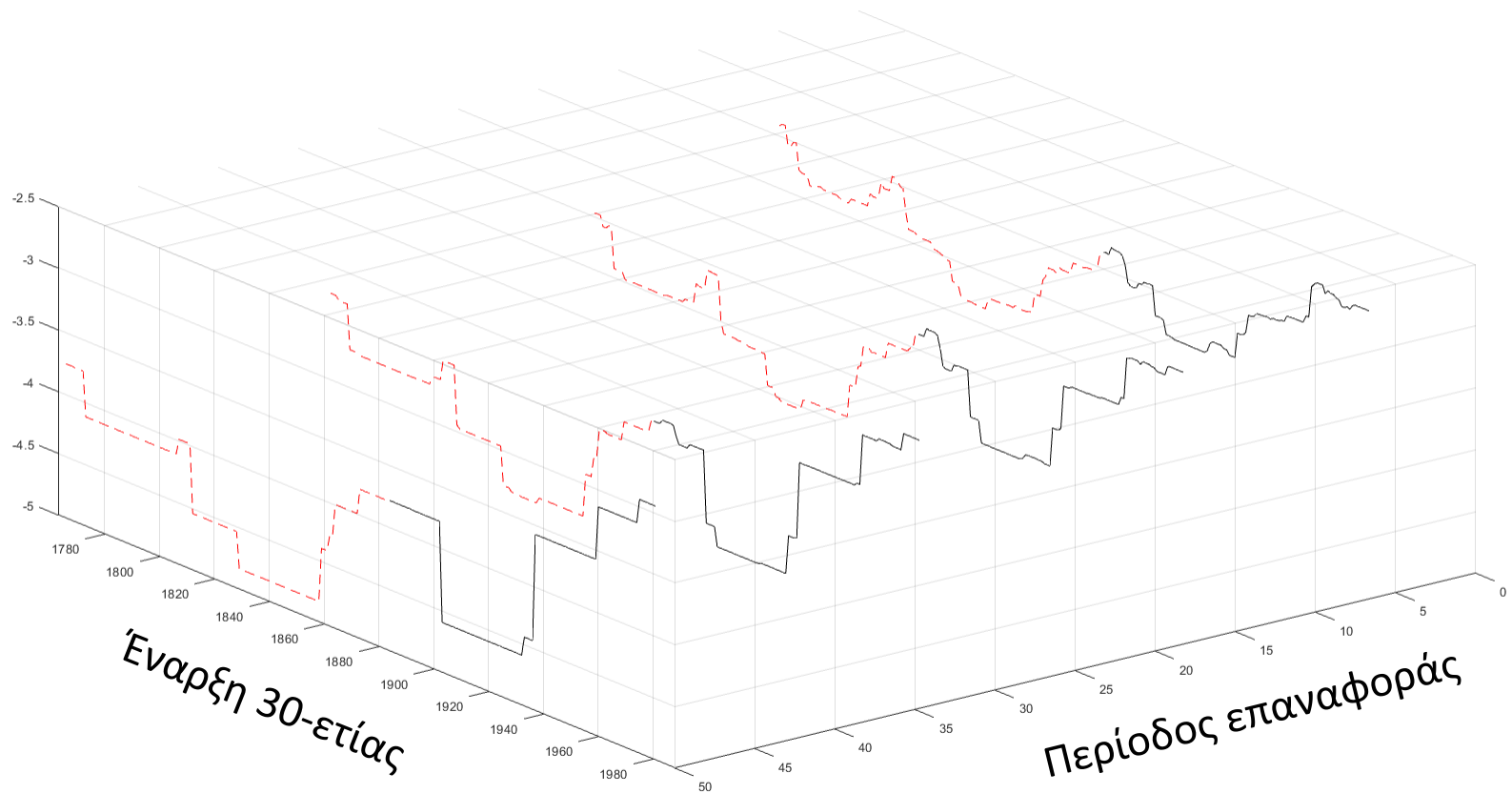
Ευρήματα

Κάτω ουρά της συνθετικής ελάχιστης θερμοκρασίας



Ευρήματα

Κάτω ουρά της παρατηρημένης ελάχιστης θερμοκρασίας (Μιλάνο)

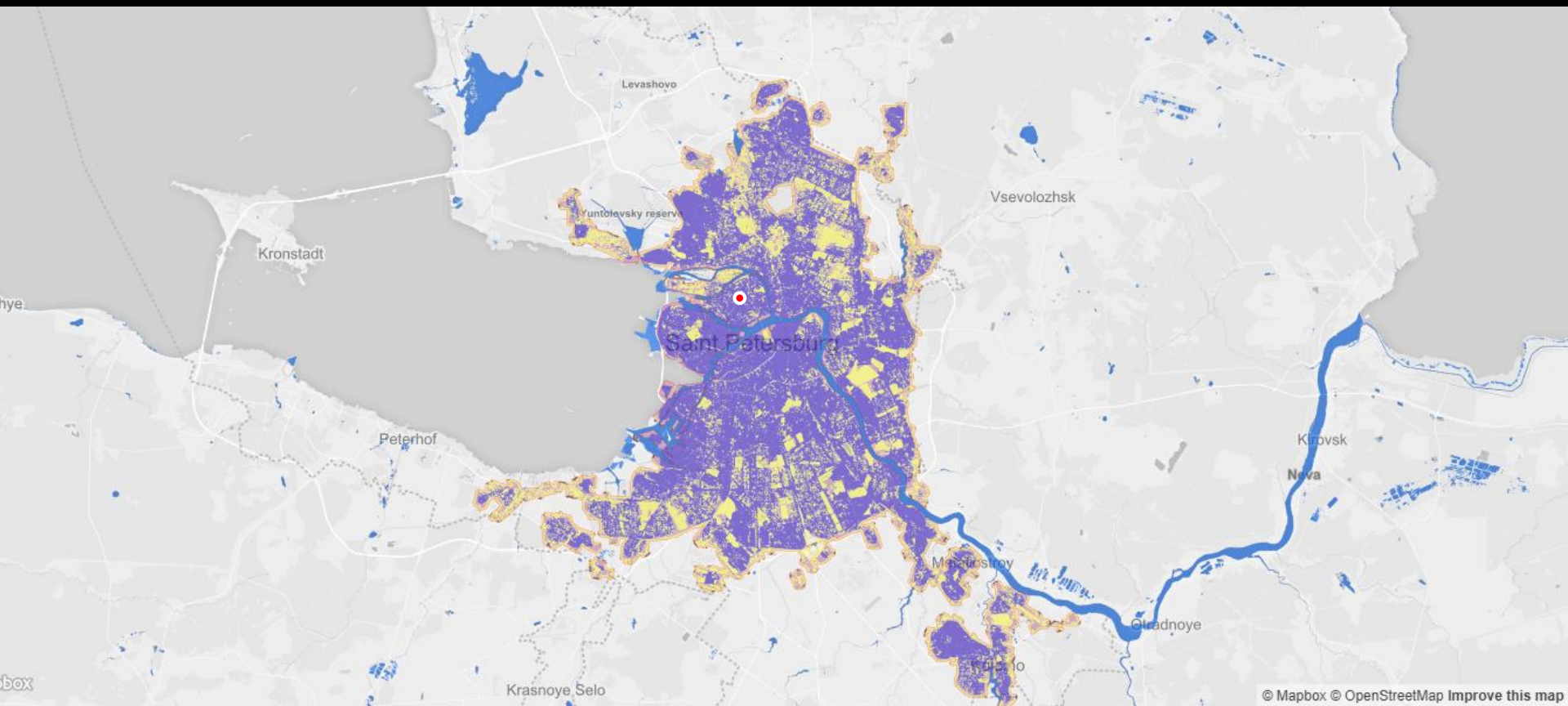


Συμπεράσματα

- Η μέση θερμοκρασία αυξάνεται, τόσο σε επίπεδο επάνω όσο και κάτω ουράς (ακραίων γεγονότων)
- Η μέγιστη θερμοκρασία μειώνεται!
- Η ελάχιστη θερμοκρασία αυξάνεται
- Οι περισσότερες από τις παρπάνω μεταβολές είναι εντός της αναμενόμενης συμπεριφοράς
- Ασυμφωνία συμπεριφοράς μεμονωμένων μακρόβιων σταθμών με σύνολο σταθμών

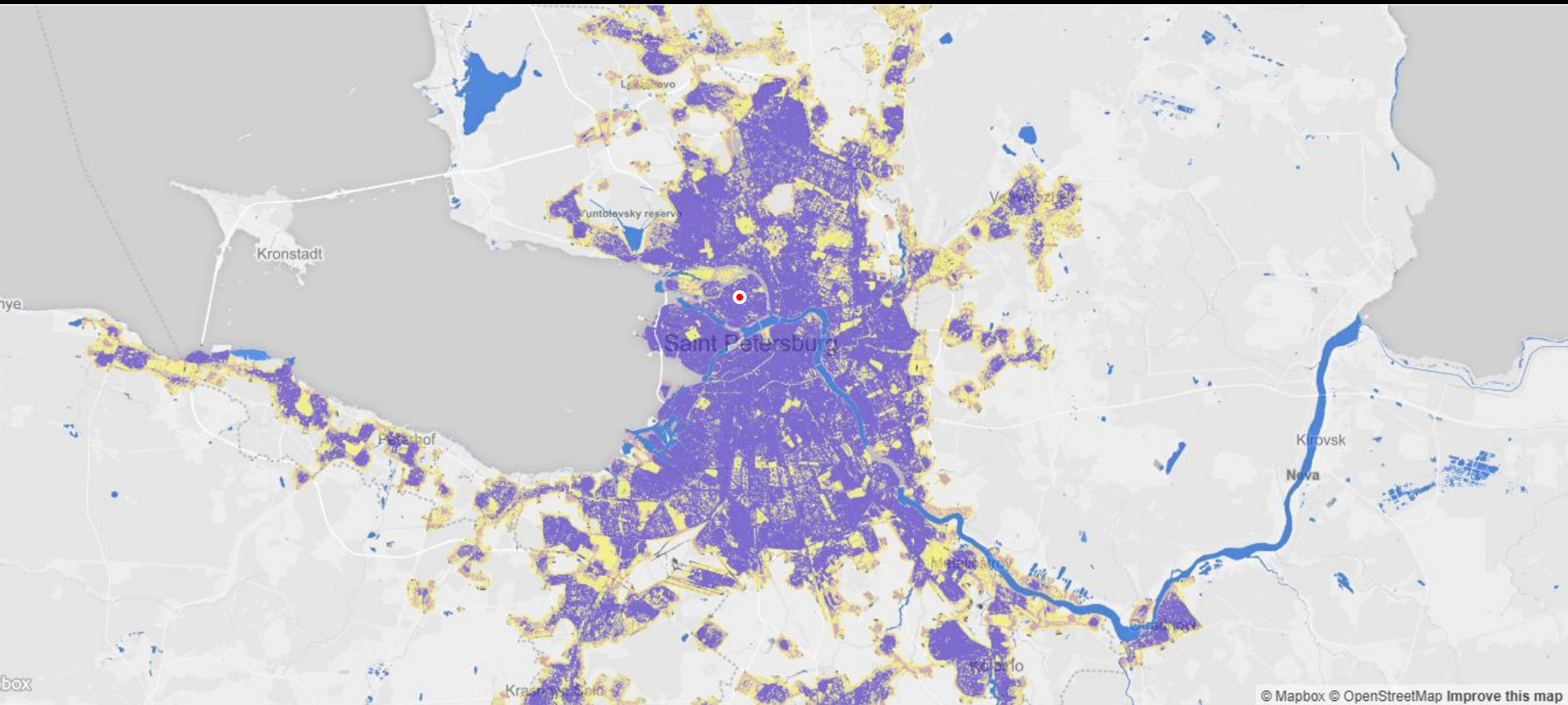
Συμπεράσματα

Αστική ζώνη Αγίας Πετρούπολης (1990)



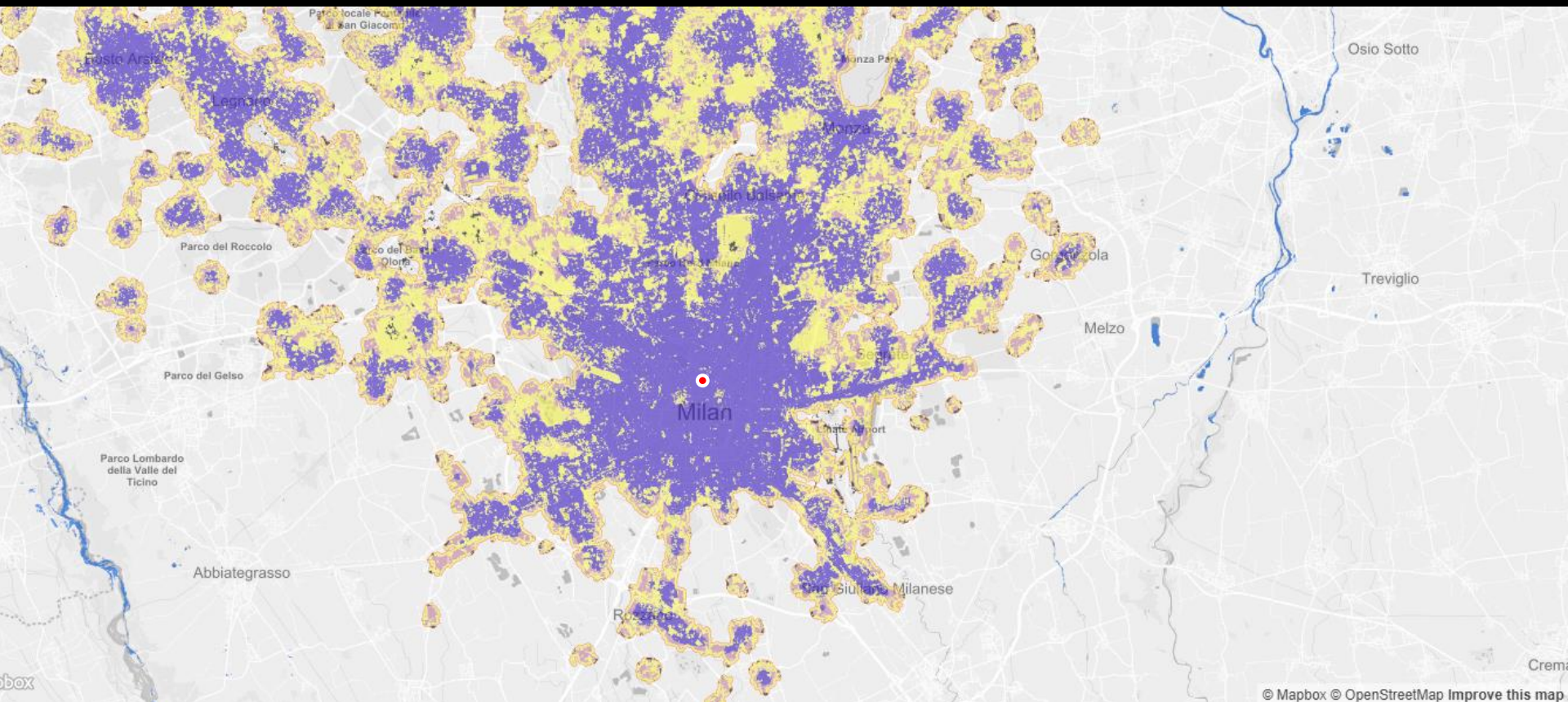
Συμπεράσματα

Αστική ζώνη Αγίας Πετρούπολης (2014)



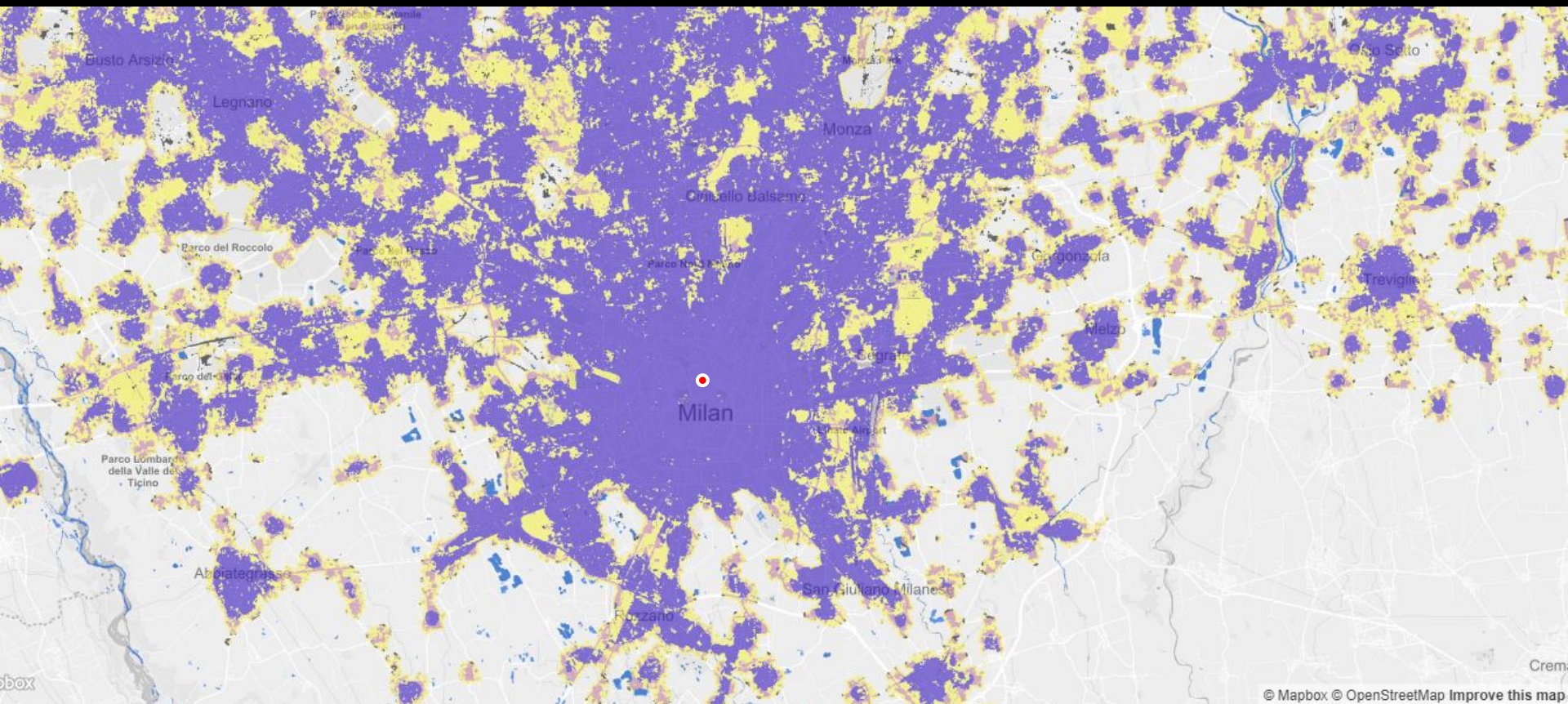
Συμπεράσματα

Αστική ζώνη Μιλάνου (1988)



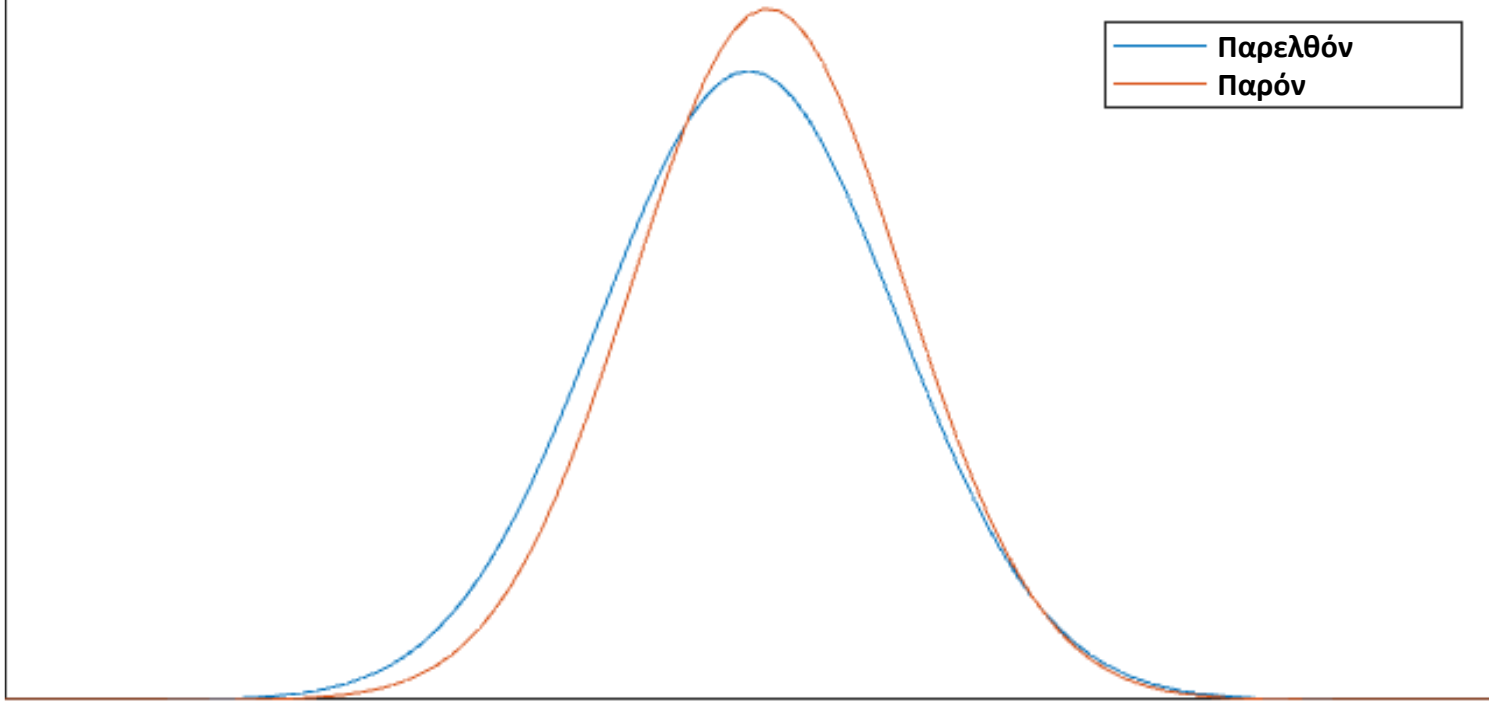
Συμπεράσματα

Αστική ζώνη Μιλάνου (2013)

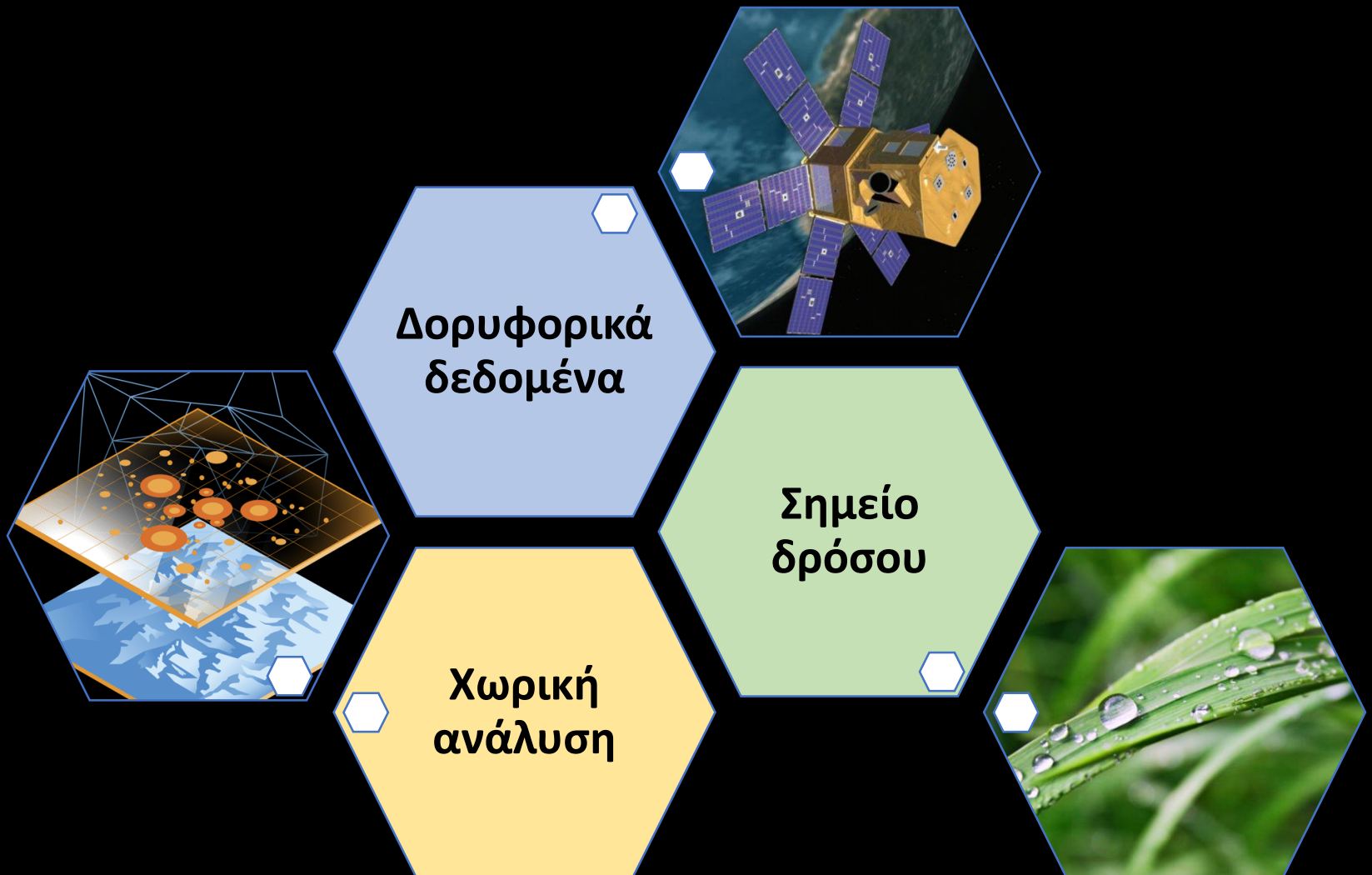


Συμπεράσματα

Πυκνότητα πιθανότητας θερμοκρασίας στην επιφάνεια



Προτάσεις για μελλοντική έρευνα



Τέλος παρουσίασης

Ευχαριστώ!