

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ • ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ



ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μακρόχρονες μεταβολές της κατανομής πιθανότητας της
επιφανειακής θερμοκρασίας στον Ελλαδικό χώρο με δεδομένα
ERA-5**

Λαμπράκη Αικατερίνη



Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Μπάκας

Ιωάννινα 2025

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	6
Περίληψη	8
Abstract	10
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	12
1.1 Θερμοκρασία επιφάνειας και κλιματική αλλαγή.....	12
1.1.1 Η Μεσόγειος ως hotspot	12
1.2 Στατιστικές παράμετροι	16
1.2.1 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση	16
1.2.2 Λοξότητα και κύρτωση	18
1.2.3 Σχέση μεταξύ ακραίων τιμών και μεταβολών των στατιστικών ροπών	20
1.3 Σκοπός της εργασίας.....	21
Κεφάλαιο 2 Δεδομένα και Μεθοδολογία	23
2.1 Δεδομένα	23
2.2 Μεθοδολογία	25
2.2.1 Εποχιακή μεταβλητότητα και γραμμική τάση	25
Κεφάλαιο 3 Αποτελέσματα-Συζήτηση.....	35
3.1 Χωρική κατανομή των τάσεων των στατιστικών παραμέτρων ανά εποχή	35
3.2 Η χωρική μεταβολή των στατιστικών ροπών ανά εποχή και η χρονική μεταβολή της	39
3.2.1 Μέση τιμή	40
3.2.2 Τυπική απόκλιση	42
3.2.3 Λοξότητα	44
3.2.4 Κύρτωση	46
3.3 Μεταβολές στο 5ο και 95ο ποσοστημόριο θερμοκρασίας ανά	

εποχή.....	49
3.3.1 Χειμώνας	49
3.3.2 Άνοιξη	51
3.3.3 Καλοκαίρι	53
3.3.4 Φθινόπωρο	54
3.4 Ο αριθμός των επεισοδίων ακραίων θερμοκρασιών ανά εποχή και η μεταβολή του.....	56
3.4.1 Χειμώνας	56
3.4.2 Άνοιξη	58
3.4.3 Καλοκαίρι	60
3.4.4 Φθινόπωρο	62
Κεφάλαιο 4 Συμπεράσματα-Προοπτικές.....	64
Παράρτημα.....	68
Βιβλιογραφία.....	110

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία ειπονήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Ατμοσφαιρικές Επιστήμες και Περιβάλλον» του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Αρχικώς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Μπάκια, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής και επιβλέποντα της παρούσας εργασίας, για την άρτια καθοδήγηση του, τις συμβουλές και γνώσεις που μου προσέφερε καθώς και για την υπομονή και επιμονή που επέδειξε στις δυσκολίες που αντιμετώπισα.

Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς όλους τους καθηγητές του ΠΜΣ, τον κ. Νικόλαο Χατζηαναστασίου, τον κ. Χρήστο Λώλη και τον κ. Αριστείδη Μπαρτζώκα, για τη συμβολή τους στην ακαδημαϊκή μου πορεία, καθώς και για τις γνώσεις και τα εφόδια που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους γονείς μου και τα αδέρφια μου, χωρίς την στήριξη των οποίων δεν θα μπορούσα να διεκπεραιώσω όλο αυτό το ακαδημαϊκό μου ταξίδι.

Περίληψη

Η κατανόηση της μακροχρόνιας μεταβλητότητας της επιφανειακής θερμοκρασίας είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η παρούσα μελέτη ερευνά την εξέλιξη της κατανομής πιθανότητας της επιφανειακής θερμοκρασίας στην Ελλάδα τα τελευταία 80 έτη (1943-2023), χρησιμοποιώντας το σύνολο δεδομένων επανάλυσης ERA-5 και εξετάζει τις μεταβολές στη συχνότητα και την ένταση των ακραίων ψυχρών και θερμών θερμοκρασιακών επεισοδίων. Αρχικά, υπολογίστηκαν οι πρώτες τέσσερις στατιστικές ροπές (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, λοξότητα, κύρτωση) της μέσης ημερήσιας, της μέγιστης και της ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας για κάθε δεκαετία και κάθε εποχή, κατόπιν αφαίρεσης του εποχιακού κύκλου και της γραμμικής τάσης εντός κάθε δεκαετίας. Για τα περισσότερα μέρη της Ελλάδας, διαπιστώθηκε μια σημαντική μεταβολή κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες μεταξύ των περισσότερων στατιστικών παραμέτρων, με τη μετατόπιση του μέσου όρου προς υψηλότερες θερμοκρασίες να είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό. Επομένως, ορίστηκαν δύο κλιματολογίες, για τα πρώτα 60 και τα τελευταία 20 έτη της χρονοσειράς και συγκρίθηκαν οι ακραίες θερμές και ψυχρές ημέρες εντός καθεμιάς από τις τέσσερις εποχές. Για τον ορισμό των ακραίων χρησιμοποιήθηκαν δύο μετρικές: ο αριθμός των ημερών που υπερβαίνουν το όριο των δύο τυπικών αποκλίσεων και οι θερμοκρασίες του 5^{ου} και 95^{ου} ποσοστημορίου των κατανομών. Διαπιστώθηκε ότι τα ψυχρά (θερμά) επεισόδια έχουν μειωθεί (αυξηθεί) τα τελευταία 20 χρόνια, με αυτό το μοτίβο να είναι σταθερό σε ολόκληρη την περιοχή. Συνεπώς με αυτό το εύρημα είναι η συνολική αύξηση των θερμοκρασιών τόσο στο 5^ο όσο και στο 95^ο ποσοστημόριο τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ακόμη, εφαρμόστηκε μια μέθοδος που προσδιορίζει τη συμβολή της αύξησης της μέσης τιμής και των μεταβολών στις στατιστικές ροπές ανώτερης τάξης στην αύξηση των θερμοκρασιών των ποσοστημορίων και στη μεταβολή την συχνότητα των ψυχρών και θερμών επεισοδίων. Με βάση τη μέθοδο αυτή διαπιστώθηκε πως ενώ η μετατόπιση της μέσης θερμοκρασίας ευθύνεται για τις περισσότερες από τις αλλαγές στα ακραία φαινόμενα, υπάρχει και μια μικρότερη αλλά μη αμελητέα συμβολή των μεταβολών των ροπών ανώτερης τάξης.

Abstract

Understanding the long-term variability of surface temperature is crucial for assessing the impacts of climate change. This study investigates the evolution of the probability distribution of surface temperature in Greece during the last 80 years (from 1943 to 2023) using the ERA-5 reanalysis dataset and examines the changes in the frequency of extreme cold and warm days. Initially the first four statistical moments (mean, standard deviation, skewness and kurtosis) of daily maximum, minimum and mean surface temperature for each decade and each season were obtained after removing the seasonal cycle and the linear trend within each decade. For most parts of Greece, a significant change during the last two decades among most of the moments is found with shifting of the mean towards larger temperatures being the most prominent feature. Therefore, the climatology of extreme warm and cold days within each of the seasons that is calculated for the first 60 and the last 20 years of the timeseries is compared. Two metrics are used: the number of days exceeding the two sigma threshold and the temperatures of the 5th and 95th percentiles of the distributions. It is found that extreme cold (warm) days have decreased (increased) over the last 20 years, with this pattern being consistent across the entire region. Consistent with this finding is the overall increase in both the 5th and 95th percentile temperatures over the last two decades. A method that determines the contribution of the observed shift in the mean and the changes in the higher order statistical moments to the increase of the percentile temperatures and to the changes in the frequency of cold and hot extremes is also applied. It is found that while the shift in the mean temperature accounts for most of the changes in the extremes, there is a smaller but non-negligible contribution of the changes in the higher order moments as well.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Θερμοκρασία επιφάνειας και κλιματική αλλαγή

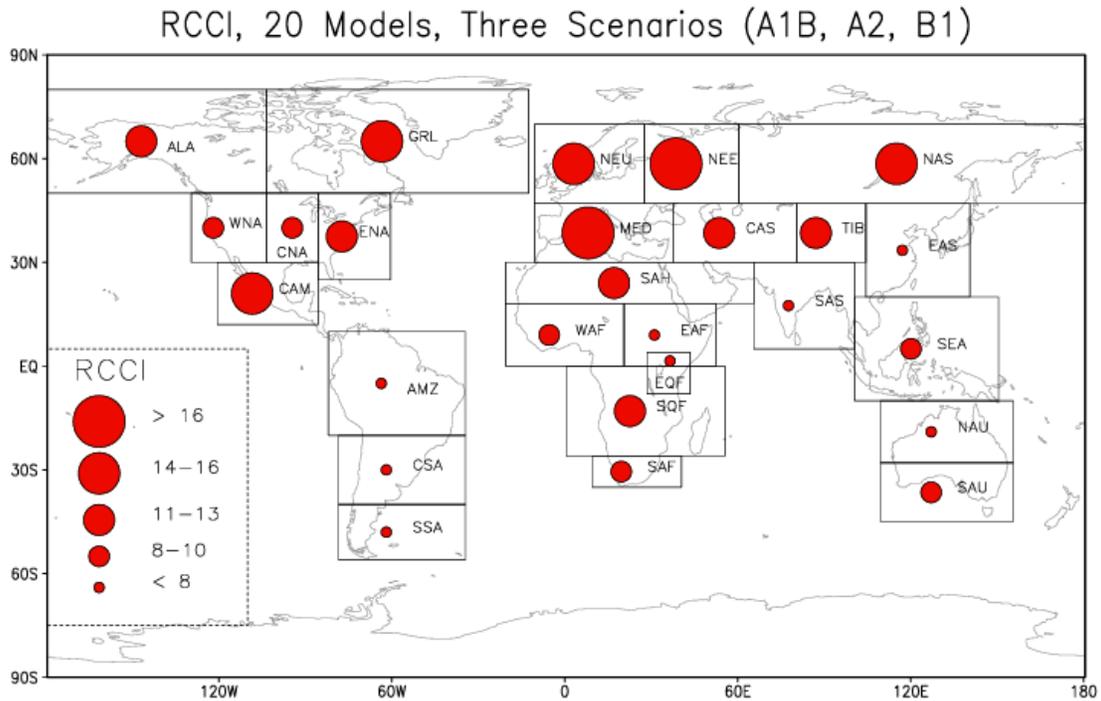
Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις του 21ου αιώνα, με σαφείς και μετρήσιμες επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Ένας από τους πιο άμεσους και ευαίσθητους δείκτες της μεταβολής του κλίματος είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας, καθώς επηρεάζει άμεσα το ενεργειακό ισοζύγιο, τον υδρολογικό κύκλο, τα οικοσυστήματα αλλά και πλήθος κοινωνικοοικονομικών δραστηριοτήτων, όπως η γεωργία, ο τουρισμός και η υγεία του πληθυσμού. Αποτελώντας μία από τις κύριες κλιματικές μεταβλητές, έχει καθοριστικό ρόλο σε πολλές κλιματικές διεργασίες και φαινόμενα. Η μελέτη της θερμοκρασίας και των διακυμάνσεών της είναι σημαντική για την κατανόηση των τοπικών κλιματικών χαρακτηριστικών και την αλληλεπίδραση μεταξύ ξηράς και θάλασσας, ιδιαίτερα σε περιοχές, όπως η Ελλάδα, οι οποίες αποτελούνται τόσο από ηπειρωτικές όσο και από θαλάσσιες εκτάσεις.

1.1.1 Η Μεσόγειος ως hotspot

Η Μεσόγειος έχει αναγνωριστεί ως μία από τις περιοχές που ανταποκρίνονται περισσότερο στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή, με την παρατηρούμενη αύξηση θερμοκρασίας να αναμένεται να συνεχιστεί με ρυθμό μεγαλύτερο από τον παγκόσμιο μέσο όρο, καθιστώντας την περιοχή υψηλού κινδύνου ή αλλιώς θερμό σημείο (hotspot), τόσο με βάση τις παρατηρήσεις όσο και τις μελλοντικές εκτιμήσεις (Lazoglou et al., 2024).

Ο όρος του θερμού σημείου καθιερώθηκε, αρχικά, με την ανάπτυξη του Δείκτη Περιφερειακής Κλιματικής Αλλαγής (RCCI), ο οποίος αναπτύσσεται λαμβάνοντας υπόψιν τις μελλοντικές μεταβολές στις μέσες συνθήκες και στη διαχρονική μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων και της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια

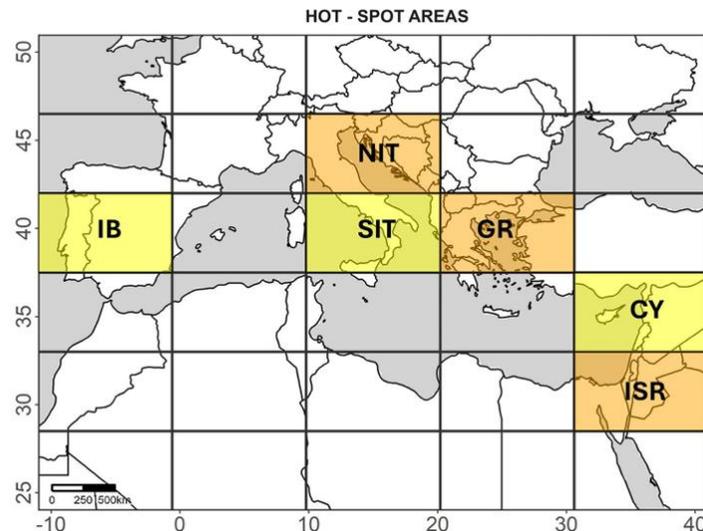
και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των περιοχών όπου είτε το κλίμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην παγκόσμια αλλαγή είτε οι πιθανές επιπτώσεις τις κλιματικής αλλαγής στο περιβάλλον ή σε διάφορους τομείς δραστηριότητας μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονες (Giorgi, 2006).



Σχήμα 1.1. Δείκτης Περιφερειακής Κλιματικής Αλλαγής (RCCI) σε 26 χερσαίες περιοχές του κόσμου, υπολογισμένοι από 20 συζευγμένα γενικά μοντέλα κυκλοφορίας ατμόσφαιρας-ωκεανού και 3 σενάρια εκπομπών του IPCC (A1B, A2, B1) (Giorgi, 2006).

Σε παγκόσμια έρευνα του Giorgi (2006), οι δύο πιο σημαντικές περιοχές που προκύπτουν από την ανάλυση του RCCI είναι η Μεσόγειος και η Βορειοανατολική Ευρώπη, όπου λαμβάνουν την υψηλότερη τιμή RCCI (Σχήμα 1.1). Ιδιαίτερα η βαλκανική χερσόνησος αναμένεται να είναι από τις περιοχές που επηρεάζονται περισσότερο κατά την χειμερινή και θερινή περίοδο, με την προβλεπόμενη θέρμανση της τελευταίας να τείνει να ανέρθει σε πάνω από 8 °C μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, με βάση τις προβλέψεις του CMIP6 (Cos et al., 2022). Οι τάσεις της θερμοκρασίας έχουν μελετηθεί εκτενώς στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδας, όπου παρουσιάζεται τάση ανόδου της θερμοκρασίας της τάξεως των 0.1-0.6 °C ανά δεκαετία (Zittis et al., 2022; Kostopoulou and Jones, 2005).

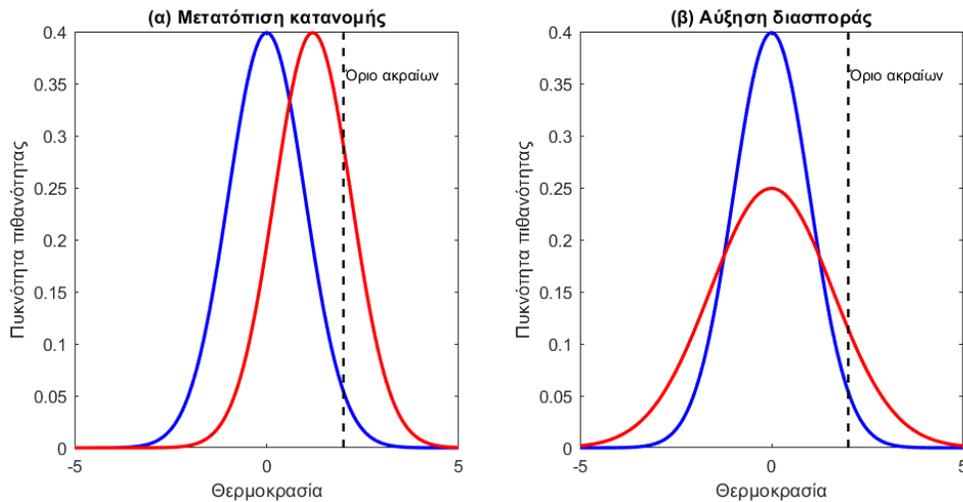
Εντούτοις, εκτός των αλλαγών στις μέσες κλιματικές συνθήκες, η θερμοκρασιακή αύξηση επιδρά και στη συχνότητα και ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων επηρεάζοντας βασικούς γεωργικούς και οικονομικούς τομείς και ενισχύοντας την ανάγκη περαιτέρω μελέτης των θερμών σημείων, με αρκετές μελέτες να υπογραμμίζουν την σημαντικότητα εμπειριστατωμένων αναλύσεων των εν λόγω περιοχών. Για παράδειγμα, στην έρευνα των Lazoglou et al. (2024), χρησιμοποιείται ο δείκτης MED-HOT, ο οποίος σχεδιάστηκε ώστε να δώσει έμφαση σε περιοχές της Μεσογείου όπου τα ακραία καιρικά φαινόμενα γίνονται όλο και πιο σημαντικά, ενσωματώνοντας αλλαγές στην συχνότητα και την ένταση τεσσάρων ακραίων κλιματικών δεικτών, μεταξύ των οποίων η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν πως η Ελλάδα, ύστερα από συνδυασμό των αποτελεσμάτων των δεικτών RCCI και MED-HOT, αποτελεί περιοχή υψηλού κινδύνου (hotspot) και μία από τις πιο ευάλωτες στην κλιματική αλλαγή στην Μεσόγειο, λόγω μεταβολών των ακραίων θερμοκρασιών που οδηγούν σε θερμότερες ημέρες και νύχτες (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2. Περιοχές με υψηλή κλιματική ευαισθησία σύμφωνα με τους δείκτες MED-HOT (πορτοκαλί) και RCCI (κίτρινο) (Lazoglou et al., 2024).

Ο αντίκτυπος αυτής της θέρμανσης στη μεταβλητότητα της θερμοκρασίας και ιδιαίτερα στη συχνότητα και την ένταση των ακραίων φαινομένων παραμένει αβέβαιος (Alexander et al., 2006; Coumou and Robinson, 2013; Fischer and Schär, 2009; Huntingford et al., 2013; Holmes et al., 2016). Γενικά αναμένεται ότι

υψηλότερη μέση θερμοκρασία οδηγεί σε συχνότερους και εντονότερους καύσωνες, ενώ το αντίθετο ισχύει για τα ακραία ψυχρά φαινόμενα (Meehl and Tebaldi, 2004; Simolo et al., 2011; Tebaldi et al., 2006). Για παράδειγμα, στο Σχήμα 1.3.α φαίνεται η περίπτωση μετατόπισης της κατανομής της θερμοκρασίας λόγω αύξησης της μέσης τιμής της. Σε αυτή την περίπτωση, εάν ορίσουμε μια θερμοκρασία-κατώφλι για ακραία θερμά επεισόδια παρατηρούμε ότι λόγω της αύξησης της μέσης τιμής ο σχετικός αριθμός των ημερών με τιμές άνω του ορίου που δίνεται από το εμβαδόν του τμήματος δεξιά του ορίου θα αυξηθεί. Ωστόσο, τα ακραία επεισόδια μπορεί να επηρεαστούν και από μεταβολές στο σχήμα της κατανομής. Για παράδειγμα, εάν η τυπική απόκλιση αυξηθεί όπως στο Σχήμα 1.3.β, ο αριθμός των ακραίων επεισοδίων πάλι θα αυξηθεί παρά το γεγονός ότι η μέση τιμή δεν έχει μεταβληθεί.



Σχήμα 1.3. Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης μεταβολών της θερμοκρασιακής κατανομής στη συχνότητα εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών: (α) μετατόπιση της κατανομής προς υψηλότερες τιμές με σταθερή διασπορά, (β) αύξηση της διασποράς με σταθερό μέσο όρο. Η διακεκομμένη κατακόρυφη γραμμή υποδηλώνει ενδεικτικό όριο ακραίων θερμοκρασιών.

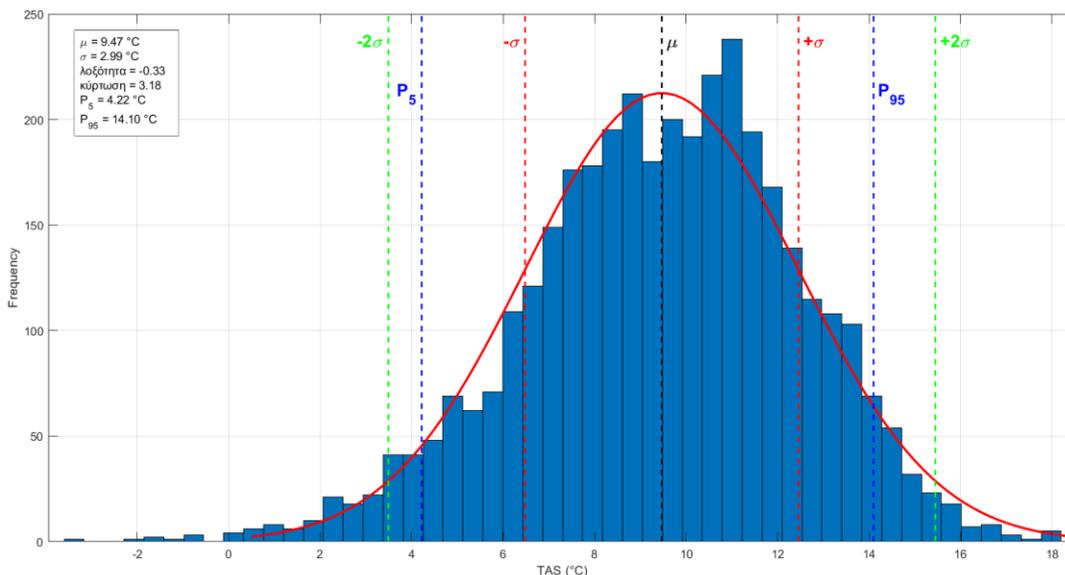
Τα παραπάνω παραδείγματα καταδεικνύουν ότι η διερεύνηση των ακραίων θερμοκρασιών απαιτεί την εξέταση πιθανών μεταβολών ολόκληρης της κατανομής και των χαρακτηριστικών της, τα οποία αποτυπώνονται μέσω των στατιστικών ροπών. Η ανάγκη αυτή καθιστά επιβεβλημένη την ανάλυση πέραν της μέσης τιμής, οδηγώντας φυσικά στην εισαγωγή και μελέτη πρόσθετων στατιστικών μεγεθών, τα οποία παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα.

1.2 Στατιστικές παράμετροι

Όταν καλούμαστε να χρησιμοποιήσουμε έναν μεγάλο όγκο δεδομένων δημιουργείται η ανάγκη ο όγκος αυτός να περιγραφεί από μερικούς αριθμούς οι οποίοι θα χαρακτηρίζουν ολόκληρο το σύνολο. Έτσι, για την περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών μιας κατανομής χρησιμοποιούνται συχνά στατιστικές παράμετροι όπως η μέση τιμή (mean), η τυπική απόκλιση (standard deviation), η λοξότητα (skewness) και η κύρτωση (kurtosis).

1.2.1 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση

Για την περιγραφή μίας κατανομής, όπως η κατανομή των αποεποχοποιημένων τιμών της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στα Ιωάννινα που σχεδιάζεται στο Σχήμα 1.4, χρησιμοποιούνται τρία κύρια μέτρα κεντρικής τάσης: ο μέσος όρος (mean) ο οποίος ταυτίζεται με τη μέση τιμή του συνόλου δεδομένων, η διάμεσος (median) η οποία αντιπροσωπεύει την τιμή που βρίσκεται στο μέσο ενός διατεταγμένου συνόλου δεδομένων και η επικρατούσα τιμή (mode) η οποία αφορά την τιμή που εμφανίζεται περισσότερο στο δείγμα.



Σχήμα 1.4. Ιστόγραμμα μέσων ημερήσιων τιμών επιφανειακής θερμοκρασίας (TAS) στα Ιωάννινα, μετά την αφαίρεση της εποχιακής κλίμανσης και της γραμμικής τάσης, για την περίοδο 1943-1953.

Ίσως το βασικότερο μέτρο κεντρικής τάσης είναι η μέση τιμή, η οποία προκύπτει ως το άθροισμα όλων των τιμών του δείγματος διαιρεμένο με το πλήθος των δεδομένων

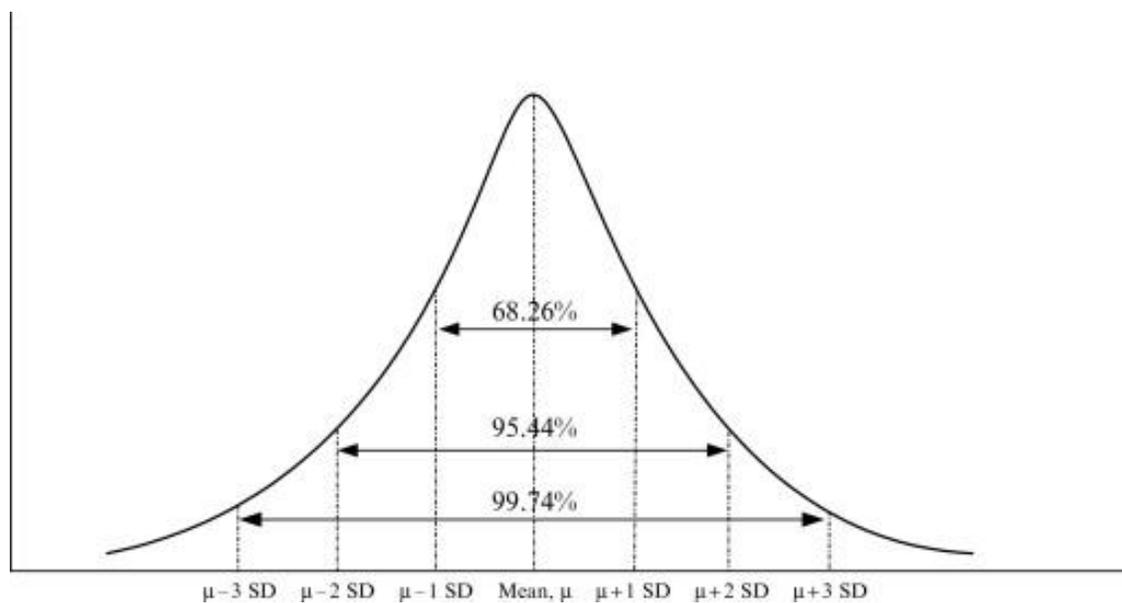
$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i \quad (1.1)$$

όπου Y_i είναι οι τιμές του δείγματος και N ο πληθυσμός των τιμών. Αυτή λειτουργεί ως σημείο ισορροπίας καθώς βρίσκεται στο πραγματικό κέντρο του συνόλου. Αν και σε αντίθεση με την διάμεσο, μπορεί να επηρεαστεί έντονα από υψηλές ή χαμηλές τιμές (outliers), παρέχει μια αντιπροσωπευτική εκτίμηση της κατανομής (Hosking, 1992). Η μέση τιμή για την κατανομή του Σχήματος 1.4 δείχνεται με τη μαύρη διακεκομμένη γραμμή.

Για την πλήρη περιγραφή ενός συνόλου δεδομένων δεν αρκεί μόνο η χρήση μέτρων κεντρικής τάσης αλλά απαιτείται και η μελέτη της διασποράς και των μετρήσεων γύρω από αυτή (Ibe, 2014). Μέτρο της διασποράς είναι η τυπική απόκλιση που δίνεται από την εξίσωση:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \mu)^2}{N}} \quad (1.2)$$

που φαίνεται στο Σχήμα 1.4 με κόκκινες γραμμές. Ο μεγαλύτερος αριθμός τιμών βρίσκεται εντός των ορίων $\pm\sigma$ σε σχέση με τη μέση τιμή. Για παράδειγμα, στην κανονική κατανομή που είναι η συνηθέστερη και επίσης απεικονίζεται στο Σχήμα 1.5 περίπου το 68% των τιμών βρίσκεται εντός μιας τυπικής απόκλισης από το μέσο όρο. Έτσι η τυπική απόκλιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για να οριστούν ακραίες τιμές, τιμές δηλαδή που ξεπερνούν τη συνήθη μεταβλητότητα του μεγέθους που μελετάται. Στη βιβλιογραφία χρησιμοποιείται συνήθως το όριο των δύο τυπικών αποκλίσεων για ακραία/σπάνια φαινόμενα, καθώς για την κανονική κατανομή μόνο το 5% των τιμών είναι πάνω από αυτό το όριο (βλέπε το όριο στο Σχήμα 1.4). Για πολύ ακραία/πολύ σπάνια φαινόμενα, χρησιμοποιείται το όριο των τριών αποκλίσεων, καθώς για την κανονική κατανομή μόνο περίπου το 1% των τιμών είναι πάνω από το όριο αυτό. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιήσουμε ως όριο για τις ακραίες τιμές της θερμοκρασίας τις δύο τυπικές αποκλίσεις.



Σχήμα 1.5. Τυπική απόκλιση για μια κανονική κατανομή όπου η πιθανότητα μια τιμή παρατήρησης να βρίσκεται εντός μιας τυπικής απόκλισης (SD) από το μέσο όρο είναι 0,6825, η πιθανότητα να βρίσκεται εντός δύο τυπικών αποκλίσεων από το μέσο όρο είναι 0,9544 και η πιθανότητα να βρίσκεται εντός τριών τυπικών αποκλίσεων από το μέσο όρο είναι 0,9974 (Ibe, 2014).

1.2.2 Λοξότητα και κύρτωση

Για την κανονική κατανομή, η μέση τιμή και η απόκλιση επαρκούν στο να περιγράψουν πλήρως τα χαρακτηριστικά της. Ο λόγος είναι ότι τα τρία μέτρα κεντρικής τάσης (μέσος όρος, διάμεσος και επικρατούσα τιμή) ταυτίζονται λόγω συμμετρίας της κατανομής γύρω από το μέσο όρο. Επίσης, πάλι λόγω συμμετρίας, οι θετικές και οι αρνητικές αποκλίσεις γύρω από το μέσο όρο είναι εξίσου πιθανές. Όμως οι κατανομές δεν είναι κατ' ανάγκη κανονικές. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 1.4 παρατηρούμε ότι έχουμε ασυμμετρία γύρω από το μέσο όρο, καθώς παρουσιάζονται περισσότερες τιμές αρκετά χαμηλών θερμοκρασιών σε σχέση με τις υψηλές. Στις περιπτώσεις αυτές, χρειάζονται και ανώτερες στατιστικές ροές για να περιγραφούν τα χαρακτηριστικά της κατανομής (Joanes et al., 1997). Μέτρο της ασύμμετρίας μιας κατανομής είναι η λοξότητα, που δίνεται από την σχέση:

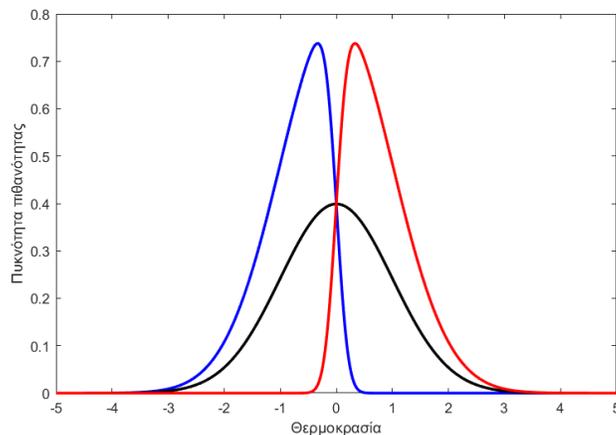
$$s = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \mu)^3}{(N-1)\sigma^3} \quad (1.3)$$

Στο Σχήμα 1.6 παρουσιάζονται λοξές κατανομές θερμοκρασίας με τη μεσαία καμπύλη να αφορά την κανονική κατανομή όπου είναι συμμετρική και η λοξότητα παίρνει την τιμή 0. Εάν η λοξότητα είναι θετική, η κατανομή έχει μεγάλη ουρά προς τα δεξιά δηλαδή προς υψηλότερες τιμές (δεξιά καμπύλη), καθώς έχουμε περισσότερες θερμές ημέρες από ότι ψυχρές. Εάν η λοξότητα είναι αρνητική, η κατανομή παρουσιάζει μεγάλη ουρά προς τα αριστερά, δηλαδή προς μικρότερες (αριστερή καμπύλη) (Livingston, 2004), καθώς έχουμε περισσότερες ψυχρές ημέρες από ότι θερμές.

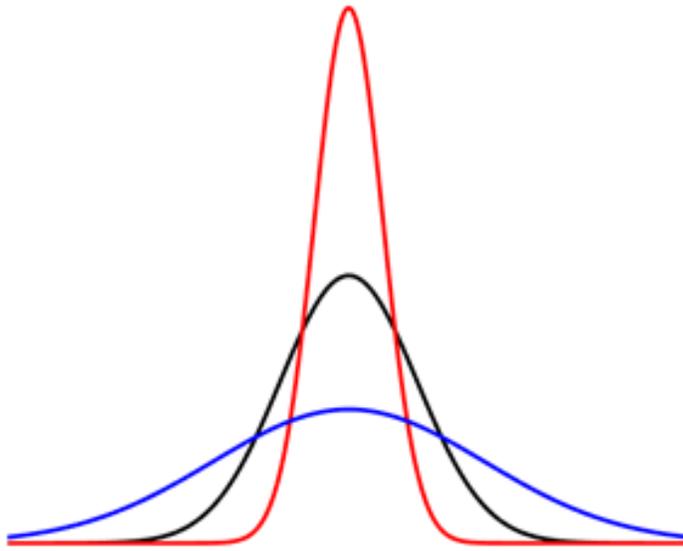
Τέλος, η κύρτωση είναι το μέτρο του πάχους των ουρών της κατανομής σε σχέση με τη διασπορά και δίνεται από την σχέση:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \mu)^4}{(N-1)\sigma^4} \quad (1.4)$$

Όπως φαίνεται στην εικόνα του Σχήματος 1.7, η μεσαία καμπύλη αναπαριστά μία κανονική κατανομή (μεσόκυρτη) στην οποία η κύρτωση παίρνει την τιμή 3. Στην περίπτωση όπου η κορυφή είναι περισσότερο πεπλατυσμένη από αυτή της κανονικής κατανομής και οι ουρές είναι φαρδιές η κατανομή χαρακτηρίζεται ως πλατύκυρτη και η κύρτωση λαμβάνει τιμές μικρότερες του 3, ενώ στην περίπτωση μίας οξύτερης κορυφής με στενές ουρές η κατανομή είναι θεωρείται λεπτόκυρτη και η κύρτωση παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 3 (Livingston, 2004).



Σχήμα 1.6. Κατανομές θερμοκρασίας με θετική (κόκκινη καμπύλη), μηδενική (μαύρη καμπύλη) και αρνητική (μπλε καμπύλη) λοξότητα.



Σχήμα 1.7. Μεσόκωρη, πλατύκωρη και λεπτόκωρη κατανομή. Η μαύρη κατανομή αφορά κανονική κατανομή, η κόκκινη καμπύλη λεπτόκωρη κατανομή και η μπλε καμπύλη πλατύκωρη κατανομή.

Επειδή σε μη κανονικές κατανομές οι ακραίες τιμές μπορεί να μη συσχετίζονται τόσο πολύ με την τυπική απόκλιση και τα όρια που αναφέρθηκαν προηγουμένως (2σ , 3σ), ορίζονται τα ποσοστημόρια και συγκεκριμένα το 5ο και το 95ο ποσοστημόριο, που δείχνονται στο Σχήμα 1.4 με μπλε γραμμές. Αυτές είναι οι τιμές κάτω και πάνω από τις οποίες βρίσκεται το 5% των τιμών, δηλαδή αντιστοιχεί στο όριο των 2σ της κανονικής κατανομής. Έτσι, τα ποσοστημόρια θα χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά του ορίου των 2σ στην παρούσα εργασία για τον ορισμό των ακραίων τιμών.

1.2.3 Σχέση μεταξύ ακραίων τιμών και μεταβολών των στατιστικών ροπών

Είναι φανερό πως τυχόν μεταβολές των στατιστικών ροπών σε μια καινούργια κατάσταση για την κλιματολογία, επιφέρουν και αντίστοιχες μεταβολές στον ορισμό των ακραίων φαινομένων και της συχνότητας όπως αυτά ποσοτικοποιούνται είτε από το όριο της μέσης τιμής και των δύο τυπικών αποκλίσεων, είτε μέσω του 5ου και 95ου ποσοστημορίου.

Αναφέρθηκε ήδη στην Ενότητα 1.1, ότι τυχόν αύξηση της μέσης τιμής επιφέρει αύξηση των ακραίων θερμών επεισοδίων με βάση το όριο του $\mu+2\sigma$ της αρχικής κατανομής και αντίστοιχη μείωση των ακραίων ψυχρών επεισοδίων με βάση το όριο του $\mu-2\sigma$ της αρχικής κατανομής. Αντίστοιχα, θα οδηγήσει σε αύξηση και του 5ου και του 95ου ποσοστημορίου (βλέπε Σχήμα 1.3.α). Τα ακριβώς αντίθετα αποτελέσματα έχει τυχόν μείωση της μέσης τιμής. Τυχόν αύξηση (μείωση) της τυπικής απόκλισης, θα οδηγήσει σε μείωση (αύξηση) του 5ου και αύξηση του 95ου ποσοστημορίου (βλέπε Σχήμα 1.3.β), ενώ θα οδηγήσει σε αύξηση (μείωση) τόσο των ακραίων ψυχρών όσο και των ακραίων θερμών επεισοδίων με βάση το όριο του $\mu \pm 2\sigma$ της αρχικής κατανομής (βλέπε Σχήμα 1.3.β).

Αντίστοιχα μπορεί ναδειχθεί ότι τυχόν αύξηση της λοξότητας οδηγεί σε κατανομή που αποκλίνει από τη συμμετρία προς τις υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την αύξηση και των δύο ποσοστημορίων όπως επίσης την αύξηση των ακραία θερμών και τη μείωση των ακραία ψυχρών επεισοδίων. Τα ακριβώς αντίθετα αποτελέσματα αναμένονται με τυχόν μείωση της λοξότητας. Τέλος, μπορεί ναδειχθεί ότι τυχόν αύξηση της κύρτωσης οδηγεί σε κατανομή με παχύτερες ουρές και αποτελέσματα όμοια με αυτά της αύξησης της τυπικής απόκλισης, δηλαδή οδηγεί στη μείωση του 5ου και την αύξηση του 95ου ποσοστημορίου και την αύξηση των ακραία θερμών και των ακραία ψυχρών επεισοδίων. Τα ακριβώς αντίθετα αποτελέσματα αναμένονται με τυχόν μείωση της κύρτωσης.

1.3 Σκοπός της εργασίας

Πλήθος προηγούμενων μελετών έχει καταδείξει ότι οι μεταβολές της θερμοκρασίας σε παγκόσμια και περιφερειακή κλίμακα δεν περιορίζονται σε αλλαγές της μέσης τιμής, αλλά συνοδεύονται από ουσιαστικές τροποποιήσεις στο σχήμα ολόκληρης της κατανομής. Συγκεκριμένα, αναλύσεις δεδομένων αναδρομικής ανάλυσης ημερήσιων μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών σε παγκόσμια κλίμακα έχουν δείξει ότι οι κατανομές έχουν μετατοπιστεί συστηματικά προς υψηλότερες τιμές τις τελευταίες δεκαετίες, με εντονότερες μεταβολές στις ελάχιστες (νυχτερινές) θερμοκρασίες, ενώ οι αλλαγές στη διακύμανση εμφανίζονται χωρικά ανομοιογενείς και συχνά λιγότερο στατιστικά σημαντικές (Donat and Alexander, 2012). Παράλληλα, έχει διαπιστωθεί ότι η ασυμμετρία των κατανομών μεταβάλλεται με

τρόπο που ευνοεί τη θερμή πλευρά, οδηγώντας σε δυσανάλογη ενίσχυση των θερμών ακραίων σε σχέση με τα ψυχρά. Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στις μη γκαουσιανές θερμοκρασιακές κατανομές, καθώς πολλές περιοχές χαρακτηρίζονται από μακρές ουρές, οι οποίες καθορίζουν τη συμπεριφορά των ακραίων τιμών. Μελέτες έχουν δείξει ότι ακόμη και μικρές μετατοπίσεις της μέσης τιμής, όταν συνδυάζονται με αυξημένη λοξότητα ή κύρτωση, μπορούν να οδηγήσουν σε δυσανάλογες μεταβολές στην πιθανότητα υπέρβασης ακραίων θερμοκρασιακών κατωφλίων, ιδιαίτερα στην θερμή ουρά της κατανομής (Ruff and Neelin, 2012). Τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν τη σημασία της εξέτασης όχι μόνο της μέσης τιμής και της διασποράς, αλλά και των ανώτερων στατιστικών ροπών για την κατανόηση των ακραίων θερμοκρασιακών φαινομένων υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής.

Ειδικότερα στην Ανατολική Μεσόγειο, αναλύσεις δεικτών κλιματικών ακραίων έχουν καταδείξει στατιστικά σημαντικές αυξήσεις των θερμών ακραίων επεισοδίων, της διάρκειας των καυσώνων (Kuglitsch et al., 2010) και των πολύ θερμών ημερών και νυχτών, κυρίως κατά τη θερινή περίοδο, καθώς και μείωση της συχνότητας των ψυχρών ακραίων, με έντονη χωρική και εποχική διαφοροποίηση (Kostopoulou & Jones, 2005), όμως δεν έχει γίνει μελέτη για το πως αυτές οι μεταβολές στα ακραία επεισόδια σχετίζονται με τις μεταβολές της κατανομής της θερμοκρασίας.

Η παρούσα εργασία καλύπτει αυτό το κενό πραγματοποιώντας μια ολοκληρωμένη ανάλυση της μεταβλητότητας της επιφανειακής θερμοκρασίας στην Ελλάδα για την περίοδο 1943–2023 με βάση τα δεδομένα reanalysis ERA5. Η καινοτομία της μελέτης έγκειται στη συστηματική διερεύνηση όχι μόνο της μέσης τιμής αλλά και των υψηλότερων στατιστικών παραμέτρων (διακύμανση, λοξότητα, κύρτωση), καθώς και των ακραίων ποσοστημορίων (5ο και 95ο). Με αυτόν τον τρόπο, αναδεικνύεται η μακροχρόνια εξέλιξη τόσο της συχνότητας όσο και της έντασης των ακραίων ψυχρών και θερμών ημερών, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται χωρικές διαφοροποιήσεις σε κλίμακα ολόκληρης της ελληνικής επικράτειας και ανά εποχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΔΕΔΟΜΕΝΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

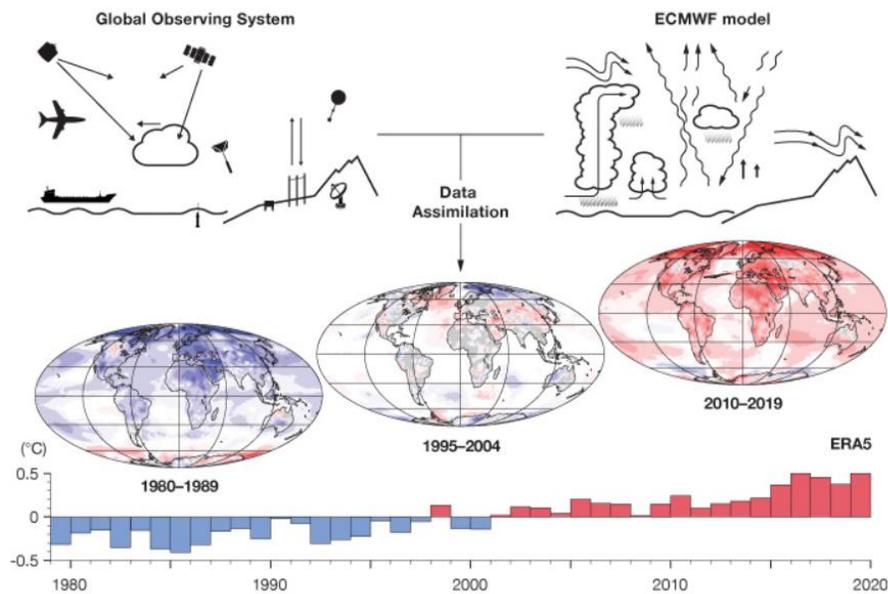
2.1 Δεδομένα

Τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis) αποτελούν τα τελευταία χρόνια έναν πολύτιμο πόρο για την μετεωρολογική και κλιματολογική έρευνα καθώς έχουν αξιοποιηθεί ως πηγή πληροφοριών για την εξαγωγή θεμελιωδών κλιματικών μεταβλητών αλλά και για τον υπολογισμό κλιματικών δεικτών, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην κατανόηση σε βάθος και στην αποτύπωση των χαρακτηριστικών του παγκόσμιου κλίματος.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα reanalysis ERA5, τα οποία αποτελούν αναδρομική ανάλυση πέμπτης και πιο βελτιωμένης γενιάς του μοντέλου ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast) της υπηρεσίας Copernicus Climate Change (C3S), έχοντας αντικαταστήσει τα δεδομένα reanalysis ERA-Interim (Hersbach et al., 2020). Η βάση ERA5 προσφέρει παγκόσμια κλιματική κάλυψη σε πλέγμα 31 χιλιομέτρων και αναλύει την ατμόσφαιρα με την χρήση 137 επιπέδων από την επιφάνεια της Γης έως και το ύψος των 80 χιλιομέτρων, για διάστημα μεγαλύτερο των 80 ετών (Ιανουάριος 1940 έως σήμερα) (ECMWF, 2023).

Η μεθοδολογία της αναδρομικής ανάλυσης βασίζεται στην αφομοίωση δεδομένων (data assimilation), μιας προσέγγισης παρόμοιας με αυτής που διεξάγεται στην επιχειρησιακή πρόγνωση καιρού. Σε αυτήν, η αριθμητική ολοκλήρωση της δυναμικής της ατμόσφαιρας και των άλλων διεργασιών σε αυτή ενημερώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα ενσωματώνοντας τις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις ώστε να ελαχιστοποιείται η διαφορά των μεταξύ των εκτιμώμενων τιμών των ατμοσφαιρικών μεταβλητών και των παρατηρούμενων και να επιτυγχάνεται η βέλτιστη δυνατή εκτίμηση της ατμοσφαιρικής κατάστασης στο μέλλον (Σχήμα 2.1). Η αναδρομική ανάλυση βασίζεται στην ίδια αρχή, με την διαφορά ότι η

ολοκλήρωση γίνεται πίσω στο χρόνο για την εκτίμηση της ατμοσφαιρικής κατάστασης στο παρελθόν και εκτελείται σε μειωμένη ανάλυση ώστε να καθίσταται δυνατή η παραγωγή ενός συνεκτικού και μακροχρόνιου συνόλου δεδομένων, το οποίο καλύπτει πολλές δεκαετίες πίσω στο παρελθόν και παρέχει ουσιαστική βάση για την κλιματική ανάλυση. Έτσι, παράγεται μια βάση δεδομένων για πάρα πολλές μετεωρολογικές μεταβλητές σε δομημένο πλέγμα σημείων. Για την παραγωγή της βάσης reanalysis, ψηφιοποιούνται παλαιά μετεωρολογικά αρχεία και επεξεργάζονται οι υπάρχουσες δορυφορικές καταγραφές, με στόχο την ενίσχυση της ποιότητας και πληρότητας των ιστορικών καταγραφών. Καθ' όλη τη διαδικασία, εφαρμόζονται αυστηρές διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου, ενώ η τελική αξιοπιστία του παραγόμενου συνόλου δεδομένων αξιολογείται μέσω συγκρίσεων με αντίστοιχες αναδρομικές αναλύσεις που έχουν παραχθεί από άλλα ερευνητικά κέντρα και διεθνείς οργανισμούς (ECMWF, 2023).



Σχήμα 2.1. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας παραγωγής των δεδομένων αναδρομικής ανάλυσης (ECMWF, 2023).

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ωριαία δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας στα 2 μέτρα για τον Ελλαδικό χώρο (1485 πλεγματικά σημεία), με χωρική κάλυψη $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (27.5 χιλιόμετρα) και χρονική κάλυψη 80 ετών, από τον Δεκέμβριο του 1943 έως και τον Νοέμβριο του 2023. Η επεξεργασία των δεδομένων, η εξαγωγή της στατιστικής και τα γραφήματα, έγιναν με το

προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB, με τον αναλυτικό κώδικα να παρατίθεται στο Παράρτημα Π.3.

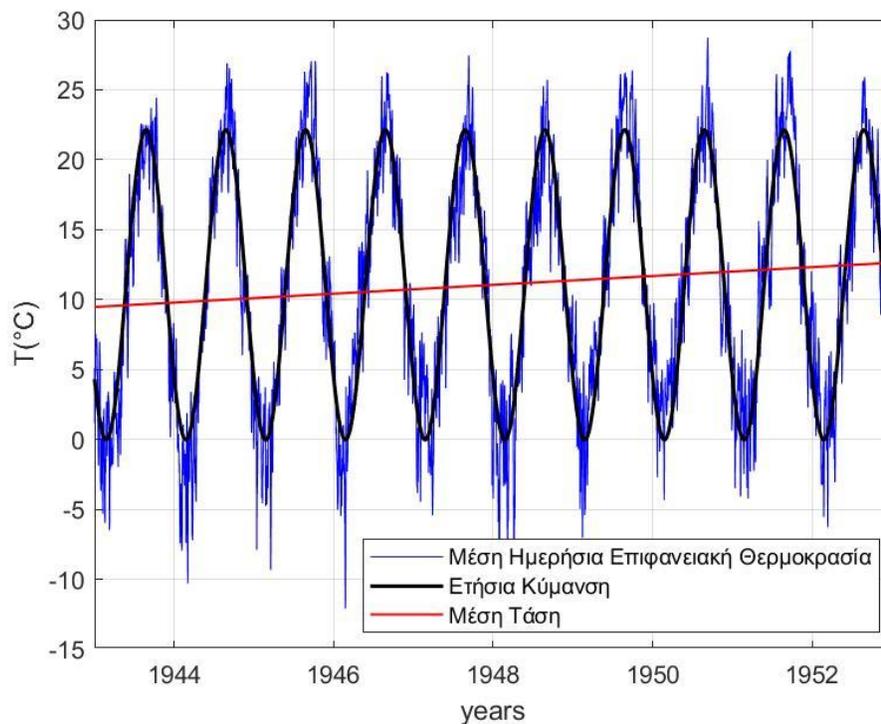
2.2 Μεθοδολογία

2.2.1 Εποχιακή μεταβλητότητα και γραμμική τάση

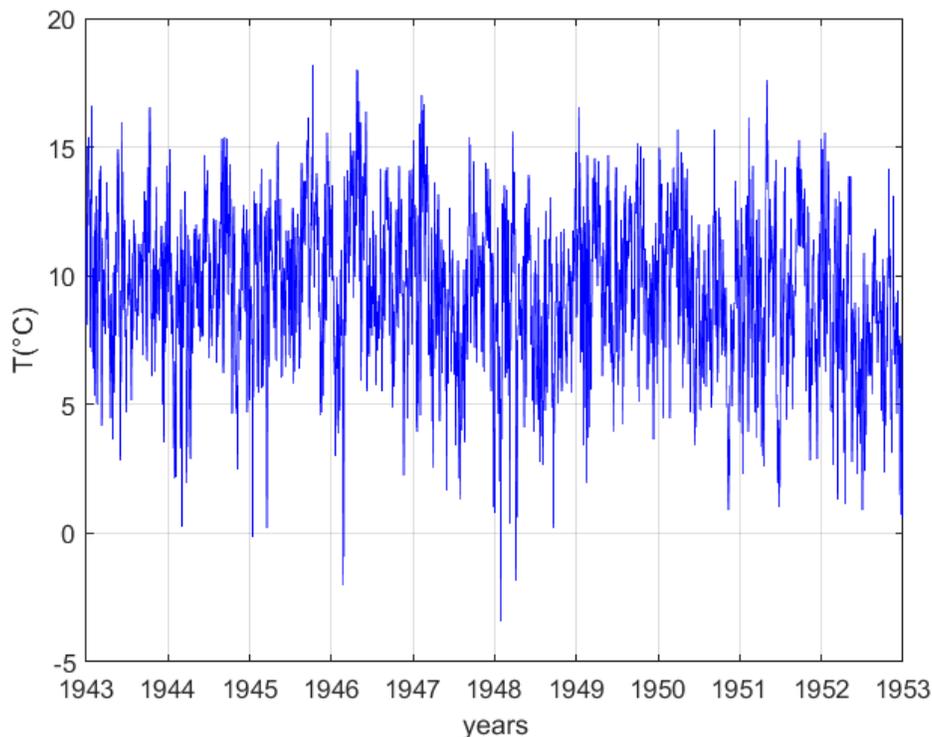
Όπως αναφέρθηκε και στην Εισαγωγή, ο στόχος της εργασίας είναι η μελέτη της μακροχρόνιας μεταβλητότητας της κατανομής της επιφανειακής θερμοκρασίας στην Ελλάδα και η μελέτη των επιπτώσεων της στις ακραίες τιμές της θερμοκρασίας. Επειδή η στατιστική των χαμηλών τιμών της θερμοκρασίας που παρατηρούνται τις πρώτες πρωινές ώρες και των υψηλών τιμών που παρατηρούνται τις μεσημβρινές ώρες μπορεί να διαφέρει, υπολογίστηκε χωριστά η στατιστική για τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, τη μέγιστη ημερήσια τιμή της θερμοκρασίας και την ελάχιστη ημερήσια τιμή της. Για τον υπολογισμό της στατιστικής και της εξέλιξής της, χωρίστηκε η περίοδος μελέτης σε οκτώ δεκαετίες και υπολογίστηκε η στατιστική της θερμοκρασίας χωριστά για κάθε δεκαετία. Ο χρόνος της δεκαετίας επιλέχθηκε ως ο ελάχιστος δυνατός ώστε το στατιστικό δείγμα να είναι επαρκές για μια σχετικά αξιόπιστη στατιστική. Τα αποτελέσματα ελέγχθηκαν και για χωρισμό των 80 ετών σε τέσσερις εικοσαετίες, με τα κύρια συμπεράσματα που θα παρουσιαστούν να μη διαφέρουν ουσιαστικά. Η χρονοσειρά της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για την πρώτη δεκαετία και το πλεγματοειδές σημείο με συντεταγμένες $(20.7^\circ, 39.95^\circ)$, που είναι το κοντινότερο στα Ιωάννινα, φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Παρατηρούμε ότι η εποχιακή διακύμανση αποτελεί την κυρίαρχη συνιστώσα της συνολικής θερμοκρασιακής μεταβλητότητας. Επειδή η κύμανση αυτή αλλοιώνει την εκτίμηση των υπολοίπων παραμέτρων ενδιαφέροντος (τυπική απόκλιση, λοξότητα, κύρτωση), πρέπει να αφαιρεθεί.

Για τον σκοπό αυτό υπολογίστηκε ο μετασχηματισμός Fourier για την χρονοσειρά της θερμοκρασίας, για κάθε πλεγματοειδές σημείο και αφαιρέθηκε από την χρονοσειρά ο όρος της ετήσιας κύμανσης (πρώτος αρμονικός) που φαίνεται με τη μαύρη καμπύλη στο Σχήμα 2.2. Με αυτόν τον τρόπο, οι θερμοκρασίες

αποεποχοποιήθηκαν. Όμως εκτός της εποχιακής μεταβολής ο υπολογισμός των ανωτέρων στατιστικών ροπών εξαρτάται και από την γραμμική τάση της θερμοκρασίας. Η γραμμική (μέση) τάση αναφέρεται στη σταδιακή, μακροχρόνια μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας λόγω αλλαγών του κλίματος που οφείλονται σε φυσικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες και φαίνεται στο Σχήμα 2.2 από την κόκκινη καμπύλη. Επομένως, προκειμένου να μελετηθούν οι εσωτερικές και μόνο διακυμάνσεις και να βρεθεί το πως αλλάζει η μεταβλητότητα και η συχνότητα ακραίων φαινομένων ανεξάρτητα από την αύξηση ή μείωση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας ή το σταθερό εποχιακό μοτίβο, η γραμμική τάση επίσης αφαιρέθηκε από τη χρονοσειρά (Σχήμα 2.3), με τη μέση τιμή της θερμοκρασίας να αντιστοιχεί στην τιμή που έχει στο μέσο της περιόδου της δεκαετίας.



Σχήμα 2.2. Χρονοσειρά της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας στα Ιωάννινα για την περίοδο 1943-1953.



Σχήμα 2.3. Χρονοσειρά της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας στα Ιωάννινα για την περίοδο 1943-1953 κατόπιν αφαίρεσης της ετήσιας κύμανσης και της γραμμικής τάσης.

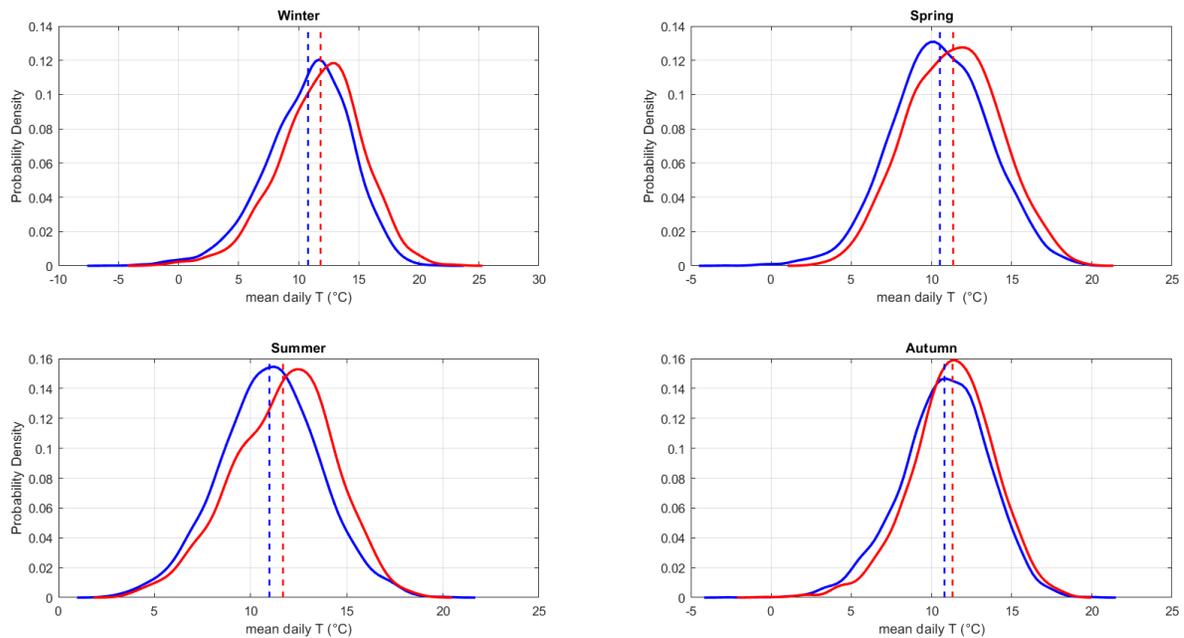
Με την παραπάνω επεξεργασία εξελίφθηκαν οι συστηματικές και εποχιακές μεταβολές, επιτρέποντας την εστίαση της ανάλυσης στην εσωτερική μεταβλητότητα του κλιματικού συστήματος. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει μια αξιόπιστη μελέτη των στατιστικών παραμέτρων της κύρτωσης και της λοξότητας αλλά και της συχνότητας εμφάνισης ακραίων θερμών και ψυχρών ημερών, όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια της ανάλυσης. Από τη στατιστική μπορεί να έχει αφαιρεθεί η εποχιακή μεταβολή της θερμοκρασίας, όμως η ίδια η φυσική μεταβλητότητα εμφανίζει εποχιακές διακυμάνσεις. Για παράδειγμα τους χειμερινούς μήνες που έχουμε την έλευση βαρομετρικών χαμηλών, αναμένουμε πιο έντονη μεταβλητότητα σε σχέση με τους θερινούς μήνες. Για αυτό το λόγο η στατιστική υπολογίστηκε χωριστά για τέσσερις εποχές.

Για να αποκτήσουμε μια αίσθηση των μεταβολών της κατανομής της θερμοκρασίας, υπολογίστηκε η κατανομή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για την πρώτη (1943-1953) και την τελευταία δεκαετία (2013-2023) στα Ιωάννινα. Οι

δύο κατανομές για της τέσσερις εποχές φαίνονται στο Σχήμα 2.4. Επίσης, όλες οι τιμές των παραμέτρων που υπολογίστηκαν παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 2.1. Παρατηρούμε πως σε κάθε εποχή υπάρχει αύξηση της μέσης τιμής, με εξαίρεση το καλοκαίρι όπου φαίνεται πως η μέση τιμή παραμένει σχεδόν σταθερή. Η τυπική απόκλιση παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις μεταξύ των δύο δεκαετιών σε όλες τις εποχές, με διαφορές της τάξεως των ± 0.3 °C, γεγονός που υποδηλώνει πως η διασπορά της μέσης θερμοκρασίας παραμένει σχετικά σταθερή.

Ήπιες μεταβολές μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας δεκαετίας παρουσιάζει και η λοξότητα για όλες τις εποχές. Συγκεκριμένα, οι τιμές παραμένουν αρνητικές για όλες τις εποχές, υποδηλώνοντας ελαφρώς ασύμμετρες κατανομές με μακρύτερη ουρά προς τις χαμηλές θερμοκρασίες. Τη μεγαλύτερη λοξότητα κατ' απόλυτη τιμή την εμφανίζει ο χειμώνας η οποία παραμένει σταθερή (μεταβολή από -0.53 σε -0.5). Οι μεγαλύτερες μεταβολές στη λοξότητα παρατηρούνται την άνοιξη (από -0.24 σε -0.04) και το φθινόπωρο (από -0.27 σε -0.05), με τις κατανομές να τείνουν να γίνουν σχεδόν συμμετρικές. Αντιθέτως, κατά τη θερινή περίοδο παρατηρείται ελαφρώς εντονότερη αρνητική λοξότητα κατά την τελευταία δεκαετία (μεταβολή από -0.11 σε -0.26), γεγονός που υποδηλώνει αύξηση στην τελευταία δεκαετία στη συχνότητα εμφάνισης ημερών με θερμοκρασίες κάτω του μέσου όρου σε σύγκριση με την πρώτη δεκαετία.

Τέλος, όσον αφορά την κύρτωση, κατά τον χειμώνα παρατηρείται αύξησή της (από 3.27 σε 3.85), γεγονός που υποδηλώνει πιο έντονες ουρές, δηλαδή συχνότερη εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιών. Η άνοιξη και το φθινόπωρο εμφανίζουν μείωση (από 3.47 σε 2.69 και από 3.21 σε 2.94), με αποτέλεσμα κατανομές πιο πλατιές και λιγότερο αιχμηρές, με μικρότερη τάση για ακραίες τιμές ενώ το καλοκαίρι παρουσιάζει ηπιότερη μείωση (από 2.88 σε 2.70), χωρίς η αλλαγή να θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική.



Σχήμα 2.4. Κατανομές πυκνότητας πιθανότητας μέσω ημερήσιων τιμών επιφανειακής θερμοκρασίας για κάθε εποχή στα Ιωάννινα, για τις περιόδους 1943-1953 (μπλε καμπύλη) και 2013-2023 (κόκκινη καμπύλη).

Πίνακας 2.1. Στατιστικές παράμετροι και ποσοστημόρια μέσω ημερήσιων τιμών επιφανειακής θερμοκρασίας για κάθε εποχή στα Ιωάννινα, για τις περιόδους 1943-1953 και 2013-2023.

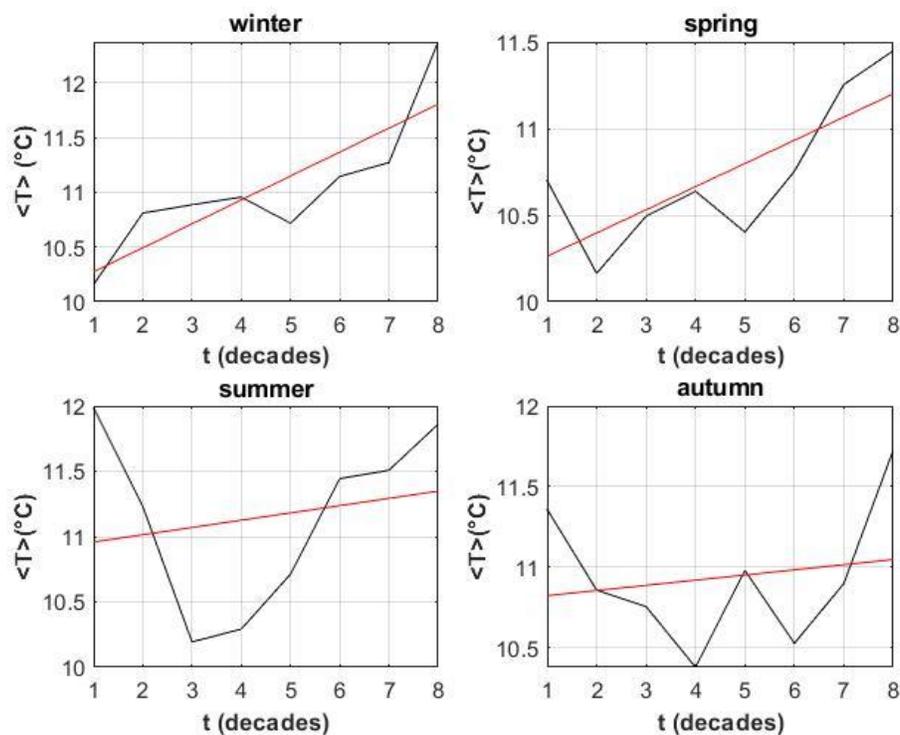
Χειμώνας		Άνοιξη	
1943-1953	2013-2023	1943-1953	2013-2023
$\mu=10.15\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\mu=12,37^{\circ}\text{C}$	$\mu=10.7\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\mu=11.45^{\circ}\text{C}$
$\sigma=3.28^{\circ}\text{C}$	$\sigma=3.53^{\circ}\text{C}$	$\sigma=2.97^{\circ}\text{C}$	$\sigma=2.92^{\circ}\text{C}$
skew=-0.53	skew=-0.5	skew=-0.24	skew=0.04
kur=3.27	kur=3.85	kur=3.47	kur=2.69
P5=4.24°C	P5=6.27°C	P5=5.72°C	P5=6.66°C
P95=14.88°C	P95=17.56°C	P95=15.45°C	P95=16.40°C
Καλοκαίρι		Φθινόπωρο	
$\mu=11.99\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\mu=11.86^{\circ}\text{C}$	$\mu=11.36\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\mu=11.73^{\circ}\text{C}$
$\sigma=2.71^{\circ}\text{C}$	$\sigma=2.49^{\circ}\text{C}$	$\sigma=2.83^{\circ}\text{C}$	$\sigma=2.32^{\circ}\text{C}$
skew=-0.11	skew=-0.26	skew=-0.27	skew=-0.05
kur=2.88	kur=2.70	kur=3.21	kur=2.94
P5=7.50°C	P5=7.48°C	P5=6.31°C	P5=7.90°C
P95=16.55°C	P95=15.81°C	P95=15.72°C	P95=15.55°C

Όσον αφορά τις αλλαγές των ποσοστημορίων, το 5^ο ποσοστημόριο, το οποίο αντιπροσωπεύει τις ψυχρότερες τιμές της κατανομής της μέσης θερμοκρασίας, παρουσιάζει μετατόπιση προς υψηλότερες τιμές για όλες τις εποχές, υποδεικνύοντας μείωση των έντονων ψυχρών ημερών, με εξαίρεση το καλοκαίρι όπου παραμένει αμετάβλητο μεταξύ των δύο δεκαετιών. Στον αντίποδα, το 95^ο ποσοστημόριο, το οποίο αφορά τις θερμότερες τιμές της κατανομής, φαίνεται να μεταβάλλεται διαφορετικά μεταξύ των εποχών. Τον χειμώνα καταγράφεται σημαντική αύξηση της τάξης των 3°C περίπου, υποδηλώνοντας έντονη επιδείνωση των θερμών ακραίων φαινομένων κατά την ψυχρή περίοδο. Όμοια συμπεριφορά παρατηρείται και την άνοιξη, με μικρότερη ενίσχυση των υψηλών θερμοκρασιών. Αντιθέτως, κατά τη θερινή και φθινοπωρινή περίοδο στα Ιωάννινα, διαπιστώνεται ήπια μείωση των ακραίων υψηλών θερμοκρασιών.

Όπως φαίνεται, η θερμική συμπεριφορά του κλίματος διαφοροποιείται σημαντικά ανά εποχή, τόσο ως προς την αλλαγή των κατανομών όσο και ως προς τα ακραία θερμοκρασιακά επεισόδια, γεγονός που τονίζει την ανάγκη εποχικής προσέγγισης στην ανάλυση της κλιματικής μεταβλητότητας της θερμοκρασίας. Συνολικά, η σύγκριση των 2 δεκαετιών υποδεικνύει πως ακόμη και εάν η μέση τιμή παραμείνει σχετικά σταθερή (όπως στις περιπτώσεις του θέρους και του φθινοπώρου), η μεταβλητότητα και η μορφή της κατανομής μπορούν να αλλάξουν σημαντικά με τη μεταβολή των υπολοίπων στατιστικών παραμέτρων, επηρεάζοντας τον πληθυσμό και τις τιμές των ακραίων θερμών και κρύων ημερών.

Οι ανωτέρω μεταβολές μπορούν να αποτυπωθούν ακόμη καλύτερα εξετάζοντας αναλυτικά τη χρονική εξέλιξη των στατιστικών ροπών και την τάση τους. Για την εκτίμηση της ύπαρξης στατιστικά σημαντικής τάσης στις χρονοσειρές εφαρμόστηκε το τεστ Mann-Kendall, το οποίο αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μη παραμετρικές μεθόδους και χρησιμοποιείται ευρέως σε περιβαλλοντικές και υδρολογικές μελέτες. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.6, για ολόκληρη την χρονοσειρά των 8 δεκαετιών, παρουσιάζεται ανοδική τάση στη μέση ημερήσια θερμοκρασία, για όλες τις εποχές, με τη μεγαλύτερη αύξηση από την πρώτη στην τελευταία δεκαετία να επικρατεί τον χειμώνα και την άνοιξη (1-1.5°C), ενώ η τάση για το χειμώνα να είναι στατιστικά σημαντική. Το καλοκαίρι και το φθινόπωρο παρατηρείται μείωση τις πρώτες δεκαετίες και μεγάλη αύξηση τις δύο τελευταίες δεκαετίες, με αποτέλεσμα η μέση τάση να είναι σχεδόν σταθερή. Παρόμοια

συμπεριφορά των τάσεων εμφανίζεται και στη μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (T_{max}) που φαίνεται στο Σχήμα Π1.1, με την αυξητική τάση το χειμώνα να είναι στατιστικά σημαντική. Εξάιρεση αποτελεί το φθινόπωρο όπου η αύξηση είναι αισθητά μεγαλύτερη προσεγγίζοντας τον 1°C . Τέλος, όσον αφορά την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (T_{min}) που φαίνεται στο Σχήμα Π1.2, παρατηρείται σε αντίθεση με τη μέση ημερήσια, μικρή καθοδική τάση της τάξεως του 0.5°C , για το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.

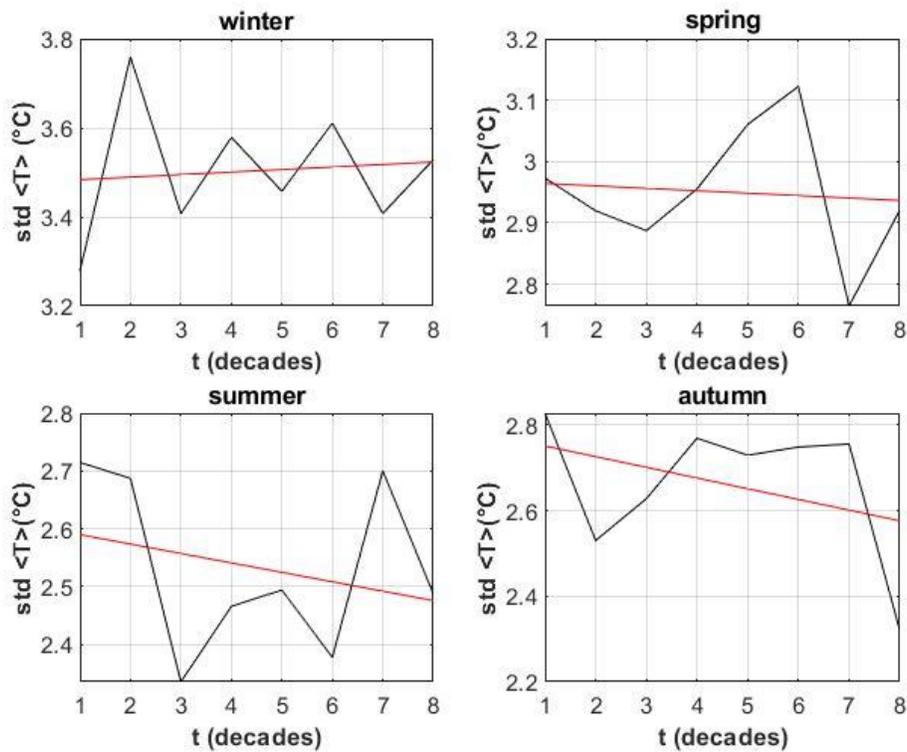


Σχήμα 2.6. Διαγράμματα τάσεων της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.

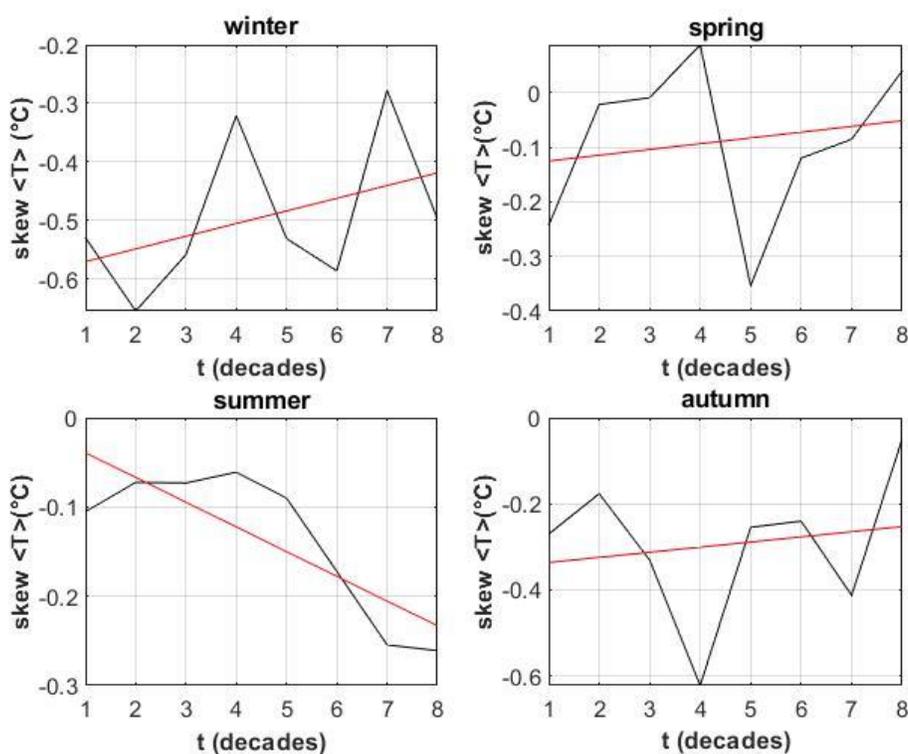
Η εξέλιξη της τυπικής απόκλισης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας σχεδιάζεται στο Σχήμα 2.7. Η τυπική απόκλιση δεν φαίνεται να παρουσιάζει ιδιαίτερες μεταβολές μεταξύ των δεκαετιών, όπως διαπιστώθηκε και από τις κατανομές πυκνότητας πιθανότητας (βλέπε Σχήμα 2.5). Ομοίως, δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες

μεταβολές στην απόκλιση για τη μέγιστη και την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία T_{\max} και T_{\min} (βλέπε Σχήματα Π1.3, Π1.4).

Αναφορικά με τη λοξότητα, η εξέλιξη της για τη μέση ημερήσια θερμοκρασία φαίνεται στο Σχήμα 2.8. Την άνοιξη και το φθινόπωρο παρατηρούνται αρνητικές τιμές με διακυμάνσεις της τάξης των ± 0.2 γύρω από μία σχεδόν μηδενική τάση. Το χειμώνα παρατηρείται ήπια αυξητική τάση προς μικρότερες κατ' απόλυτο τιμές ενώ το καλοκαίρι η λοξότητα μειώνεται κατά περίπου 0.2, αυξάνοντας έτσι και τη συχνότητα εμφάνισης των ψυχρών ημερών (Σχήμα 2.8). Όσον αφορά τις μέσες ημερήσιες T_{\max} και T_{\min} , παρατηρούνται διάφορες αυξομειώσεις της τάξεως των ± 0.2 , με εξαίρεση τον χειμώνα της T_{\max} όπου η τάση παρέμεινε σταθερή (Σχήμα Π1.5, Π1.6).



Σχήμα 2.7. Διαγράμματα τάσεων της τοπικής απόκλισης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.

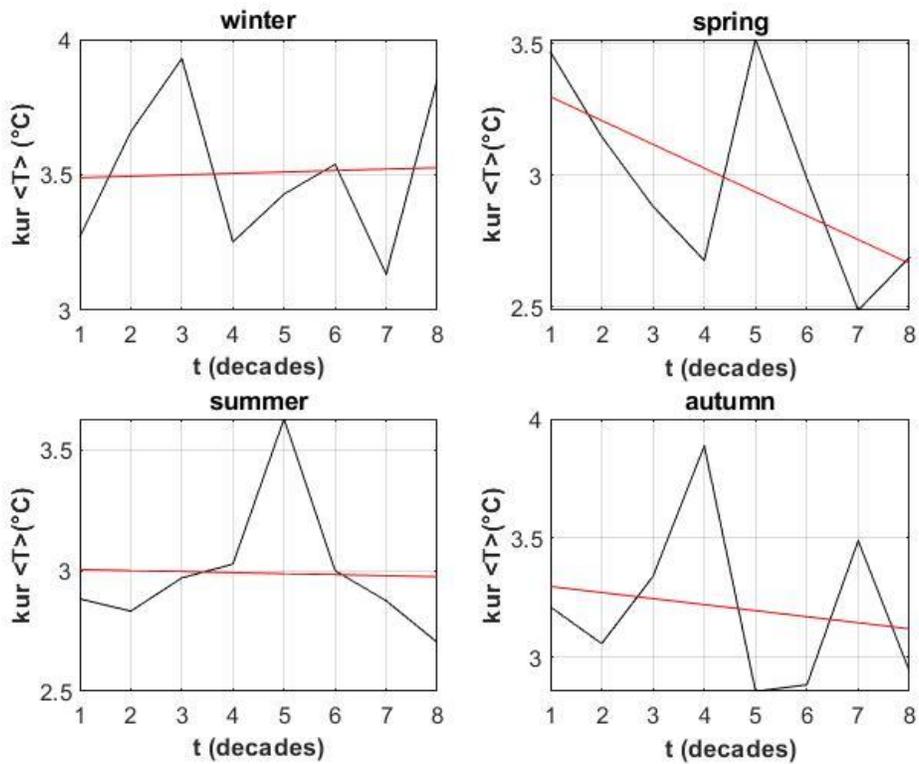


Σχήμα 2.8. Διαγράμματα τάσεων της λοξότητας της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.

Τέλος, σχετικά με την κύρτωση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας, η τάση παραμένει σταθερή για όλες τις εποχές με διακυμάνσεις της κύρτωσης της τάξης των ± 0.3 εκτός της άνοιξης όπου παρατηρείται μείωση της τάξεως του 0.5 και κατά συνέπεια όχι τόσο έντονες ουρές και ηπιότερες ακραίες τιμές για τη θερμοκρασία (Σχήμα 2.9). Παρόμοιο μοτίβο για την άνοιξη φαίνεται να ακολουθεί η τάση και για τις T_{\max} και T_{\min} , με την τάση στην ελάχιστη θερμοκρασία να παρουσιάζει διπλάσια μείωση (Σχήμα Π1.7, Π1.8). Το φθινόπωρο η κύρτωση για την T_{\max} παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις με αυξητική τάση, ενώ η κύρτωση για την T_{\min} μειώνεται.

Συνολικά, η ανάλυση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για τα Ιωάννινα δείχνει σαφή ανοδική τάση της μέσης τιμής τις τελευταίες οκτώ δεκαετίες, ιδιαίτερα τον χειμώνα και την άνοιξη, όπου η αύξηση φτάνει έως και τους 1.5°C . Το καλοκαίρι εμφανίζει μικρότερη αύξηση, ενώ το φθινόπωρο παραμένει σχεδόν αμετάβλητο. Η λοξότητα μεταβάλλεται ελαφρώς εντονότερα το καλοκαίρι, προκαλώντας μια

αύξηση στη συχνότητα των δροσερών ημερών, ενώ η κύρτωση μειώνεται κυρίως την άνοιξη, με τις ακραίες τιμές της θερμοκρασίας να είναι λιγότερο έντονες. Η τυπική απόκλιση παραμένει σε γενικές γραμμές σταθερή, υποδεικνύοντας ότι η θερμοκρασιακή διασπορά δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές στη διάρκεια της περιόδου μελέτης.



Σχήμα 2.9. Διαγράμματα τάσεων της κύρτωσης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

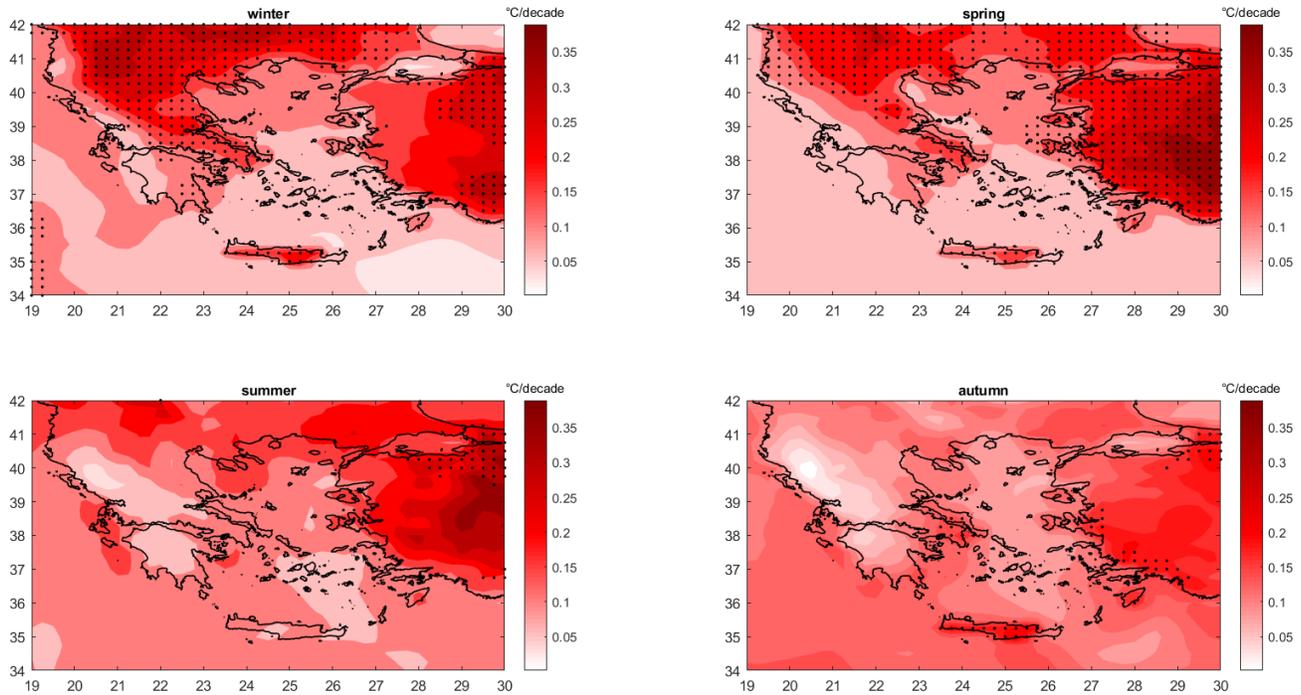
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Χωρική κατανομή των τάσεων των στατιστικών παραμέτρων ανά εποχή

Στην Ενότητα αυτή εξετάζεται η μακροχρόνια μεταβολή των στατιστικών παραμέτρων της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας στην Ελλάδα, για την περίοδο 1943-2023. Στόχος δεν είναι μόνο η διερεύνηση της τάσης στη μέση τιμή αλλά και η αποτύπωση των αλλαγών στη διασπορά, τη λοξότητα και την κύρτωση της κατανομής, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τη συχνότητα και την ένταση ακραίων θερμοκρασιακών γεγονότων. Στους χάρτες που ακολουθούν παρουσιάζεται χωρικά η τάση κάθε παραμέτρου για τις τέσσερις εποχές, ενώ τα σημεία με μαύρη επισήμανση αντιπροσωπεύουν τις περιοχές όπου η τάση κρίνεται στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95% σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall. Με τον τρόπο αυτό αποτυπώνεται η χωρική ετερογένεια της εξέλιξης των στατιστικών χαρακτηριστικών της θερμοκρασίας στην Ελλάδα και αναδεικνύονται περιοχές και εποχές με σημαντικές μεταβολές στη μορφή της κατανομής.

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της τάσης της μέσης τιμής της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για κάθε εποχή στην Ελλάδα, εκπνερασμένη σε °C ανά δεκαετία. Τον χειμώνα διαπιστώνεται μία γενικευμένη τάση αύξησης της θερμοκρασίας σε όλη τη χώρα, με τις υψηλότερες τάσεις να καταγράφονται στην βόρεια και ανατολική Ελλάδα, ιδιαίτερα στα ηπειρωτικά και στο βόρειο Αιγαίο, όπου η θέρμανση φτάνει έως και τους 0.35 °C ανά δεκαετία. Σε αυτές τις περιοχές οι τάσεις κρίνονται στατιστικά σημαντικές σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall, γεγονός που δείχνει μία σταθερή διαχρονική θέρμανση στο χρόνο. Όμοιο μοτίβο κατανομής παρουσιάζεται και την άνοιξη, τόσο ως προς τις τάσεις όσο και ως προς τις περιοχές με στατιστική σημαντικότητα. Αντιθέτως, παρόλο που ομοίως και το καλοκαίρι και το φθινόπωρο υπάρχει σαφής τάση αύξησης της

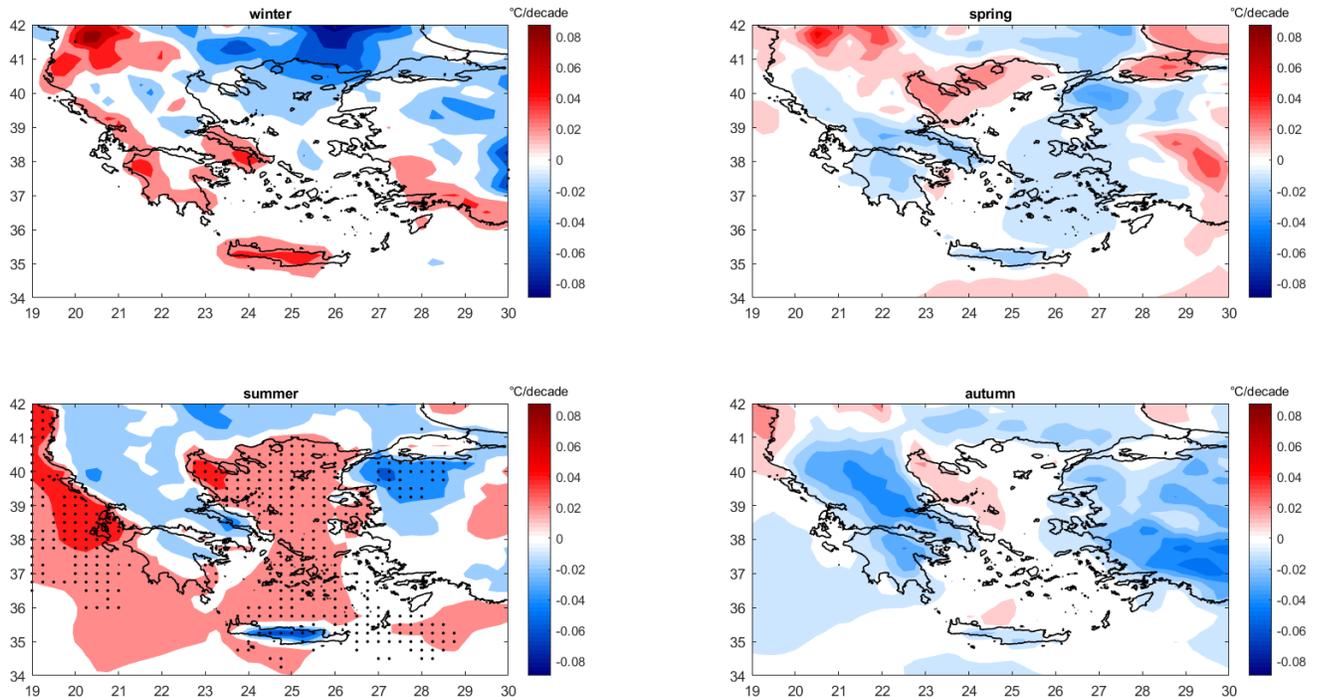
θερμοκρασίας σε όλη την επικράτεια η κατανομή είναι πιο ομοιόμορφη χωρικά, σε σύγκριση με τον χειμώνα και την άνοιξη, ενώ δεν παρουσιάζονται περιοχές με στατιστική σημαντικότητα παρά μόνο σε τμήματα του ανατολικού και νοτιοανατολικού Αιγαίου και της Κρήτης, υποδεικνύοντας πως η θέρμανση αυτή είναι μάλλον αποτέλεσμα τυχαίων παραγόντων.



Σχήμα 3.1. Χωρική κατανομή της τάσης της εποχικής μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την Ελλάδα, για την περίοδο 1943-2023. Τα σημεία με μαύρη επισήμανση αντιπροσωπεύουν τις περιοχές όπου η τάση κρίνεται στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95% σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall.

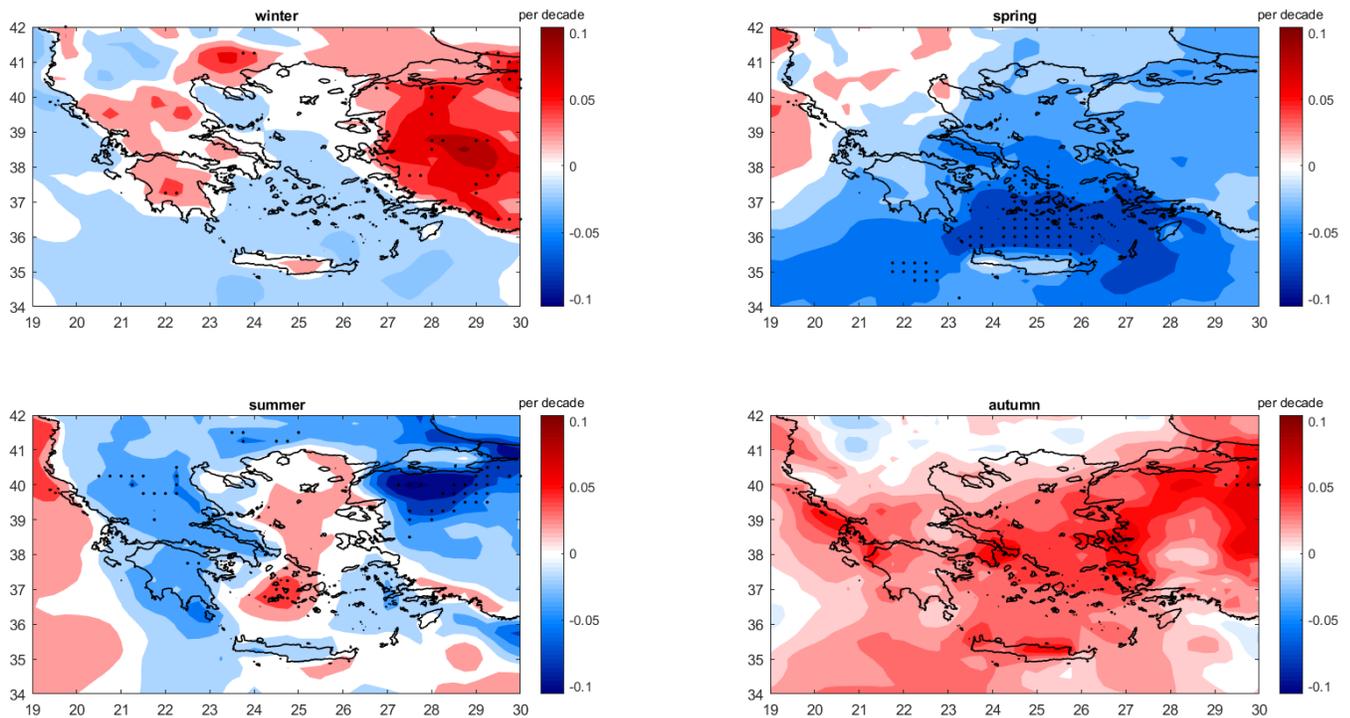
Για την τυπική απόκλιση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2, τον χειμώνα παρατηρείται τάση μείωσης στο βόρειο Αιγαίο ενώ στη δυτική και νότια ηπειρωτική Ελλάδα εμφανίζονται αυξήσεις, που ωστόσο δεν είναι ιδιαίτερα εκτεταμένες, με παρόμοιο μοτίβο να ακολουθείται και την άνοιξη. Αντίθετα, το καλοκαίρι καταγράφεται μια εκτεταμένη στατιστικά σημαντική θετική τάση, που καλύπτει το βόρειο τμήμα του Ιονίου και το βόρειο και κεντρικό Αιγαίο, υποδηλώνοντας για τις εν λόγω περιοχές μεγαλύτερες διακυμάνσεις μεταξύ θερμών και ψυχρών ημερών, επηρεάζοντας την συχνότητα και την ένταση των ακραίων θερμοκρασιακών επεισοδίων. Τέλος το

φθινόπωρο χαρακτηρίζεται κυρίως από αρνητική τάση στα ηπειρωτικά τμήματα της Ελλάδας, ακολουθώντας παρόμοιο χωρικό μοτίβο με αυτό της άνοιξης.



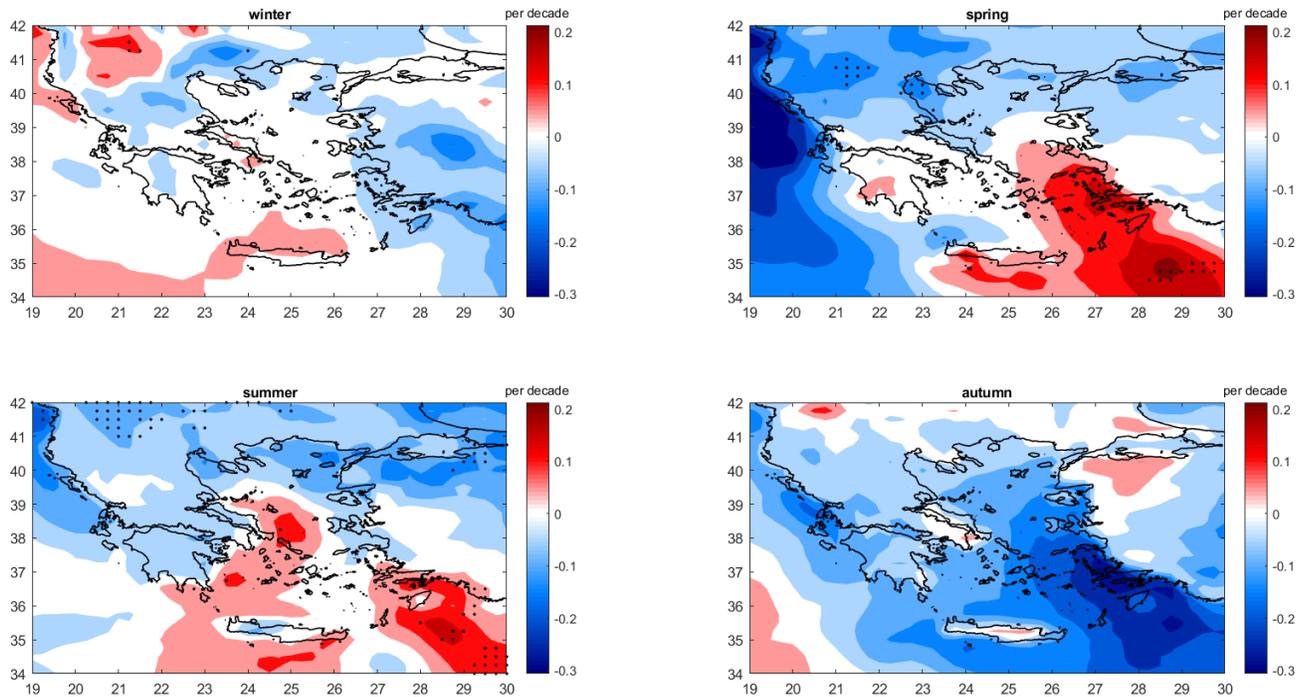
Σχήμα 3.2. Χωρική κατανομή της τάσης της τοπικής απόκλισης της εποχικής μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την Ελλάδα, για την περίοδο 1943-2023. Τα σημεία με μύρη επισήμανση αντιπροσωπεύουν τις περιοχές όπου η τάση κρίνεται στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95% σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall.

Όσον αφορά τη λοξότητα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3, τον χειμώνα παρατηρείται κυρίως αρνητική τάση στις θαλάσσιες περιοχές και συνεπώς τάση για μεγαλύτερη ουρά της κατανομής προς χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ στα ηπειρωτικά τμήματα η τάση είναι θετική και στατιστικά σημαντική κατά τόπους. Την άνοιξη η τάση είναι σχεδόν σε ολόκληρη την επικράτεια αρνητική, με αυτή του νοτίου Αιγαίου να είναι και στατιστικά σημαντική. Ομοίως, το καλοκαίρι παρατηρείται εξ ολοκλήρου αρνητική τάση με εξαίρεση το βόρειο και κεντρικό Ιόνιο και τμήμα του Αιγαίου, ενώ στατιστικά σημαντικές τάσεις εντοπίζονται κατά τόπους στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα. Τέλος, το φθινόπωρο εμφανίζει καθολικά θετική τάση στην λοξότητα, μέγιστο στις θαλάσσιες περιοχές ενώ δεν παρατηρείται καμία στατιστικά σημαντική τάση.



Σχήμα 3.3. Χωρική κατανομή της τάσης της λοξότητας της εποχικής μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την Ελλάδα, για την περίοδο 1943-2023. Τα σημεία με μαύρη επισήμανση αντιπροσωπεύουν τις περιοχές όπου η τάση κρίνεται στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95% σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall.

Τέλος, όσον αφορά την κύρτωση (Σχήμα 3.4), οι τάσεις παρουσιάζουν έντονη χωρική και εποχική διαφοροποίηση. Κατά τον χειμώνα, παρατηρούνται κυρίως ουδέτερες τάσεις με μείωση κατά τμήματα στα ηπειρωτικά, γεγονός που υποδηλώνει πως η «αιχμηρότητα» της κατανομής θερμοκρασίας δεν υπόκεινται σε ιδιαίτερες αλλαγές, ενώ δεν φαίνεται να υπάρχουν περιοχές με στατιστική σημαντικότητα. Την άνοιξη, εμφανίζονται ως επί το πλείστον αρνητικές τάσεις με στατιστική σημαντικότητα σε κάποια θαλάσσια τμήματα του Αιγαίου και στην κεντρική Ελλάδα κατά τόπους, με εξαίρεση το νοτιοανατολικό Αιγαίο, όπου εντοπίζονται θετικές τάσεις, οι οποίες υποδηλώνουν αύξηση της αιχμηρότητας της κατανομής και άρα ενισχυμένη πιθανότητα ακραίων θερμών ή ψυχρών επεισοδίων, ενώ παρόμοιο χωρικό μοτίβο κατανομής παρουσιάζει και το καλοκαίρι. Τέλος, το φθινόπωρο χαρακτηρίζεται κυρίως από αρνητικές τάσεις χωρίς στατιστική σημαντικότητα, γεγονός που δείχνει ότι η κατανομή τείνει να γίνει περισσότερο πεπλατυσμένη, με μείωση της πιθανότητας εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών.



Σχήμα 3.4. Χωρική κατανομή της τάσης της κλιματικής της εποχικής μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την Ελλάδα, για την περίοδο 1943-2023. Τα σημεία με μαύρη επισήμανση αντιπροσωπεύουν τις περιοχές όπου η τάση κρίνεται στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95% σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall.

3.2 Η χωρική κατανομή των στατιστικών ροπών ανά εποχή και η χρονική μεταβολή της

Από το Σχήμα 2.6 παρατηρείται απότομη αύξηση της μέσης τιμής της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες για όλες τις εποχές στην περιοχή των Ιωαννίνων. Αντίθετα, από τα Σχήματα 2.7-2.9 δεν έχουμε μια ξεκάθαρη τάση για τις άλλες στατιστικές ροπές, αλλά διακυμάνσεις γύρω από μια ασθενή τάση. Παρόμοια συμπεριφορά παρατηρείται και σε αρκετές άλλες τοποθεσίες στον Ελλαδικό χώρο (δε δείχνεται). Επομένως, για να εξεταστούν καλύτερα οι παρατηρούμενες τάσεις, όπως επίσης και τα ακραία φαινόμενα σε ότι αφορά τις θερμοκρασίες, θεωρήθηκε πρόσφορο να οριστούν δύο αντιπροσωπευτικές κλιματολογίες: μια πρώιμη κλιματολογία των 60 πρώτων ετών

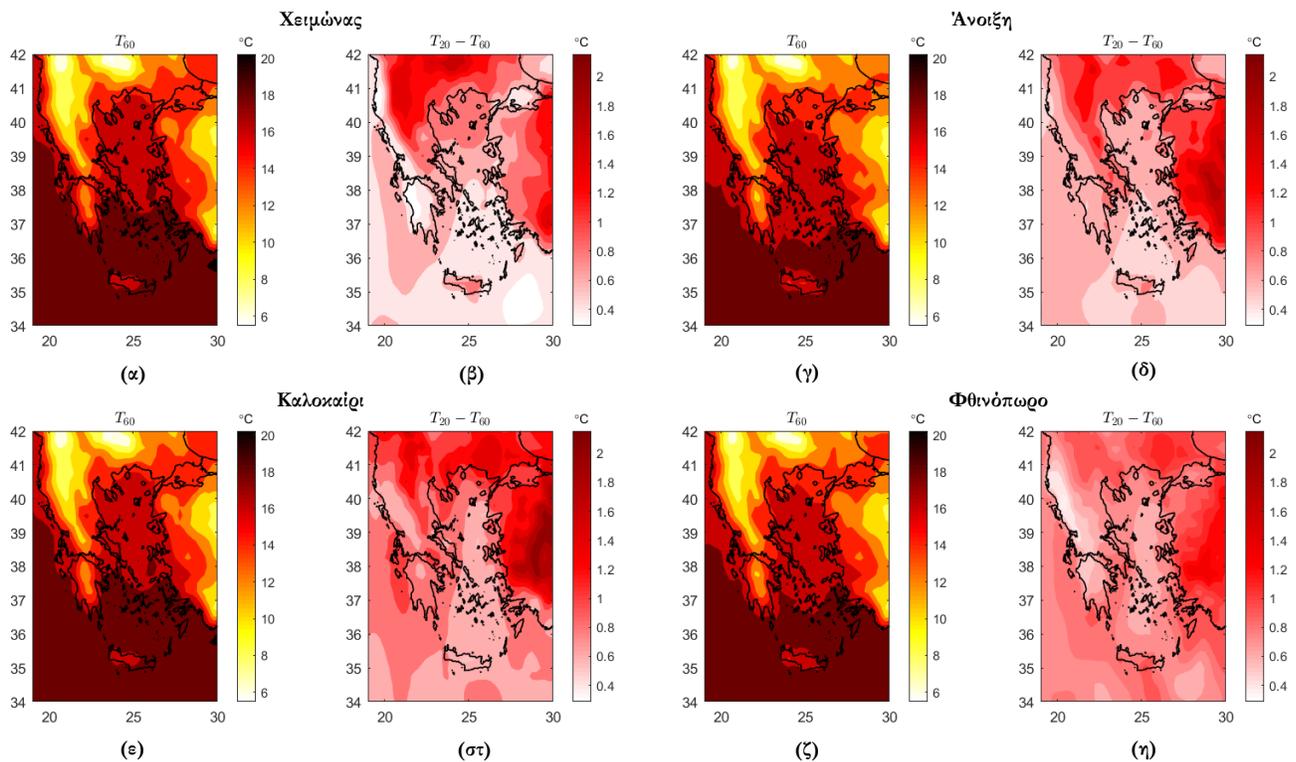
(περίοδος 1943-2003) και μία πρόσφατη κλιματολογία για τα τελευταία 20 έτη (περίοδος 2003-2023), ώστε να συγκριθούν μεταξύ τους. Για τις δύο αυτές κλιματολογικές περιόδους, έγινε η αντίστοιχη αποεποχοποίηση των θερμοκρασιών και η αφαίρεση της μέσης τάσης.

3.2.1 Μέση τιμή

Στην παρούσα ενότητα, αρχικώς, θα εξεταστεί η χωρική κατανομή της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας στον Ελλαδικό χώρο, για κάθε εποχή, εστιάζοντας στις δύο χρονικές περιόδους: τα πρώτα 60 έτη της περιόδου μελέτης και τα τελευταία 20, μέσω της διαφοράς $T_{20}-T_{60}$, όπου T_{20} και T_{60} οι κλιματολογικές τιμές της θερμοκρασίας για κάθε χρονοσειρά αντίστοιχα. Τα παραπάνω δεδομένα παρουσιάζονται αναλυτικά σε χάρτες (Σχήμα 3.5) και απεικονίζονται με κοινή χρωματική κλίμακα της κάθε παραμέτρου, ώστε να διευκολύνεται η σύγκριση μεταξύ εποχών και περιοχών.

Για όλες τις εποχές και την περίοδο των 60 ετών (Σχήμα 3.5.α.), η μέση ημερήσια θερμοκρασία παρουσιάζει παρόμοια έντονη γεωγραφική διακύμανση, με τις χαμηλότερες τιμές να εντοπίζονται στις ορεινές και βόρειες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας, ενώ οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στις νότιες παράκτιες περιοχές και στα νησιά. Η θερμοκρασιακή διαβάθμιση είναι έντονη μεταξύ ηπειρωτικών και θαλάσσιων περιοχών, γεγονός που αποδίδεται κυρίως στην υψηλότερη θερμική αδράνεια της θάλασσας, ενώ η μεσημβρινή θερμοβαθμίδα αποδίδεται στην αντίστοιχη βαθμίδα για την εισερχόμενη ατινοβολία για όλες τις εποχές. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο χρονοσειρών είναι θετική σε όλη την επικράτεια, επιβεβαιώνοντας μία σαφή τάση αύξησης της θερμοκρασίας κατά την τελευταία 20ετία. Η θέρμανση είναι ιδιαίτερα έντονη στις βόρειες και κεντρικές ηπειρωτικές περιοχές ($>1^{\circ}\text{C}$), υποδηλώνοντας πιθανή μείωση της χιονοκάλυψης, ενώ αντίθετα οι θαλάσσιες περιοχές εμφανίζουν ηπιότερη αύξηση της θερμοκρασίας ($<1^{\circ}\text{C}$), πιθανόν λόγω της ικανότητας αποθήκευσης θερμότητας από την θάλασσα.

Η διαφορά της μέσης τιμής είναι παρόμοια για τον χειμώνα και την άνοιξη. Το φθινόπωρο παρουσιάζει πιο ήπια τάση θέρμανσης ενώ το καλοκαίρι καταγράφει τη μεγαλύτερη αύξηση θερμοκρασίας καθολικά, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες εποχές (Σχήμα 3.5.ε. έως Σχήμα 3.5.η.).

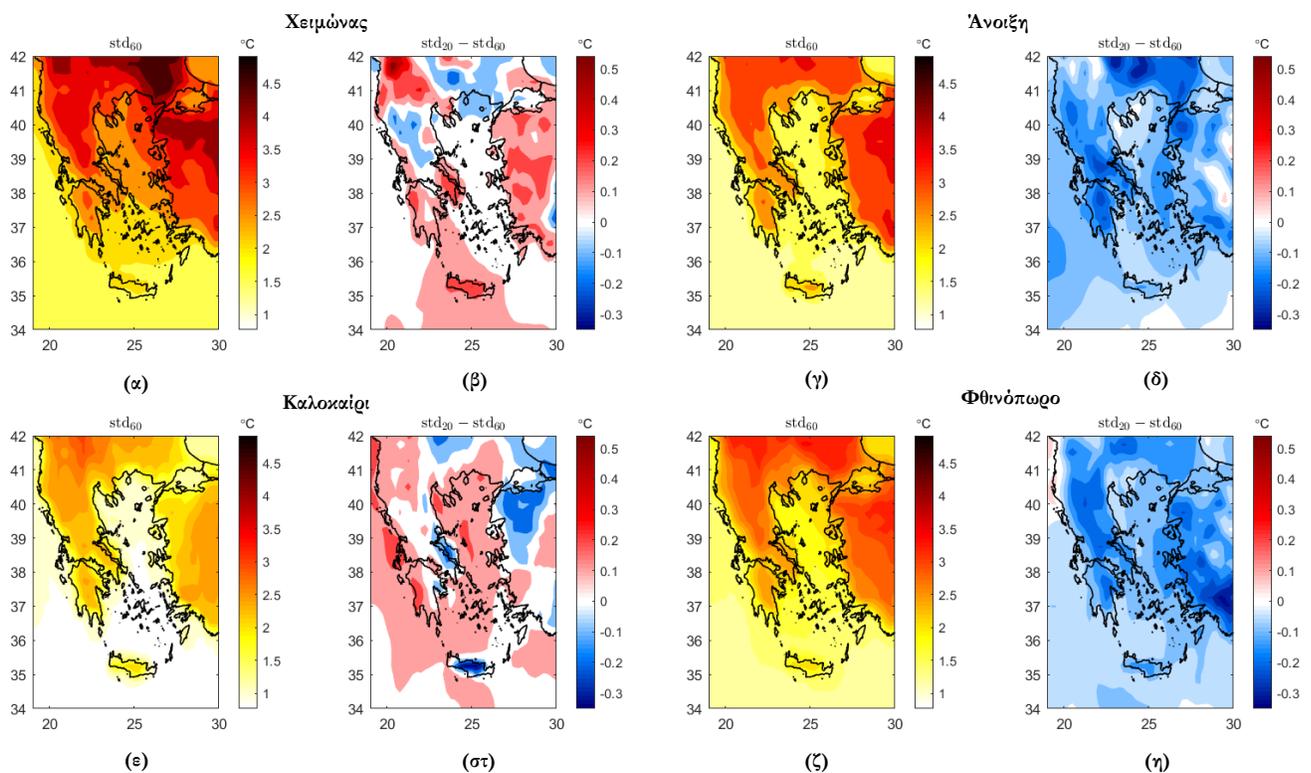


Σχήμα 3.5. Μέση κλιματολογική τιμή της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την κλιματολογία των 60 ετών (α,γ,ε,ζ) και διαφορά αυτής σε σχέση με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου αναφοράς 1943-2023 (β,δ,στ,η), για κάθε εποχή, στην Ελλάδα.

Το συγκεκριμένο μοτίβο, σε ότι αφορά την κλιματολογία των 60 ετών και την διαφορά της με την πρόσφατη 20ετία, ακολουθούν για όλες τις εποχές και η μέση τιμή της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας, που σχεδιάζονται στα Σχήματα Π.2.5 και Π.2.6. Η μόνη αξιοσημείωτη διαφορά είναι ότι η αύξηση της θερμοκρασίας είναι ελαφρώς πιο έντονη στην T_{max} , ιδιαίτερα στις ηπειρωτικές περιοχές (Σχήμα Π2.5). Έτσι, η ανάλυση της χωρικής κατανομής της θερμοκρασίας και των διαφορών μεταξύ των πρόσφατων και των παλαιότερων δεκαετιών δείχνει μία συνεπή και χωρικά εκτεταμένη τάση θέρμανσης σε όλες τις εποχές κατά την τελευταία 20ετία, παρόλο που η ένταση της θέρμανσης διαφέρει ελαφρώς μεταξύ των παραμέτρων τις θερμοκρασίας, με τις θαλάσσιες περιοχές να εμφανίζουν ηπιότερες μεταβολές σε σχέση με τις ηπειρωτικές.

3.2.2 Τυπική απόκλιση

Εκτός από την μελέτη της μεταβολής της μέσης τιμής της θερμοκρασίας, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάλυση της τυπικής απόκλισης, η οποία εκφράζει την ένταση της θερμοκρασιακής διακύμανσης. Η ανάλυση έγινε για τις ίδιες παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στην μέση τιμή και σε κοινή χρωματική κλίμακα και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά εποχή στο Σχήμα 3.6, ώστε να αναδειχθούν οι χωρικές και εποχικές διαφοροποιήσεις στη μεταβλητότητα της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας.



Σχήμα 3.6. Μέση κλιματολογική τιμή της τυπικής απόκλισης της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την κλιματολογία των 60 ετών (α,γ,ε,ζ) και διαφορά αυτής σε σχέση με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου αναφοράς 1943-2023 (β,δ,στ,η), για κάθε εποχή, στην Ελλάδα.

Κατά τη χειμερινή περίοδο, για την περίοδο των πρώτων 60 ετών, η τυπική απόκλιση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές στην ηπειρωτική Ελλάδα με μέγιστο στη Μακεδονία και τη Θράκη, φτάνοντας τοπικά τους 4-4.5°C (Σχήμα 3.6.α). Αντίθετα, οι νησιωτικές και παράκτιες περιοχές

της χώρας, ιδιαίτερα αυτές του Ιονίου και νότιου Αιγαίου, παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές λόγω της υψηλότερης θερμοκίνης αδράνειας της θάλασσας. Την τελευταία 20ετία εμφανίζεται μια ήπια μεταβολή της τυπικής απόκλισης με μικρές αυξήσεις της τάξης των 0.3°C στη δυτική Ελλάδα, την Πελοπόννησο και την Κρήτη και αντίστοιχες μειώσεις στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα (Σχήμα 3.6.β).

Την άνοιξη, η τυπική απόκλιση, όσον αφορά τα πρώτα 60 έτη, είναι όμοια με τον χειμώνα (Σχήμα 3.6.γ). Κατά τα τελευταία 20 έτη φαίνεται σαφής μείωση της θερμοκρασιακής διακύμανσης σε ολόκληρη την ηπειρωτική και θαλάσσια περιοχή με μέγιστη μείωση στην ξηρά (Σχήμα 3.6.δ) με αποτέλεσμα μία τάση μικρότερης μεταβλητότητας της θερμοκρασίας τα τελευταία έτη.

Το καλοκαίρι εμφανίζει χαμηλότερες τιμές τυπικής απόκλισης σε σχέση με την ψυχρή περίοδο ($1-3^{\circ}\text{C}$), ωστόσο το χωρικό μοτίβο παραμένει το ίδιο, με την ξηρά να λαμβάνει τις μέγιστες τιμές, όσον αφορά την κλιματολογία των 60 ετών (Σχήμα 3.6.ε). Κατά την πρόσφατη 20ετία, η τυπική απόκλιση αυξήθηκε ελαφρώς σχεδόν σε ολόκληρη την Ελλάδα και ιδιαίτερα στις θαλάσσιες περιοχές του Ιονίου και του Βόρειου Αιγαίου με εξαίρεση την Εύβοια και την Κρήτη, όπου υπήρξε μικρή τοπική μείωση της τάξης των 0.3°C . (Σχήμα 3.6.στ). Τέλος, το φθινόπωρο, τόσο ως προς τα πρώτα 60 έτη όσο και κατά την πρόσφατη 20ετία παρουσιάζει το μοτίβο θερμοκρασιακής διακύμανσης της άνοιξης (Σχήμα 3.6.ζ, Σχήμα 3.6.η).

Η κατανομή της τυπικής απόκλισης της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας (Σχήμα Π2.6) δείχνει, σε γενικές γραμμές, παρόμοια χωρικά μοτίβα με αυτά της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και για τις 2 κλιματολογίες με τη διακύμανση για την T_{\max} να εμφανίζει για την πρόσφατη περίοδο τη μεγαλύτερη αύξηση κατά τον χειμώνα και το θέρος.

Συνολικά, η ανάλυση της τυπικής απόκλισης της επιφανειακής θερμοκρασίας αναδεικνύει χωρικές και εποχιακές διαφοροποιήσεις ως προς την κατανομή της στην Ελλάδα κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Τόσο η μέση όσο και οι ακραίες ημερήσιες τιμές (T_{\max} , T_{\min}) παρουσιάζουν αύξηση στη διακύμανση κατά τον χειμώνα και το καλοκαίρι, γεγονός που ενδεχομένως σχετίζεται με συχνότερα και εντονότερα επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών, όπως ψυχρές εισβολές ή καύσωνες. Αντίθετα, κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο, καταγράφεται μείωση της

διακύμανσης, γεγονός που υποδεικνύει μικρότερη μεταβλητότητα στις μεταβατικές εποχές.

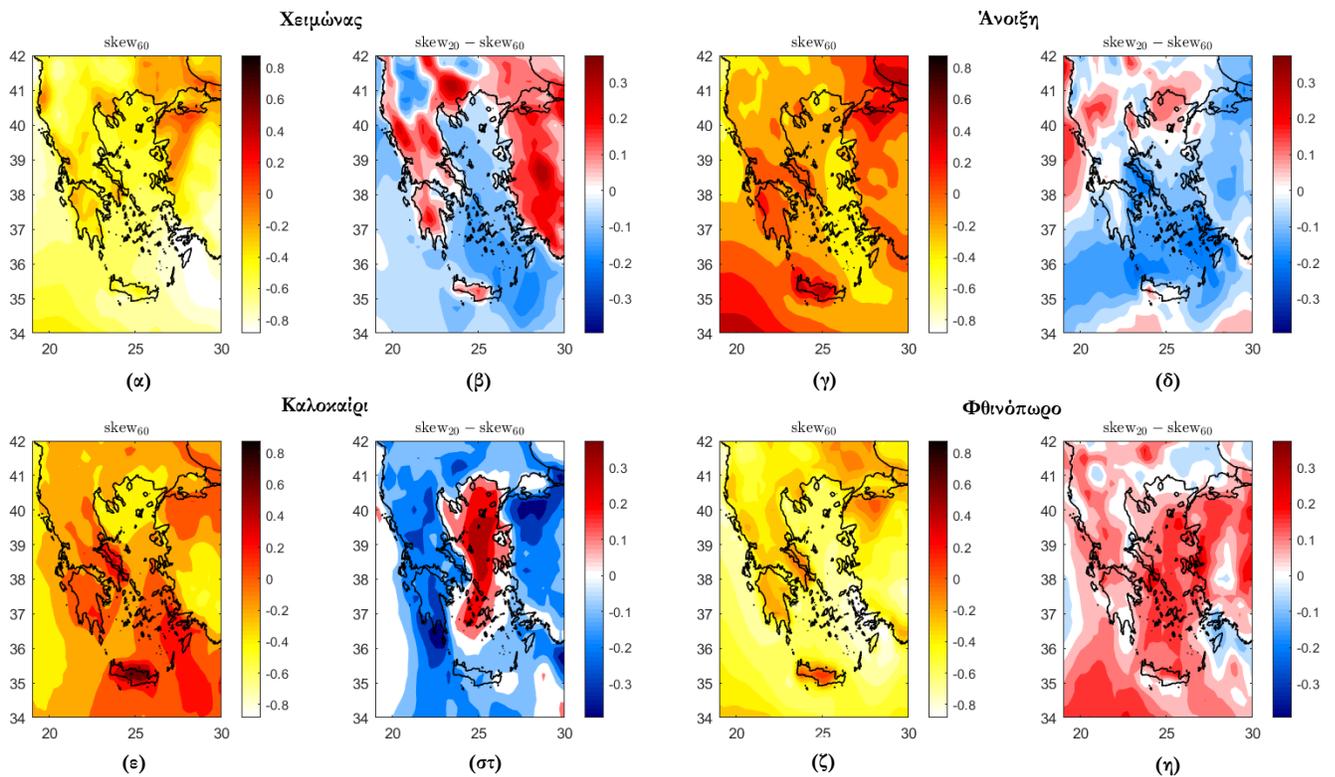
3.2.3 Λοξότητα

Στο Σχήμα 3.7 φαίνεται η χωρική κατανομή της λοξότητας για τις 2 κλιματολογικές στις τέσσερις εποχές. Όσον αφορά τον χειμώνα, για τα πρώτα 60 έτη η λοξότητα παίρνει αρνητικές τιμές σε ολόκληρη την επικράτεια, με τη χωρική κατανομή να είναι σχετικά ομοιόμορφη και συνεπώς να υπάρχει ουρά της κατανομής προς χαμηλότερες θερμοκρασίες (Σχήμα 3.7.α). Κατά την πρόσφατη 20ετία παρατηρείται αύξηση της λοξότητας της τάξης του 0.2 στις περισσότερες ηπειρωτικές περιοχές, ενώ στις θαλάσσιες περιοχές υπάρχει μικρή μείωση της τάξης του 0.1. (Σχήμα 3.7.β).

Την άνοιξη, η λοξότητα είναι αρνητική κατά την πρώτη περίοδο στα περισσότερα τμήματα της χώρας, με εξαίρεση την Πελοπόννησο, το νότιο Αιγαίο και την Κρήτη όπου εντοπίζονται μηδενικές ή και θετικές τιμές (Σχήμα 3.7.γ). Ενδεχομένως, οι θετικές τιμές οφείλονται σε επεισόδια θερμών εισβολών από την Αμερική που είναι συχνές σε αυτή την περίοδο του έτους. Τα τελευταία 20 έτη παρατηρείται γενική τάση προς ήπια μείωση της λοξότητας στις κεντρικές και νότιες θαλάσσιες περιοχές, ενώ αύξηση έχουμε μόνο σε ορισμένα τμήματα στη βόρεια Ελλάδα (Σχήμα 3.7.δ).

Τη θερινή περίοδο, η λοξότητα παρουσιάζει για την πρώιμη περίοδο ελαφρώς αρνητικές τιμές στη κεντρική και βόρεια Ελλάδα, ενώ θετικές τιμές επικρατούν στα νότια τμήματα της χώρας με μέγιστο την Κρήτη και το ανατολικό Αιγαίο, δείχνοντας την ύπαρξη θερμών ακραίων ημερών που υπερβαίνουν τις μέσες τιμές της περιόδου (Σχήμα 3.7.ε). Την πρόσφατη περίοδο, παρατηρείται τάση μείωσης της λοξότητας σε όλη την περιοχή μελέτης, με εξαίρεση την περιοχή του Αιγαίου όπου η θερμοκρασιακή κατανομή αποκτά πιο έντονη ουρά προς τις υψηλές τιμές (Σχήμα 3.7.στ).

Τέλος, κατά την διάρκεια του φθινοπώρου, ομοίως με τον χειμώνα επικρατούν αρνητικές τιμές λοξότητας σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης (Σχήμα 3.7.ζ) ενώ τα τελευταία έτη παρατηρείται γενικευμένη αύξησή της έως και κατά 0.2 τόσο στα ηπειρωτικά όσο και στα θαλάσσια τμήματα (Σχήμα 3.7.η).



Σχήμα 3.7. Μέση κλιματολογική τιμή της λοξότητας της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την κλιματολογία των 60 ετών (α,γ,ε,ζ) και διαφορά αυτής σε σχέση με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου αναφοράς 1943-2023 (β,δ,στ,η), για κάθε εποχή, στην Ελλάδα.

Για τη λοξότητα της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, όσον αφορά την πρώιμη περίοδο, παρατηρείται το ίδιο χωρικό μοτίβο κατανομής με τη λοξότητα της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή (Σχήμα Π2.7), με εξαίρεση την άνοιξη όπου σε αυτή την περίπτωση επικρατούν θετικές τιμές έως και 0.4 σε όλη την επικράτεια. Η διαφοροποίηση στις λοιπές εποχές έγκειται στην κλίμακα τιμών της λοξότητας, με τις τιμές να είναι λιγότερο αρνητικές. Διαφοροποιήσεις μεταξύ της λοξότητας των δύο θερμοκρασιών υπάρχουν ακόμη και στις αυξομειώσεις των τελευταίων ετών όπου ενώ στις θερινές περιόδους (άνοιξη-καλοκαίρι) δεν παρατηρείται αλλαγή, τον χειμώνα φαίνεται καθολική μείωση της λοξότητας σε ξηρά και θάλασσα ενώ το φθινόπωρο αύξηση επικρατεί μόνο στις θαλάσσιες περιοχές.

Για τη λοξότητα της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας, το χωρικό μοτίβο κατανομής για τα πρώτα 60 έτη παραμένει παρόμοιο με αυτό της μέσης ημερήσιας

θερμοκρασίας, για κάθε εποχή, με ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές της λοξότητας κατά τμήματα (Σχήμα Π2.7). Τα τελευταία 20 έτη ομοίως η χωρική κατανομή της λοξότητας παραμένει σχεδόν ίδια μεταξύ των δύο θερμοκρασιών, με εξαίρεση μια πιο ευρεία χωρικά αύξηση στα ηπειρωτικά της χώρας την άνοιξη.

Η ανάλυση της λοξότητας για τις τρεις θερμοκρασίες (μέση, μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια επιφανειακή θερμοκρασία) έδειξε ότι το βασικό χωρικό μοτίβο της λοξότητας παραμένει σε μεγάλο βαθμό σταθερό μεταξύ των θερμοκρασιών, με τις κύριες διαφορές να εντοπίζονται στην κλίμακα τιμών και στις χωρικές λεπτομέρειες των μεταβολών. Οι θερινές εποχές (άνοιξη και καλοκαίρι) εμφανίζουν γενικά μείωση της λοξότητας, ένδειξη μικρότερης συχνότητας ακραίων θερμών επεισοδίων σε σχέση με το παρελθόν, ενώ οι ψυχρές εποχές (χειμώνας και φθινόπωρο) τείνουν να εμφανίζουν αύξηση της λοξότητας κυρίως στα ηπειρωτικά, υποδεικνύοντας μετατόπιση προς υψηλότερες θερμοκρασίες ή πιο συχνά θερμά επεισόδια, με εξαίρεση τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία όπου υπάρχει μείωση στα ηπειρώτικα.

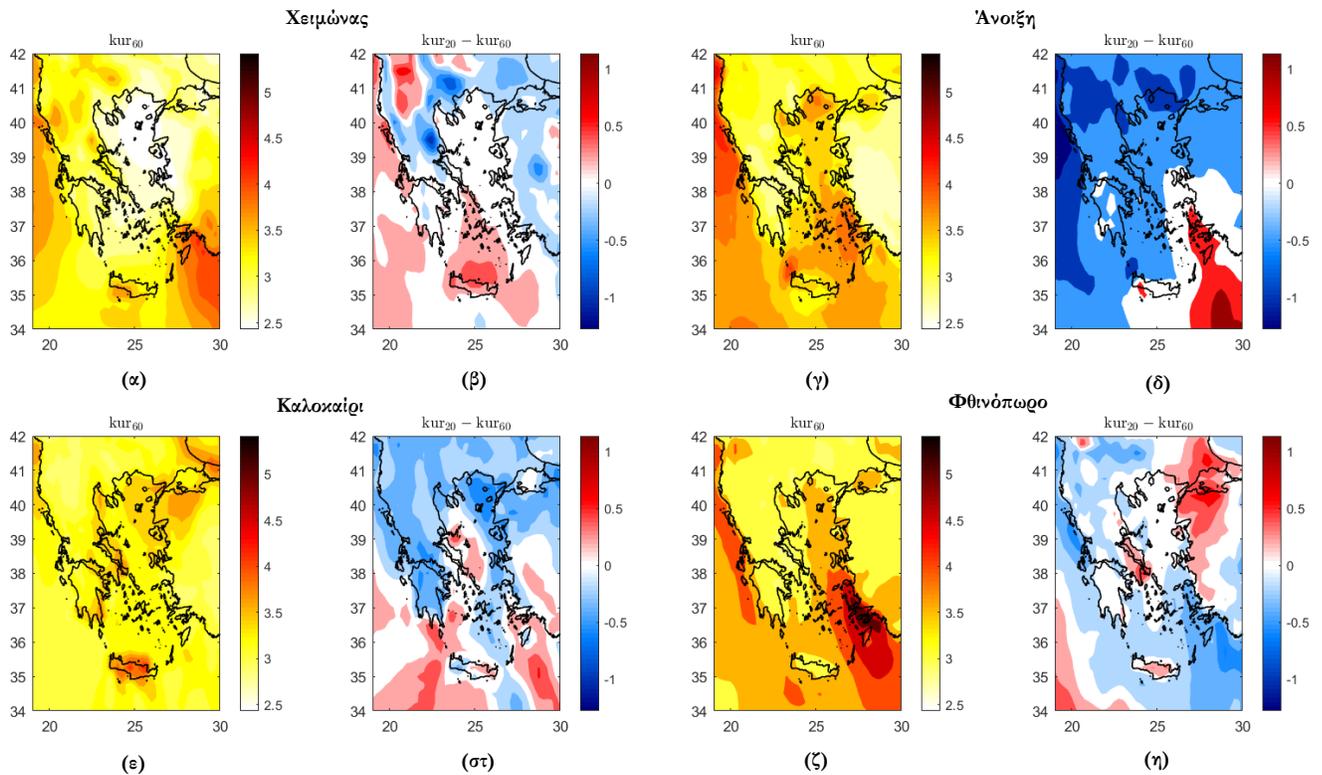
3.2.4 Κύρτωση

Στο Σχήμα 3.8 φαίνεται η χωρική κατανομή της κύρτωσης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας για τις δύο κλιματολογίες-περιόδους.

Για τον χειμώνα, η κύρτωση για την περίοδο αναφοράς των 60 ετών (Σχήμα 3.8.α) κυμαίνεται, τόσο στις ηπειρωτικές περιοχές όσο και στις θαλάσσιες, κοντά στην τιμή του 3 (κανονική κατανομή), με εξαιρέσεις τοπικά στο Ιόνιο, την Κρήτη και το νοτιοανατολικό Αιγαίο όπου η τιμή κυμαίνεται κοντά στο 3.5 ενώ στο βόρειο Αιγαίο οι τιμές κυμαίνονται κοντά στο 2.5. Στις πρόσφατες δεκαετίες (Σχήμα 3.8.β) παρατηρείται τάση μείωσης στα βόρεια ηπειρωτικά τμήματα της χώρας με αποτέλεσμα τάση για λιγότερα ακραία γεγονότα, έως και κατά 0.5, ενώ οι παράκτιες περιοχές είτε παραμένουν αμετάβλητες είτε υπάρχει τάση αύξησης της κύρτωσης έως και κατά 0.4, υποδηλώνοντας ελαφρώς μεγαλύτερη πιθανότητα ακραίων θερμοκρασιών εκεί.

Για την άνοιξη, τα πρώτα 60 έτη (Σχήμα 3.8.γ) παρατηρούνται και πάλι τιμές κοντά στην κανονική κατανομή όσον αφορά τις ηπειρωτικές περιοχές της χώρας, ωστόσο για τα παράκτια και θαλάσσια τμήματα οι τιμές κυμαίνονται κοντά στο 3.5 με 4 με

αποτέλεσμα περισσότερα ακραία θερμοκρασιακά γεγονότα. Τα τελευταία 20 έτη (Σχήμα 3.8.δ) φαίνεται μία γενικευμένη, έντονη τάση μείωσης σε ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο έως και 0.7 και συνεπώς μείωσης των ακραίων γεγονότων και πλάτυνσης της κατανομής, με εξαίρεση το νοτιοανατολικό Αιγαίο όπου διακρίνεται αύξηση της κύρτωσης μεταξύ των τιμών 0.5-1.



Σχήμα 3.8. Μέση κλιματολογική τιμή της κύρτωσης της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την κλιματολογία των 60 ετών (α,γ,ε,ζ) και διαφορά αυτής σε σχέση με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου αναφοράς 1943-2023 (β,δ,στ,η), για κάθε εποχή, στην Ελλάδα.

Το καλοκαίρι, διαπιστώνεται για την κλιματολογία των 60 ετών κανονική κατανομή σε όλη την επικράτεια με εξαιρέσεις μεγαλύτερων τιμών τοπικά σε Κρήτη, Εύβοια και βορειοανατολικό Αιγαίο (Σχήμα 3.8.ε). Τη νεότερη περίοδο παρατηρείται ομοίως μείωση στα ηπειρωτικά τμήματα της χώρας έως και κατά 0.6 και πλάτυνση της κατανομής ενώ για τις θαλάσσιες περιοχές τόσο μείωση όσο και αύξηση στις τιμές της κύρτωσης (Σχήμα 3.8.στ).

Τέλος, για το φθινόπωρο, το μοτίβο της χωρικής κατανομής της κύρτωσης για την πρώιμη περίοδο είναι όμοιο με αυτό της άνοιξης με πιο έντονες τιμές στο νοτιοανατολικό Αιγαίο (Σχήμα 3.8.ζ). Την πρόσφατη περίοδο διακρίνεται μείωση της κύρτωσης σε ολόκληρη την επικράτεια έως και κατά 0.4 και άρα ελάττωση των ακραίων γεγονότων με εξαίρεση την Κρήτη και την Εύβοια όπου παρατηρείται αύξηση τοπικά κατά περίπου 0.3 (Σχήμα 3.8.η).

Όσον αφορά την κύρτωση της μέγιστης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας (Σχήμα Π2.8), το χωρικό μοτίβο κατανομής είναι όμοιο με αυτό της κύρτωσης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και για τις δύο κλιματολογίες με τη διαφορά πως στην πρώιμη περίοδο η κύρτωση παίρνει μικρότερες τιμές στα ηπειρωτικά τμήματα. Ομοίως, για την κύρτωση της ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας (Σχήμα Π2.8) η χωρική κατανομή παραμένει ίδια με εξαίρεση την άνοιξη των πρώτων 60 ετών όπου σε ολόκληρη την επικράτεια η κατανομή δεν είναι κανονική και η κύρτωση παίρνει τιμές μεγαλύτερες του 3, με μέγιστο στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα.

Συμπερασματικά, η χωρική και χρονική ανάλυση της κύρτωσης της μέσης ημερήσιας, μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας ανέδειξε ότι κατά την περίοδο αναφοράς των 60 ετών, η κατανομή ήταν κατά κανόνα κοντά στην κανονική στα ηπειρωτικά τμήματα, με μεγαλύτερες τιμές της κύρτωσης κυρίως σε θαλάσσιες και νησιωτικές περιοχές, γεγονός που υποδηλώνει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών σε αυτές. Στην τελευταία 20ετία, κυριαρχεί μια τάση μείωσης της κύρτωσης στις περισσότερες ηπειρωτικές περιοχές και σε ορισμένες θαλάσσιες ζώνες, οδηγώντας σε πιο πλατιές κατανομές και συνεπώς μικρότερη συχνότητα ακραίων θερμοκρασιακών γεγονότων. Παρόλα αυτά, τοπικές αυξήσεις παρατηρούνται σε τμήματα του νοτιοανατολικού Αιγαίου, της Κρήτης, της Εύβοιας και του Ιονίου, περιοχές όπου ενδεχομένως η συχνότητα ακραίων θερμοκρασιών έχει ενισχυθεί. Η σύγκριση μεταξύ εποχών δείχνει ότι οι μεγαλύτερες μειώσεις παρατηρούνται την άνοιξη και το καλοκαίρι, γεγονός που υποδηλώνει πως η κύρτωση τείνει να μειώσει την ένταση των ακραίων θερμοκρασιών στις θερμές περιόδους του έτους, ενώ τον χειμώνα και το φθινόπωρο οι μεταβολές είναι πιο ήπιες και εντοπισμένες γεωγραφικά.

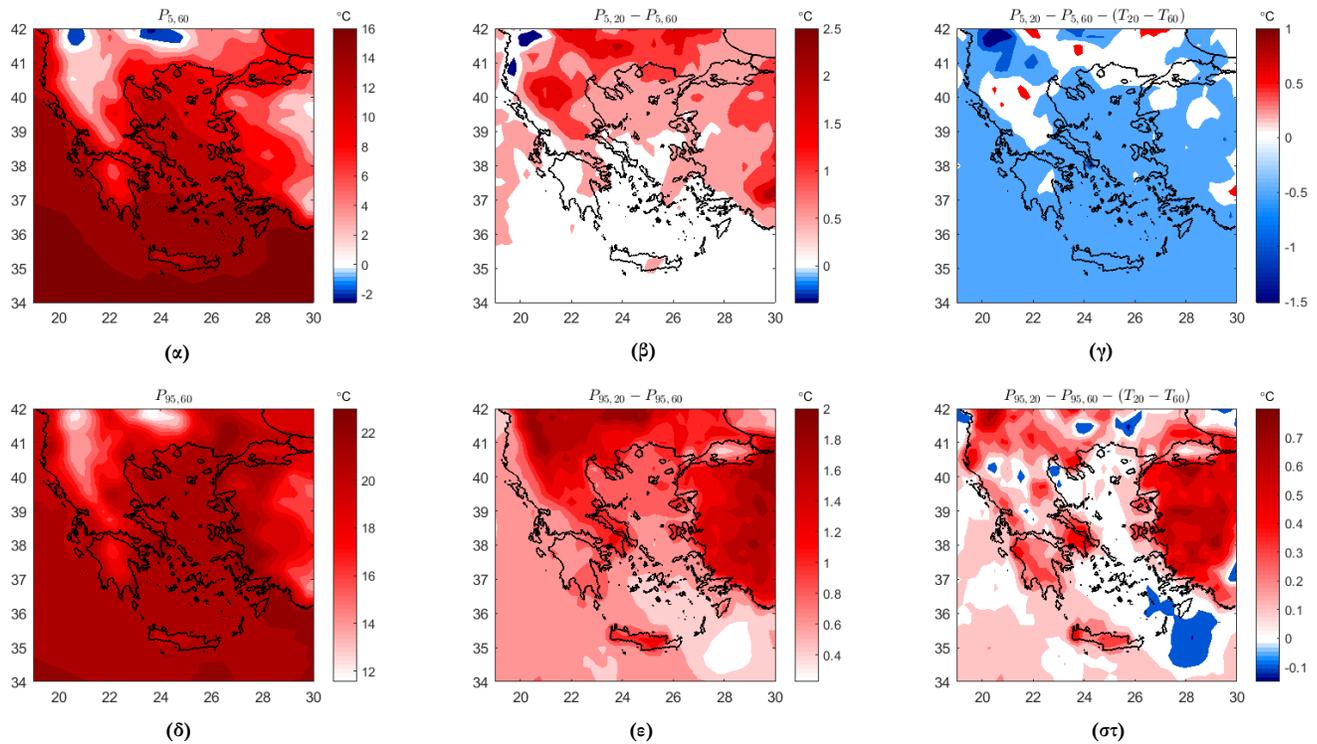
3.3 Μεταβολές στο 5^ο και 95^ο ποσοστημόριο της κατανομής της θερμοκρασίας ανά εποχή

Για την πληρέστερη διερεύνηση της μεταβλητότητας της θερμοκρασίας, εκτός των στατιστικών παραμέτρων που περιεγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα, εξετάστηκαν και τα ποσοστημόρια της κατανομής της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας, με έμφαση στο 5^ο και 95^ο ποσοστημόριο. Η ανάλυση έγινε και πάλι εποχικά και επιτρέπει την αποτύπωση των μεταβολών τόσο στα ψυχρότερα όσο και στα θερμότερα άκρα της κατανομής, παρέχοντας λεπτομερέστερη εικόνα των τάσεων των ακραίων θερμοκρασιών. Στους χάρτες που ακολουθούν παρουσιάζονται για κάθε εποχή η χωρική κατανομή των ποσοστημορίων για την περίοδο αναφοράς των 60 ετών, η διαφορά των ποσοστημορίων μεταξύ της πρόσφατης 20ετίας και της 60ετίας και η ίδια διαφορά διορθωμένη ως προς την μέση κλιματολογία $T_{20}-T_{60}$. Με τον τρόπο αυτό αφαιρείται η συνεισφορά της μετατόπισης της κατανομής λόγω αύξησης ή μείωσης της μέσης θερμοκρασίας και αναδεικνύεται η συνδυασμένη συνεισφορά της μεταβολής της τυπικής απόκλισης, της λοξότητας και της κύρτωσης στις μεταβολές των άκρων της κατανομής της θερμοκρασίας. Οι αντίστοιχες χάρτες για τη μέγιστη και την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία παρουσιάζουν παρόμοιο χωρικό μοτίβο για τα ποσοστημόρια και για τις δύο περιόδους, με μικρές διαφοροποιήσεις τοπικά και στην κλίμακα των τιμών. Οι χάρτες δίνονται στο Παράρτημα Π2 αλλά δε θα σχολιαστούν περαιτέρω.

3.3.1 Χειμώνας

Για τη χειμερινή περίοδο, το 5^ο ποσοστημόριο (Σχήμα 3.9.α) της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για τα πρώτα 60 έτη κυμαίνεται από περίπου -2 °C στη βόρεια Ελλάδα έως και 14-16 °C στην Κρήτη και το νότιο Αιγαίο, ακολουθώντας μία μεσημβρινή θερμοβαθμίδα μεταξύ νότου-βορρά, με τις τιμές στην ξηρά να είναι σταθερά μικρότερες από αυτές στα θαλάσσια τμήματα. Την τελευταία 20ετία (Σχήμα 3.9.β) παρατηρείται γενικευμένη αύξηση των τιμών του 5^{ου} ποσοστημορίου από 1 °C έως 2 °C σε ολόκληρο το βόρειο τμήμα του Ελλαδικού χώρου, γεγονός που δείχνει ότι τα ψυχρότερα επεισόδια έχουν γίνει λιγότερο έντονα τα τελευταία χρόνια, ενώ στο νότιο κομμάτι δεν παρατηρείται μεταβολή. Η διορθωμένη διαφορά (Σχήμα 3.9.γ) που έχει μηδενικές ή και ελαφρώς αρνητικές τιμές δείχνει ότι η

αύξηση αυτή συνδέεται κυρίως με γενική μετατόπιση της κατανομής προς υψηλότερες τιμές και λιγότερο με τη συνδυασμένη μεταβολή που επιφέρουν οι άλλες τρεις στατιστικές ροπές, η οποία μάλιστα είναι αρνητική, δηλαδή τείνει να μειώσει το 5^ο ποσοστημόριο.



Σχήμα 3.9. Χάρτες του 5^{ου} και 95^{ου} ποσοστημορίου της κατανομής της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας του χειμώνα στην Ελλάδα για την κλιματολογία των 60 ετών (α, δ) και διαφορά αυτών με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου μελέτης (β, ε). Στους χάρτες (γ), (στ) παρουσιάζεται η διαφορά ως προς την μεταβολή της μέσης τιμής.

Όσον αφορά το 95^ο ποσοστημόριο, οι τιμές τα πρώτα 60 έτη ακολουθούν παρόμοιο χωρικό μοτίβο, με υψηλότερες τιμές στις θαλάσσιες περιοχές που φτάνουν έως και τους 22 °C (Σχήμα 3.9.δ), ενώ οι μικρότερες τιμές παρουσιάζονται και πάλι στη βόρεια Ελλάδα (περίπου 13°C). Στις τελευταίες δύο δεκαετίες παρατηρείται αύξηση από περίπου 0.5 έως 1.5 °C σε όλη την επικράτεια (Σχήμα 3.9.ε), με τις υψηλότερες θετικές μεταβολές να εντοπίζονται στα ηπειρωτικά και βόρεια τμήματα της Ελλάδας και στην Κρήτη, υποδηλώνοντας ότι το κατώφλι που ορίζει τις θερμές ακραίες ημέρες αντιστοιχεί πλέον σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η διορθωμένη διαφορά (Σχήμα 3.9.στ) που έχει θετικές τιμές της τάξης των 0.5 °C στο μεγαλύτερο

μέρος της ηπειρωτικής χώρας, αναδεικνύει ότι μεγάλο μέρος της ανόδου της θερμοκρασίας του 95^ο ποσοστημορίου οφείλεται στη συνδυασμένη μεταβολή των υπολοίπων στατιστικών ροπών οι οποίες επηρεάζουν το σχήμα της κατανομής, με εξαίρεση τμήματα του Αιγαίου και του Ιονίου.

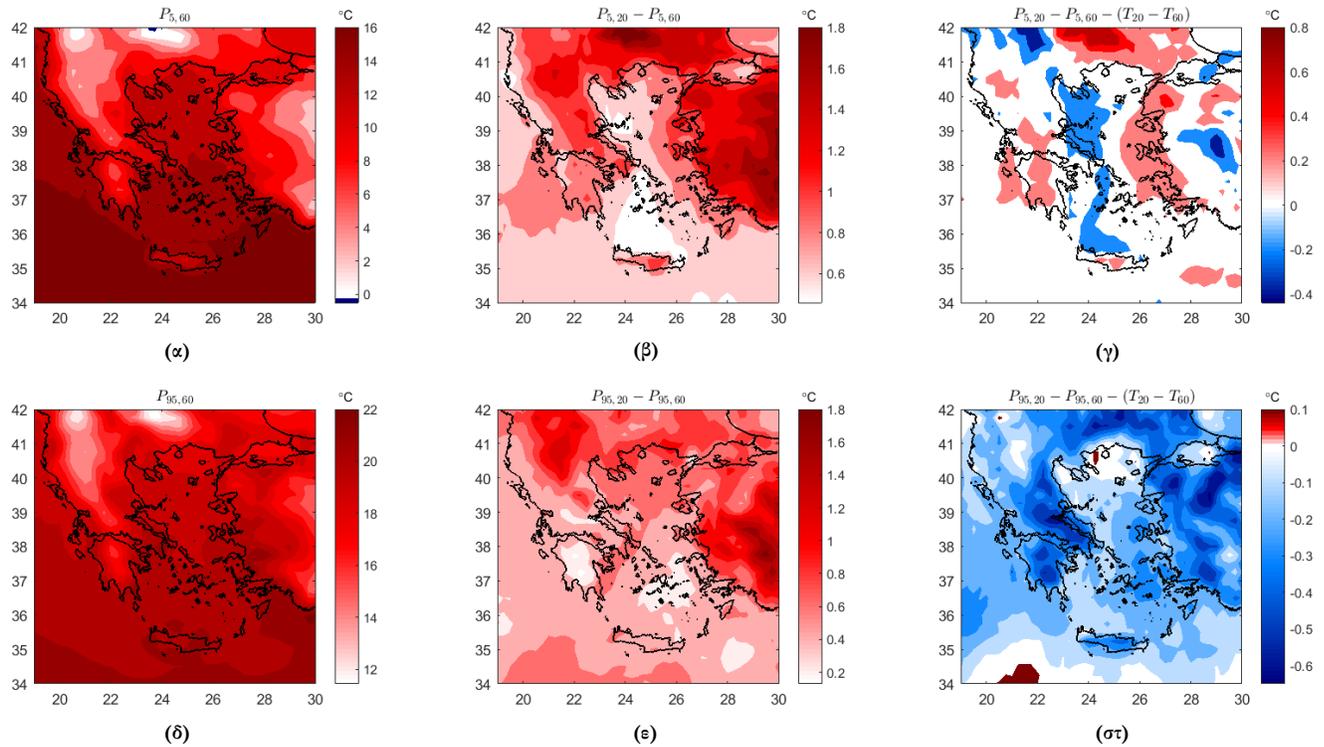
Συνολικά, η ανάλυση του χειμώνα δείχνει άνοδο των θερμοκρασιών του 5^{ου} και του 95^{ου} ποσοστημορίου της κατανομής της θερμοκρασίας κυρίως στα ηπειρωτικά. Η μεν πρώτη οφείλεται κυρίως στην άνοδο της μέσης τιμής της θερμοκρασίας, στη δε άνοδο της θερμοκρασίας του 95^{ου} ποσοστημορίου συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό και η συνδυασμένη μεταβολή των άλλων στατιστικών ροπών.

3.3.2 Άνοιξη

Κατά την περίοδο της άνοιξης, το 5^ο ποσοστημόριο της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την περίοδο αναφοράς των 60 ετών (Σχήμα 3.10.α) κυμαίνεται από περίπου 6 °C στην ηπειρωτική Ελλάδα έως και 16 °C στη νότια και νησιωτική χώρα, με τις τιμές στην ξηρά να είναι μικρότερες από αυτές στα θαλάσσια τμήματα. Τα τελευταία 20 έτη διαπιστώνεται σαφής άνοδος του ποσοστημορίου (Σχήμα 3.10.β), με μεγαλύτερες τιμές στην ξηρά που φτάνουν έως και τους 1.8 °C και μικρότερες τιμές στις θαλάσσιες περιοχές (περίπου 0.5 °C), υποδηλώνοντας μείωση της έντασης των ακραία ψυχρών ημερών της άνοιξης. Η διορθωμένη διαφορά (Σχήμα 3.10.γ) που έχει σχεδόν μηδενικές τιμές στο μεγαλύτερο εύρος της επικράτειας, δείχνει πως η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως στην αύξηση της μέσης τιμής, αν και σε τμήματα της ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης φαίνεται να υπάρχει συμβολή και από τις μεταβολές του σχήματος της κατανομής.

Η κατανομή του 95^{ου} ποσοστημορίου τα πρώτα 60 έτη (Σχήμα 3.10.δ) είναι παρόμοια με αυτή του 5^{ου}, με υψηλότερες τιμές στις θαλασσιές περιοχές και στην Κρήτη που φτάνουν έως και τους 22 °C. Η μεταβολή μεταξύ των δύο περιόδων (Σχήμα 3.10.ε) φτάνει έως και τους συν 1.5 °C, με μέγιστο στην ηπειρωτική Ελλάδα, με συνέπεια την αύξηση της έντασης των ακραίων θερμών ημερών την άνοιξη. Οι αρνητικές τιμές της διορθωμένης διαφοράς της τάξης των 0.5 έως -0.3 °C που εμφανίζονται στο μεγαλύτερο μέρος της επικράτειας (Σχήμα 3.10.στ) δείχνουν ότι η συνδυασμένη επιρροή των στατιστικών ροπών ανώτερης τάξης οδηγεί σε μείωση

του ποσοστημορίου. Επομένως, η παρατηρούμενη αύξηση οφείλεται αποκλειστικά στη μετατόπιση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας.



Σχήμα 3.10. Χάρτες του 5^{ου} και 95^{ου} ποσοστημορίου της κατανομής της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας της άνοιξης στην Ελλάδα για την κλιματολογία των 60 ετών (α, δ) και διαφορά αυτών με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου μελέτης (β, ε). Στους χάρτες (γ), (στ) παρουσιάζεται η διαφορά ως προς την μεταβολή της μέσης τιμής.

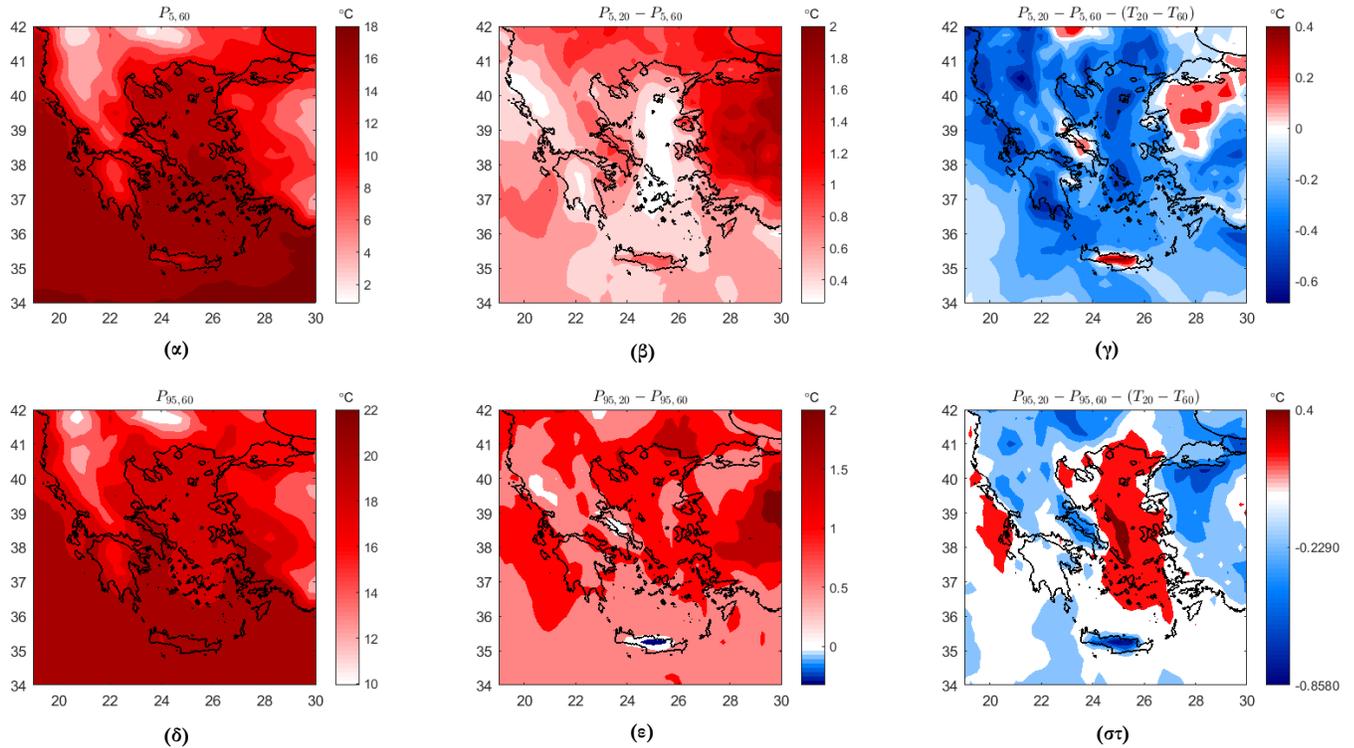
Συμπερασματικά, κατά την περίοδο της άνοιξης καταγράφεται γενικευμένη άνοδος τόσο στα χαμηλά όσο και στα υψηλά ποσοστημόρια της θερμοκρασίας, γεγονός που υποδηλώνει μείωση της έντασης των ακραίων ψυχρών ημερών και ταυτόχρονη αύξηση της έντασης των ακραίων θερμών ημερών. Η ανάλυση δείχνει ότι οι μεταβολές αποδίδονται κυρίως στη μετατόπιση της μέσης τιμής, με περιορισμένη μόνο συμβολή από αλλαγές στο σχήμα της κατανομής. Έτσι, η γενική τάση της άνοιξης συνάδει με τη μετατόπιση ολόκληρης της κατανομής της θερμοκρασίας προς υψηλότερες τιμές.

3.3.3 Καλοκαίρι

Όσον αφορά τη θερινή περίοδο, κατά την πρώτη 60ετία το 5^ο ποσοστημόριο της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας (Σχήμα 3.11.α) κυμαίνεται από περίπου 4 °C στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα έως και 16 °C στις νοτιότερες και νησιωτικές περιοχές, με τις θαλάσσιες περιοχές να παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές από τις ηπειρωτικές. Τα τελευταία 20 έτη φαίνεται σαφής μετατόπιση του ποσοστημορίου προς υψηλότερες τιμές σε όλη την επικράτεια, με μέγιστο έως και 1.8 °C στην ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ στις θαλάσσιες περιοχές η αύξηση περιορίζεται στους περίπου 0.5 °C (Σχήμα 3.11.β). Εξαιρέση αποτελεί τμήμα των Κυκλάδων όπου δεν παρουσιάζεται διαφορά. Όπως και στην περίπτωση της άνοιξης, οι αρνητικές τιμές της διορθωμένης διαφοράς δείχνουν πως η αύξηση της τιμής του ποσοστημορίου (Σχήμα 3.11.γ) οφείλεται αποκλειστικά στη μετατόπιση της μέσης τιμής προς υψηλότερες τιμές. Εξαιρέση αποτελεί η περιοχή της Κρήτης όπου συμβάλλουν σημαντικά και οι λοιπές στατιστικές ροπές.

Ομοίως, το 95^ο ποσοστημόριο ακολουθεί την ίδια χωρική κατανομή με αυτή του 5^{ου} για την περίοδο αναφοράς, αγγίζοντας θερμοκρασίες έως και 21 °C (Σχήμα 3.11.δ). Τις τελευταίες δεκαετίες καταγράφεται σημαντική αύξηση σε όλη την επικράτεια, με τις τιμές να κυμαίνονται κυρίως μεταξύ των 0.5-1 °C, γεγονός που συνδέεται με εντονότερα ακραία θερμά επεισόδια το καλοκαίρι (Σχήμα 3.11.ε). Εξαιρέση αποτελεί η περιοχή της Κρήτης, όπου παρουσιάζεται τοπικά μικρή μείωση της τιμής. Από την ανάλυση φαίνεται πως η αύξηση αυτή οφείλεται στη μετατόπιση της μέσης τιμής, με εξαιρέση το κεντρικό και βόρειο Αιγαίο και το Ιόνιο όπου συνεισφέρουν και οι αλλαγές του σχήματος της κατανομής (Σχήμα 3.11.στ).

Καταλήγοντας, η θερινή περίοδος χαρακτηρίζεται από γενικευμένη άνοδο τόσο των ψυχρών όσο και των θερμών άκρων της κατανομής της θερμοκρασίας, οδηγώντας σε μείωση του κατωφλίου για τα ακραία ψυχρά επεισόδια και αύξηση του κατωφλίου για τα ακραία θερμά επεισόδια. Η μεταβολή αυτή αποδίδεται κυρίως στην αύξηση της μέσης τιμής, με τοπικές διαφοροποιήσεις όπου συμβάλλουν και αλλαγές στο σχήμα της κατανομής.

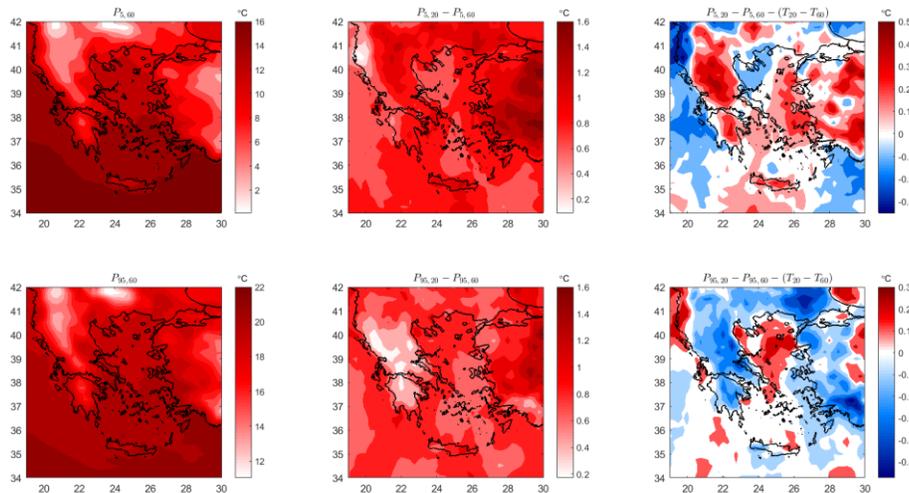


Σχήμα 3.11. Χάρτες του 5^{ου} και 95^{ου} ποσοστημορίου της κατανομής της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας του θέρους στην Ελλάδα για την κλιματολογία των 60 ετών (α, δ) και διαφορά αυτών με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου μελέτης (β, ε). Στους χάρτες (γ), (στ) παρουσιάζεται η διαφορά ως προς τη μεταβολή της μέσης τιμής.

3.3.4 Φθινόπωρο

Όσον αφορά το φθινόπωρο, το 5^ο ποσοστημόριο της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας κυμαίνεται από περίπου 8 °C στη ηπειρωτική Ελλάδα έως και 16 °C στο νότιο Αιγαίο και την Κρήτη, με τις θαλάσσιες περιοχές να έχουν τις υψηλότερες τιμές (Σχήμα 3.12.α). Τα τελευταία 20 έτη (Σχήμα 3.12.β) παρατηρείται γενικευμένη αύξηση στις θερμοκρασίες του 5^{ου} ποσοστημορίου, η οποία φτάνει έως και τους περίπου 1.5 °C σε συγκεκριμένες περιοχές της κεντρικής Ελλάδας και της Κρήτης. Η αύξηση αυτή οφείλεται τόσο στην μετατόπιση της κατανομής όσο και στις αλλαγές του σχήματος της κατανομής, με εξαίρεση το Ιόνιο, την Χαλκιδική και τμήματα του Αιγαίου όπου παρατηρείται συμβολή μόνο του πρώτου παράγοντα (Σχήμα 3.12.γ).

Αντίστοιχα, το 95^ο ποσοστημόριο (Σχήμα 3.12.δ) κυμαίνεται για τα 60 έτη μεταξύ των 14 °C στα ηπειρωτικά και των 20-22 °C στις θαλάσσιες περιοχές, ακολουθώντας το ίδιο χωρικό μοτίβο με το 5^ο ποσοστημόριο. Ομοίως, τις τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζεται αύξηση των θερμοκρασιών του 95^{ου} ποσοστημορίου, σε ολόκληρη



την επικράτεια, η οποία κυμαίνεται κατά μέσο όρο γύρω στον 1 °C (Σχήμα 3.12.ε) και φαίνεται να οφείλεται κυρίως στις αλλαγές τις μέσης τιμής (Σχήμα 3.12.στ).

Σχήμα 3.12. Χάρτες του 5^{ου} και 95^{ου} ποσοστημορίου της κατανομής της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας του φθινόπωρου στην Ελλάδα για την κλιματολογία των 60 ετών (α, δ) και διαφορά αυτών με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου μελέτης (β, ε). Στους χάρτες (γ), (στ) παρουσιάζεται η διαφορά ως προς την μεταβολή της μέσης τιμής.

Συνολικά, το φθινόπωρο παρουσιάζει σαφή θέρμανση τόσο στα ψυχρά όσο και στα θερμά άκρα της κατανομής. Αν και η αύξηση της μέσης τιμής εξηγεί τη μεταβολή, στις περισσότερες περιοχές τοπικά στις μεταβολές των ποσοστημορίων συμβά (α)) και αλλαγές στο σχήμα της (β) νομής. (γ)

3.4 Ο αριθμός των επεισοδίων ακραίων θερμοκρασιών ανά εποχή και η μεταβολή του

Στην παρούσα ενότητα εξετάζεται η χωρική κατανομή των ακραίων ψυχρών και θερμών ημερών για κάθε εποχή στην Ελλάδα, με βάση τις δύο κλιματολογίες των (δ) (ε) (στ)

60 και των 20 ετών της περιόδου μελέτης για τη μέση ημερήσια επιφανειακή θερμοκρασία. Ως ακραίες θερμοκρασίες ορίστηκαν οι ημέρες όπου η τιμή της θερμοκρασίας υπερέβαινε τα κατώφλια $\mu \pm 2\sigma$. Για κάθε εποχή και για κάθε κατώφλι παρήχθησαν τρεις χάρτες, οι οποίοι αναφέρονται στις ακραίες ημέρες ανά έτος για τις δύο κλιματολογίες. Ο πρώτος χάρτης δείχνει τον αριθμό των ακραίων ημερών ανά έτος για την κλιματολογία αναφοράς των 60 ετών. Ο δεύτερος δείχνει τον αριθμό των ημερών ανά έτος για τα τελευταία 20 έτη όπου η θερμοκρασία ξεπερνάει το κατώφλι που βασίζεται στην κλιματολογία των 60 ετών. Συγκεκριμένα, σχεδιάζεται η διαφορά του αριθμού αυτού σε σχέση με τον αντίστοιχο αριθμό για τα 60 έτη, η οποία μας δείχνει πόσο πιο συχνά εμφανίζονται τις τελευταίες δύο δεκαετίες γεγονότα που στην παλαιότερη περίοδο θεωρούνταν ακραία. Ο τρίτος χάρτης δείχνει τον αριθμό των ημερών για τα τελευταία 20 έτη όπου η θερμοκρασία ξεπερνάει το κατώφλι που βασίζεται στα τελευταία 20 έτη. Η χρήση του κατωφλίου της 20ετούς κλιματολογίας βαθμονομεί εκ νέου τον ορισμό του ακραίου σύμφωνα με το νέο, θερμότερο κλίμα, επιτρέποντας την εκτίμηση του βαθμού μετατόπισης της κατανομής της θερμοκρασίας αλλά και τη συνεισφορά της λοξότητας και της κύρτωσης στη μεταβολή του αριθμού των ακραίων ημερών. Ο λόγος είναι ότι ο αριθμός αυτός εξαρτάται μόνο από τις μεταβολές στη λοξότητα και την κύρτωση. Οι αντίστοιχες χάρτες για τη μέγιστη και την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία παρουσιάζουν παρόμοιο χωρικό μοτίβο για την κατανομή των ακραίων θερμών και ψυχρών ημερών και για τις δύο περιόδους, με μικρές διαφοροποιήσεις τοπικά και στην κλίμακα των τιμών. Οι χάρτες δίνονται στο Παράρτημα Π2 αλλά δε θα σχολιαστούν περαιτέρω.

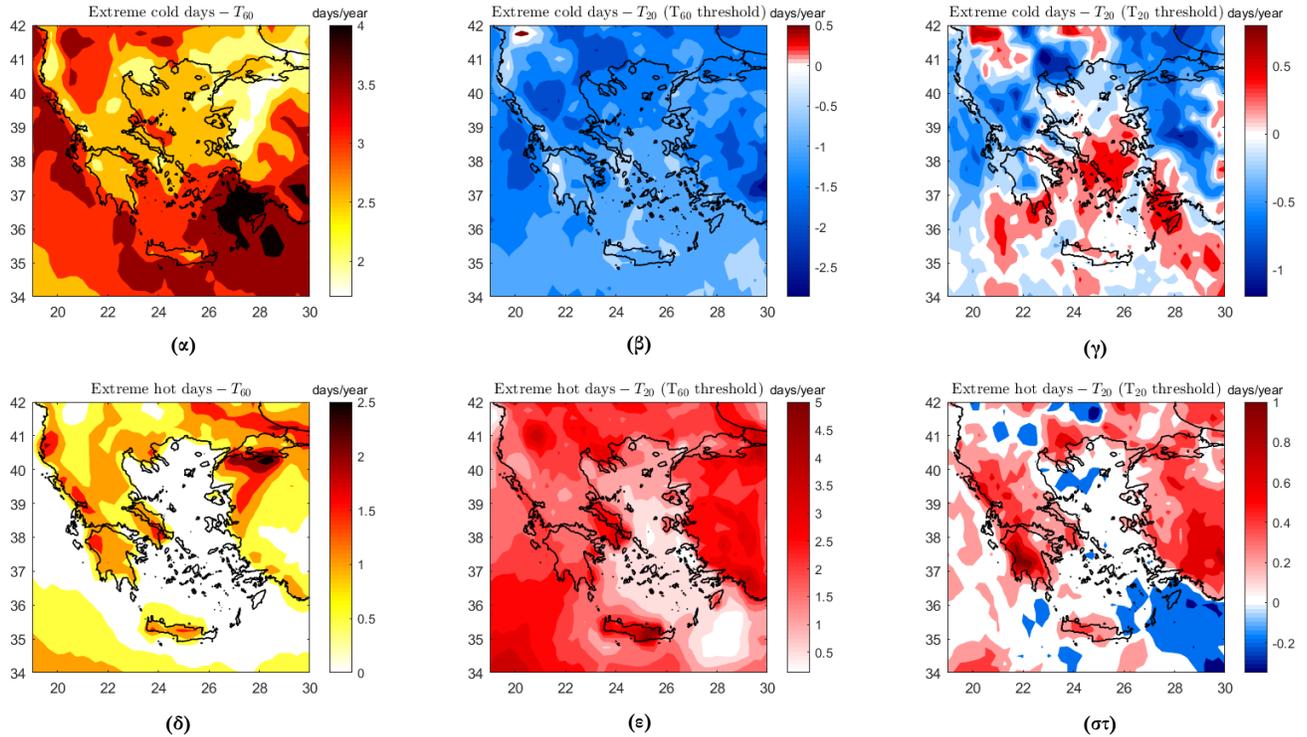
3.4.1 Χειμώνας

Κατά την περίοδο των πρώτων 60 ετών, για τον χειμώνα, ο μέσος ετήσιος αριθμός ακραίων ψυχρών ημερών κυμαίνεται από 2.5 έως 4 ημέρες ανά έτος (Σχήμα 3.13.α), με τις μεγαλύτερες τιμές να είναι σε τμήματα της κεντρικής και βόρειας Ελλάδας καθώς και στις νότιες και νοτιοδυτικές θαλάσσιες ειτάσεις με μέγιστο στα Δωδεκάνησα. Τα τελευταία 20 έτη, σύμφωνα με το κατώφλι των 60 ετών, οι ακραίες ψυχρές ημέρες εμφανίζουν γενικευμένη μείωση κατά 1-2 ημέρες ανά έτος, με τοπικά μεγαλύτερες μειώσεις στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα και στο Ιόνιο (Σχήμα

3.13.β). Σύμφωνα με το κατώφλι της 20ετούς κλιματολογίας, καταγράφονται μικρότερες αλλά συστηματικές μεταβολές στις ακραίες ημέρες. Οι ακραίες ψυχρές ημέρες μειώνονται κυρίως στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα κατά 0.5-1 ημέρα ανά έτος ενώ σε Κυκλάδες και Δωδεκάνησα εμφανίζονται ήπιες αυξήσεις έως και κατά 0.5 ημέρα ανά έτος (Σχήμα 3.13.γ). Επομένως, οι μεταβολές στην κύρτωση και στη λοξότητα της κατανομής της θερμοκρασίας συμβάλλουν στη μεταβολή του αριθμού των ακραίων ημερών στις ηπειρωτικές περιοχές, καθώς είναι υπεύθυνες για την μείωση 0.5 ημερών από τις δύο συνολικά.

Οι ακραίες θερμές ημέρες εμφανίζονται σπανιότερα σε σχέση με τις ψυχρές κατά την 60ετή περίοδο, με σχεδόν μηδενικές τιμές στις θαλάσσιες περιοχές και έως 1.5 ημέρες ανά έτος στα ηπειρωτικά τμήματα (Σχήμα 3.13.δ). Σύμφωνα με το κατώφλι των 60 ετών, τις τελευταίες δύο δεκαετίες καταγράφεται αξιοσημείωτη αύξηση των ημερών σε ολόκληρη την επικράτεια (Σχήμα 3.13.ε), κατά 2-4.5 ημέρες ανά έτος, με εξαίρεση το Αιγαίο στο οποίο επίσης υπάρχει αύξηση αλλά μικρότερης έντασης (0.5 ημέρες ανά έτος). Ωστόσο, με βάση το κατώφλι της 20ετούς κλιματολογίας, η πρόσφατη περίοδος εμφανίζει γενικευμένη αύξηση του αριθμού στα ηπειρωτικά τμήματα της χώρας, με μέγιστο στην Πελοπόννησο κατά 1 ημέρα ανά έτος ενώ οι θαλάσσιες περιοχές παραμένουν χωρίς ιδιαίτερη μεταβολή με μικρές τοπικές μειώσεις στο Αιγαίο (Σχήμα 3.13.στ). Επομένως, στις ηπειρωτικές περιοχές της νότιας και της κεντρικής Ελλάδας περίπου το 80% της αύξησης των ακραίων θερμών ημερών οφείλεται σε αλλαγές στην λοξότητα και στην κύρτωση, με το υπόλοιπο 20% να οφείλεται σε αλλαγές της μέσης τιμής και της διασποράς. Αντίθετα, στη βόρεια Ελλάδα και στις νότιες θαλάσσιες περιοχές η αύξηση των θερμών ημερών οφείλεται εξ' ολοκλήρου σε μεταβολές της μέσης τιμής και της διασποράς.

Συμπερασματικά, για τον χειμώνα παρατηρείται σαφής μείωση της συχνότητας των ακραίων ψυχρών ημερών και ταυτόχρονη αύξηση των ακραίων θερμών, ιδιαίτερα στην ηπειρωτική Ελλάδα. Τα θερμά γεγονότα, που παλαιότερα θεωρούνταν εξαιρετικά σπάνια, πλέον εμφανίζονται αρκετές φορές μέσα σε μια δεκαετία, ενώ τα ψυχρά γεγονότα υποχωρούν σημαντικά. Η εικόνα αυτή είναι σύμφωνη με την παρατηρούμενη χειμερινή θέρμανση της τελευταίας 20ετίας, ιδιαίτερα στα ηπειρωτικά τμήματα της χώρας, πιθανόν ως αποτέλεσμα της γενικότερης αύξησης της μέσης θερμοκρασίας.

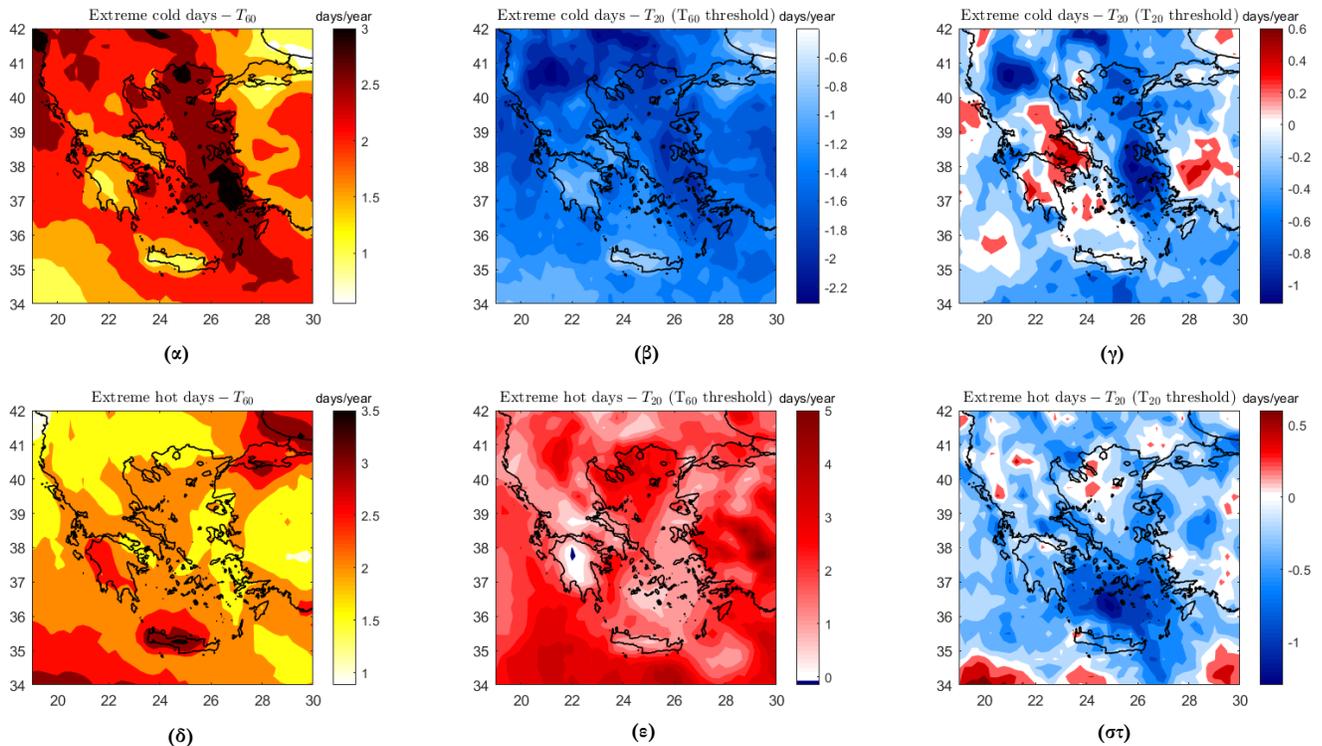


Σχήμα 3.13. Αριθμός ακραίων θερμών και ψυχρών ημερών της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για τις κλιματολογίες των 60 ετών (α, δ) και των 20 ετών, στην Ελλάδα, για τον χειμώνα, σε ημέρες/έτος. Στους χάρτες παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού των ακραίων τιμών την τελευταία 20ετία με βάση το κατώφλι των 60 ετών (β, ε) και με βάση το κατώφλι των 20 ετών (γ, στ).

3.4.2 Άνοιξη

Για την εαρινή περίοδο, σύμφωνα με την κλιματολογία αναφοράς των 60 ετών, οι ψυχρές ακραίες ημέρες κυμαίνονται από 1 έως 3 ανά έτος κατά μέσο όρο (Σχήμα 3.14.α), με μέγιστο στο Αιγαίο και την βόρεια Ελλάδα και ελάχιστο στην Κρήτη και την Πελοπόννησο. Τα τελευταία 20 έτη, με βάση το κατώφλι της 60ετούς κλιματολογίας, ο αριθμός των ακραίων ψυχρών ημερών μειώνεται σε ολόκληρη την επικράτεια (Σχήμα 3.14.β), με την εντονότερη μείωση να συμβαίνει στη βόρεια και κεντρική Ελλάδα και το Αιγαίο, έως και 2 ημέρες ανά έτος, όπου την προώμη περίοδο καταγράφονταν τα περισσότερα ψυχρά επεισόδια. Ωστόσο, σύμφωνα με το κατώφλι της 20ετούς κλιματολογίας, παρατηρείται εκτεταμένη μείωση στον αριθμό των ημερών σε ηπειρωτικές και θαλάσσιες περιοχές, έως και 1 ημέρα ανά

έτος (Σχήμα 3.14.γ). Επομένως, μεταβολές στην λοξότητα και στην κύρτωση είναι υπεύθυνες για σχεδόν το 50% της μείωσης, με εξαίρεση τμήματα της Θεσσαλίας και της Στερεάς Ελλάδας, όπου φαίνεται αύξηση στις ακραίες ψυχρές ημέρες και κατά συνέπεια για τις εν λόγω περιοχές η μείωση οφείλεται εξ' ολοκλήρου στην αύξηση της μέσης τιμής.



Σχήμα 3.14. Αριθμός ακραίων θερμών και ψυχρών ημερών της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για τις κλιματολογίες των 60 ετών (α, δ) και των 20 ετών, στην Ελλάδα, για την άνοιξη, σε ημέρες/έτος. Στους χάρτες παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού των ακραίων τιμών την τελευταία 20ετία με βάση το κατώφλι των 60 ετών (β, ε) και με βάση το κατώφλι των 20 ετών (γ, στ).

Όσον αφορά τις θερμές ακραίες ημέρες, η χωρική κατανομή του αριθμού τους την περίοδο αναφοράς είναι η αντίστροφη αυτής των ψυχρών ημερών, με μέγιστο στην Κρήτη και στην Πελοπόννησο και ελάχιστο στη βόρεια Ελλάδα και το Αιγαίο (Σχήμα 3.14.δ). Ακόμη, παρατηρείται τα τελευταία 20 έτη σαφής αύξηση της συχνότητας των θερμών επεισοδίων έως και 4 ημέρες ανά έτος σε όλη την Ελλάδα, γεγονός που καταδεικνύει ότι τα θερμά επεισόδια έχουν γίνει πολύ πιο συχνά σε σχέση με την προηγούμενη κλιματολογία (Σχήμα 3.14.ε).

Χρησιμοποιώντας το κατώφλι της πρόσφατης 20ετίας, παρατηρείται ειτεταμένη μείωση σε ολόκληρη την επικράτεια, έως και 1 ημέρα ανά έτος, με εξαίρεση τμήματα της Θεσσαλίας και της Στερεάς Ελλάδας (Σχήμα 3.14.στ). Επομένως, η αύξηση του αριθμού των ακραία θερμών ημερών οφείλεται αποκλειστικά στην μεταβολή της μέσης τιμής και της απόκλισης.

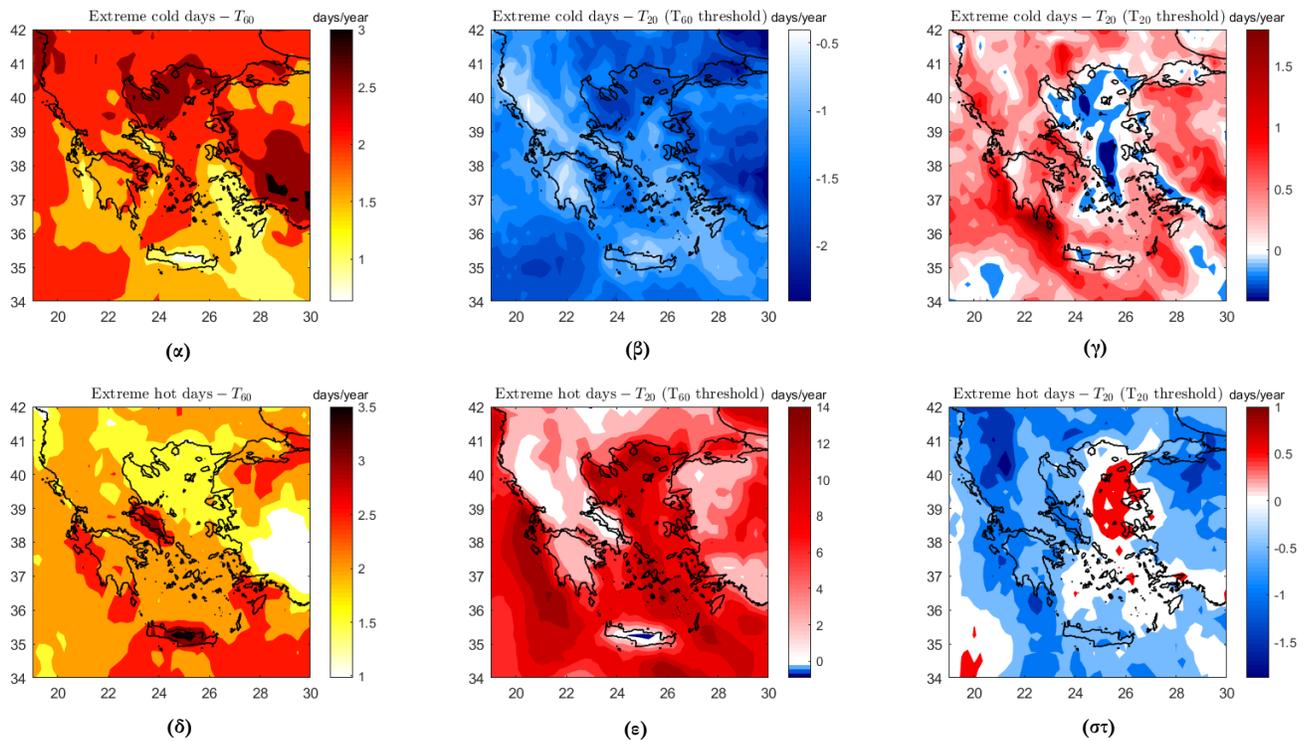
Συνολικά, την άνοιξη παρατηρείται σαφής μείωση των ψυχρών και αύξηση των θερμών ακραίων ημερών στην τελευταία 20ετία σε σχέση με την παλαιότερη κλιματολογία, γεγονός που υποδηλώνει μια γενική μετατόπιση προς θερμότερες συνθήκες. Η αύξηση των θερμών ημερών οφείλεται αποκλειστικά στη μεταβολή της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης, ενώ στη μείωση του αριθμού των ψυχρών ημερών συμβάλλουν σημαντικά και οι μεταβολές στη λοξότητα και την υδρωση.

3.4.3 Καλοκαίρι

Για τη θερινή περίοδο, τα πρώτα 60 έτη οι ψυχρές ακραίες ημέρες κυμαίνονται από 1 έως 3 ανά έτος (Σχήμα 3.15.α), με αυξημένη συχνότητα στη βόρεια Ελλάδα και στη Μακεδονία, ενώ οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στο νότιο Αιγαίο και την Κρήτη. Τα τελευταία 20 έτη, με βάση το κατώφλι της 60ετούς κλιματολογίας, παρατηρείται σαφής μείωση των ψυχρών επεισοδίων σε ολόκληρη την επικράτεια, που φτάνει έως και 2 ημέρες ανά έτος, με εντονότερη μείωση στη βόρεια Ελλάδα (Σχήμα 3.15.β). Με βάση το κατώφλι της 20ετούς κλιματολογίας, παρατηρείται γενικευμένη αύξηση των ψυχρών ακραίων ημερών σε μεγάλο μέρος της χώρας κατά περίπου 0.3 έως 1.5 ημέρες ανά έτος, με εξαίρεση ορισμένες περιοχές του βορείου Αιγαίου, όπου εμφανίζονται τοπικές μειώσεις. Επομένως, οι παρατηρούμενες μειώσεις είναι αποτέλεσμα των αλλαγών σε μέση τιμή και διασπορά (Σχήμα 3.15.γ).

Αντιθέτως, οι θερμές ακραίες ημέρες εμφανίζονται με συχνότητα 1 έως 3.5 ημέρες ανά έτος, ακολουθώντας ένα χωρικό μοτίβο σχεδόν αντίθετο των ψυχρών, με τα υψηλότερα ποσοστά στην Κρήτη και την Πελοπόννησο και τα χαμηλότερα στη βόρεια Ελλάδα (Σχήμα 3.15.δ). Από την άλλη πλευρά, η συχνότητα των θερμών επεισοδίων αυξάνεται σημαντικά σε όλη τη χώρα με εντονότερες τάσεις στο Αιγαίο, όπου η αύξηση φτάνει έως και τις 12 με 14 ημέρες ανά έτος, με εξαίρεση την Ήπειρο, την Εύβοια και την Κρήτη όπου ο αριθμός των ημερών δεν αλλάζει

(Σχήμα 3.15.ε). Αντίθετα, με βάση το κατώφλι της 20ετούς κλιματολογίας παρουσιάζουν σημαντική μείωση, η οποία εκτείνεται στο μεγαλύτερο μέρος του ελληνικού χώρου, της τάξης των 0.5 έως 1.5 ημερών ανά έτος, με περιορισμένες τοπικές αυξήσεις κυρίως στο βόρειο Αιγαίο, δείχνοντας πως και εδώ υπεύθυνες για τις παρατηρούμενες αυξήσεις είναι οι μεταβολές στη μέση τιμή και στην απόκλιση (Σχήμα 3.15.στ).



Σχήμα 3.15. Αριθμός ακραίων θερμών και ψυχρών ημερών της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για τις κλιματολογίες των 60 ετών (α, δ) και των 20 ετών, στην Ελλάδα, για το καλοκαίρι, σε ημέρες/έτος. Στους χάρτες παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού των ακραίων τιμών την τελευταία 20ετία με βάση το κατώφλι των 60 ετών (β, ε) και με βάση το κατώφλι των 20 ετών (γ, στ).

Συνοψίζοντας, για τη θερινή περίοδο παρατηρείται σαφής μείωση των ψυχρών και μεγάλη αύξηση των θερμών ακραίων ημερών τα τελευταία χρόνια, που οφείλονται στις μεταβολές της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης.

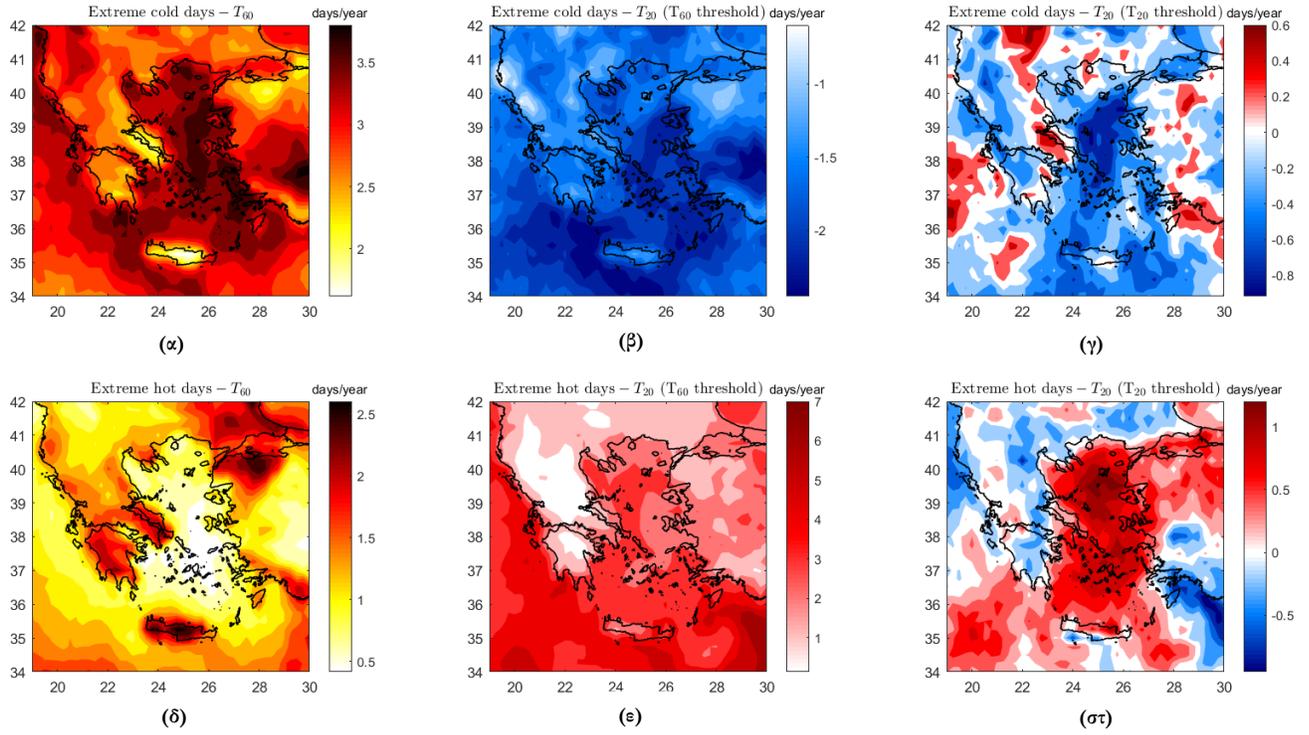
3.4.4 Φθινόπωρο

Τέλος, κατά την περίοδο των πρώτων 60 ετών, το φθινόπωρο οι ακραίες ψυχρές ημέρες καταγράφονται με μεγαλύτερη συχνότητα στις θαλάσσιες εκτάσεις

συγκριτικά με την ξηρά, όπου η συχνότητα φτάνει περίπου τις 4 ημέρες ανά έτος (Σχήμα 3.16.α). Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, με βάση το κατώφλι της 60ετούς κλιματολογίας, παρατηρείται σαφής μείωση των ψυχρών ημερών σε ολόκληρη την χώρα, που φτάνει έως και 2.5 ημέρες ανά έτος, με εντονότερη μείωση στις θαλάσσιες περιοχές (Σχήμα 3.16.β). Με βάση το κατώφλι της 20ετούς κλιματολογίας, παρατηρείται ηπιότερη μείωση στη συχνότητα των ακραίων ψυχρών ημερών σε σχεδόν ολόκληρη την περιοχή μελέτης, με μέγιστο το κεντρικό και βόρειο Αιγαίο, όπου η μείωση φτάνει σχεδόν την 1 ημέρα ανά έτος (Σχήμα 3.16.γ). Αυτό το γεγονός επιβεβαιώνει τη συνεισφορά των μεταβολών σε λοξότητα και κύρτωση κατά περίπου 40-50% στη μείωση του αριθμού των ψυχρών ημερών.

Για τις ακραίες θερμές ημέρες η συχνότητα εμφάνισης είναι χαμηλότερη, με τιμές που δεν ξεπερνούν τις 2.5 ημέρες ανά έτος και μέγιστο στην Κρήτη, την Πελοπόννησο και τη Στερεά Ελλάδα (Σχήμα 3.16.δ). Τα θερμά επεισόδια αυξάνονται σημαντικά την πρόσφατη περίοδο σε όλη τη επικράτεια, με εξαίρεση την κεντρική Ελλάδα όπου δεν παρατηρείται μεταβολή, με την αύξηση να φτάνει έως και τις 7 ημέρες ανά έτος, με μέγιστο και πάλι στα θαλάσσια τμήματα, σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς (Σχήμα 3.16.ε). Χρησιμοποιώντας το κατώφλι της 20ετούς κλιματολογίας διαπιστώνεται έντονη αύξηση στις θαλάσσιες περιοχές και κυρίως στο κεντρικό και βόρειο Αιγαίο, έως 1 ημέρα ανά έτος, ενώ η ηπειρωτική χώρα παρουσιάζει είτε ελαφριά μείωση είτε καμία μεταβολή (Σχήμα 3.16.στ). Αυτό δείχνει πως η συνεισφορά των μεταβολών στη λοξότητα και την κύρτωση στις αυξήσεις των ημερών είναι μικρή, με εξαίρεση την περιοχή του Αιγαίου.

Καταλήγοντας, κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου παρατηρείται μια σαφής μείωση των ακραίων ψυχρών ημερών και αύξηση των ακραίων θερμών ημερών τα τελευταία χρόνια, όταν η ανάλυση βασίζεται στην 60ετή κλιματολογία, υποδηλώνοντας μια γενική τάση για θερμότερα φθινόπωρα. Αντίθετα, όταν η ανάλυση γίνεται με βάση την 20ετή κλιματολογία, φαίνεται πως το κλίμα έχει προσαρμοστεί στις νέες θερμοκρασιακές συνθήκες, αν και παραμένει μια σαφής πτωτική τάση για τις ψυχρές ημέρες και μια αύξηση για τις θερμές, κυρίως στα θαλάσσια τμήματα του Αιγαίου.



Σχήμα 3.16. Αριθμός ακραίων θερμών και ψυχρών ημερών της μέσης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για τις κλιματολογίες των 60 ετών (α, δ) και των 20 ετών, στην Ελλάδα, για το φθινόπωρο, σε ημέρες/έτος. Στους χάρτες παρουσιάζεται η μεταβολή του αριθμού των ακραίων τιμών την τελευταία 20ετία με βάση το κατώφλι των 60 ετών (β, ε) και με βάση το κατώφλι των 20 ετών (γ, στ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Στην εργασία αυτή ερευνήθηκε η μεταβολή της κατανομής της επιφανειακής θερμοκρασίας για την περίοδο 1943-2023, στον Ελλαδικό χώρο, με χρήση δεδομένων ERA5. Μελετήθηκε εποχιακά η χωρική κατανομή των στατιστικών παραμέτρων της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης, της λοξότητας και της κύρτωσης της μέσης ημερήσιας, μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας, κατόπιν αφαίρεσης του εποχιακού κύκλου και της γραμμικής τάσης εντός κάθε δεκαετίας της χρονοσειράς. Επειδή στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές των στατιστικών παραμέτρων και ιδιαίτερος της μέσης τιμής κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες, μελετήθηκαν οι μεταβολές και ανάμεσα σε δύο περιόδους: την πρώιμη περίοδο των πρώτων 60 ετών (1943-2003) και την πρόσφατη περίοδο των τελευταίων 20 ετών (2003-2023). Για τις δύο αυτές περιόδους, υπολογίστηκαν και οι επιπτώσεις των μεταβολών της κατανομής στην ένταση και τη συχνότητα των αιχραίων θερμοκρασιακών επεισοδίων. Η μεν ένταση ποσοτικοποιήθηκε από το 5^ο και 95^ο ποσοστημόριο της κατανομής, ενώ ο αριθμός των επεισοδίων ορίστηκε ως ο αριθμός των ημερών ανά έτος που η θερμοκρασία υπερβαίνει το όριο των δύο τυπικών αποκλίσεων σε σχέση με τη μέση τιμή.

Τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν συνοψίζονται ως εξής:

- ι.* Κατά τον χειμώνα, τις τελευταίες 2 δεκαετίες συγκριτικά με την περίοδο των 60 ετών, παρατηρείται σαφής μετατόπιση της θερμοκρασιακής κατανομής προς υψηλότερες τιμές, με αποτέλεσμα μείωση των αιχραίων ψυχρών ημερών κατά 0.5 έως 1 ημέρα ανά έτος και αύξηση των αιχραίων θερμών ημερών κατά 2 έως 4.5 ημέρες ανά έτος με μέγιστο στα ηπειρωτικά τμήματα. Οι μεταβολές αυτές αποτυπώνονται και στα ποσοστημόρια, με το 5^ο ποσοστημόριο να αυξάνεται κατά 1°C και το 95^ο ποσοστημόριο κατά 0.5–1.5°C, με μέγιστο στη βόρεια Ελλάδα. Η γενική άνοδος της μέσης τιμής έως

- και κατά 1.5°C στην κεντρική και βόρεια χώρα αποτελεί τον βασικό οδηγό των αλλαγών, ωστόσο σημαντικό ρόλο παίζουν και οι μεταβολές στο σχήμα της κατανομής. Συγκεκριμένα, η μείωση της κύρτωσης και η αύξηση της λοξότητας στις ηπειρωτικές περιοχές συνεισφέρουν περίπου στο 25% της μείωσης των ψυχρών ημερών, ενώ στα νότια οι αλλαγές οφείλονται αποκλειστικά στις μεταβολές της μέσης τιμής και της διακύμανσης. Αντίστοιχα, η αύξηση των θερμών ημερών σχετίζεται κυρίως με την άνοδο της μέσης τιμής, με μόνο το περίπου 20% των αλλαγών να αποδίδεται στις αλλαγές της λοξότητας και της κύρτωσης.
- ii.* Κατά τη εαρινή περίοδο, η θερμοκρασία παρουσιάζει γενικευμένη άνοδο, με τη μέση τιμή να αυξάνει έως και 1.2°C . Οι ακραίες ψυχρές ημέρες μειώνονται έως και 2 ημέρες ανά έτος, με τις μεταβολές στη λοξότητα και την κύρτωση να εξηγούν περίπου το 50% της μείωσης. Οι θερμές ημέρες αυξάνονται έως και 4 ημέρες ανά έτος, κυρίως λόγω της ανόδου της μέσης τιμής και των μεταβολών στην διακύμανση και σε μικρότερο ποσοστό, περίπου 25%, λόγω των μεταβολών στο σχήμα της κατανομής. Παράλληλα, καταγράφεται αύξηση του 5^{ου} και 95^{ου} ποσοστημορίου κατά 1.8°C και 1.5°C αντίστοιχα, κυρίως λόγω της ανόδου της μέσης τιμής, ενώ οι αλλαγές στο σχήμα της κατανομής συνεισφέρουν επιπλέον στη βόρεια και κεντρική Ελλάδα.
- iii.* Κατά τη θερινή περίοδο, τα τελευταία 20 έτη χαρακτηρίζονται ομοίως από μετατόπιση της μέσης τιμής προς υψηλότερες τιμές έως και κατά 1.5°C . Οι ακραίες ψυχρές ημέρες μειώνονται έως και 2 ημέρες ανά έτος, με εντονότερη μείωση στη βόρεια Ελλάδα και τις παρατηρούμενες μειώσεις να είναι αποτέλεσμα των αλλαγών σε μέση τιμή και διασπορά. Οι ακραίες θερμές ημέρες αυξάνονται σημαντικά σε όλη τη χώρα, με εντονότερες τάσεις στο Αιγαίο, όπου η αύξηση φτάνει έως και τις 12 με 14 ημέρες ανά έτος, γεγονός που φαίνεται να είναι ομοίως απόρροια της αύξησης της μέσης τιμής. Έτσι, το καλοκαίρι είναι η εποχή με τη μεγαλύτερη αύξηση θερμών επεισοδίων. Ταυτοχρόνως, φαίνεται σαφής μετατόπιση του 5^{ου} ποσοστημορίου προς υψηλότερες τιμές σε όλη την επικράτεια, με μέγιστο έως και 1.8°C στην ηπειρωτική Ελλάδα. Η αύξηση αυτή είναι αποτέλεσμα αποκλειστικά της μετατόπισης της μέσης τιμής προς υψηλότερες τιμές, με εξαίρεση την Κρήτη όπου συμβάλλουν και οι μεταβολές στις λοιπές στατιστικές ροπές. Ομοίως

καταγράφεται σημαντική αύξηση του 95^{ου} ποσοστημορίου, με τις τιμές να κυμαίνονται κυρίως μεταξύ των 0.5-1 °C, με την αύξηση αυτή να οφείλεται επίσης στη μετατόπιση της μέσης τιμής, εκτός τμημάτων του Αιγαίου και του Ιονίου όπου συνεισφέρουν και οι μεταβολές του σχήματος της κατανομής.

- iv. Τέλος, το φθινόπωρο, ομοίως με τις λοιπές εποχές, παρουσιάζει αύξηση της μέσης τιμής έως και κατά 1.5°C. Οι ακραίες ψυχρές ημέρες μειώνονται καθολικά έως και κατά 2.5 ημέρες ανά έτος, με μέγιστη μείωση στις θαλάσσιες περιοχές. Οι ακραίες θερμές ημέρες αυξάνουν σημαντικά τις πρόσφατες δεκαετίες, με εξαίρεση την κεντρική Ελλάδα όπου δεν παρατηρείται μεταβολή, με την αύξηση να φτάνει έως και τις 7 ημέρες ανά έτος. Η μείωση των ψυχρών επεισοδίων φαίνεται να οφείλεται κατά 40-50% στις μεταβολές της λοξότητας και της κύρτωσης ενώ αντίστοιχα η αύξηση των θερμών είναι αποτέλεσμα της μετατόπισης της μέσης τιμής και των αλλαγών στην διασπορά. Παράλληλα, παρουσιάζεται αύξηση στις θερμοκρασίες του 5^{ου} ποσοστημορίου, η οποία φτάνει έως και τους 1.5°C στην κεντρική Ελλάδα και την Κρήτη. Η αύξηση αυτή οφείλεται τόσο στην μετατόπιση της μέσης τιμής όσο και στις αλλαγές της ίδιας της κατανομής, με εξαίρεση το Ιόνιο, την Χαλκιδική και τμήματα του Αιγαίου όπου παρατηρείται συμβολή μόνο του πρώτου παράγοντα. Ταυτόχρονα, παρατηρείται αύξηση των θερμοκρασιών του 95^{ου} ποσοστημορίου σε ολόκληρη την επικράτεια, η οποία κυμαίνεται κατά μέσο όρο κοντά στον 1 °C και οφείλεται κυρίως στις μεταβολές της μέσης τιμής και της διασποράς.

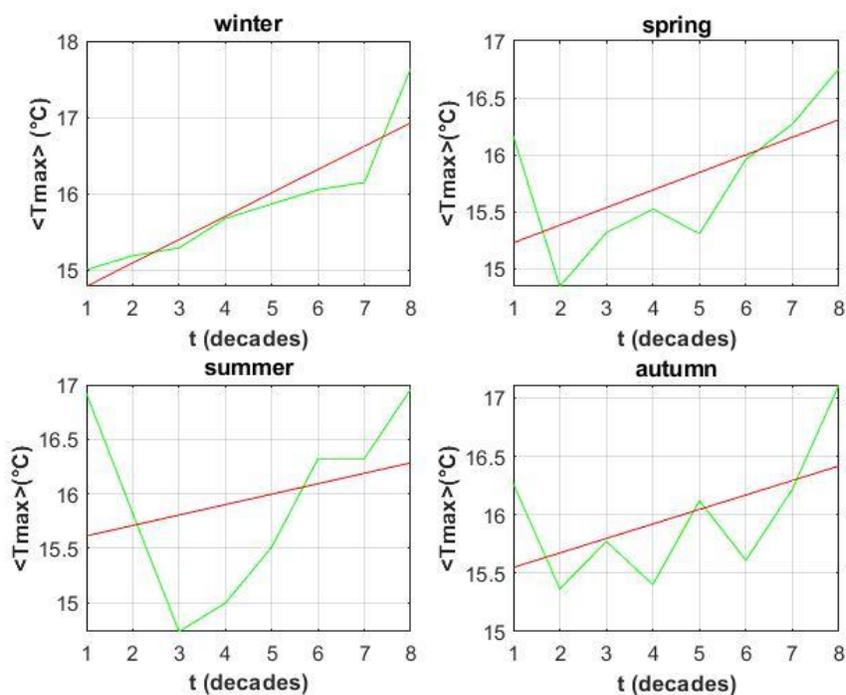
Συνολικά, η ανάλυση έδειξε μία σαφή και συνεχή τάση κλιματικής θέρμανσης και μεταβολής της στατιστικής κατανομής της θερμοκρασίας στην Ελλάδα, για όλες τις εποχές, με τα σημαντικότερα και μεγαλύτερης έντασης αποτελέσματα να παρουσιάζονται τη θερινή περίοδο στις νησιωτικές περιοχές. Οι αλλαγές αυτές συνοδεύονται από μετατοπίσεις των ποσοστημορίων και ανακατανομή των ακραίων ημερών, υποδεικνύοντας ότι η μεταβολή της μέσης τιμής, αλλά και της μορφής της κατανομής, μέσω της λοξότητας και της κύρτωσης, συμβάλλουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση των νέων θερμικών συνθηκών.

Μελλοντικά, η παρούσα ανάλυση θα μπορούσε να επεκταθεί αυτούσια και για άλλες περιοχές ενδιαφέροντος και να χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά είτε με

κλιματικές προσομοιώσεις μελλοντικών σεναρίων, ώστε να εκτιμηθεί η εξέλιξη των αλλαγών αυτών υπό διαφορετικά επίπεδα ανθρωπογενούς επιβάρυνσης, είτε με λοιπές μετεωρολογικές μεταβλητές όπως η υγρασία, ο άνεμος και η νεφοκάλυψη για την εκτίμηση της ξηρασίας ή δεικτών θερμικού στρες. Η μελέτη των προσεγγίσεων αυτών θα έχει σημαντική συμβολή στην προσαρμογή πολιτικών και στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής στις κλιματικά ευαίσθητες περιοχές της Μεσογείου.

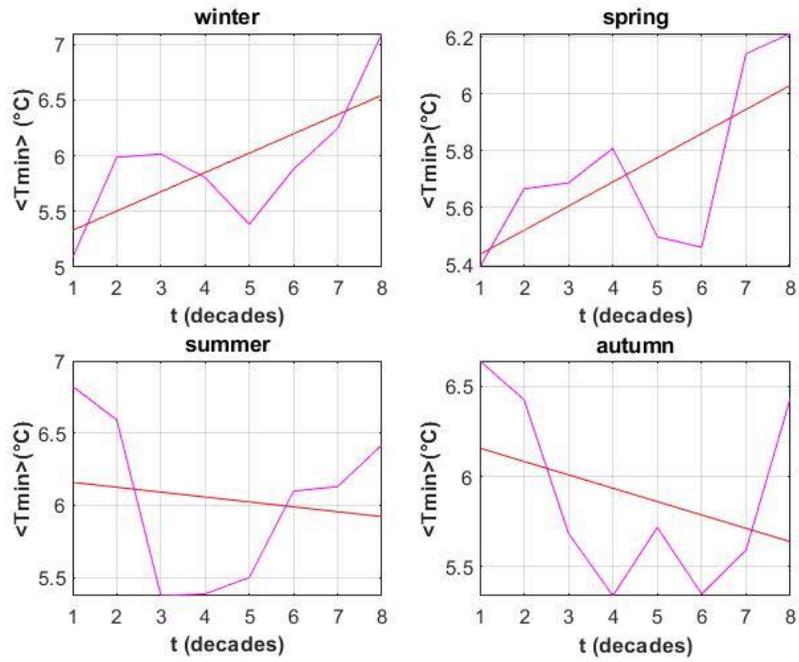
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Π.1 Εποχιακά διαγράμματα τάσεων των στατιστικών παραμέτρων για τις T_{\max} και T_{\min} , για την περίοδο 1943-2023 στα Ιωάννινα

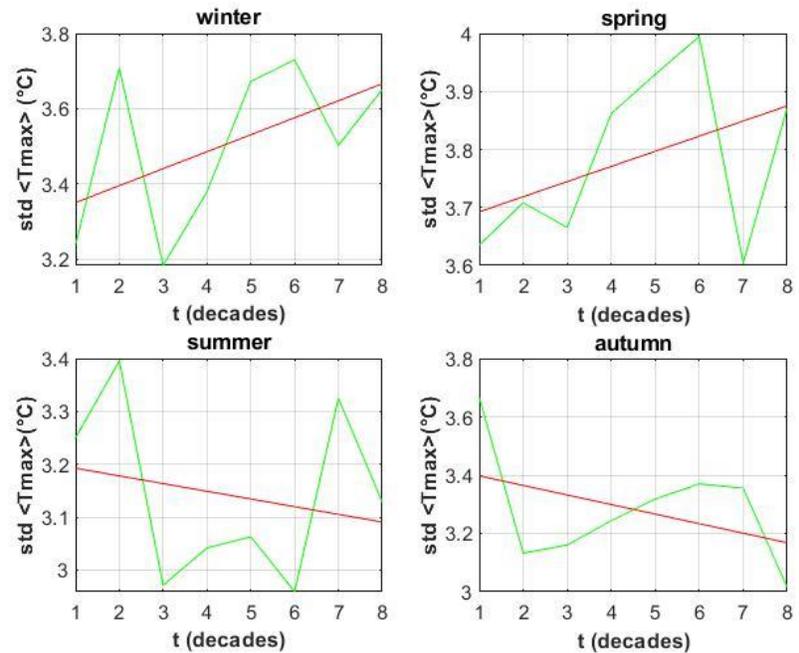


1ζ

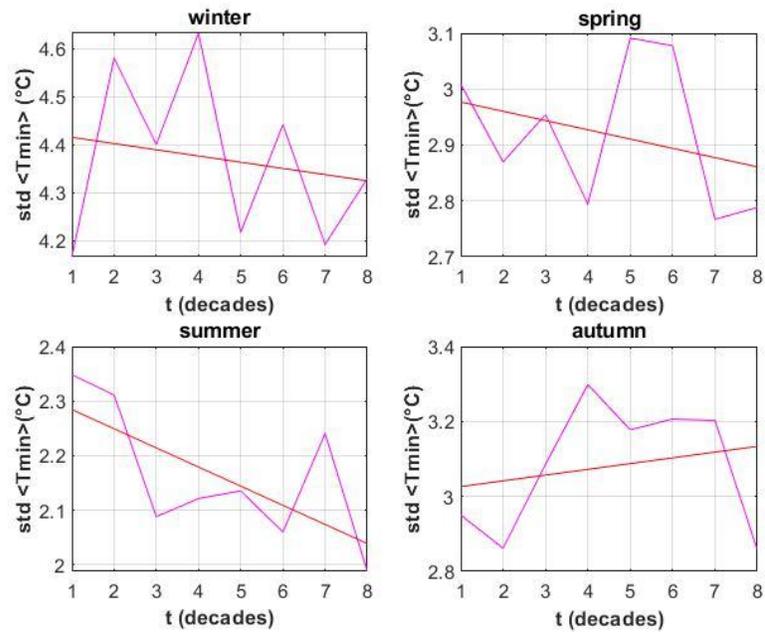
Σχήμα Π1.1. Διαγράμματα τάσεων της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.



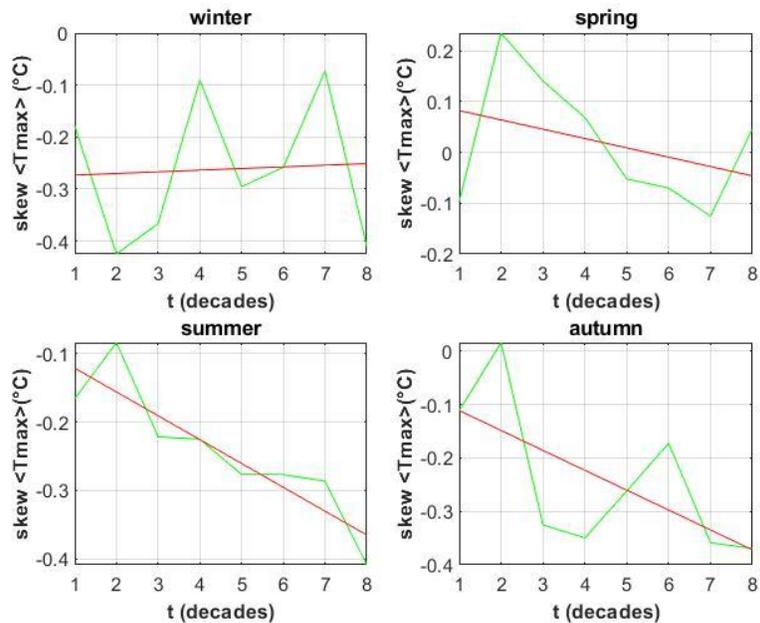
Σχήμα Π1.2. Διαγράμματα τάσεων της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.



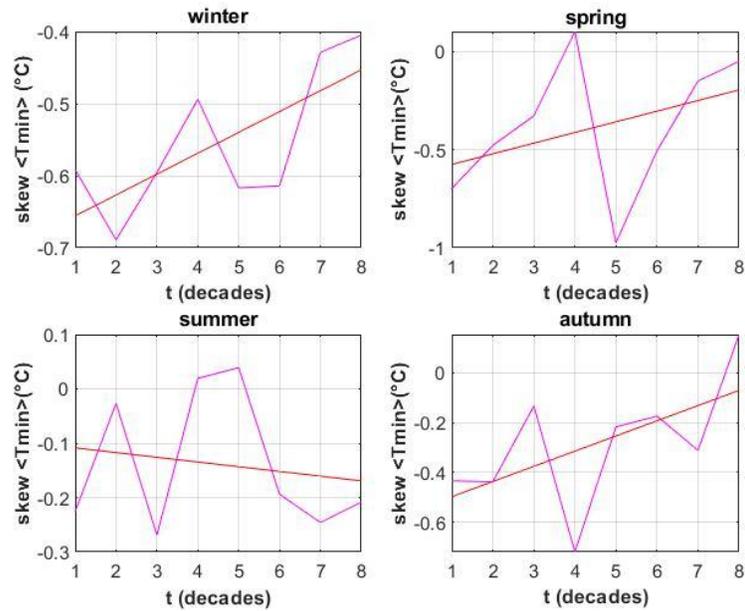
Σχήμα Π1.3. Διαγράμματα τάσεων της τυπικής απόκλισης της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.



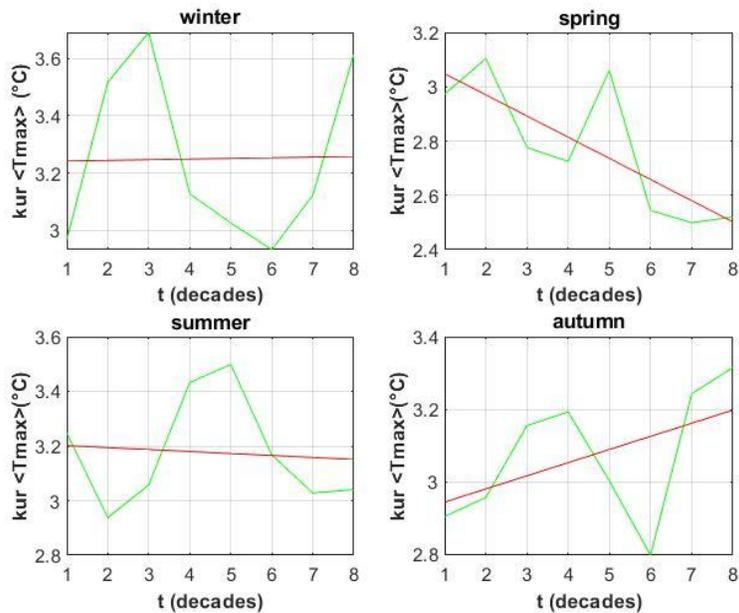
Σχήμα Π1.4. Διαγράμματα τάσεων της τυπικής απόκλισης της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.



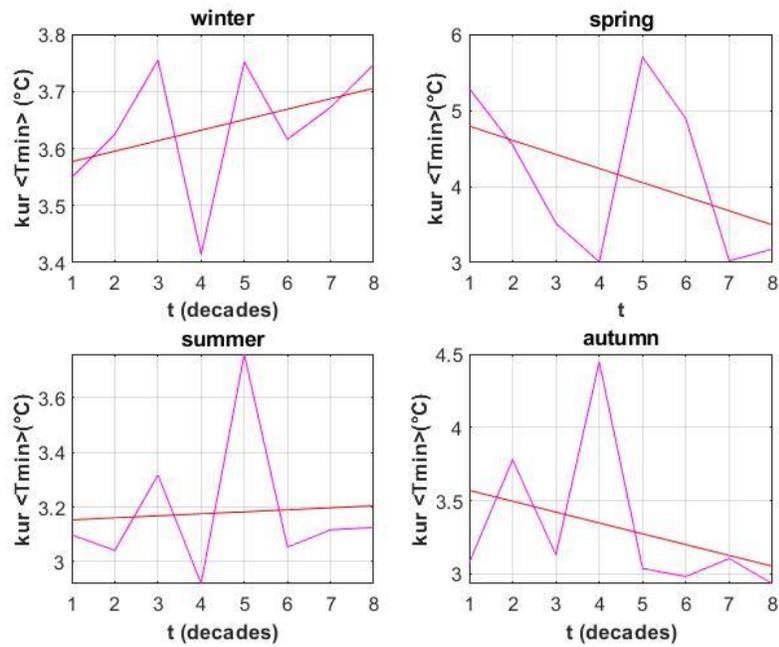
Σχήμα Π1.5. Διαγράμματα τάσεων της λοξότητας της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.



Σχήμα Π1.6. Διαγράμματα τάσεων της λοξότητας της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.



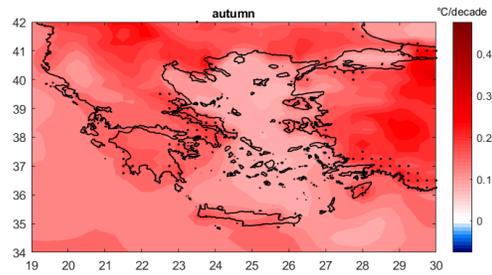
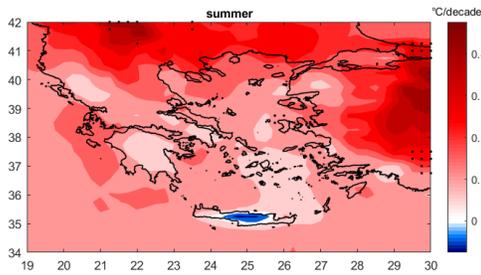
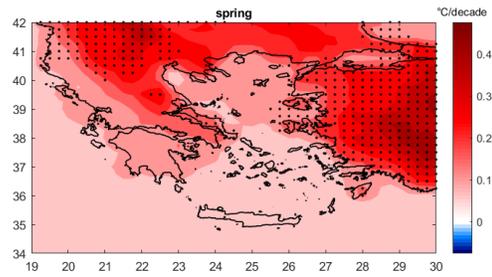
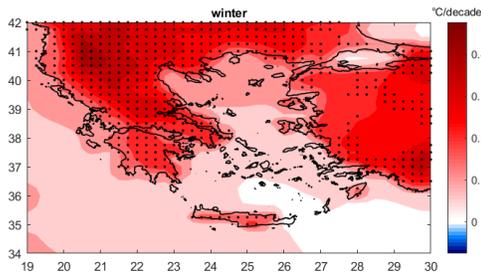
Σχήμα Π1.7. Διαγράμματα τάσεων της κύρτωσης της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.



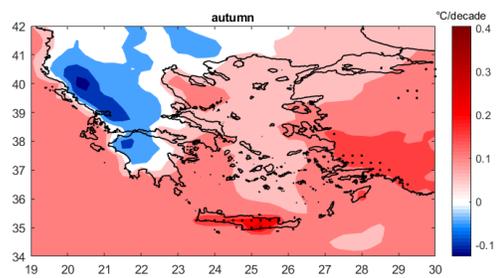
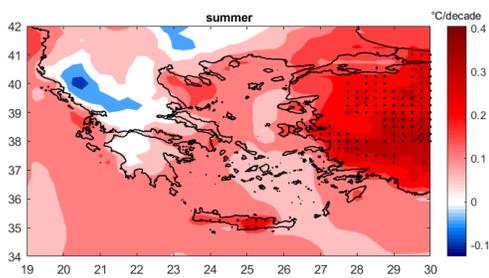
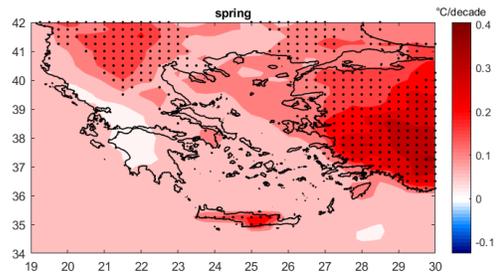
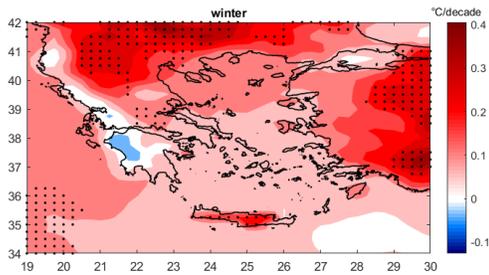
Σχήμα Π1.8. Διαγράμματα τάσεων της κέρπτωσης της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για κάθε εποχή, στα Ιωάννινα, για την περίοδο 1943-2023.

Π.2 Χωρική κατανομή τάσεων στατιστικών παραμέτρων, ακραίων ημερών και ποσοστημορίων για τις T_{\max} και T_{\min} , για την περίοδο 1943-2023 στον Ελλαδικό χώρο

T_{max}

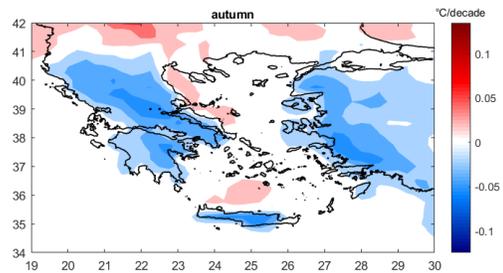
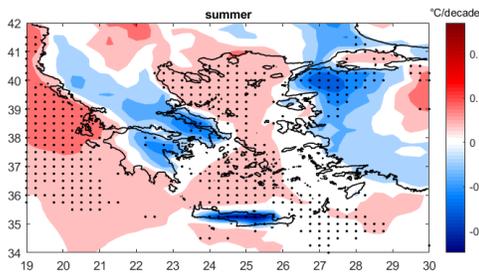
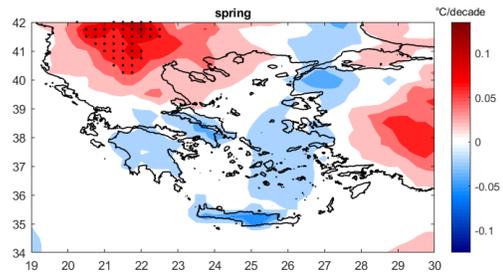
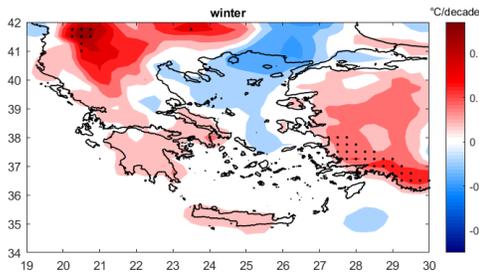


T_{min}

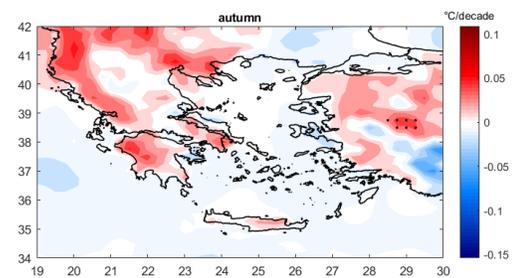
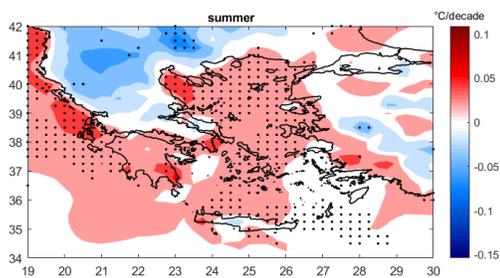
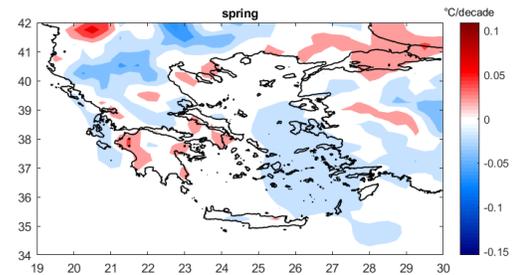
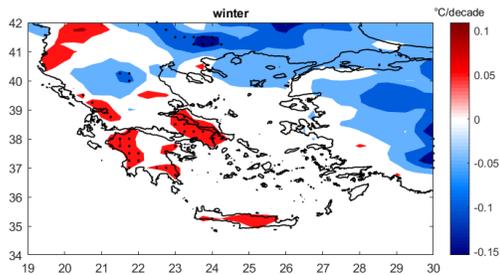


Σχήμα Π2.1. Χωρική κατανομή της τάσης της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την Ελλάδα, για την περίοδο 1943-2023. Τα σημεία με μαύρη επισήμανση αντιπροσωπεύουν τις περιοχές όπου η τάση κρίνεται στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95% σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall.

T_{max}

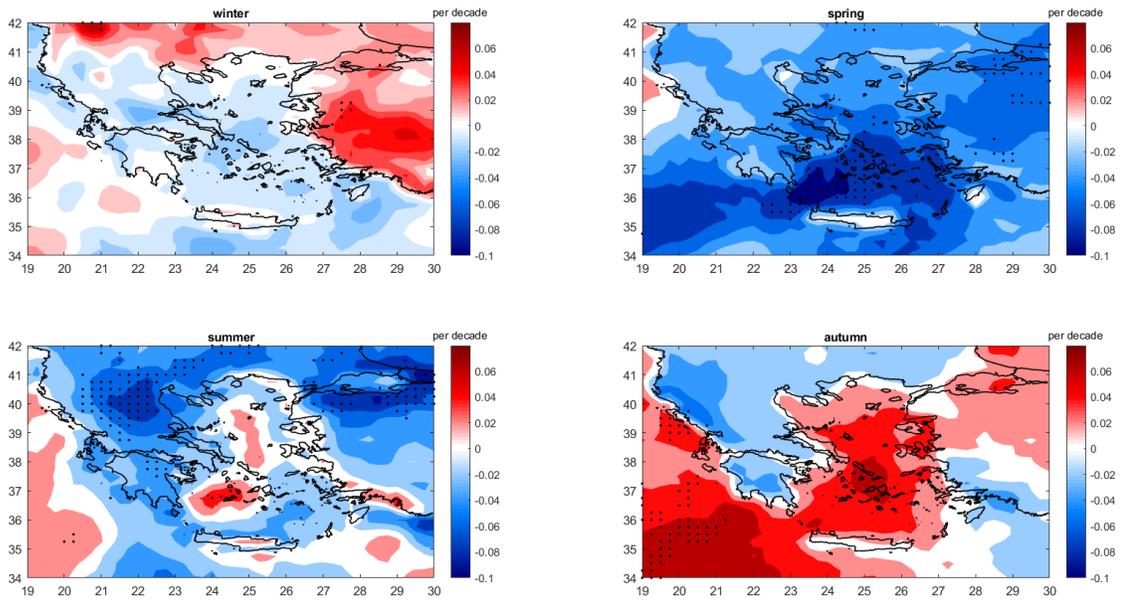


T_{min}

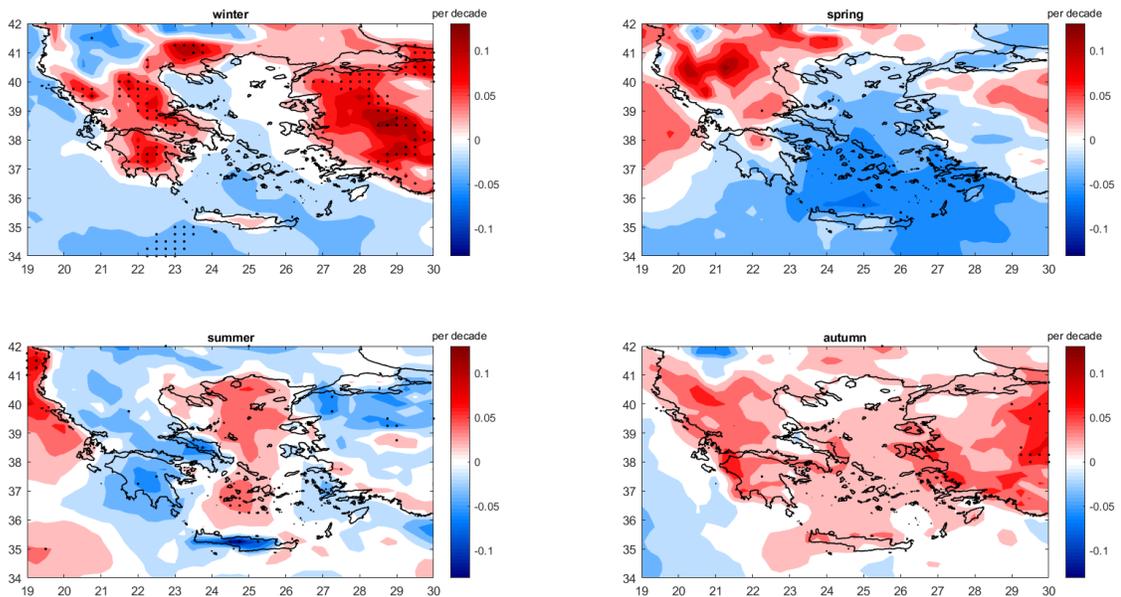


Σχήμα Π2.2. Χωρική κατανομή της τάσης της τοπικής απόκλισης της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την Ελλάδα, για την περίοδο 1943-2023. Τα σημεία με μαύρη επισήμανση αντιπροσωπεύουν τις περιοχές όπου η τάση κρίνεται στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95% σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall.

T_{\max}

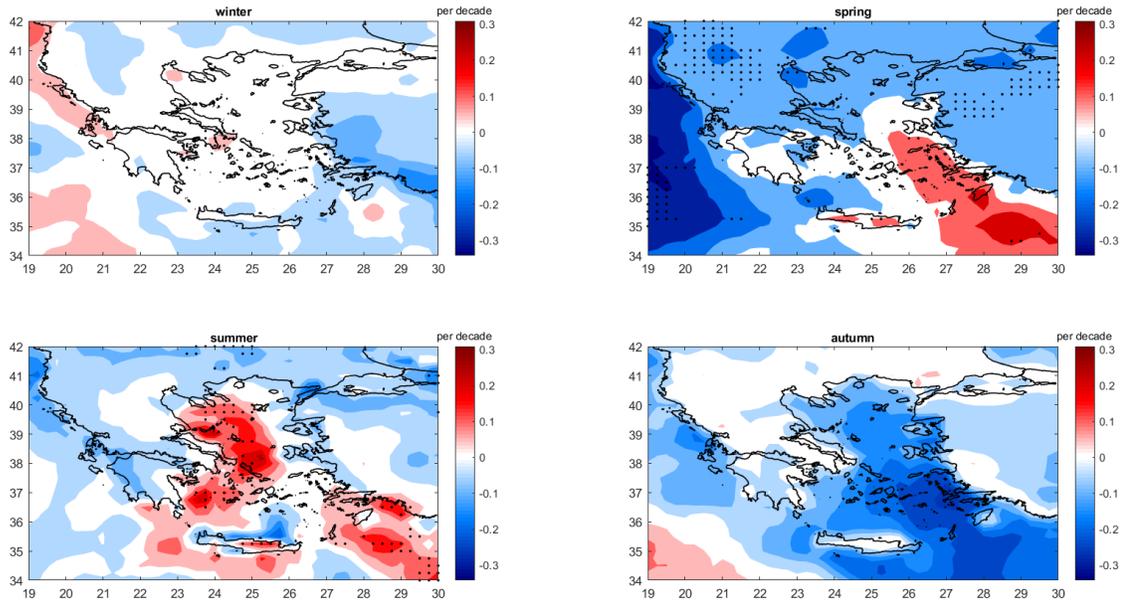


T_{\min}

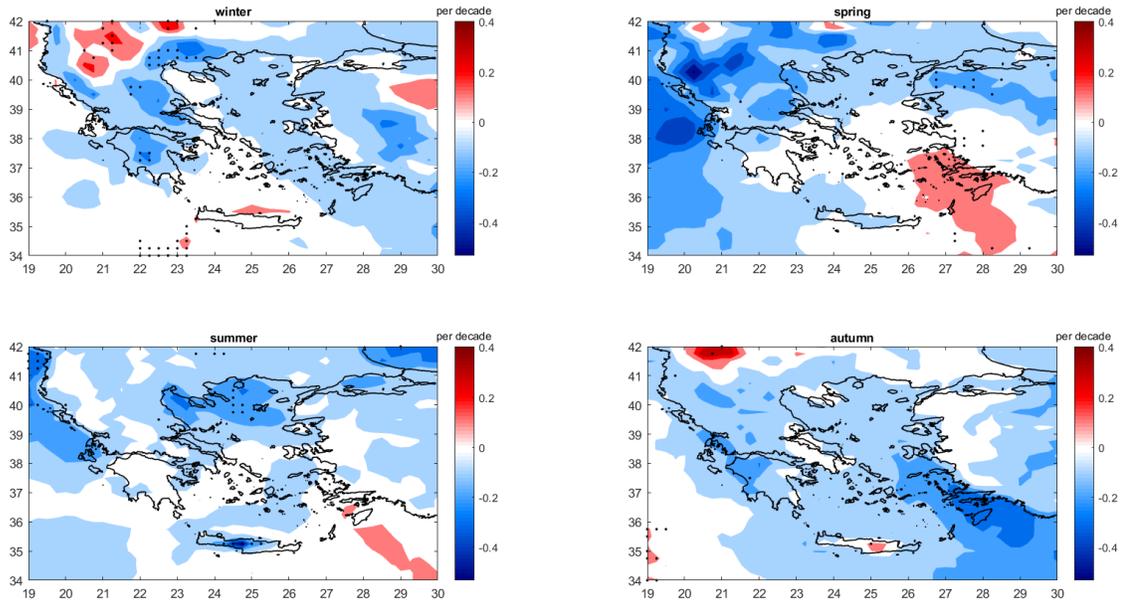


Σχήμα Π2.3. Χωρική κατανομή της τάσης της λοξότητας της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την Ελλάδα, για την περίοδο 1943-2023. Τα σημεία με μαύρη επισήμανση αντιπροσωπεύουν τις περιοχές όπου η τάση κρίνεται στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95% σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall

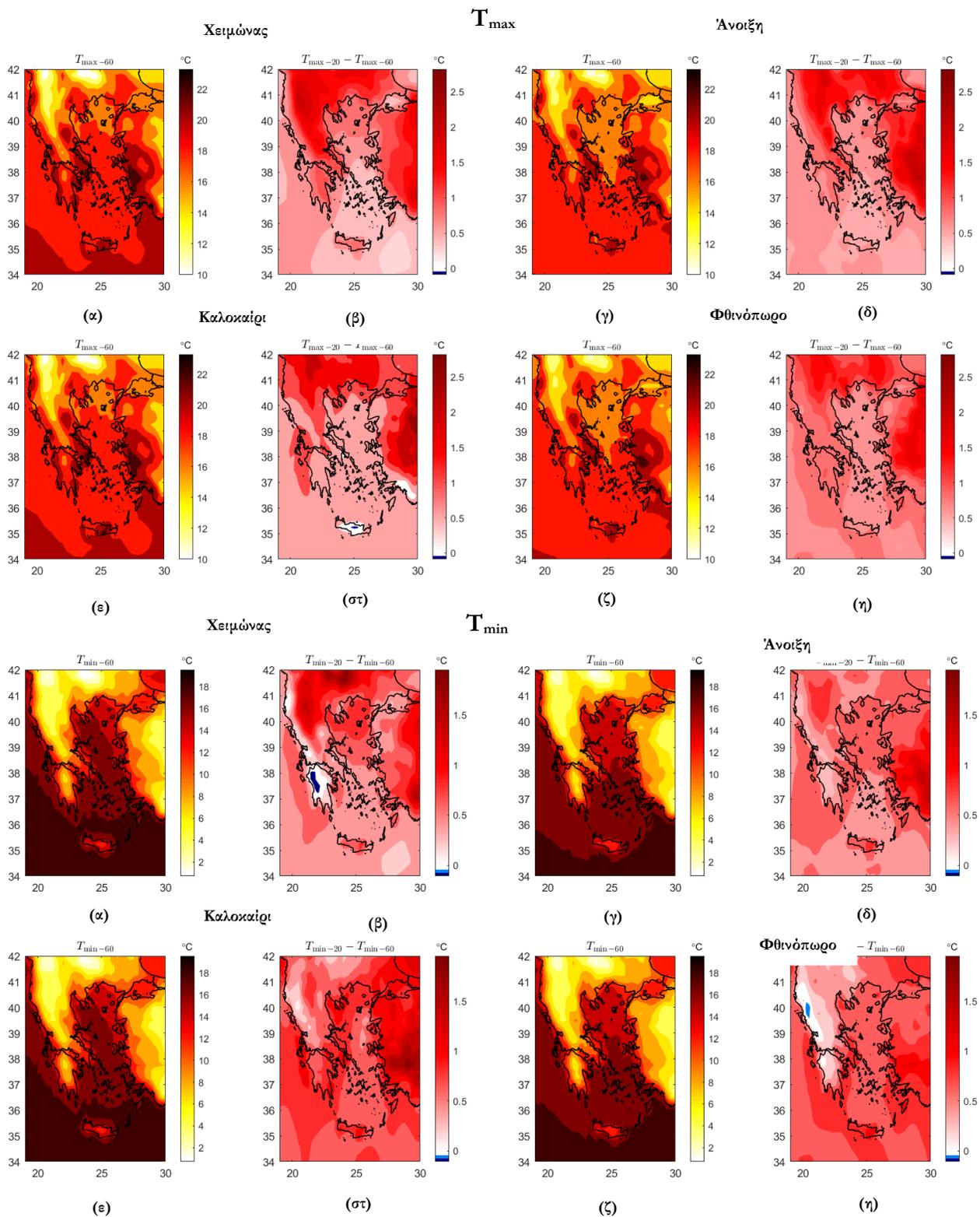
T_{max}



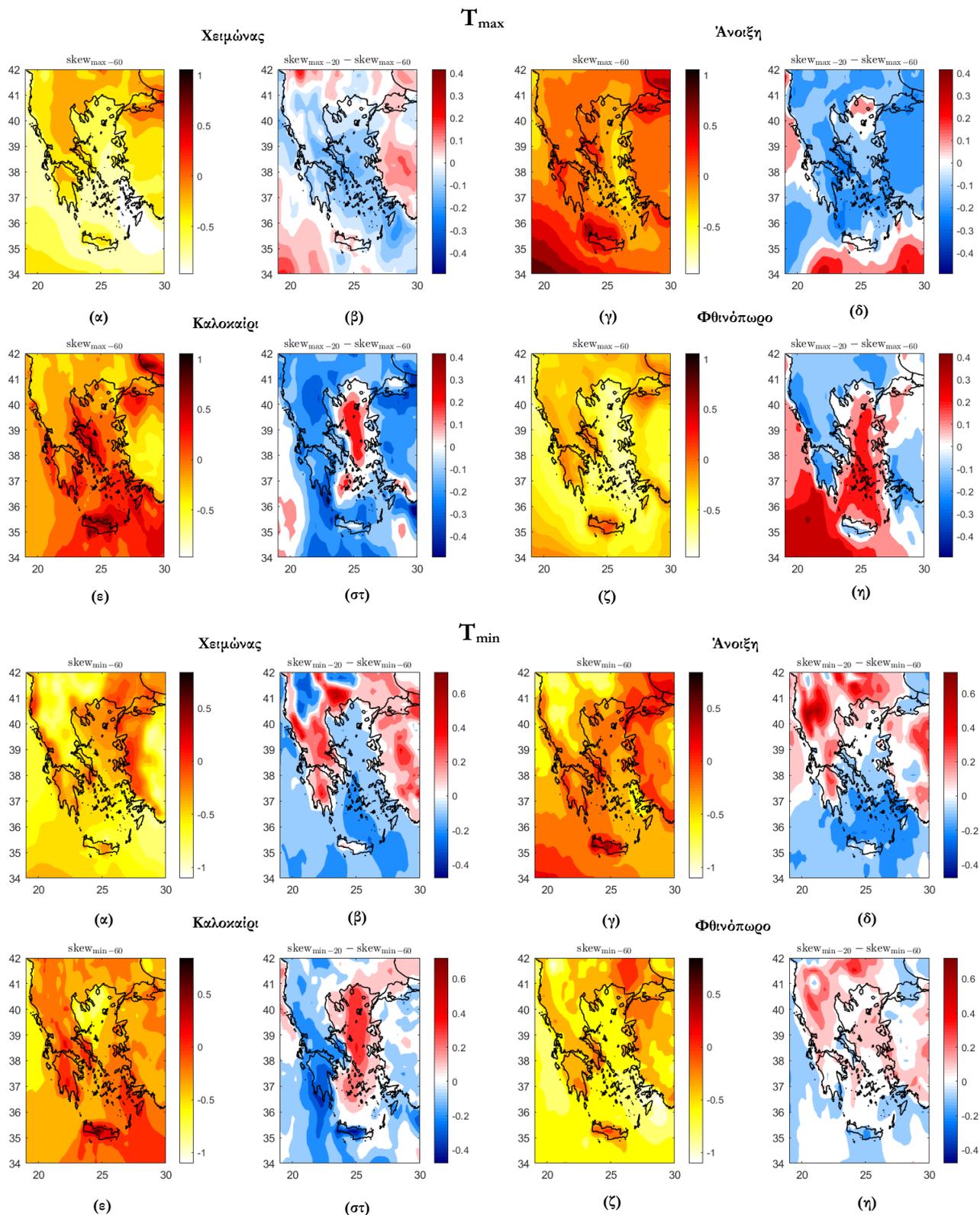
T_{min}



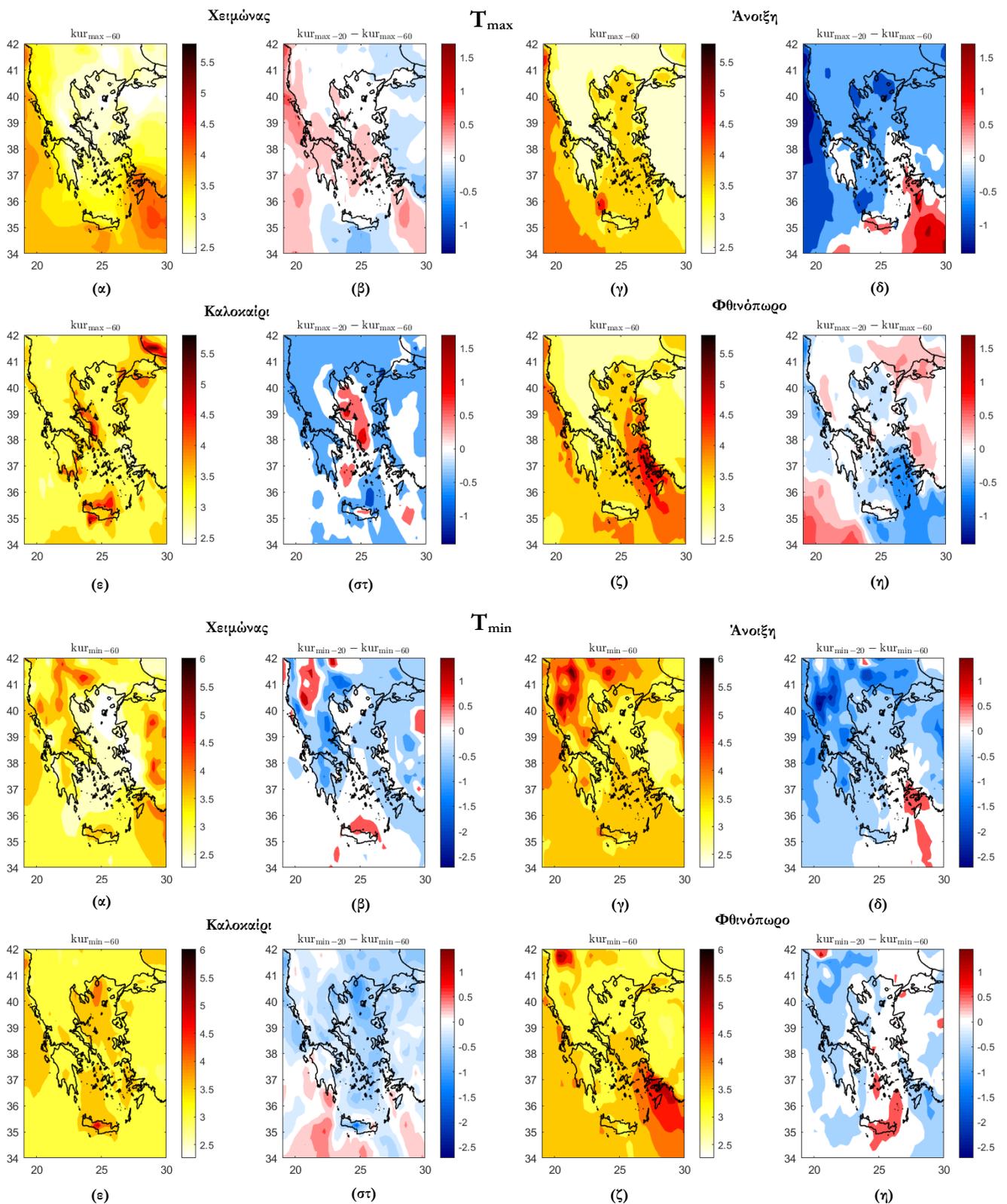
Σχήμα Π2.4. Χωρική κατανομή της τάσης της κέρωσης της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας για την Ελλάδα, για την περίοδο 1943-2023. Τα σημεία με μαύρη επισήμανση αντιπροσωπεύουν τις περιοχές όπου η τάση κρίνεται στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 95% σύμφωνα με το τεστ Mann-Kendall



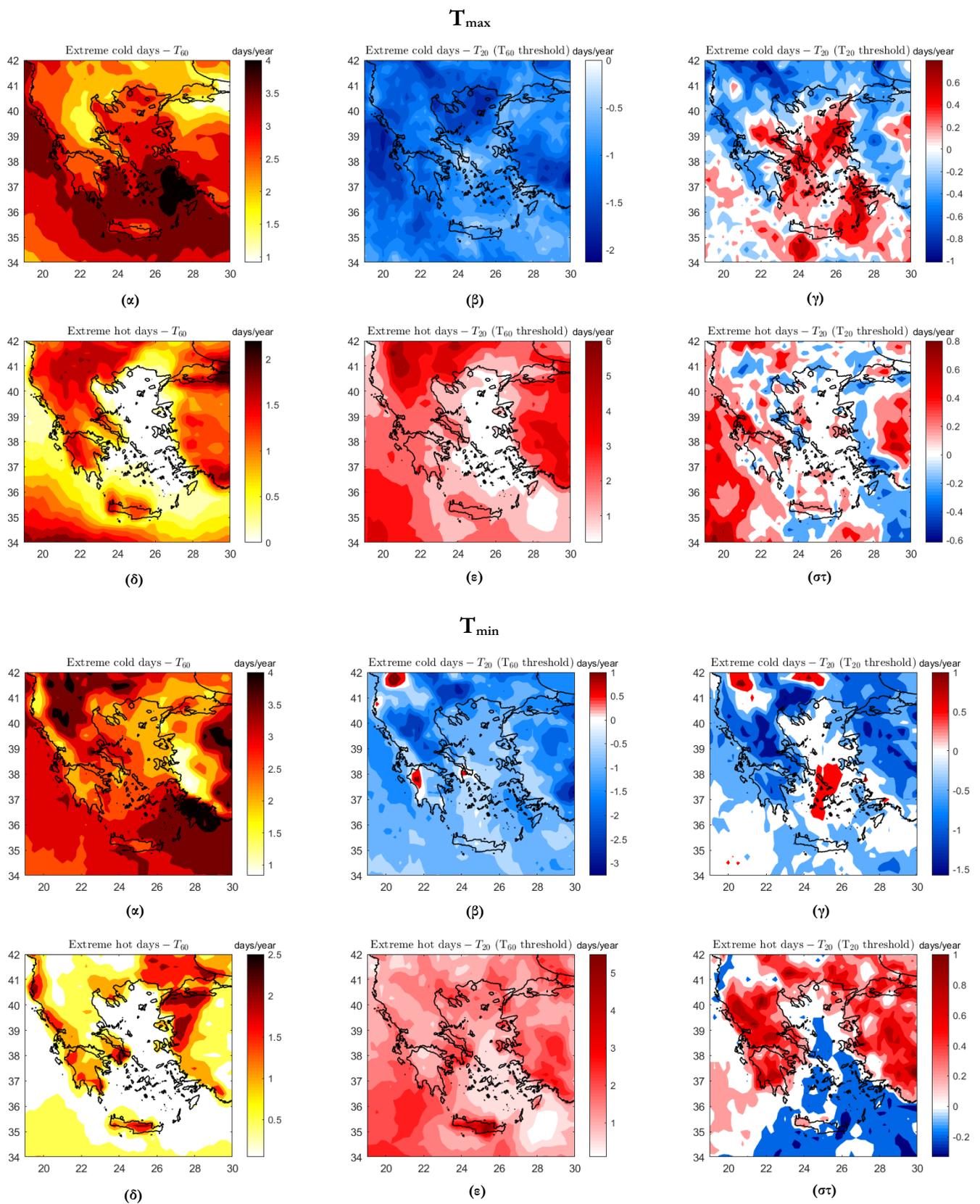
Σχήμα Π2.5. Μέση κλιματολογική τιμή της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας για την κλιματολογία των 60 ετών (α,γ,ε,ζ) και διαφορά αυτής σε σχέση με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου αναφοράς 1943-2023 (β,δ,στ,η), για κάθε εποχή, στην Ελλάδα.



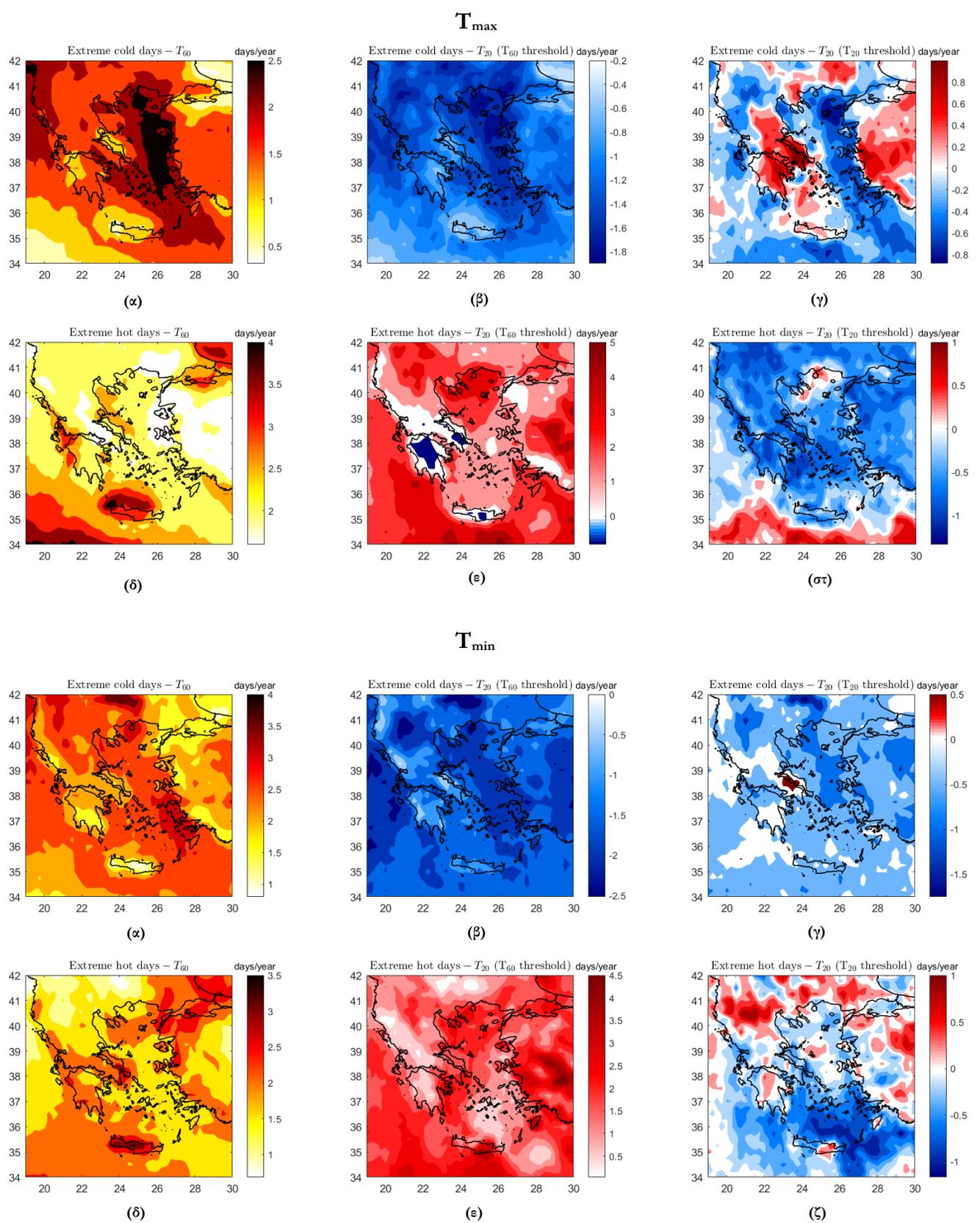
Σχήμα Π12.7. Μέση κλιματολογική τιμή της λοξότητας της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας για την κλιματολογία των 60 ετών (α,γ,ε,ζ) και διαφορά αυτής σε σχέση με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου αναφοράς 1943-2023 (β,δ,στ,η), για κάθε εποχή, στην Ελλάδα.



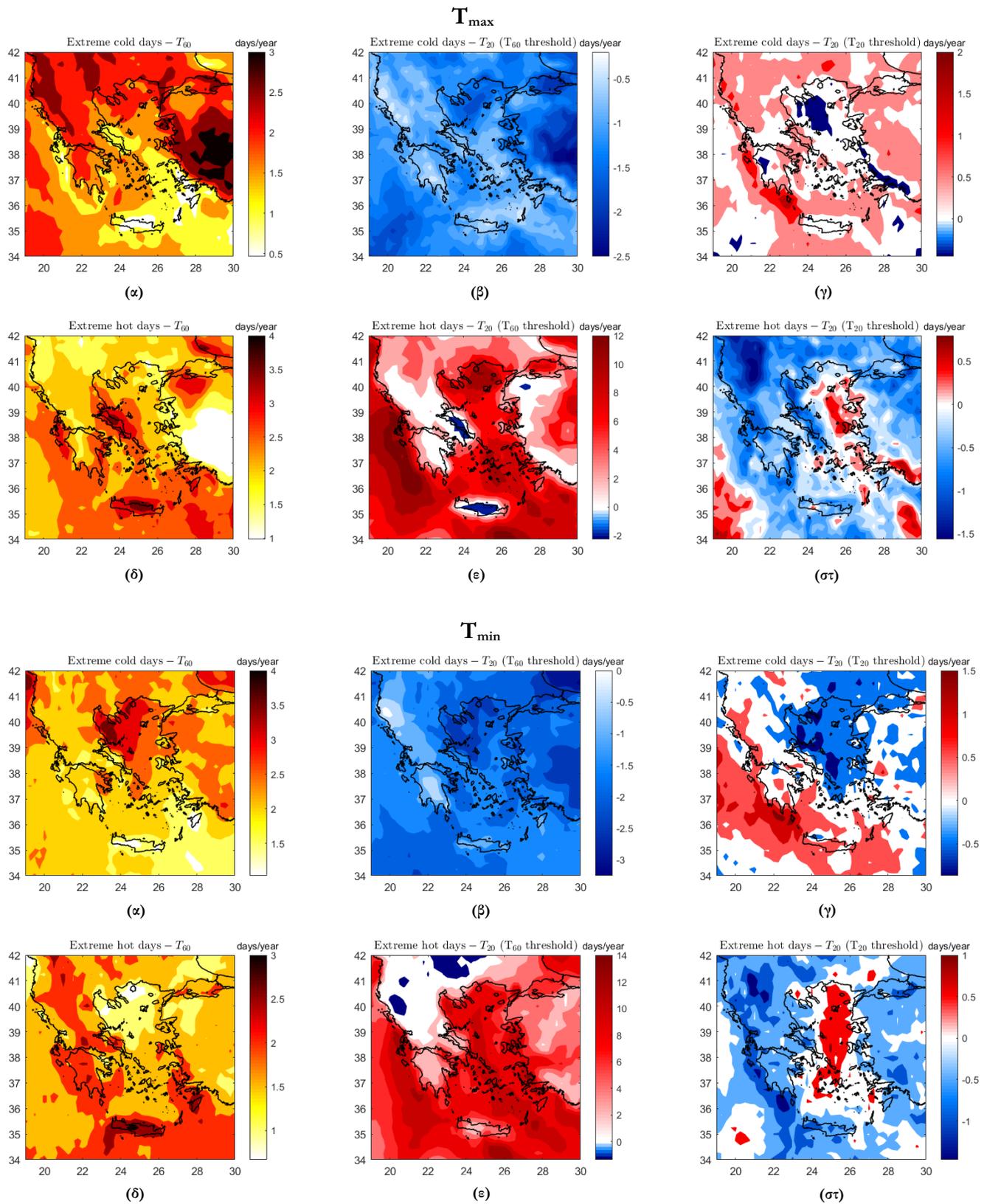
Σχήμα Π2.8. Μέση κλιματολογική τιμή της κύρωσης της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας για την κλιματολογία των 60 ετών (α,γ,ε,ζ) και διαφορά αυτής σε σχέση με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου αναφοράς 1943-2023 (β,δ,στ,η), για κάθε εποχή, στην Ελλάδα.



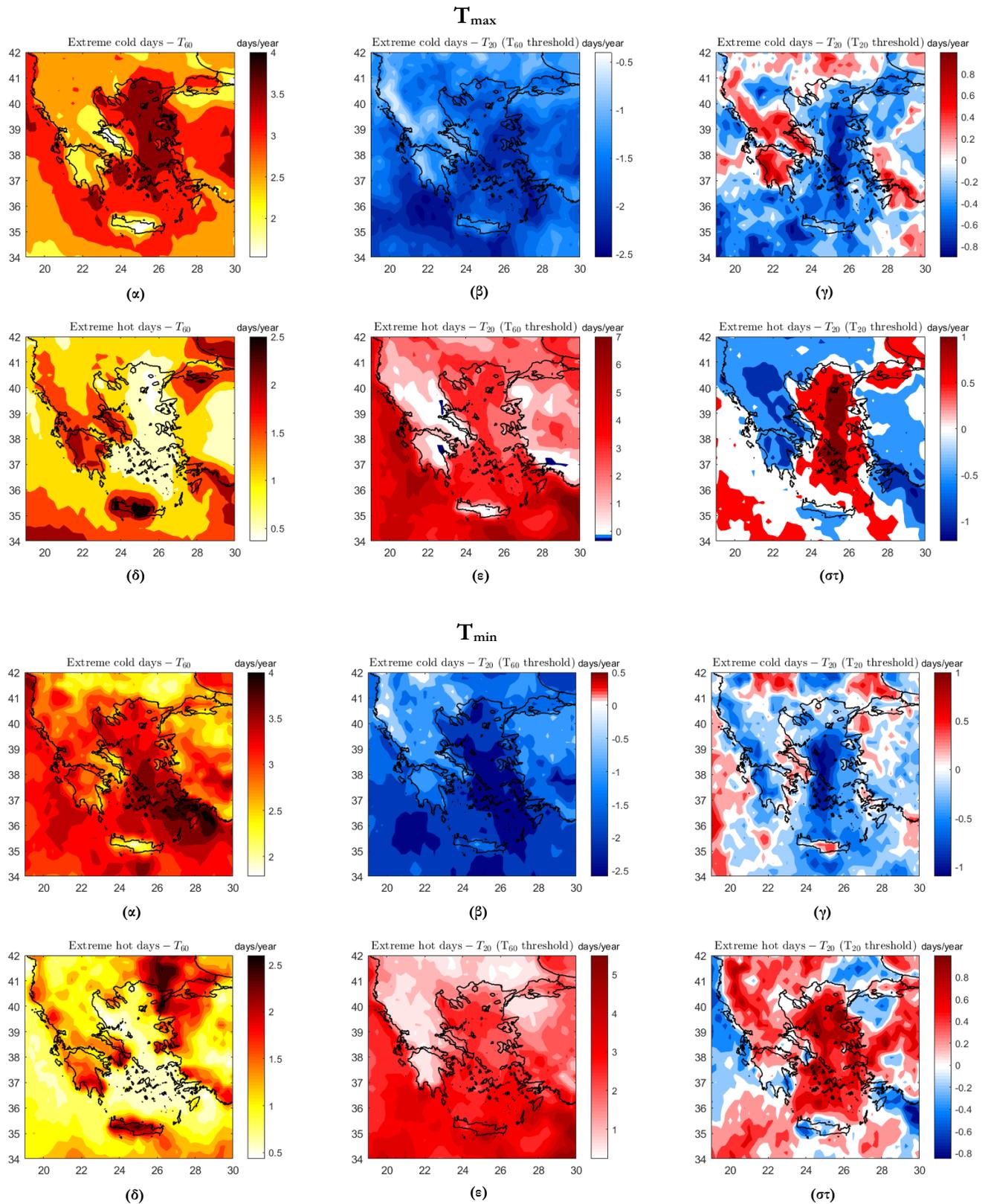
Σχήμα Π2.9. Αριθμός ακραίων θερμών και ψυχρών ημερών της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας για τις κλιματολογίες των 60 ετών (α, δ) και των 20 ετών, στην Ελλάδα, για τον χειμώνα, σε ημέρες/έτος. Στους χάρτες (β),(ε) παρουσιάζονται οι ακραίες ημέρες σχετικά με την κλιματολογία των 60 ετών, ενώ στους χάρτες (γ),(στ) σχετικά με την κλιματολογία των 20 ετών.



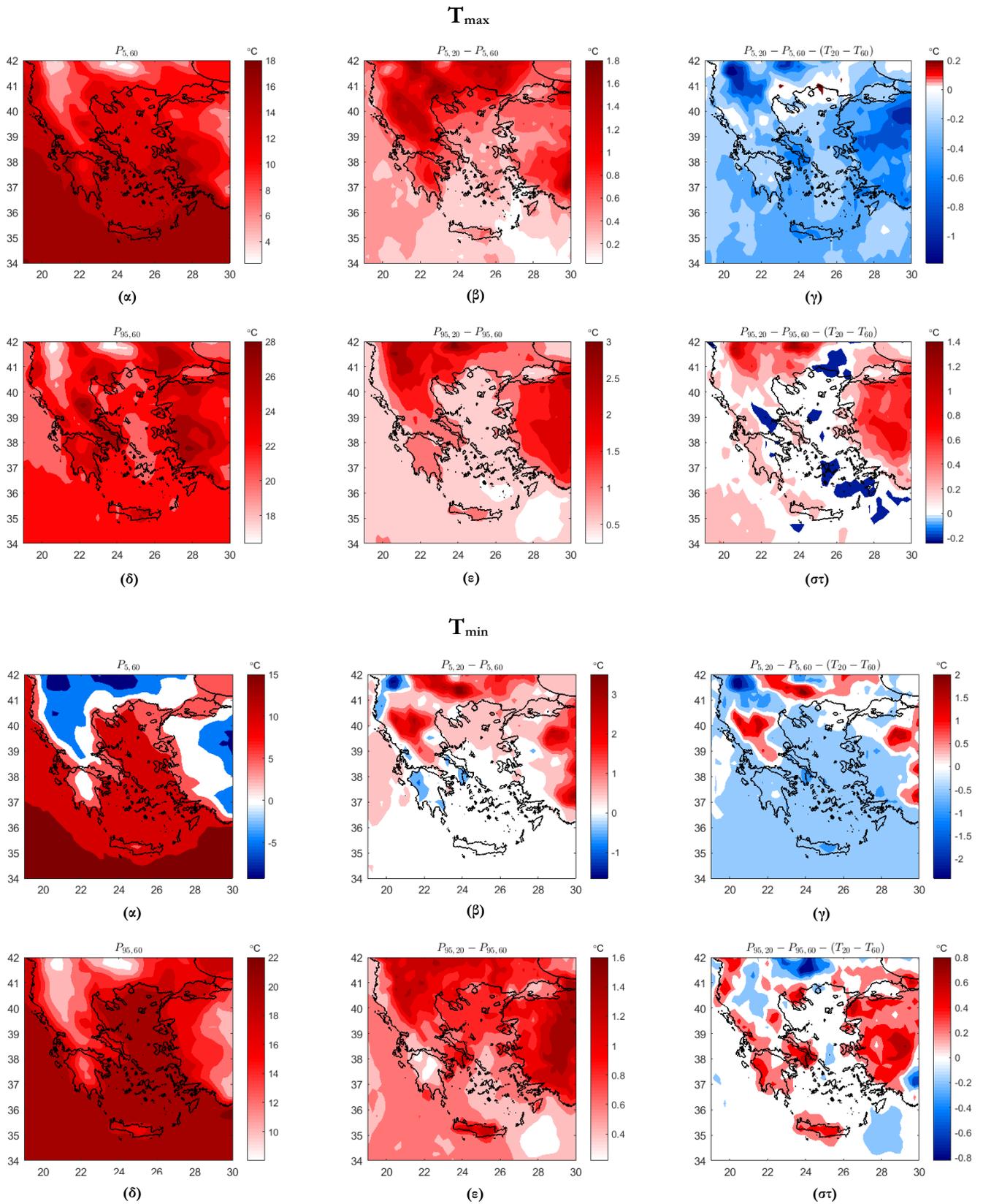
Σχήμα Π2.10. Αριθμός ακραίων θεορών και ψυχρών ημερών της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας για τις κλιματολογίες των 60 ετών (α, δ) και των 20 ετών, στην Ελλάδα, για την άνοιξη, σε ημέρες/έτος. Στους χάρτες (β),(ε) παρουσιάζονται οι ακραίες ημέρες σχετικά με την κλιματολογία των 60 ετών, ενώ στους χάρτες (γ),(σ) σχετικά με την κλιματολογία των 20 ετών.



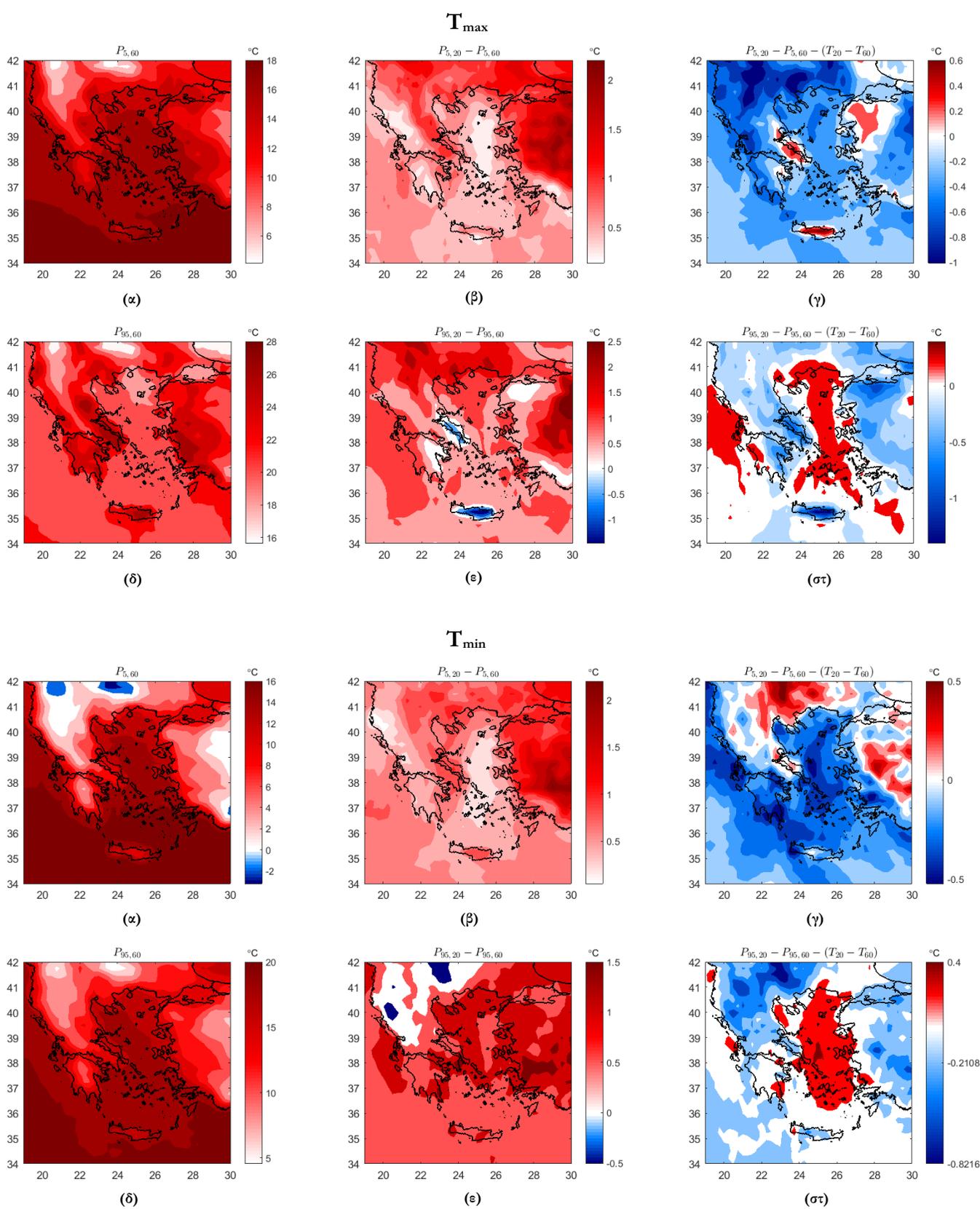
Σχήμα Π2.11. Αριθμός ακραίων θερμών και ψυχρών ημερών της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας για τις κλιματολογίες των 60 ετών (α, δ) και των 20 ετών, στην Ελλάδα, για το καλοκαίρι, σε ημέρες/έτος. Στους χάρτες (β),(ε) παρουσιάζονται οι ακραίες ημέρες σχετικά με την κλιματολογία των 60 ετών, ενώ στους χάρτες (γ),(στ) σχετικά με την κλιματολογία των 20 ετών.



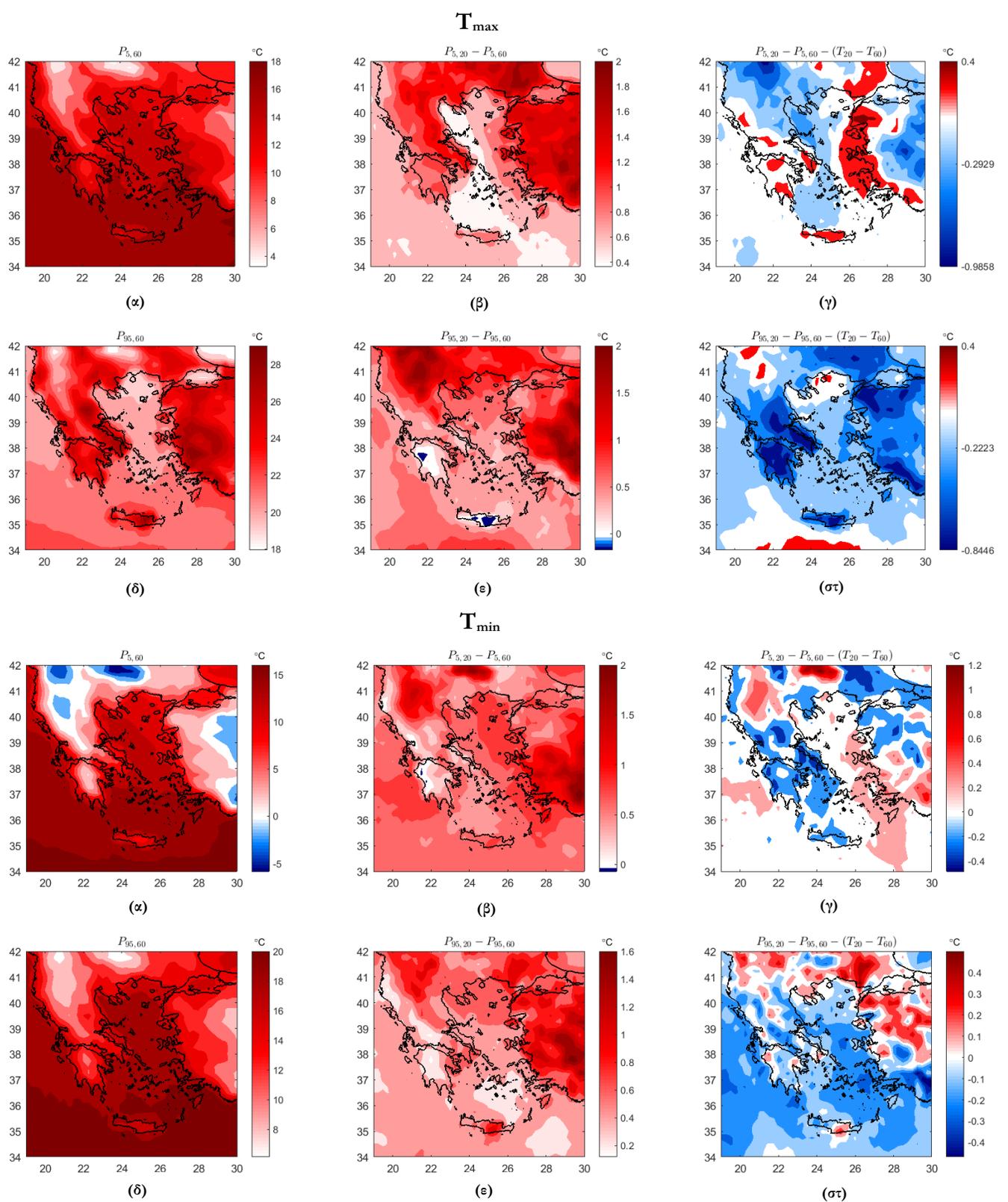
Σχήμα Π2.12. Αριθμός ακραίων θερμών και ψυχρών ημερών της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας για τις κλιματολογίες των 60 ετών (α, δ) και των 20 ετών, στην Ελλάδα, για το φθινόπωρο, σε ημέρες/έτος. Στους χάρτες (β),(ε) παρουσιάζονται οι ακραίες ημέρες σχετικά με την κλιματολογία των 60 ετών, ενώ στους χάρτες (γ),(στ) σχετικά με την κλιματολογία των 20 ετών.



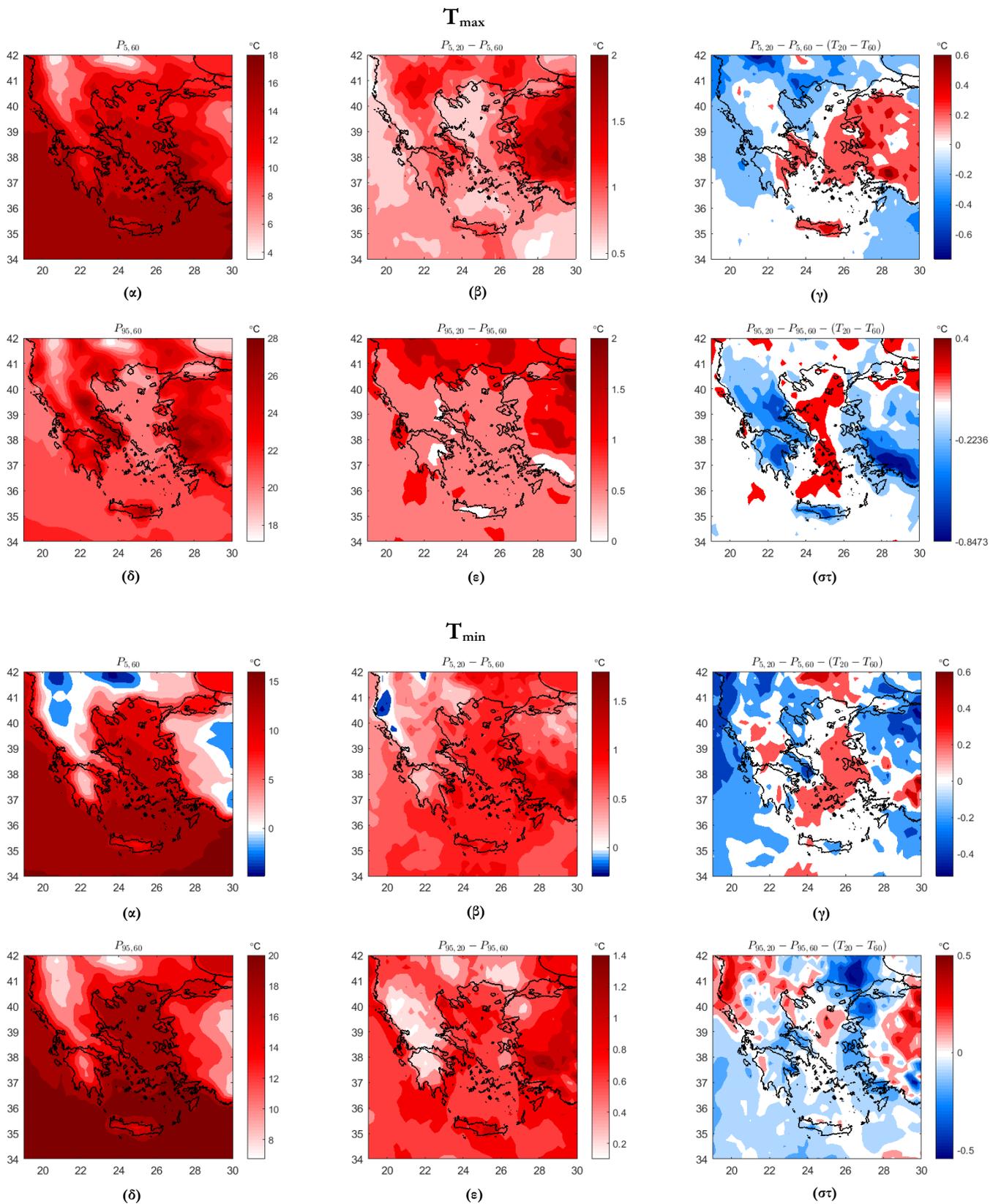
Σχήμα Π2.13. Χάρτες του 5^{ου} και 95^{ου} ποσοστημορίου της κατανομής της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας του χειμώνα στην Ελλάδα για την κλιματολογία των 60 ετών (α, δ) και διαφορά αυτών με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου μελέτης (β, ε). Στους χάρτες (γ),(στ) παρουσιάζεται η διαφορά ως προς την μεταβολή της μέσης τιμής.



Σχήμα Π2.14. Χάρτες του 5^{ου} και 95^{ου} ποσοστημορίου της κατανομής της μέγιστης και ελάχιστης ημερησίας επιφανειακής θερμοκρασίας του θέρους στην Ελλάδα για την κλιματολογία των 60 ετών (α, δ) και διαφορά αυτών με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου μελέτης (β, ε). Στους χάρτες (γ),(στ) παρουσιάζεται η διαφορά ως προς την μεταβολή της μέσης τιμής.



Σχήμα Π2.15. Χάρτες του 5^{ου} και 95^{ου} ποσοστημορίου της κατανομής της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας της άνοιξης στην Ελλάδα για την κλιματολογία των 60 ετών (α, δ) και διαφορά αυτών με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου μελέτης (β, ε). Στους χάρτες (γ), (στ) παρουσιάζεται η διαφορά ως προς την μεταβολή της μέσης τιμής.



Σχήμα Π2.16. Χάρτες του 5^{ου} και 95^{ου} ποσοστημορίου της κατανομής της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης επιφανειακής θερμοκρασίας του φθνοπόρου στην Ελλάδα για την κλιματολογία των 60 ετών (α, δ) και διαφορά αυτών με τα τελευταία 20 έτη της περιόδου μελέτης (β, ε). Στους χάρτες (γ),(στ) παροσιάζεται η διαφορά ως προς την μεταβολή της μέσης τιμής.

Π.3 MATLAB SCRIPT ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας Mann-Kendall

Για την εκτίμηση της ύπαρξης στατιστικά σημαντικής τάσης στις χρονοσειρές, εφαρμόστηκε το τεστ Mann-Kendall, το οποίο αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μη παραμετρικές μεθόδους και χρησιμοποιείται ευρέως σε περιβαλλοντικές και υδρολογικές μελέτες. Η μέθοδος αυτή προτάθηκε αρχικά από τον Henry B. Mann (Mann, 1945) και αργότερα επεκτάθηκε και αναλύθηκε από τον Maurice G. Kendall (Kendall, 1975), ο οποίος ανέπτυξε τις μεθόδους κατάταξης (rank correlation methods), οι οποίες αποτελούν την βάση του τεστ.

Συγκεκριμένα, ο Mann εισήγαγε τη μη παραμετρική προσέγγιση για την τυχαιότητα έναντι της τάσης, που βασίζεται στην σύγκριση ζευγών παρατηρήσεων για την ανίχνευση τάσεων, χωρίς την απαίτηση τα δεδομένα να είναι γραμμικά ή να ακολουθούν κανονική κατανομή (Mann, 1945), ενώ ο Kendall ανέπτυξε τον συντελεστή κατάταξης τ ο οποίος μετρά τη μονοτονική συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του στατιστικού δείκτη του Mann-Kendall τεστ (Kendall, 1975).

Σύμφωνα με τον Mann, η μηδενική υπόθεση τυχαιότητας H_0 δηλώνει ότι τα δεδομένα είναι ένα δείγμα n ανεξάρτητων και πανομοιότυπα κατανεμημένων μεταβλητών. Το στατιστικό ελέγχου S αποτελεί τον πυρήνα του τεστ Mann-Kendall και υπολογίζεται ως το άθροισμα των διαφορών μεταξύ όλων των ζευγών παρατηρήσεων της χρονοσειράς:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2.4)$$

όπου x_j , x_k είναι οι τιμές της χρονοσειράς, n το πλήθος των δεδομένων και sgn η συνάρτηση πρόσημου η οποία παίρνει τιμές $+1$, 0 , -1 ανάλογα με το αν η διαφορά είναι θετική, μηδενική ή αρνητική αντίστοιχα (Hirsch et al., 1982). Το S μετρά τον αριθμό των αυξήσεων μείον τον αριθμό των μειώσεων των ζευγών τιμών και έτσι δείχνει εάν υπάρχει τάση αύξησης ή μείωσης στην χρονοσειρά. Η διακύμανση του S δίνεται από την εξίσωση:

$$\text{Var}S = n(n-1)(2n+5) \quad (2.5)$$

Αντί του S μπορεί ομοίως να χρησιμοποιηθεί και η παράμετρος Z .

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VarS}} , & S > 0 \\ 0 , & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VarS}} , & S < 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

Αυτή αποτελεί ένα τυποποιημένο στατιστικό μέγεθος που προκύπτει από το S και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της στατιστικής σημαντικότητας της τάσης. Επομένως για $S > 0$ η τάση είναι ανοδική, για $S < 0$ η τάση είναι καθοδική ενώ για $S = 0$ δεν υπάρχει τάση. Για να δειχθεί αν το αποτέλεσμα του ελέγχου είναι στατιστικά σημαντικό, δηλαδή αν η παρατηρούμενη τάση στην χρονοσειρά θα μπορούσε να προκύψει τυχαία υπό την μηδενική υπόθεση, χρησιμοποιήθηκε η p -value, η οποία εκφράζει την πιθανότητα να παρατηρηθεί τιμή του στατιστικού ελέγχου εξίσου ή περισσότερο ακραία της παρατηρούμενης τιμής (Helsel et al., 2002). Η p -value μπορεί να δοθεί και ως:

$$p - value = 2(1 - \Phi(|Z|)) \quad (2.7)$$

όπου Φ είναι αθροιστική συνάρτηση κατανομής της κανονικής κατανομής $N(0,1)$. Σε περίπτωση που η p -value είναι μικρότερη από ένα, επίπεδο σημαντικότητας το οποίο τίθεται για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης, θεωρείται πως υπάρχει στατιστική σημαντικότητα και η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται (Helsel et al., 2002). Για τον έλεγχο των στατιστικά σημαντικών τάσεων χρησιμοποιήθηκε το επίπεδο του 0.05, όπου για p -value < 0.05 η τάση θεωρείται στατιστικά σημαντική ενώ για p -value > 0.05 όχι. Για την αυτόματη αξιολόγηση των τάσεων με την χρήση του Mann-Kendall τεστ και της p -value χρησιμοποιήθηκε το προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB.

Για την μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία του χειμώνα αλλά και την λοξότητα της T_{\max} του θέρους και την κύρτωση της T_{\max} της άνοιξης ομοίως παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές τάσεις με p -values = 0.001, 0.001 και 0.03 αντίστοιχα (Σχήματα Π1.1, Π1.5 και Π1.7), ενώ για την μέση T_{\min} δεν βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική τάση.

Mann-Kendall test

```
function[h,p,S,Z]=mann_kendall(x)
%x: χρονοσειρα δεδομενων
%b: b=1 ταση σημαντικη, b=0 ταση οχι σημαντικη
%p:p-value
%S: η στατιστικη του mann_kendall
%Z: Z-score τιμη

n=length(x);
S=0;
for ii=1:(n-1)
    for jj=(ii+1):n
        S=S+sign(x(jj)-x(ii));
    end
end

varS=(n*(n-1)*(2*n+5))/18;

if S>0
    Z=(S-1)/sqrt(varS);
elseif S<0
    Z=(S+1)/sqrt(varS);
else
    Z=0;
end

p=2*(1-normcdf(abs(Z)));

alpha=0.05;
b=abs(Z)>norminv(1-alpha/2);
end
```

Blue-White-Red color map

```
function newmap = bluenwhitered(m)
%BLUEWHITERED Blue, white, and red color map.
% BLUEWHITERED(M) returns an M-by-3 matrix containing a blue to white
% to red colormap, with white corresponding to the CAXIS value closest
% to zero. This colormap is most useful for images and surface plots
% with positive and negative values. BLUEWHITERED, by itself, is the
% same length as the current colormap.
%
% Examples:
% -----
% figure
% imagesc(peaks(250));
% colormap(bluenwhitered(256)), colorbar
%
% figure
% imagesc(peaks(250), [0 8])
% colormap(bluenwhitered), colorbar
%
% figure
% imagesc(peaks(250), [-6 0])
% colormap(bluenwhitered), colorbar
%
% figure
% surf(peaks)
% colormap(bluenwhitered)
% axis tight
%
% See also HSV, HOT, COOL, BONE, COPPER, PINK, FLAG,
% COLORMAP, RGBPLOT.
if nargin < 1
    m = size(get(gcf,'colormap'),1);
end
bottom = [0 0 0.5];
botmiddle = [0 0.5 1];
middle = [1 1 1];
topmiddle = [1 0 0];
top = [0.5 0 0];
% Find middle
lims = get(gca, 'CLim');
% Find ratio of negative to positive
```

```

if (lims(1) < 0) && (lims(2) > 0)
    % It has both negative and positive
    % Find ratio of negative to positive
    ratio = abs(lims(1)) / (abs(lims(1)) + lims(2));
    neglen = round(m*ratio);
    poslen = m - neglen;

    % Just negative
    new = [bottom; botmiddle; middle];
    len = length(new);
    oldsteps = linspace(0, 1, len);
    newsteps = linspace(0, 1, neglen);
    newmap1 = zeros(neglen, 3);

    for i=1:3
        % Interpolate over RGB spaces of colormap
        newmap1(:,i) = min(max(interp1(oldsteps, new(:,i), newsteps)', 0), 1);
    end

    % Just positive
    new = [middle; topmiddle; top];
    len = length(new);
    oldsteps = linspace(0, 1, len);
    newsteps = linspace(0, 1, poslen);
    newmap = zeros(poslen, 3);

    for i=1:3
        % Interpolate over RGB spaces of colormap
        newmap(:,i) = min(max(interp1(oldsteps, new(:,i), newsteps)', 0), 1);
    end

    % And put 'em together
    newmap = [newmap1; newmap];

elseif lims(1) >= 0
    % Just positive
    new = [middle; topmiddle; top];
    len = length(new);
    oldsteps = linspace(0, 1, len);
    newsteps = linspace(0, 1, m);
    newmap = zeros(m, 3);

    for i=1:3

```

```

        % Interpolate over RGB spaces of colormap
        newmap(:,i) = min(max(interp1(oldsteps, new(:,i), newsteps)', 0), 1);
    end

else
    % Just negative
    new = [bottom; botmiddle; middle];
    len = length(new);
    oldsteps = linspace(0, 1, len);
    newsteps = linspace(0, 1, m);
    newmap = zeros(m, 3);

    for i=1:3
        % Interpolate over RGB spaces of colormap
        newmap(:,i) = min(max(interp1(oldsteps, new(:,i), newsteps)', 0), 1);
    end

end

%
% m = 64;
% new = [bottom; botmiddle; middle; topmiddle; top];
% % x = 1:m;
%
% oldsteps = linspace(0, 1, 5);
% newsteps = linspace(0, 1, m);
% newmap = zeros(m, 3);
%
% for i=1:3
%     % Interpolate over RGB spaces of colormap
%     newmap(:,i) = min(max(interp1(oldsteps, new(:,i), newsteps)', 0), 1);
% end
%
% % set(gcf, 'colormap', newmap), colorbar

```

Script for drawing maps of extreme days

```

function mmap=drawmapofdays(b1,b2,b3,a1,a2,a3);
global lon lat
latLimits = [34, 42]; % Γεωγραφικά πλάτη
lonLimits = [19, 30]; % Γεωγραφικά μήκη

```

```

coastFile          =          'C:\Users\30697\Desktop\Thesis\1944-2023
total\GSHHS_sbp\b\GSHHS_b_L1.sbp';
S = shaperead(coastFile, 'UseGeoCoords', true, 'BoundingBox', [lonLimits(1), latLimits(1);
lonLimits(2), latLimits(2)]);
ax(1)=subplot(231);contourf(lon,lat,b1/60,'LineStyle','none');colormap(ax(1),flipud(hot));cb1 =
colorbar;
title(cb1, 'days/year');title(ax(1), '$\mathrm{Extreme\ cold\ days} - T_{60}$', 'Interpreter',
'latex');hold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;hold
off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(2)=subplot(232);contourf(lon,lat,b2/20-
b1/60,'LineStyle','none');colormap(ax(2),bluwhitered);cb1 = colorbar;
title(cb1, 'days/year'); title(ax(2), '$\mathrm{Extreme\ cold\ days} - T_{20}\
\mathrm{(T_{60}\ threshold)}$', 'Interpreter', 'latex');hold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon,
S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(3)=subplot(233);contourf(lon,lat,b3/20-
b1/60,'LineStyle','none');colormap(ax(3),bluwhitered);cb1 = colorbar;
title(cb1, 'days/year'); title(ax(3), '$\mathrm{Extreme\ cold\ days} - T_{20}\
\mathrm{(T_{20}\ threshold)}$', 'Interpreter', 'latex');hold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon,
S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
%if max(b3(:)/20-b1(:)/60)<0;
% colormap(ax(3),flipud(cool));
% else;
% colormap(ax(3),bluwhitered);
%end;
colorbar;
ax(4)=subplot(234);contourf(lon,lat,a1/60,'LineStyle','none');colormap(ax(4),flipud(hot));cb1 =
colorbar;
title(cb1, 'days/year');title(ax(4), '$\mathrm{Extreme\ hot\ days} - T_{60}$', 'Interpreter',
'latex');hold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(5)=subplot(235);contourf(lon,lat,a2/20-
a1/60,'LineStyle','none');colormap(ax(5),bluwhitered);cb1 = colorbar;
title(cb1, 'days/year');title(ax(5), '$\mathrm{Extreme\ hot\ days} - T_{20}\
\mathrm{(T_{60}\ threshold)}$', 'Interpreter', 'latex');hold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon,
S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(6)=subplot(236);contourf(lon,lat,a3/20-
a1/60,'LineStyle','none');colormap(ax(6),bluwhitered);cb1 = colorbar;

```

```

title(cb1, 'days/year');title(ax(6), '$\mathrm{Extreme}\ hot\ days} - T_{20}\ \backslash\mathrm{threshold}\}$', 'Interpreter','latex');bold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
%if min(a3(:)/20-a1(:)/60)>0;
% colormap(ax(6),flipud(bot));
% else;
% colormap(ax(6),bluwhitered);
%end;
colorbar
mmap=1;

```

Script for Greece

```

clear all;
global lat lon
% Greece
% T0=ncread('cc54fb13f8d24fc49d67ebb1b8953a49.nc','t2m'); %december 1943
% T1=ncread('4b696c399b158c243567aa2001976d95.nc','t2m');
% T2=ncread('a025ae41341fca3d4f19f3b5d24f8040.nc','t2m');
% T3=ncread('f452b453705faec931da19f4a9e286d2.nc','t2m');
% T4=ncread('ee2091a2d86e6c8131f4f81d72776cb.nc','t2m');
% T5=ncread('5925d58eccd5ffc5b7c759ef13735a85.nc','t2m');
% T6=ncread('6eba6a00232d4220a2104163320f773.nc','t2m');
% T7=ncread('bbafa120ae34bb964a79c42b397e80e2.nc','t2m');
% T8=ncread('c4ee4108469a2d871746a2e9ceb8c7f8.nc','t2m');

% meanT=zeros(45,33,29220);
% maxT=zeros(45,33,29220);
% minT=zeros(45,33,29220);
%
%
% for ix=1:45
%     for iy=1:33;
%         iy
%         ix

T=[squeeze(T0(ix,iy,:));squeeze(T1(ix,iy,:));squeeze(T2(ix,iy,:));squeeze(T3(ix,iy,:));squeeze(T4(i
x,iy,:));squeeze(T5(ix,iy,:));squeeze(T6(ix,iy,:));squeeze(T7(ix,iy,:));squeeze(T8(ix,iy,1:86904))];
%     T=T-273.15;
%     t=1:length(T)/24;

```

```

%
%      for it=1:length(T)/24;
%      meanT(ix, iy, it)=mean(T(24*(it-1)+1:24*it));           %μέση ημερήσια
%      θερμοκρασία σε C
%      maxT(ix, iy, it)=max(T(24*(it-1)+1:24*it));           %μεγιστη ημερησια
%      θερμοκρασια >>
%      minT(ix, iy, it)=min(T(24*(it-1)+1:24*it));           %ελάχιστη ημερήσια
%      θερμοκρασία >>
%      end;
%  end;
%  end;
%  end;

load('meanT.mat','meanT');
load('maxT.mat','maxT');
load('minT.mat','minT');

t=1:29220;
N=length(t);
omega=(2.*pi./t(N)).*[0:1:N./2-1 -N./2:1:-1];
ij=sqrt(-1);
distom=abs(omega-2*pi/365);
[in,im]=min(distom);

%συμπεριληψη δισεκτων ετων
leapy=ones(1,80)*90;
for ileap=1:20;
    leapy(4*ileap)=91;
end;

leapyd=cumsum([0 leapy+275]);

nd=1; %nd=1 2 4

t_s=1:1:92*10*nd;
t_a=1:1:91*10*nd;

for ix=1:45;
    for iy=1:33;
        mean_T=squeeze(meanT(ix, iy, :));
        max_T=squeeze(maxT(ix, iy, :));
        min_T=squeeze(minT(ix, iy, :));
        Tf_mean=fft(mean_T);
    end
end

```

$Tf_max = \text{fft}(max_T);$

$Tf_min = \text{fft}(min_T);$

$Tann_mean = 2 * \text{real}(Tf_mean(im) * \exp(ij * \omega(im) * t)) / N;$

$Tann_max = 2 * \text{real}(Tf_max(im) * \exp(ij * \omega(im) * t)) / N;$

$Tann_min = 2 * \text{real}(Tf_min(im) * \exp(ij * \omega(im) * t)) / N;$

$mean_T_n = mean_T' - Tann_mean;$

$max_T_n = max_T' - Tann_max;$

$min_T_n = min_T' - Tann_min;$

$ann_var_mean(iy, ix) = 2 * \text{abs}(Tf_mean(im)) / N;$

$ann_var_max(iy, ix) = 2 * \text{abs}(Tf_max(im)) / N;$ *platos epxiakis diakymanshs*

$ann_var_min(iy, ix) = 2 * \text{abs}(Tf_min(im)) / N;$

$mean_T_winter_n = [];$

$max_T_winter_n = [];$

$min_T_winter_n = [];$

$mean_T_spring_n = [];$

$max_T_spring_n = [];$

$min_T_spring_n = [];$

$mean_T_summer_n = [];$

$max_T_summer_n = [];$

$min_T_summer_n = [];$

$mean_T_autumn_n = [];$

$max_T_autumn_n = [];$

$min_T_autumn_n = [];$

for $it = 1:80;$

$mean_T_winter_n = [mean_T_winter_n \ mean_T_n(\text{leapyd}(it)+1:\text{leapyd}(it)+\text{leapy}(it))];$

$mean_T_spring_n = [mean_T_spring_n$

$mean_T_n(\text{leapyd}(it)+\text{leapy}(it)+1:\text{leapyd}(it)+\text{leapy}(it)+92)];$

$mean_T_summer_n = [mean_T_summer_n$

$mean_T_n(\text{leapyd}(it)+\text{leapy}(it)+93:\text{leapyd}(it)+\text{leapy}(it)+184)];$

$mean_T_autumn_n = [mean_T_autumn_n$

$mean_T_n(\text{leapyd}(it)+\text{leapy}(it)+185:\text{leapyd}(it)+\text{leapy}(it)+275)];$

... ομοίως για T_{max} , T_{min}

```

for id=1:8/nd;
mean_winter_d=mean_T_winter_n(sum(leapy(1:10*nd*(id-1)))+1:sum(leapy(1:10*id*nd)));
mean_spring_d=mean_T_spring_n(92*nd*10*(id-1)+1:92*10*nd*id);
mean_summer_d=mean_T_summer_n(92*nd*10*(id-1)+1:92*10*nd*id);
mean_autumn_d=mean_T_autumn_n(91*nd*10*(id-1)+1:91*10*nd*id);

t_w=1:1:sum(leapy(10*(id-1)*nd+1:10*id*nd));
cc_winter_mean=polyfit(t_w,mean_winter_d,1);
mean_winter_d=mean_winter_d-
cc_winter_mean(1)*t_w+cc_winter_mean(1)*(90*5*nd+nd);
cc_spring_mean=polyfit(t_s,mean_spring_d,1);
mean_spring_d=mean_spring_d-
cc_spring_mean(1)*t_s+cc_spring_mean(1)*t_s(92*10*nd/2);
cc_summer_mean=polyfit(t_s,mean_summer_d,1);
mean_summer_d=mean_summer_d-
cc_summer_mean(1)*t_s+cc_summer_mean(1)*t_s(92*10*nd/2);
cc_autumn_mean=polyfit(t_a,mean_autumn_d,1);
mean_autumn_d=mean_autumn_d-
cc_autumn_mean(1)*t_a+cc_autumn_mean(1)*t_a(91*10*nd/2);

mean_T_winter_mean(id)=mean(mean_winter_d);
mean_T_spring_mean(id)=mean(mean_spring_d);
mean_T_summer_mean(id)=mean(mean_summer_d);
mean_T_autumn_mean(id)=mean(mean_autumn_d);

mean_winter_std(id)=std(mean_winter_d);
mean_winter_skew(id)=skewness(mean_winter_d);
mean_winter_kur(id)=kurtosis(mean_winter_d);

mean_spring_std(id)=std(mean_spring_d);
mean_spring_skew(id)=skewness(mean_spring_d);
mean_spring_kur(id)=kurtosis(mean_spring_d);

mean_summer_std(id)=std(mean_summer_d);
mean_summer_skew(id)=skewness(mean_summer_d);
mean_summer_kur(id)=kurtosis(mean_summer_d);

mean_autumn_std(id)=std(mean_autumn_d);
mean_autumn_skew(id)=skewness(mean_autumn_d);
mean_autumn_kur(id)=kurtosis(mean_autumn_d);

end;

```

...ομοίως για T_{max} , T_{min}

decades = 1:8;

cc_mean_winter_mean=polyfit(*decades*,*mean_T_winter_mean*,1);
cc_mean_spring_mean=polyfit(*decades*,*mean_T_spring_mean*,1);
cc_mean_summer_mean=polyfit(*decades*,*mean_T_summer_mean*,1);
cc_mean_autumn_mean=polyfit(*decades*,*mean_T_autumn_mean*,1);
cc_std_winter_mean=polyfit(*decades*,*mean_winter_std*,1);
cc_std_spring_mean=polyfit(*decades*,*mean_spring_std*,1);
cc_std_summer_mean=polyfit(*decades*,*mean_summer_std*,1);
cc_std_autumn_mean=polyfit(*decades*,*mean_autumn_std*,1);

cc_skew_winter_mean=polyfit(*decades*,*mean_winter_skew*,1);
cc_skew_spring_mean=polyfit(*decades*,*mean_spring_skew*,1);
cc_skew_summer_mean=polyfit(*decades*,*mean_summer_skew*,1);
cc_skew_autumn_mean=polyfit(*decades*,*mean_autumn_skew*,1);

cc_kur_winter_mean=polyfit(*decades*,*mean_winter_kur*,1);
cc_kur_spring_mean=polyfit(*decades*,*mean_spring_kur*,1);
cc_kur_summer_mean=polyfit(*decades*,*mean_summer_kur*,1);
cc_kur_autumn_mean=polyfit(*decades*,*mean_autumn_kur*,1);

mean_cc_winter_mean(*iy*,*ix*)=*cc_mean_winter_mean*(1);
mean_cc_spring_mean(*iy*,*ix*)=*cc_mean_spring_mean*(1);
mean_cc_summer_mean(*iy*,*ix*)=*cc_mean_summer_mean*(1);
mean_cc_autumn_mean(*iy*,*ix*)=*cc_mean_autumn_mean*(1);

std_cc_winter_mean(*iy*,*ix*)=*cc_std_winter_mean*(1);
std_cc_spring_mean(*iy*,*ix*)=*cc_std_spring_mean*(1);
std_cc_summer_mean(*iy*,*ix*)=*cc_std_summer_mean*(1);
std_cc_autumn_mean(*iy*,*ix*)=*cc_std_autumn_mean*(1);

skew_cc_winter_mean(*iy*,*ix*)=*cc_skew_winter_mean*(1);
skew_cc_spring_mean(*iy*,*ix*)=*cc_skew_spring_mean*(1);
skew_cc_summer_mean(*iy*,*ix*)=*cc_skew_summer_mean*(1);
skew_cc_autumn_mean(*iy*,*ix*)=*cc_skew_autumn_mean*(1);

kur_cc_winter_mean(*iy*,*ix*)=*cc_kur_winter_mean*(1);
kur_cc_spring_mean(*iy*,*ix*)=*cc_kur_spring_mean*(1);
kur_cc_summer_mean(*iy*,*ix*)=*cc_kur_summer_mean*(1);

$kur_cc_autumn_mean(iy,ix)=cc_kur_autumn_mean(1);$

...ομοίως για T_{max} , T_{min}

$[\sim, p_mean_winter_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_T_winter_mean);$
 $p_mean_winter_mean_map(iy,ix) = p_mean_winter_mean;$
 $[\sim, p_mean_spring_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_T_spring_mean);$
 $p_mean_spring_mean_map(iy,ix) = p_mean_spring_mean;$
 $[\sim, p_mean_summer_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_T_summer_mean);$
 $p_mean_summer_mean_map(iy,ix) = p_mean_summer_mean;$
 $[\sim, p_mean_autumn_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_T_autumn_mean);$
 $p_mean_autumn_mean_map(iy,ix) = p_mean_autumn_mean;$

$[\sim, p_std_winter_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_winter_std);$
 $p_std_winter_mean_map(iy,ix) = p_std_winter_mean;$
 $[\sim, p_std_spring_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_spring_std);$
 $p_std_spring_mean_map(iy,ix) = p_std_spring_mean;$
 $[\sim, p_std_summer_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_summer_std);$
 $p_std_summer_mean_map(iy,ix) = p_std_summer_mean;$
 $[\sim, p_std_autumn_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_autumn_std);$
 $p_std_autumn_mean_map(iy,ix) = p_std_autumn_mean;$

$[\sim, p_skew_winter_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_winter_skew);$
 $p_skew_winter_mean_map(iy,ix) = p_skew_winter_mean;$
 $[\sim, p_skew_spring_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_spring_skew);$
 $p_skew_spring_mean_map(iy,ix) = p_skew_spring_mean;$
 $[\sim, p_skew_summer_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_summer_skew);$
 $p_skew_summer_mean_map(iy,ix) = p_skew_summer_mean;$
 $[\sim, p_skew_autumn_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_autumn_skew);$
 $p_skew_autumn_mean_map(iy,ix) = p_skew_autumn_mean;$

$[\sim, p_kur_winter_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_winter_kur);$
 $p_kur_winter_mean_map(iy,ix) = p_kur_winter_mean;$
 $[\sim, p_kur_spring_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_spring_kur);$
 $p_kur_spring_mean_map(iy,ix) = p_kur_spring_mean;$
 $[\sim, p_kur_summer_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_summer_kur);$
 $p_kur_summer_mean_map(iy,ix) = p_kur_summer_mean;$
 $[\sim, p_kur_autumn_mean, \sim, \sim] = mann_kendall(mean_autumn_kur);$
 $p_kur_autumn_mean_map(iy,ix) = p_kur_autumn_mean;$

...ομοίως για T_{max} , T_{min}

```

%ευρεση ημερων με ακραιες τιμες
T_win_mean_60=mean(mean_T_winter_n(1:60*90+15));
T_spr_mean_60=mean(mean_T_spring_n(1:60*92));
T_sum_mean_60=mean(mean_T_summer_n(1:60*92));
T_aut_mean_60=mean(mean_T_autumn_n(1:60*91));

std_T_win_60=std(mean_T_winter_n(1:60*90+15));
std_T_spr_60=std(mean_T_spring_n(1:60*92));
std_T_sum_60=std(mean_T_summer_n(1:60*92));
std_T_aut_60=std(mean_T_autumn_n(1:60*91));

T_win_mean_20=mean(mean_T_winter_n(60*90+15+1:length(mean_T_winter_n)));
T_spr_mean_20=mean(mean_T_spring_n(60*92+1:length(mean_T_spring_n)));
T_sum_mean_20=mean(mean_T_summer_n(60*92+1:length(mean_T_summer_n)));
T_aut_mean_20=mean(mean_T_autumn_n(60*91+1:length(mean_T_autumn_n)));

std_T_win_20=std(mean_T_winter_n(60*90+15+1:length(mean_T_winter_n)));
std_T_spr_20=std(mean_T_spring_n(60*92+1:length(mean_T_spring_n)));
std_T_sum_20=std(mean_T_summer_n(60*92+1:length(mean_T_summer_n)));
std_T_aut_20=std(mean_T_autumn_n(60*91+1:length(mean_T_autumn_n)));

...ομοίως για Tmax, Tmin

a=2; %2 3
%xeimwnas
values_below_win1_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_winter_n(1:60*90+15)<=T_win_mean_60-a*std_T_win_60));
values_above_win1_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_winter_n(1:60*90+15)>=T_win_mean_60+a*std_T_win_60));

values_below_win2_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_winter_n(60*90+15+1:length(mean_T_winter_n))<=T_win_mean_20-a*std_T_win_20));
values_above_win2_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_winter_n(60*90+15+1:length(mean_T_winter_n))>=T_win_mean_20+a*std_T_win_20));

values_below_win3_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_winter_n(60*90+15+1:length(mean_T_winter_n))<=T_win_mean_60-a*std_T_win_60));

```

```

values_above_win3_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_winter_n(60*90+15+1:length(mean_T_winter_n))>=T_win_mean_60+a*std_T_win_60));

```

```

%spring
values_below_spr1_pin(34-iy,ix)=length(find(mean_T_spring_n(1:60*92)<=T_spr_mean_60-a*std_T_spr_60));
values_above_spr1_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_spring_n(1:60*92)>=T_spr_mean_60+a*std_T_spr_60));

```

```

values_below_spr2_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_spring_n(60*92+1:length(mean_T_spring_n))<=T_spr_mean_20-a*std_T_spr_20));
values_above_spr2_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_spring_n(60*92+1:length(mean_T_spring_n))>=T_spr_mean_20+a*std_T_spr_20));

```

```

values_below_spr3_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_spring_n(60*92+1:length(mean_T_spring_n))<=T_spr_mean_60-a*std_T_spr_60));
values_above_spr3_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_spring_n(60*92+1:length(mean_T_spring_n))>=T_spr_mean_60+a*std_T_spr_60));

```

```

%summer
values_below_sum1_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_summer_n(1:60*92)<=T_sum_mean_60-a*std_T_sum_60));
values_above_sum1_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_summer_n(1:60*92)>=T_sum_mean_60+a*std_T_sum_60));

```

```

values_below_sum2_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_summer_n(60*92+1:length(mean_T_summer_n))<=T_sum_mean_20-a*std_T_sum_20));
values_above_sum2_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_summer_n(60*92+1:length(mean_T_summer_n))>=T_sum_mean_20+a*std_T_sum_20));

```

```

values_below_sum3_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_summer_n(60*92+1:length(mean_T_summer_n))<=T_sum_mean_60-a*std_T_sum_60));

```

```

values_above_sum3_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_summer_n(60*92+1:length(mean_T_summer_n))>=T_sum_mean_
60+a*std_T_sum_60));

```

```

%autumn
values_below_aut1_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_autumn_n(1:60*91)<=T_aut_mean_60-a*std_T_aut_60));
values_above_aut1_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_autumn_n(1:60*91)>=T_aut_mean_60+a*std_T_aut_60));

```

```

values_below_aut2_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_autumn_n(60*91+1:length(mean_T_autumn_n))<=T_aut_mean_2
0-a*std_T_aut_20));
values_above_aut2_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_autumn_n(60*91+1:length(mean_T_autumn_n))>=T_aut_mean_2
0+a*std_T_aut_20));

```

```

values_below_aut3_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_autumn_n(60*91+1:length(mean_T_autumn_n))<=T_aut_mean_6
0-a*std_T_aut_60));
values_above_aut3_pin(34-
iy,ix)=length(find(mean_T_autumn_n(60*91+1:length(mean_T_autumn_n))>=T_aut_mean_6
0+a*std_T_aut_60));

```

... ομοίως για T_{max} , T_{min}

```

%percentiles
low_per_win1(34-iy,ix)=prctile(mean_T_winter_n(1:60*90+15),5);
high_per_win1(34-iy,ix)=prctile(mean_T_winter_n(1:60*90+15),95);

```

```

low_per_win2(34-iy,ix)=prctile(mean_T_winter_n(60*90+16:length(mean_T_winter_n)),5);
high_per_win2(34-iy,ix)=prctile(mean_T_winter_n(60*90+16:length(mean_T_winter_n)),95);

```

```

low_per_spr1(34-iy,ix)=prctile(mean_T_spring_n(1:60*92),5);
high_per_spr1(34-iy,ix)=prctile(mean_T_spring_n(1:60*92),95);

```

```

low_per_spr2(34-iy,ix)=prctile(mean_T_spring_n(60*92+1:length(mean_T_spring_n)),5);
high_per_spr2(34-iy,ix)=prctile(mean_T_spring_n(60*92+1:length(mean_T_spring_n)),95);

```

```

low_per_sum1(34-iy,ix)=prctile(mean_T_summer_n(1:60*92),5);
high_per_sum1(34-iy,ix)=prctile(mean_T_summer_n(1:60*92),95);

```

```

low_per_sum2(34-iy,ix)=prctile(mean_T_summer_n(60*92+1:length(mean_T_summer_n)),5);
high_per_sum2(34-
iy,ix)=prctile(mean_T_summer_n(60*92+1:length(mean_T_summer_n)),95);

```

```

low_per_aut1(34-iy,ix)=prctile(mean_T_autumn_n(1:60*91),5);
high_per_aut1(34-iy,ix)=prctile(mean_T_autumn_n(1:60*91),95);

```

```

low_per_aut2(34-iy,ix)=prctile(mean_T_autumn_n(60*91+1:length(mean_T_autumn_n)),5);
high_per_aut2(34-iy,ix)=prctile(mean_T_autumn_n(60*91+1:length(mean_T_autumn_n)),95);

```

...ομοίως για T_{max} , T_{min}

```

T_win_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_T_winter_mean(1:6)); %κλιματολογία 60 ετην, mesh
timb

```

```

T_spr_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_T_spring_mean(1:6));

```

```

T_sum_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_T_summer_mean(1:6));

```

```

T_aut_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_T_autumn_mean(1:6));

```

```

std_T_win_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_winter_std(1:6)); %κλιματολογία 60 ετην, std

```

```

std_T_spr_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_spring_std(1:6));

```

```

std_T_sum_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_summer_std(1:6));

```

```

std_T_aut_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_autumn_std(1:6));

```

```

skew_T_win_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_winter_skew(1:6)); %κλιματολογία 60 ετην,
skewness

```

```

skew_T_spr_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_spring_skew(1:6));

```

```

skew_T_sum_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_summer_skew(1:6));

```

```

skew_T_aut_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_autumn_skew(1:6));

```

```

kur_T_win_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_winter_kur(1:6)); %κλιματολογία 60 ετην, kurtosis

```

```

kur_T_spr_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_spring_kur(1:6));

```

```

kur_T_sum_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_summer_kur(1:6));

```

```

kur_T_aut_60_mean(34-iy,ix)=mean(mean_autumn_kur(1:6));

```

```

T_win_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_T_winter_mean(7:8)); %κλιματολογία 20 ετην, mesh
timb

```

```

T_spr_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_T_spring_mean(7:8));

```

```

T_sum_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_T_summer_mean(7:8));

```

```

T_aut_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_T_autumn_mean(7:8));

```

```

std_T_win_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_winter_std(7:8)); %κλιματολογία 20 ετην, std

```

```

std_T_spr_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_spring_std(7:8));

```

```

std_T_sum_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_summer_std(7:8));

```

```

std_T_aut_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_autumn_std(7:8));

skew_T_win_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_winter_skew(7:8)); %κλιματολογία 20 ετην,
skewness
skew_T_spr_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_spring_skew(7:8));
skew_T_sum_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_summer_skew(7:8));
skew_T_aut_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_autumn_skew(7:8));

kur_T_win_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_winter_kur(7:8)); %κλιματολογία 20 ετην, kurtosis
kur_T_spr_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_spring_kur(7:8));
kur_T_sum_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_summer_kur(7:8));
kur_T_aut_20_mean(34-iy,ix)=mean(mean_autumn_kur(7:8));

    end;
end;

...ομοίως για Tmax, Tmin

lat=linspace(34,42,33);
lon=linspace(19,30,45);
[Lon,Lat]=meshgrid(lon,lat);

latLimits = [34, 42]; % Γεωγραφικά πλάτη
lonLimits = [19, 30]; % Γεωγραφικά μήκη

coastFile = 'C:\Users\30697\Desktop\Thesis\1944-2023
total\GSHHS_sbp\b\GSHHS_b_L1.shp';
S = shaperead(coastFile, 'UseGeoCoords', true, 'BoundingBox', [lonLimits(1), latLimits(1);
lonLimits(2), latLimits(2)]);

%mesh timb
figure(1)
allDiffs = [T_win_20_mean(:) - T_win_60_mean(:);T_spr_20_mean(:) -
T_spr_60_mean(:);T_sum_20_mean(:) - T_sum_60_mean(:);T_aut_20_mean(:) -
T_aut_60_mean(:)];
clim = [min(allDiffs), max(allDiffs)];
allMeans = cat(3, T_win_60_mean, T_spr_60_mean, T_sum_60_mean, T_aut_60_mean);
clim_abs = [min(allMeans(:)) max(allMeans(:))];
ax(1)=subplot(241);contourf(lon,lat,T_win_60_mean,'LineStyle','none');caxis(ax(1),
clim_abs);colormap(ax(1),flipud(hot));cb1 = colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(1), '$T_{60}$', 'Interpreter', 'latex');

```

```

hold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;hold
off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(2)=subplot(242);contourf(lon,lat,T_win_20_mean-
T_win_60_mean,'LineStyle','none');caxis(ax(2), clim);colormap(ax(2),bluwhitered);cb1 =
colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(2), '$T_{20}-T_{60}$', 'Interpreter', 'latex');hold
on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(3)=subplot(243);contourf(lon,lat,T_spr_60_mean,'LineStyle','none');caxis(ax(3),
clim_abs);colormap(ax(3),flipud(hot));cb1 = colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(3), '$T_{60}$', 'Interpreter', 'latex');hold on;for k
= 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(4)=subplot(244);contourf(lon,lat,T_spr_20_mean-
T_spr_60_mean,'LineStyle','none');caxis(ax(4), clim);colormap(ax(4),bluwhitered);cb1 =
colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(4), '$T_{20}-T_{60}$', 'Interpreter', 'latex');hold
on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(5)=subplot(245);contourf(lon,lat,T_sum_60_mean,'LineStyle','none');caxis(ax(5),
clim_abs);colormap(ax(5),flipud(hot));cb1 = colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(5), '$T_{60}$', 'Interpreter', 'latex');hold on;for k
= 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(6)=subplot(246);contourf(lon,lat,T_sum_20_mean-
T_sum_60_mean,'LineStyle','none');caxis(ax(6), clim);colormap(ax(6),bluwhitered);cb1 =
colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(6), '$T_{20}-T_{60}$', 'Interpreter', 'latex');hold
on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(7)=subplot(247);contourf(lon,lat,T_aut_60_mean,'LineStyle','none');caxis(ax(7),
clim_abs);colormap(ax(7),flipud(hot));cb1 = colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(7), '$T_{60}$', 'Interpreter', 'latex');hold on;for k
= 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(8)=subplot(248);contourf(lon,lat,T_aut_20_mean-
T_aut_60_mean,'LineStyle','none');caxis(ax(8), clim);colormap(ax(8),bluwhitered);cb1 =
colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(8), '$T_{20}-T_{60}$', 'Interpreter', 'latex');hold
on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);

```

...ομοίως για T_{max} , T_{min} και όλες τις άλλες στατιστικές παραμέτρους

figure(5)

```
drawmapofdays(values_below_win1_pin,values_below_win3_pin,values_below_win2_pin,values_above_win1_pin,values_above_win3_pin,values_above_win2_pin);
```

...ομοίως για T_{max} , T_{min} και όλες τις άλλες εποχές

figure(9)

```
ax(1)=subplot(231);contourf(lon,lat,low_per_win1,'LineStyle','none');colormap(ax(1),bluwhitered);cb1 = colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(1), '$P_{5,\,60}$', 'Interpreter', 'latex');hold on;for
k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(2)=subplot(232);contourf(lon,lat,low_per_win2-
low_per_win1,'LineStyle','none');colormap(ax(2),bluwhitered);cb1 = colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(2), '$P_{5,\,20}-P_{5,\,60}$', 'Interpreter',
'latex');hold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(3)=subplot(233);contourf(lon,lat,low_per_win2-low_per_win1-
T_win_20_mean+T_win_60_mean,'LineStyle','none');colormap(ax(3),bluwhitered);cb1 =
colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(3), '$P_{5,\,20}-P_{5,\,60}- (T_{20} -
T_{60})$', 'Interpreter', 'latex');hold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k',
'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(4)=subplot(234);contourf(lon,lat,high_per_win1,'LineStyle','none');colormap(ax(4),bluwhitered);cb1 = colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(4), '$P_{95,\,60}$', 'Interpreter', 'latex');hold
on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(5)=subplot(235);contourf(lon,lat,high_per_win2-
high_per_win1,'LineStyle','none');colormap(ax(5),bluwhitered);cb1 = colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(5), '$P_{95,\,20}-P_{95,\,60}$', 'Interpreter',
'latex');hold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k', 'LineWidth', 1);end;
hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);
ax(6)=subplot(236);contourf(lon,lat,high_per_win2-high_per_win1-
T_win_20_mean+T_win_60_mean,'LineStyle','none');colormap(ax(6),bluwhitered);cb1 =
colorbar;
title(cb1, '\circC', 'Interpreter', 'tex');title(ax(6), '$P_{95,\,20}-P_{95,\,60}- (T_{20} -
T_{60})$', 'Interpreter', 'latex');hold on;for k = 1:length(S);plot(S(k).Lon, S(k).Lat, 'k',
'LineWidth', 1);end;
```

hold off;xlim([lonLimits(1) lonLimits(2)]);ylim([latLimits(1) latLimits(2)]);

...ομοίως για T_{max} , T_{min} και όλες τις άλλες εποχές

Παρόμοια ανάλυση χρησιμοποιήθηκε και για το ένα πλεγματο σημείο.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F. et al.: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation., *J. Geophys. Res.*, **111**, <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>, 2006.

Çağatay, Bağçacı, S., Yucel, I., Duzenli, E., and Tuğrul, Yilmaz, M.: Intercomparison of the expected change in the temperature and the precipitation retrieved from CMIP6 and CMIP5 climate projections: A Mediterranean hot spot case, Turkey, *Atmos. Res.*, **256**, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105576>, 2021.

Giorgi, F.: Climate change hot-spots, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>, 2006.

Cos, J., Doblas-Reyes, F., Jury, M., Marcos, R., Bretonnière, P.A., and Samsó, M.: The Mediterranean climate change hotspot in the CMIP5 and CMIP6 projections, *Earth Syst. Dynam.*, **13**, 321-340, <https://doi.org/10.5194/esd-13-321-2022>, 2022.

Coumou, D., and Robinson, A.: Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes *Environ. Res. Lett.*, **8**, 034018, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034018>, 2013.

Donat, M., and Alexander, L.: The shifting probability distribution of global daytime and night-time temperatures, *Geoph. Res. Lett.*, **39**, [doi:10.1029/2012GL052459](https://doi.org/10.1029/2012GL052459), 2012.

Fischer, E. M., and Schär, C.: Future changes in daily summer temperature variability: Driving processes and role for temperature extremes, *Climate Dyn.*, **33**, 917–935, <https://doi.org/10.1007/s00382-008-0473-8>, 2009.

Founda, D., and Giannakopoulos, C.: The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece - A typical summer in the future climate?, *Glob. and Plan. Change*, **67**, 227–236, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.03.013>, 2009.

Herscbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Massimo, B., Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., and Thépaut, J., N.: The ERA5 global reanalysis, *R.Met.S.*, **146**, 1999-2049, <https://doi.org/10.1002/qj.3803>, 2020.

Huntingford, C., Jones, P., Livina, V., Lenton, T.M., Cox, P.M.: No increase in global temperature variability despite changing regional patterns., *Nature*, **500**, 327–330, <https://doi.org/10.1038/nature12310>, 2013.

Holmes, C.R., Woollings, T., Hawkins, E., de Vries, H.: Robust future changes in temperature variability under greenhouse gas forcing and the relationship with thermal advection, *J. Clim.*, **29**, 2221–2236. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00735.1>, 2016.

Hosking, J.R.M.: Moments or L moments? An example comparing two measures of distributional shape, *The Am. Stat.*, **46**, 186-189, <http://doi.org/10.1080/00031305.1992.10475880>, 1992.

Ibe, O.: Fundamentals of applied probability and random processes, *Academic Press*, 433 pp., <https://doi.org/10.1016/C2013-0-19171-4>, 2014.

Joanes, D.N., and Gill, C.A.: Comparing measures of sample skewness and kurtosis, *The Statistician*, **47**, 183-189, <https://doi.org/10.1111/1467-9884.00122>, 1998.

Kostopoulou, E., and Jones, P., D.: Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean, *Meteorol. Atmos. Phys.*, **89**, 69-85, <https://doi.org/10.1007/s00703-005-0122-2>, 2005.

Kuglitsch, F., G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P. M., Zerefos, C., S., Türkeş, M., and Luterbacher, J.: Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960, *Geoph. Res. Lett.*, **37**, <https://doi.org/10.1029/2009GL041841>, 2010

Lazoglou, G., Papadopoulos, Zachos, A., Georgiades, P., Zittis, G., Velikou, K., Manios, E.M., and Anagnostopoulou, C.: Identification of climate change hotspots in the Mediterranean, *Scien. Rep.*, **14**, p.29817, doi: 10.1038/s41598-024-80139-1, 2024.

Livingston, E.H.: The Mean and Standard Deviation: What Does It All Mean?, *J. Surg. Res.*, **119**, 117–123, <https://doi.org/10.1016/j.jss.2004.02.008>, 2004.

Meehl, G.A., Tebaldi, C.: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century., *Science*, **305**, 994–997. <https://doi.org/10.1126/science.1098704>, 2004.

Nastos, P., T., Philandras, C., M., Founda, D., and Zerefos, C., S.: Air temperature trends related to changes in atmospheric circulation in the wider area of Greece, *Inter. Jour. of Rem. Sen.*, **32**, 737-750, <https://doi.org/10.1080/01431161.2010.517796>, 2011.

Ruff, T., W., and David, Neelin, J.: Long tails in regional surface temperature probability distributions with implications for extremes under global warming, *Geoph. Res. Lett.*, **39**, <https://doi.org/10.1029/2011GL050610>, 2012.

Simolo, C., Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T.: Evolution of extreme temperatures in a warming climate., *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L16701. <https://doi.org/10.1029/2011GL048437>, 2011.

Tebaldi, C., Hayhoe, K., Arblaster, J.M., Meehl, G.A.: Going to the extremes: An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events., *Clim. Change*, **79**, 185–211. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9051-4>, 2006.

Toreti, A., and Deciato, F.: Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years, *Int. J. Climatol.*, **28**, 733-745, <https://doi.org/10.1002/joc.1576>, 2008.

Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., Fnais, M., Francis, D., Hadjinikolaou, P., Howari, F., Jrrar, A., Kaskaoutis, D., G., Kulmala, M., Lazoglou, G., Mihalopoulos, N., Lin, X., Rudich, Y., Sciare, J., Stenchikov, G., Xoplaki, E., and Lelieveld, J.: Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Rev. of Geoph.*, **60**, e2021RG000762. <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>, 2022.

<https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/focus/2023/fact-sheet-reanalysis> (last accessed on July 2th, 2025).