



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΤΗΣ
Ν. ΕΥΡΩΠΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ
1980-2019

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2021-22





ΚΑΤΕΡΙΝΑ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

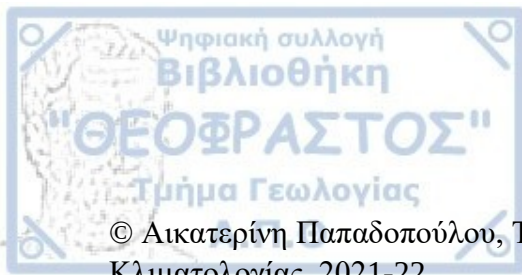
Φοιτήτρια Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5801

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΤΗΣ Ν.
ΕΥΡΩΠΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1980-2019

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας & Κλιματολογίας

Επιβλέπων

Μαυρομμάτης Θεόδωρος, Καθηγητής, Τομέας Μετεωρολογίας & Κλιματολογίας, τμήμα
Γεωλογίας



© Αικατερίνη Παπαδοπούλου, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας & Κλιματολογίας, 2021-22

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΤΗΣ Ν.
ΕΥΡΩΠΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1980-2019 –
Διπλωματική εργασία

© Aikaterini Papadopoulou, School of Geology, Dept. of Meteorology & Climatology, 2021-22

All rights reserved.

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE TEMPERATURES OF S. EUROPE
AND THE CLIMATE INDICES FOR 1980-2019 PERIOD – *Bachelor Thesis*

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Μετά το πέρας της ολοκλήρωσης της παρούσας εργασίας στο πλαίσιο των προπτυχιακών σπουδών μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους στήριξαν την προσπάθεια μου και με βοήθησαν στην εκπόνηση αυτής.

Πρώτα απ' όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Θεόδωρο Μαυρομμάτη ο οποίος ήταν παρών σε κάθε βήμα και σε κάθε δυσκολία που αντιμετώπισα , με τις γνώσεις και την εμπειρία του , καθώς και την υπομονή κι εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Η βοήθειά του ήταν πολύτιμη.

Κατ' επέκταση θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του τομέα για το ευχάριστο κλίμα που δημιούργησαν και εξακολουθούν να δημιουργούν , ειδικότερα τον κ. Ιωάννη Πυθαρούλη και την κ. Κωνσταντία Τολίκα που με ενέπνευσαν να ακολουθήσω αυτόν τον τομέα .

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και όσους ήταν δίπλα μου και με στήριξαν ψυχολογικά αυτό το διάστημα και πίστεψαν σε μένα.



Περίληψη

Το ενδιαφέρον γύρω από την κλιματική αλλαγή και τις μεταβολές που αυτή επιφέρει αυξάνεται ολοένα και περισσότερο. Κύριος στόχος αυτής της εργασίας ήταν να μελετηθεί η μεταβολή της συχνότητας εμφάνισης τεσσάρων κλιματικών δεικτών που σχετίζονται με την ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα, σε 13 σταθμούς στην περιοχή της Νότιας Ευρώπης και της Μεσογείου την περίοδο 1980-2019. Οι κλιματικοί δείκτες που επιλέχθηκαν είναι: οι ημέρες «παγετού» (συχνότητα ημερών με $T_{min} < 0^{\circ} \text{C}$, Frost days/FD), οι «τροπικές» νύχτες (συχνότητα ημερών με $T_{min} > 20^{\circ} \text{C}$, Tropical nights/TR20), οι «ψυχρές» νύχτες (ποσοστό ημερών με $T_{min} < 10^{\text{ου}}$ εκατοστημορίου, Cold nights/TN10p) και οι «θερμές» νύχτες (ποσοστό ημερών με $T_{min} > 90^{\text{ου}}$ εκατοστημορίου, Warm nights/TN90p). Στο πρώτο στάδιο έγινε ο υπολογισμός των δεικτών καθώς και τα διαγράμμά τους και στη συνέχεια τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με 2 στατιστικές μεθόδους. Η πρώτη μέθοδος είναι η γραμμική ανάλυση και η δεύτερη είναι η ανάλυση ανίχνευσης σημείου αλλαγής (Change Point Analyzer, CPA). Και στις δύο μεθόδους λαμβάνονται υπόψη οι στατιστικά σημαντικές τάσεις. Μετά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων για την κάθε μέθοδο, οι 2 μέθοδοι συγκρίθηκαν μεταξύ τους με σκοπό την αναγνώριση της συμφωνίας τους, όπου και όταν υπάρχει. Συμπέρασμα αυτής της σύγκρισης είναι ότι οι δύο μέθοδοι αλληλοσυμπληρώνονται και πως η μία επιβεβαιώνει ή όχι την άλλη. Η αύξηση της θερμοκρασίας με την πάροδο των χρόνων η οποία γίνεται αισθητή στην περιοχή της Μεσογείου, αποτυπώνεται και στα αποτελέσματα των δεικτών που επιλέχθηκαν σε αυτήν την μελέτη, καθώς έδειξαν πως οι ελάχιστες θερμοκρασίες παρουσιάζουν ανοδική τάση, σε όλες τις εποχές του χρόνου, με τις ημέρες «παγετού» και τις «ψυχρές» νύχτες να παρουσιάζουν μειωτική τάση (στατιστικά σημαντική σε έναν και 4 σταθμούς, αντίστοιχα), ενώ στον αντίποδα οι «τροπικές» και οι «θερμές» νύχτες (στατιστικά σημαντική σε 11 και 12 σταθμούς, αντίστοιχα) να παρουσιάζουν αυξητική.



Abstract

Interest in climate change and the changes it brings about is growing bigger and bigger. The main objective of this study was to investigate the variation in the frequency of 4 climate indices, associated with the minimum air temperature, in 13 stations, located in southern Europe and the Mediterranean region, during 1980-2019. The selected climate indices are: “Frost” days (frequency of days with $T_{min} < 0^{\circ} \text{C}$, FD), “Tropical” nights (frequency of days with $T_{min} > 20^{\circ} \text{C}$, TR20), “Cold” nights (percentage of days with $T_{min} < 10^{\text{th}}$ percentile, TN10p) and “Warm” nights (percentage of days with $T_{min} > 90^{\text{th}}$ percentile, TN90p). Two statistical methods were used to analyze the results of the indices on annual basis: linear regression and change point detection (Change Point Analyzer, CPA). Both methods aimed at identifying statistically significant trends of the selected indices in the reference period. The results with the two approaches were compared to each other to identify the degree of agreement/disagreement between them. The study concluded that both methods complement each other. A substantial increase of the minimum air temperature in the Mediterranean region was identified as a result of the upward trends in the frequency of “Frost” days and “Cold” nights (statistically significant in one and 4 stations, respectively) and the downward trends in the frequency of “Tropical” and “Warm” nights (statistically significant 11 and 12 stations, respectively).



Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη	6
Περιεχόμενα.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	9
1.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	13
1.2.1 Κλιματικοί δείκτες.....	13
1.2.2 Σκοπός εργασίας.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	16
2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ MISSING DATA	16
2.1.1 Δεδομένα	16
2.1.2 Missing Data	27
2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ.....	27
2.2.1 Κλιματικοί δείκτες.....	27
2.2.2 Μέθοδοι.....	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	30
3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΕΩΝ.....	30
3.1.1 Γραμμική ανάλυση τάσης.....	30
3.1.2 Ανάλυση τάσης με CPA.....	41
3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ CPA.....	67
3.2.1 Ημέρες παγετού σε ετήσια βάση (Frost days, $T_{min} < 0^{\circ} \text{C}$).....	67
3.2.2 Ημέρες παγετού τη χειμερινή περίοδο (Frost days, ημέρες με $T_{min} < 20^{\circ} \text{C}$).....	68
3.2.3 Τροπικές νύχτες (Tropical nights, ημέρες με $T_{min} > 20^{\circ} \text{C}$).....	69
3.2.4 Ψυχρές νύχτες (Cold nights, ποσοστό ημερών με $T_{min} < 10^{\text{ου}}$ εκατοστημορίου)	70
3.2.5 Θερμές νύχτες (Warm nights, ποσοστό ημερών με $T_{min} > 90^{\text{ου}}$ εκατοστημορίου)	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	74
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα θέμα που απασχολεί την επιστημονική κοινότητα, και όχι μόνο, ολοένα και περισσότερο. Τι είναι όμως το κλίμα και η κλιματική αλλαγή; Υπάρχουν επιπτώσεις με τη μεταβολή του κλίματος στον άνθρωπο και στα οικοσυστήματα;

Αρχικά, με τον όρο κλίμα χαρακτηρίζεται η μέση ατμοσφαιρική κατάσταση μιας περιοχής (βροχή, το χιόνι, η θερμοκρασία κλπ.) και αντιπροσωπεύει μεταβολές χρονικού διαστήματος που εξαρτάται από το είδος της μετεωρολογικής παραμέτρου (συνήθως από 30 έως 50 χρόνια).

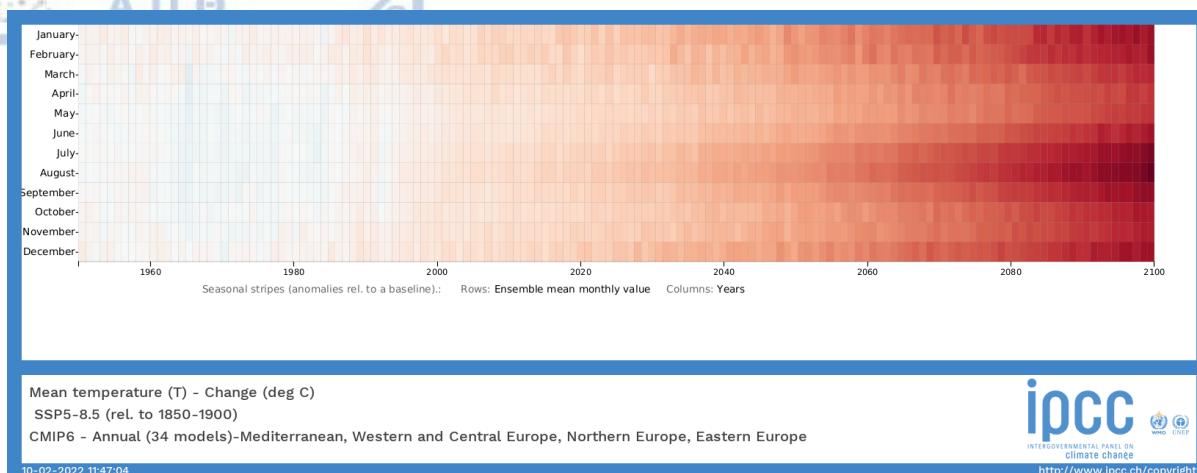
Η κλιματική αλλαγή αφορά τις αλλαγές στις οποίες υπόκειται το κλίμα σε βάθος πολλών χρόνων (συνήθως μερικές δεκαετίες). Στο γεωλογικό χρόνο το κλίμα έχει υποστεί πολλές μεταβολές και μάλιστα έχει φτάσει σε ακραίες, για τα σημερινά δεδομένα, καταστάσεις (πχ στην Κρυογενή περίοδο, περίπου 750-630 εκατομμύρια χρόνια πριν, η γη καλυπτόταν στο μεγαλύτερο ποσοστό της από παγετώνες και αναφέρεται ως η ψυχρότερη περίοδος) (William F. Ruddiman, 2001).

Οι αλλαγές αυτές μπορούν να προκληθούν από διάφορα αίτια που προκαλούνται από την Γη, τον ήλιο και τον άνθρωπο. Η Γη μπορεί να προκαλέσει μεταβολή του κλίματός της μέσω των κινήσεων των τεκτονικών πλακών, των ηφαιστειακών εκρήξεων και τις τροχιακές της αλλαγές γύρω από τον ήλιο. Ο ήλιος μπορεί να επηρεάσει το κλίμα με την αλλαγή στη δύναμή του, δηλαδή την ακτινοβολία που έρχεται συνολικά στη Γη, η οποία αυξάνεται σταδιακά μέχρι και σήμερα. Τέλος, ο άνθρωπος μέσα από διάφορες δραστηριότητες όπως η βιομηχανία, η γεωργία, η κτηνοτροφία, η αποψίλωση κλπ., ενισχύει την έκλυση θερμοκηπικών αερίων (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου κλπ.) κι άλλων βλαβερών ενώσεων, που επιδεινώνουν την κατάσταση της ατμόσφαιρας και κατ' επέκταση αυξάνουν τη θερμοκρασία του πλανήτη (William F. Ruddiman, 2001).

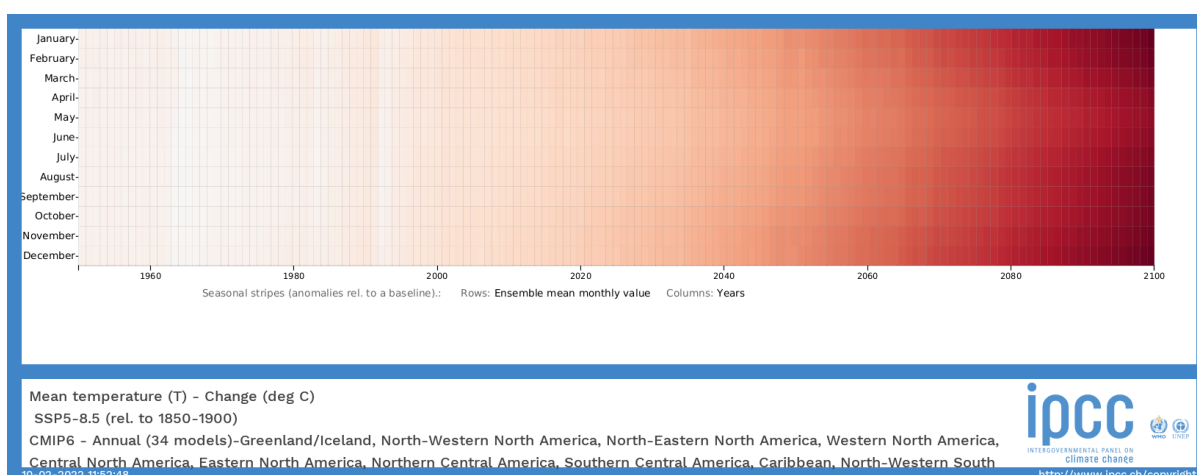
Με βάση τις έρευνες και τα στοιχεία του IPCC (IPCC, n.d.) (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021), υπάρχουν ενδείξεις για τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει η κλιματική αλλαγή για τον χώρο της **Ευρώπης**. Σε ένα γενικό πλαίσιο, οι αλλαγές αυτές είναι οι εξής:

1. Η θερμοκρασία σε όλες τις περιοχές της Ευρώπης θα παρουσιάσει αύξηση, μάλιστα ξεπερνώντας την παγκόσμια μέση θερμοκρασία που πρόκειται κι αυτή να αυξηθεί κατά

2° C. Στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο η μεταβολή αναμένεται να ξεπεράσει τους 3°C, ειδικά τους θερινούς μήνες. (Σχήμα 1.1)



Σχήμα 1.1: Η μέση αύξηση της μέσης θερμοκρασίας που αναμένεται στην Ευρώπη και τη Μεσόγειο από το 1950 έως το 2100 με το σενάριο εκπομπών SSP5-8.5 , σε σχέση με την περίοδο 1850-1900 (μέσος όρος 34 κλιματικών μοντέλων CMIP6). (πηγή: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i>)



Σχήμα 1.2: Η μέση αύξηση της μέσης θερμοκρασίας που αναμένεται παγκοσμίως από το 1950 έως το 2100 με το σενάριο εκπομπών SSP5-8.5, σε σχέση με την περίοδο 1850-1900 (μέσος όρος 34 κλιματικών μοντέλων). (πηγή: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i>)

2. Αναμένεται να αυξηθούν σε συχνότητα και ένταση οι ακραίες θερμοκρασίες και τα κύματα καύσωνα στο θαλάσσιο χώρο, εξαιτίας των θερμοκηπικών αερίων.
3. Αντιθέτως, οι ψυχρές περιόδους και οι ημέρες παγετού δείχνουν μειωτικές τάσεις εμφάνισης.
4. Η στάθμη της θάλασσας σε όλες τις περιοχές της Ευρώπης, πλην της Βαλτικής, θα αυξηθεί σε σημείο που θα μπορούσε να ξεπεράσει την παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας. Συνέπεια αυτού, θα είναι να οπισθοχωρήσουν οι ακτές και να πλημμυρίσουν οι παραθαλάσσιες περιοχές.

5. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, θα συνεχίσουν να υποχωρούν οι παγετώνες και τα παγοκαλύμματα στα μεγάλα γεωγραφικά μήκη και πλάτη.
6. Παρατηρείται μείωση στις βροχοπτώσεις τις καλοκαιρινές περιόδους στη Μεσόγειο και επέκταση μείωσης ακόμα και σε βορειότερες περιοχές, ενώ στη βόρεια Ευρώπη παρατηρείται αύξηση βροχοπτώσεων το χειμώνα. Τέλος, πρόκειται να αυξηθούν οι ραγδαίες βροχοπτώσεις και τα πλημμυρικά φαινόμενα σε όλη την Ευρώπη εκτός από την περιοχή της Μεσογείου (για επίπεδα αύξησης θερμοκρασίας $>1.5^{\circ}\text{C}$)

Ειδικότερα, για τη Μεσόγειο.

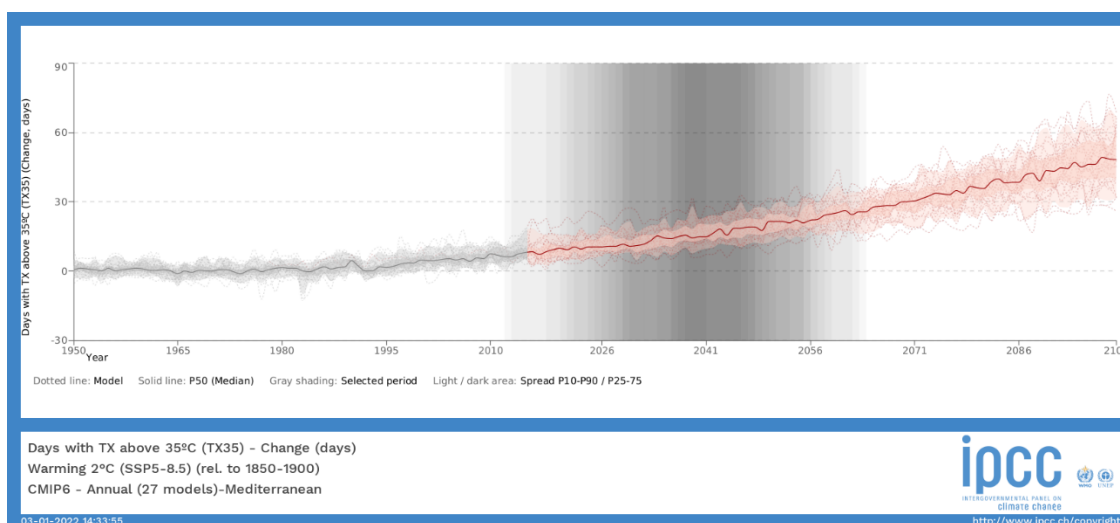
Αύξηση θερμοκρασίας $>2^{\circ}\text{C}$:

- Στη Βόρεια, κεντρική, ανατολική και δυτική Ευρώπη, αναμένεται αύξηση του ύψους βροχής και κατ' επέκταση των πλημμυρών.
- Στη Βόρεια και ανατολική Ευρώπη, αναμένεται ότι οι πλημμύρες από τα ποτάμια θα παρουσιάσουν μείωση, ενώ στην κεντρική και δυτική Ευρώπη αύξηση.
- Στη Βόρεια και ανατολική Ευρώπη αναμένεται αύξηση θερμοκρασίας κατά τις χειμερινές περιόδους με περιορισμένη χιονοκάλυψη σε μεγάλα υψόμετρα αλλά και λιώσιμο πάγων.
- Στη Βόρεια Ευρώπη προβλέπεται να αυξηθούν οι ισχυρές ανεμοθύελλες, ενώ στο ανατολικό κομμάτι θα επικρατούν συνθήκες ευνοϊκές για πυρκαγιές (υψηλές θερμοκρασίες, ισχυροί άνεμοι, χαμηλή υγρασία). Στην δυτική και κεντρική Ευρώπη προβλέπεται ξηρασία υδρολογική, γεωργική και οικολογική.

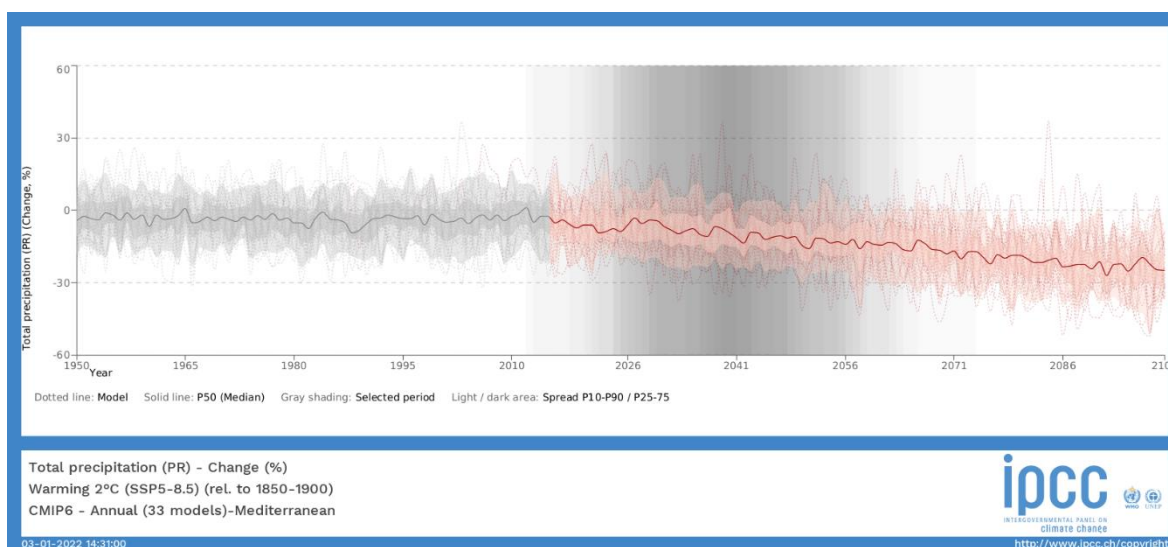
Όταν η θερμοκρασία στο χώρο της **Μεσογείου** αυξάνεται με ρυθμό 20% ταχύτερα από τη μέση παγκόσμια αύξηση, είναι επόμενο να συμβαίνουν ήδη αλλαγές και με ορατά αποτελέσματα. Υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι σε συνδυασμό με παρατεταμένες ανομβρίες και αύξηση στις ταχύτητες του ανέμου ευνοούν τις συνθήκες πυρκαγιάς, οι οποίες πλήττουν ολοένα και περισσότερο τις χώρες που βρέχονται από τη μεσόγειο (Ελλάδα, Τουρκία, Ιταλία και Ισπανία). Αυτό αποτελεί άμεση απειλή για τους ανθρώπους αλλά και τις καλλιέργειές τους. Καύσωνες όπως αυτοί του 2003 θα αποτελούν συχνό φαινόμενο μέχρι το 2050, με τις θερμοκρασίες στις πόλεις να προκαλούν προβλήματα υγείας στους ανθρώπους. Η αύξηση της θερμοκρασίας της Μεσογείου θάλασσας έχει σαν αποτέλεσμα τον αφανισμό ειδών που ζουν εκεί ή όπως ήδη συμβαίνει σε ψάρια που ζουν στον ανατολικό και νότιο χώρο της λεκάνης, μετανάστευσή τους σε πιο ψυχρά νερά με περισσότερο οξυγόνο. Η Μεσόγειος τείνει να γίνει τροπική θάλασσα (ήδη παρουσιάζει χαρακτηριστικά τροπικής θάλασσας στα θερμότερά της σημεία). Με τις καταιγίδες και τους τυφώνες να γίνονται σε πιο συχνή βάση, πέραν των καταστροφών που προκαλούνται με το πέρασμά τους, προβλέπεται αύξηση του επιπέδου της θάλασσας κατά 1 μέτρο μέχρι το 2100 επηρεάζοντας μεγάλο μέρος του πληθυσμού των παραθαλάσσιων περιοχών.

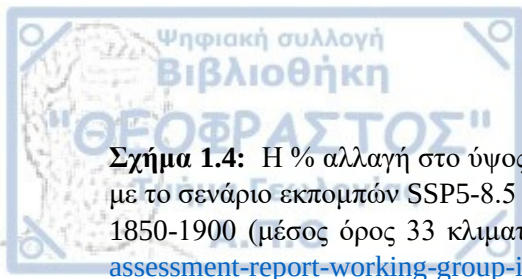
Οι αλλαγές αυτές δεν θα αφήσουν ανεπηρέαστους τους ανθρώπους και τα οικοσυστήματα του πλανήτη. Καταρχάς, με τις παρατεταμένες περιόδους υψηλών θερμοκρασιών είναι αναμενόμενο να υπάρχουν προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων. Ακριβώς για τον ίδιο λόγο,

σε περιοχές του πλανήτη όπου ακόμα και σήμερα παρουσιάζονται προβλήματα στους τομείς της κτηνοτροφίας και της γεωργίας, τα επόμενα χρόνια τα προβλήματα αυτά θα ενταθούν. Οι αυξημένες πυρκαγιές θα αποτελούν απειλή και για τον άνθρωπο και τις καλλιέργειές του, μέσω των οποίων καλύπτει τις ανάγκες για την τροφή του, αλλά και για τα οικοσυστήματα. Η προσαρμογή φυτών και ζώων στις μελλοντικές συνθήκες θα είναι δύσκολη και είτε κάποια είδη θα αναγκαστούν να μεταναστεύσουν σε περιβάλλοντα πιο φιλικά για διαβίωση, είτε κάποια θα εξαφανιστούν. Επιπλέον, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας αποτελεί απειλή για τους κατοίκους παραθαλάσσιων περιοχών. Τέλος, αναμένεται να υπάρχουν δυσκολίες στην κάλυψη αναγκών πόσιμου νερού λόγω αυξημένης ζήτησης, όσο ο πληθυσμός αυξάνεται (https://ufmsecretariat.org/wp-content/uploads/2019/10/MedECC-Booklet_EN_WEB.pdf).



Σχήμα 1.3: Η αλλαγή στην συχνότητα των ημερών με μέγιστη θερμοκρασία $> 35^{\circ}$ που αναμένεται στη Μεσόγειο από το 1950 μέχρι το 2100 με το σενάριο εκπομπών SSP5-8.5 και μέση αύξηση θερμοκρασίας κατά 2°C , σε σχέση με την περίοδο 1850-1900 (μέσος όρος 27 κλιματικών μοντέλων CMIP6). (πηγή: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i>)





Σχήμα 1.4: Η % αλλαγή στο ύψος βροχής που αναμένεται στη Μεσόγειο από το 1950 μέχρι το 2100 με το σενάριο εκπομπών SSP5-8.5 και μέση αύξηση θερμοκρασίας κατά 2°C σε σχέση με την περίοδο 1850-1900 (μέσος όρος 33 κλιματικών μοντέλων CMIP6). (πηγή: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i>)

1.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1.2.1 Κλιματικοί δείκτες

Με τον όρο «κλίμα» προσδιορίζονται οι μέσες μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες διακρίνουν μία περιοχή για μία μακροχρόνια περίοδο που ονομάζεται περίοδος αναφοράς. Κατ' αυτήν την έννοια ωστόσο οι ακραίες συνθήκες που εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα αποσιωπώνται. Στο να δοθεί μια ολοκληρωμένη και πιο αντικειμενική εικόνα του κλίματος μιας περιοχής, συμβάλλουν οι κλιματικοί δείκτες.

Διακρίνονται τρεις τύποι δεικτών:

- 1) Αυτοί που υπολογίζονται με τη χρήση μετεωρολογικών παραμέτρων (όπως της βροχόπτωσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα).
- 2) Αυτοί που υπολογίζουν τη συχνότητα των ημερών οι οποίες ξεπερνούν κάποια όρια μετεωρολογικών παραμέτρων όπως $T_{min} > 20^{\circ} \text{C}$ κλπ.
- 3) Αυτοί που εντοπίζουν περιόδους υγρασίας, ξηρασίας, ζέστης, κρύου και ηπιότητας.

Μερικά παραδείγματα από τις κατηγορίες αυτές είναι τα εξής:

- 1) Για την πρώτη κατηγορία:
 - a. TX_m : μέση μέγιστη θερμοκρασία (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα μέγιστης θερμοκρασίας)
 - b. TN_m : μέση ελάχιστη θερμοκρασία (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα ελάχιστης θερμοκρασίας)
 - c. TX_n : η μικρότερη τιμή μεταξύ των μεγίστων θερμοκρασιών (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα μέγιστης θερμοκρασίας)
 - d. TN_x : η μεγαλύτερη τιμή μεταξύ των ελαχίστων θερμοκρασιών (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα ελάχιστης θερμοκρασίας)

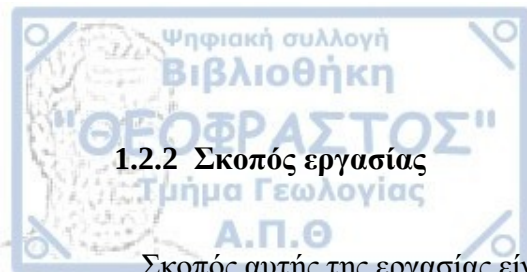
2) Για την δεύτερη κατηγορία:

- a. Rnnmm: ετήσιος αριθμός ημερών όπου η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο όριο, το οποίο τροποποιείται ανάλογα με την εφαρμογή (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης)
- b. TMlt5: αριθμός ημερών με καθημερινή μέση θερμοκρασία $<5^{\circ}\text{C}$ (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας)
- c. TMge5: αριθμός ημερών με καθημερινή μέση θερμοκρασία $\geq 5^{\circ}\text{C}$ (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας)
- d. TXgt50p: ποσοστό ημερών με θερμοκρασία πάνω από τη μέση τιμή (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας)
- e. TX95t: όριο πολύ θερμής ημέρας (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας)

3) Για την τρίτη κατηγορία:

- a. CDD: μέγιστη περίοδος ξηρασίας συνεχόμενων ημερών όπου το ύψος βροχής $\leq 1\text{ mm}$ (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης)
- b. CWD: μέγιστη περίοδος συνεχόμενων ημερών με ύψος βροχής $>1\text{ mm}$ (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης)
- c. WSDI: ετήσιος δείκτης θερμής περιόδου όπου για τουλάχιστον 6 συνεχόμενες ημέρες η μέγιστη θερμοκρασία ξεπερνά το 90° εκατοστημόριο (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας για συγκεκριμένη χρονική περίοδο)
- d. CSDI: ετήσιος δείκτης ψυχρής περιόδου όπου για τουλάχιστον 6 συνεχόμενες ημέρες η μέγιστη θερμοκρασία δεν ξεπερνά το $10^{\text{ου}}$ εκατοστημόριο (χρησιμοποιεί ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας για συγκεκριμένη χρονική περίοδο)
- e. SPI: χαρακτηρίζει περιόδους ξηρασίας διάρκειας μερικών εβδομάδων έως 12 μηνών. Ως ξηρασία ορίζεται η έλλειψη βροχής σε σχέση με τον μέσο όρο της περιόδου αναφοράς (χρησιμοποιεί δεδομένα βροχόπτωσης)

Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκαν δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούν την ελάχιστη θερμοκρασία: οι ημέρες παγετού (Frost days (FD)), οι "τροπικές" νύχτες (Tropical nights (TR)), οι ψυχρές (Cold nights (TN10p)) και θερμές (Warm nights (TN90p)) νύχτες. Αυτοί ορίζονται στην ενότητα 2.2.1.



1.2.2 Σκοπός εργασίας

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να εκτιμήσει αν μεταβάλλεται η συχνότητα εμφάνισης των επιλεγμένων δεικτών, στη Ν. Ευρώπη κ ειδικότερα στις περιοχές που βρέχονται από τη Μεσόγειο θάλασσα, για την περίοδο 1980-2020. Η μελέτη αφορά 13 σταθμούς στη Νότια Ευρώπη, εκ των οποίων οι 2 είναι στην Ελλάδα. Η συμπεριφορά των δεικτών, η μεταβολή τους ή όχι, επίκειται να επιβεβαιώσει ή όχι τη μεταβολή της θερμοκρασίας στη Μεσόγειο και των γύρω περιοχών, αλλά και την τάση αλλαγής που έχει το κλίμα , ώστε να ληφθούν τα ανάλογα μέτρα για την αποφυγή δυσάρεστων συνεπειών της κλιματικής αλλαγής.

Αρχικά, στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει μια αναφορά για τις περιοχές μελέτης και τις μέσες θερμοκρασίες τους, καθώς η κάθε περιοχή έχει τα δικά της θερμοκρασιακά γνωρίσματα. Εν συνεχεία, θα αναλυθούν οι επιλεγμένοι δείκτες. Στο τρίτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτούς τους δείκτες καθώς και τα εργαλεία για τις αναλύσεις αυτών. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο θα συζητηθούν τα συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ MISSING DATA

2.1.1 Δεδομένα

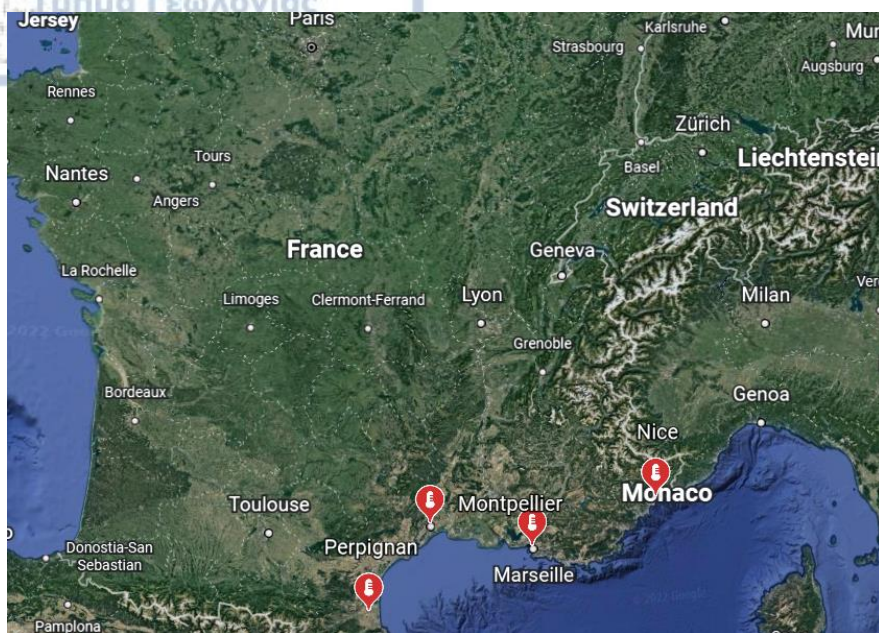
Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια θερμοκρασιακά δεδομένα: T_{max} (C°) και T_{min} (C°) μιας περιόδου αναφοράς 40 ετών από 13 μετεωρολογικούς σταθμούς στη Νότια Ευρώπη. Οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται στην Ισπανία, τη Γαλλία, την Ιταλία, την Ελλάδα και την Κύπρο. Πιο συγκεκριμένα :

Στην Ισπανία: στη Μάλαγα, στη Γρανάδα, στη Λέιδα και στη Μελίγια (Σχήμα 2.1)



Σχήμα 2.1: Οι σταθμοί στην Ισπανία.

Στη Γαλλία: στο Περπινιάν, στο Μονπελιέ, στη Μασσαλία και στη Νίκαια (Σχήμα 2.2)



Σχήμα 2.2: Οι σταθμοί στη Γαλλία.

Στην Ιταλία: στο Μπρίντιζι και στο Κάλιαρι (Σχήμα 2.3)



Σχήμα 2.3: Οι σταθμοί στην Ιταλία.

Στην Ελλάδα: στη Θεσσαλονίκη και στη Λάρισα (Σχήμα 2.4)



Σχήμα 2.4: Οι σταθμοί στην Ελλάδα.

Στην Κύπρο: στη Λάρνακα (Σχήμα 2.5)



Σχήμα 2.5: Οι σταθμοί στην Κύπρο.

Συνολική εικόνα Μεσογείου και Ν. Ευρώπης (Σχήμα 2.6)



Σχήμα 2.6: Χάρτης Νότιας Ευρώπης και Μεσογείου.

Πληροφορίες για τους σταθμούς συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1

Πίνακας 2.1: Γεωγραφικό μήκος, πλάτος και υψόμετρο, για κάθε σταθμό.

ΧΩΡΑ	ΣΤΑΘΜΟΣ	Lat-Lon	ΥΨΟΜΕΤΡΟ
ΙΣΠΑΝΙΑ	MALAGA, SP	36.66° B, -4.48° Δ	7 m
	GRANADA, SP	37.18° B, -3.78° Δ	567 m
	MELILLA, SP	35.27° B, -2.95° Δ	47 m
	LLEIDA, SP	41.62° B, 0.59° Α	192 m
ΓΑΛΛΙΑ	PERPIGNAN, FR	42.73° B, 2.87° Α	42 m
	MONTPELLIER, FR	43.57° B, 3.96° Α	2 m
	MARSEILLES, FR	43.43° B, 5.21° Α	9 m
	NICE, FR	43.64° B, 7.20° Α	2 m
ΙΤΑΛΙΑ	CAGLIARI, IT	39.23° B, 9.05° Α	21 m
	BRINDISI, IT	40.63° B, 17.93° Α	10 m
ΕΛΛΑΔΑ	LARISA, GR	39.65° B, 22.45° Α	73 m
	THESSALONIKI, GR	40.52° B, 22.97° Α	7 m
ΚΥΠΡΟΣ	LARNACA, CY	34.88° B, 33.63° Α	1 m

Θερμοκρασιακό καθεστώς σταθμών

❖ Λάρνακα, Κύπρος



Σχήμα 2.1: Μέση (Tmean), ελάχιστη (Tmin) και μέγιστη (Tmax) θερμοκρασία για τον σταθμό της Λάρνακας, για την περίοδο 1980-2019.

Στον σταθμό της Λάρνακας οι μέσες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 7.6° C τον Ιανουάριο και το Φεβρουάριο έως 33° C τον Αύγουστο. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 19.8° C και είναι η υψηλότερη μεταξύ των σταθμών που μελετώνται.

❖ Γαλλία

▪ Νίκαια



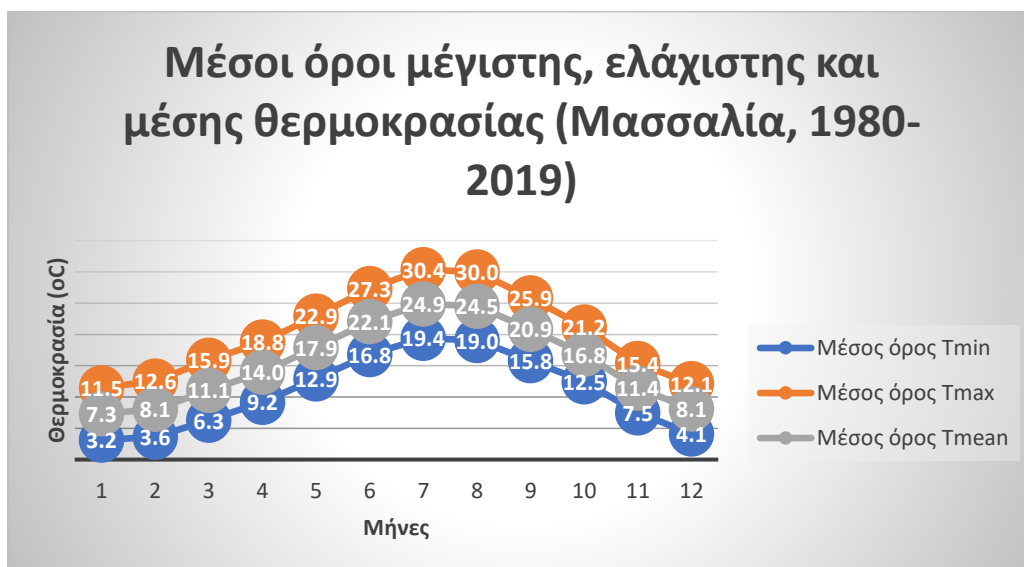
Σχήμα 2.2: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό της Νίκαιας.

■ Περπινιάν



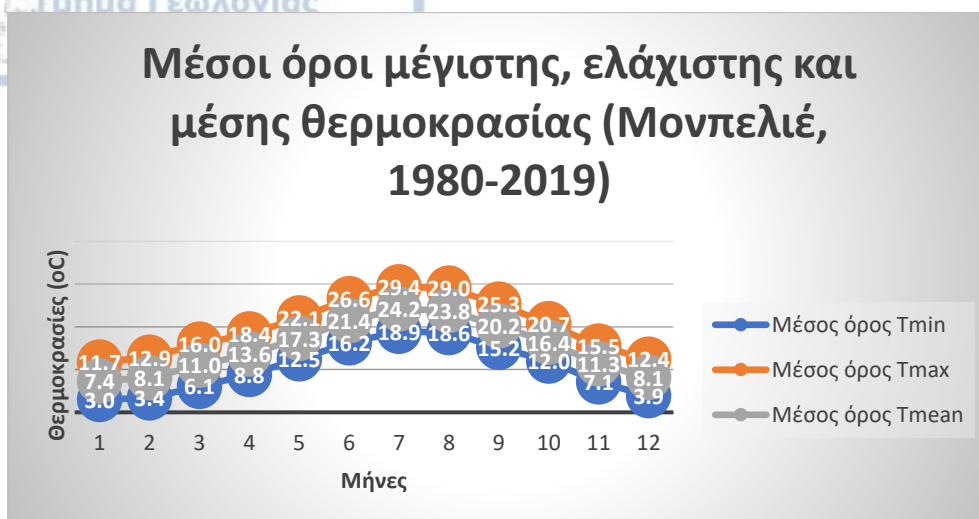
Σχήμα 2.3: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό του Περπινιάν.

■ Μασσαλία



Σχήμα 2.4: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό της Μασσαλίας.

■ Μονπελιέ

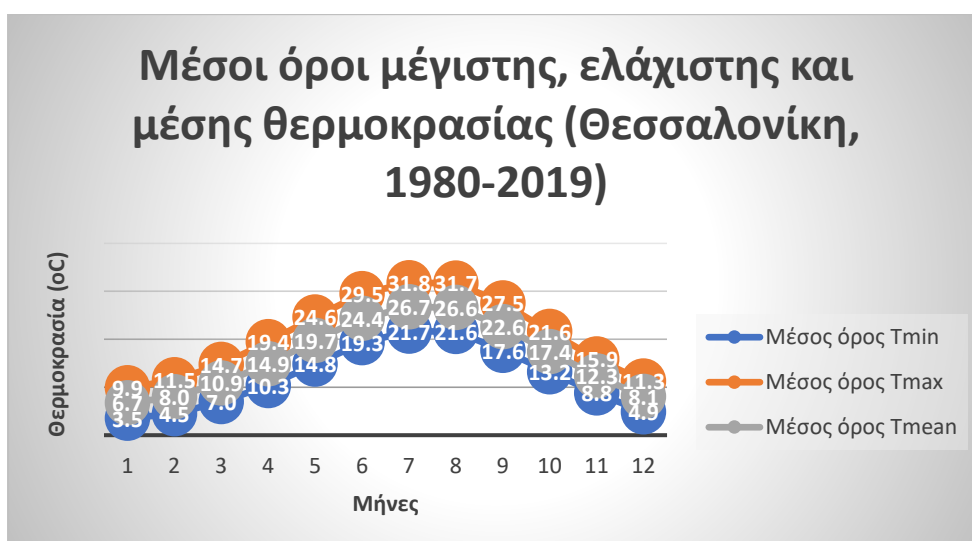


Σχήμα 2.5: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό του Μονπελιέ.

Στη Γαλλία, οι σταθμοί στη Μασσαλία και το Μονπελιέ είναι κοντά θερμοκρασιακά μεταξύ τους, όπως και της Νίκαιας με το Περπινιάν. Οι ετήσιες μέσες θερμοκρασίες είναι (με φθίνουσα σειρά): Νίκαια 16.12° C, Περπινιάν 15.87° C, Μασσαλία 15.59° C, Μονπελιέ 15.28° C. Η χαμηλότερη μέση ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται στο Μονπελιέ με 2.97° C τον Ιανουάριο, ενώ η υψηλότερη μέση μέγιστη στη Μασσαλία με 30.35° C τον Ιούλιο.

❖ **Ελλάδα**

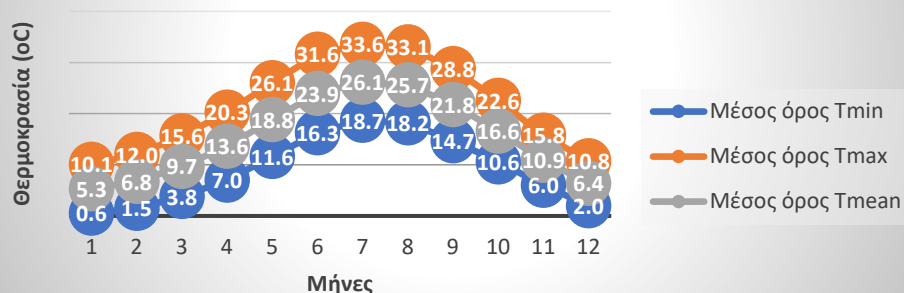
■ Θεσσαλονίκη



Σχήμα 2.6: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης.

■ Λάρισα

Μέσοι όροι μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας (Λάρισα, 1980-2019)



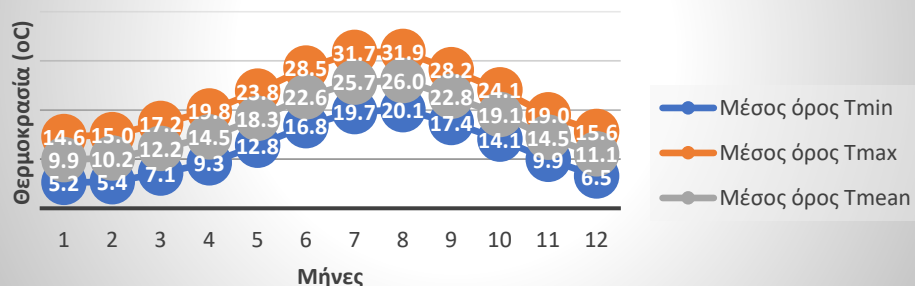
Σχήμα 2.7: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό της Λάρισας.

Στην Ελλάδα, οι 2 σταθμοί έχουν διαφορά 2-3° C , με τη Λάρισα ψυχρότερη από τη Θεσσαλονίκη κατά 3° C την χειμερινή περίοδο και θερμότερη κατά 2° C την θερινή. Η χαμηλότερη μέση ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται στη Λάρισα τον Ιανουάριο με 0.56° C και η υψηλότερη μέση μέγιστη θερμοκρασία τον Ιούλιο με 33.57° C. Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες είναι 16.52° C για τη Θεσσαλονίκη και 15.47° C για τη Λάρισα.

❖ Ιταλία

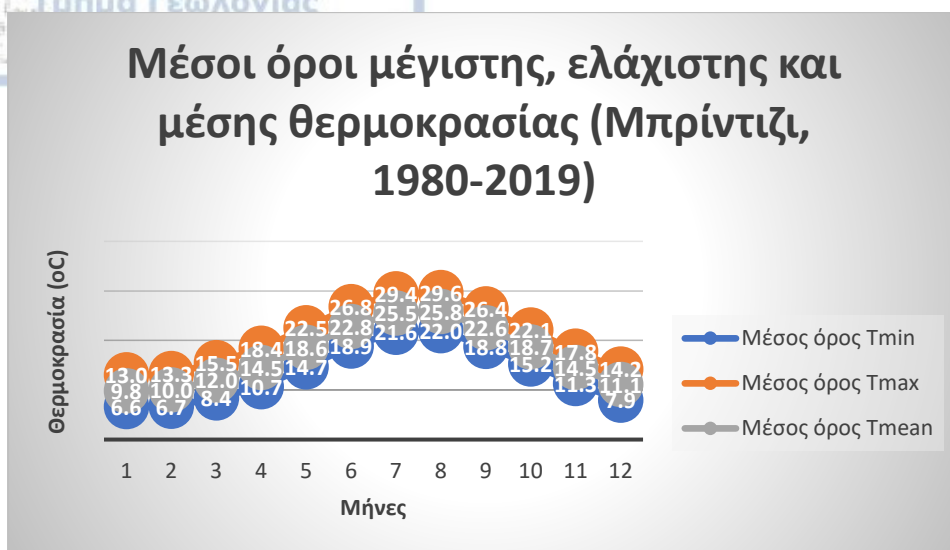
■ Κάλιαρι

Μέσοι όροι μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας (Κάλιαρι, 1980-2019)



Σχήμα 2.8: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό του Κάλιαρι.

■ Μπρίντιζι

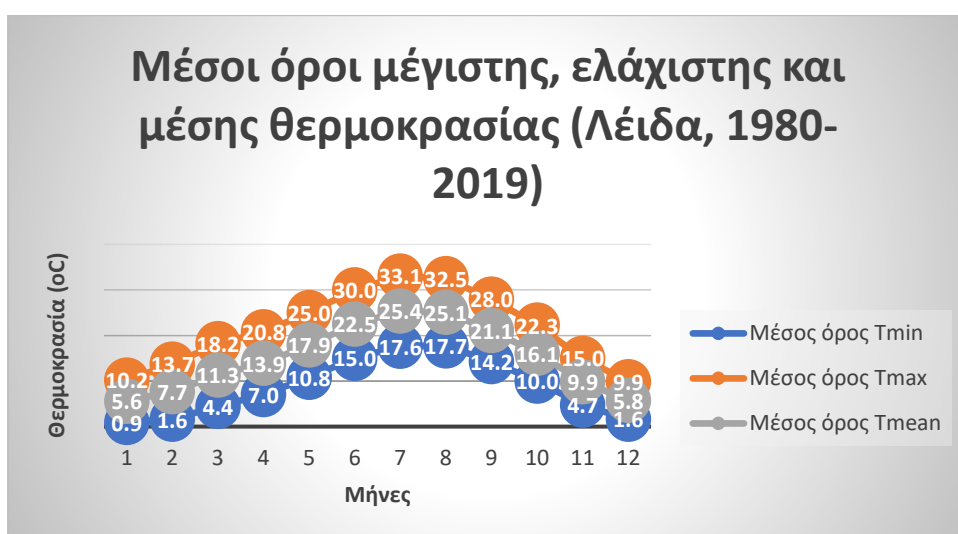


Σχήμα 2.9: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό του Μπρίντιζι.

Στην Ιταλία, στον σταθμό του Κάλιαρι καταγράφηκαν χαμηλότερες θερμοκρασίες κατά τη χειμερινή περίοδο και υψηλότερες την καλοκαιρινή σε σύγκριση με το Μπρίντιζι. Η χαμηλότερη μέση ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται στο Κάλιαρι τον Ιανουάριο με 5.25°C και μεγαλύτερη μέση μέγιστη τον Αύγουστο με 31.91°C . Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες είναι 17.23°C για το Κάλιαρι και 17.16°C για το Μπρίντιζι.

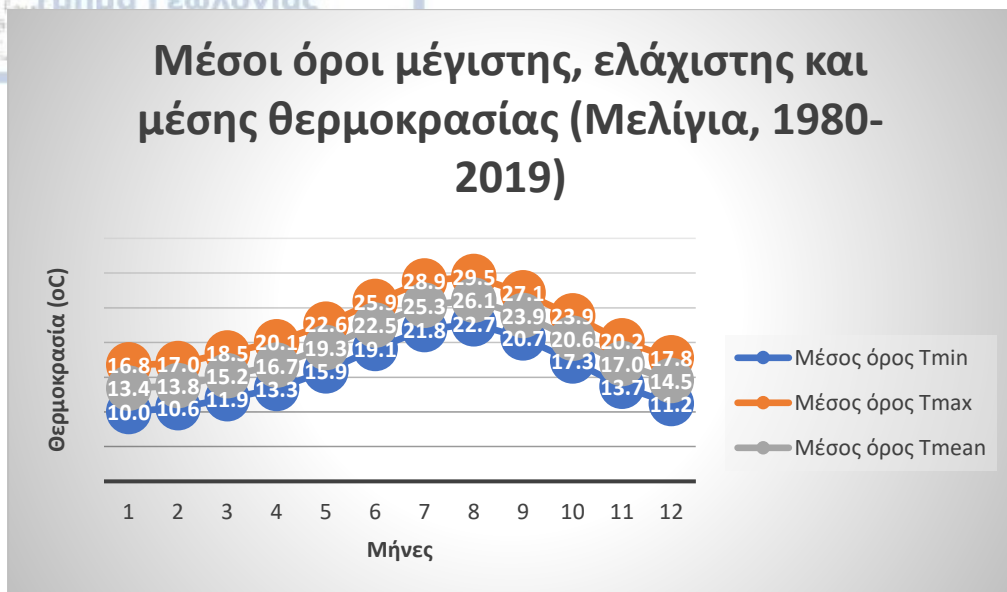
❖ **Ισπανία**

■ Λείδα



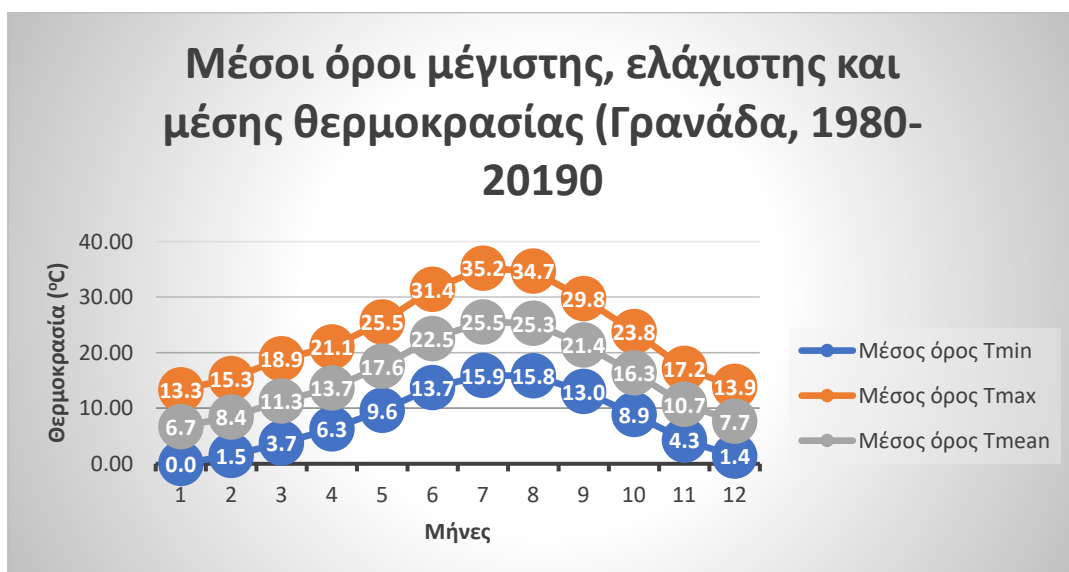
Σχήμα 2.10: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό της Λείδα.

■ Μελίγια



Σχήμα 2.11: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό της Μελίγια.

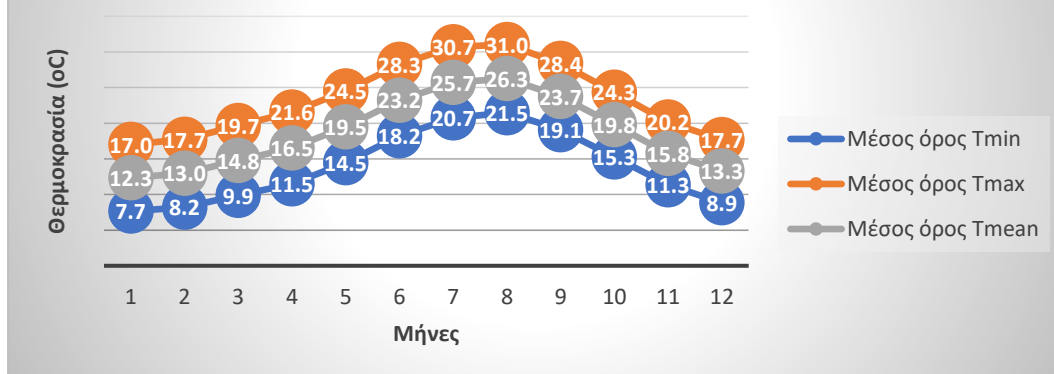
■ Γρανάδα



Σχήμα 2.12: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό της Γρανάδα.

■ Μάλαγα

Μέσοι όροι μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας (Μάλαγα, 1980-2019)



Σχήμα 2.13: Όπως στο σχήμα 2.1 αλλά για τον σταθμό της Μάλαγα.

Στην Ισπανία και οι 4 σταθμοί διαφοροποιούνται μεταξύ τους. Ο σταθμός στη Γρανάδα έχει σχετικά παρόμοιες θερμοκρασίες με τον σταθμό στη Λέιδα, ενώ ο σταθμός στη Μελίγια με τον σταθμό στη Μάλαγα, με 2-3° C κατά τη χειμερινή περίοδο και ψυχρότερη μεταξύ των 2 τη Μελίγια. Συνολικά μεταξύ των τεσσάρων σταθμών και ψυχρότερος αλλά και θερμότερος είναι ο σταθμός στη Γρανάδα, με χαμηλότερη μέση ελάχιστη θερμοκρασία 0.04° C τον Ιανουάριο και μεγαλύτερη μέση μέγιστη θερμοκρασία 35.2° C τον Ιούλιο. Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες είναι (με φθίνουσα σειρά): 19.02° C στη Μελίγια, 18.66° C στη Μάλαγα, 15.59° C στη Γρανάδα και 15.19° C στη Λέιδα.

Τα δεδομένα για τους σταθμούς της Ιταλίας, της Ισπανίας, της Γαλλίας και της Κύπρου συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων Climate Data Online του National Centers for Environmental Information/ National Oceanic and Atmospheric Administration (<https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/>). Για τους σταθμούς της Ελλάδας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον Μετεωρολογικό σταθμό του Α.Π.Θ (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης) για τη Θεσσαλονίκη και από το Αεροδρόμιο Λαρίσης για τη Λάρισα.

2.1.2 Missing Data

Καθότι τα θερμόμετρα, τυχαίνει είτε να χαλάσουν είτε να μην λειτουργούν σωστά κάποιο από τα δύο, ως αποτέλεσμα είναι να υπάρχουν οι ημέρες κατά τις οποίες τα όργανα δεν έχουν καταγράψει δεδομένα (missing data). Οι ελλείψεις των δεδομένων ανά σταθμό, όσον αφορά τις θερμοκρασίες του αέρα παρουσιάζονται αναλυτικά στο παράρτημα.

2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ

2.2.1 Κλιματικοί δείκτες

Όπως προαναφέρθηκε, οι κλιματικοί δείκτες παίζουν σημαντικό ρόλο, καθώς συντελούν σε μια πιο αντικειμενική απεικόνιση και κατανόηση του κλίματος μίας περιοχής, αφού λαμβάνουν υπόψη τους και ακραίες τιμές, οι οποίες όταν συμπεριλαμβάνονται σε έναν μηνιαίο μέσο όρο απαλείφονται.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν κλιματικοί δείκτες με ημερήσια θερμοκρασιακά δεδομένα και πιο συγκεκριμένα δεδομένα ελάχιστης θερμοκρασίας:

- **TN10p-Cool nights/ Ψυχρές νύχτες:** (δεδομένα ημερήσιας θερμοκρασίας) ποσοστό ημερών όπου η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία είναι μικρότερη του 10^{ου} εκατοστημορίου.
- **TN90p-Warm nights/ Θερμές νύχτες:** (δεδομένα ημερήσιας θερμοκρασίας) ποσοστό ημερών όπου η ελάχιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη του 90^{ου} εκατοστημορίου.
- **TR20-Tropical nights/ Τροπικές νύχτες:** (δεδομένα ημερήσιας θερμοκρασίας) ετήσιος αριθμός ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη των 20° C.
- **FD-Frost Days/ Ημέρες παγετού:** (δεδομένα ημερήσιας θερμοκρασίας) ετήσιος αριθμός ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία μικρότερη των 0° C.

2.2.2 Μέθοδοι

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν εργαλεία που αφορούν τη στατιστική ανάλυση και σημαντικότητα. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε γραμμική ανάλυση (regression analysis) και t-tests (μέσω του Excel) και στη συνέχεια η ανάλυση αναγνώρισης σημείων αλλαγών τάσης (Change Point Analyzer ,ή εν συντομία CPA (<https://variation.com/product/change-point-analyzer/>)).

Γραμμική ανάλυση (Regression analysis)

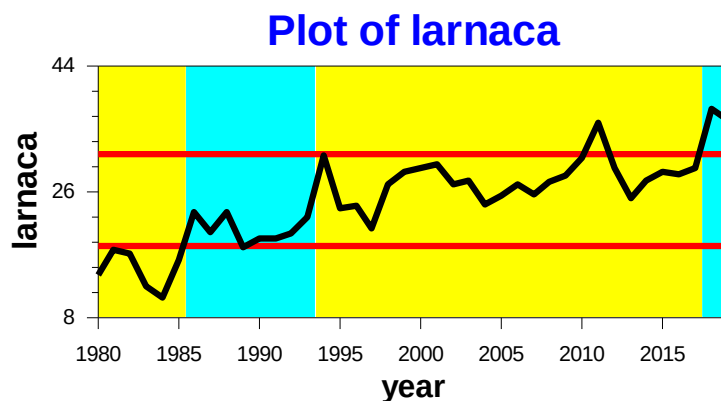
Σαν μια γενικότερη ερμηνεία, η γραμμική παλινδρόμηση είναι ένα σύνολο μεθόδων στατιστικής που εκτιμούν τη σχέση μεταξύ μιας εξαρτώμενης μεταβλητής και μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Αποτέλεσμα των σχέσεων είναι να γίνει γνωστή η τάση (αυξητική ή μειωτική) των δεδομένων αλλά και η στατιστική σημαντικότητά τους.

Η πιο απλή μορφή της γραμμικής παλινδρόμησης αποτελεί η γραμμική σχέση μεταξύ μιας ανεξάρτητης και μιας εξαρτώμενης μεταβλητής. Αυτή η σχέση εκφράζεται από την εξίσωση $y=ax+\beta$ (+e), όπου y =η εξαρτώμενη μεταβλητή, x =η ανεξάρτητη μεταβλητή, a =η κλίση της ευθείας της γραμμικής παλινδρόμησης, β = το σημείο που τέμνει η ευθεία της γραμμικής παλινδρόμησης τον άξονα y και e το σφάλμα. Μαζί με την εξίσωση υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης R που χαρακτηρίζει την σχέση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής. Το R^2 μπορεί να πάρει τιμές από 0 έως 1. Η τιμή 0 αντιπροσωπεύει μη γραμμική σχέση ενώ η τιμή 1 πολύ ισχυρή γραμμική σχέση. Η στατιστική σημαντικότητα της γραμμικής παλινδρόμησης εκτιμήθηκε με τον υπολογισμό του συντελεστή p .

Αν το p , αν έχει τιμή μικρότερη από 0.05 τότε η γραμμική σχέση είναι στατιστικά σημαντική με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Ανάλυση αναγνώρισης σημείων αλλαγής τάσης (Change Point Analyzer-CPA)

Η ανάλυση με την CPA έχει ως σκοπό την γνωστοποίηση και συγκεκριμενοποίηση των παρατηρούμενων αλλαγών στα εκάστοτε δεδομένα. Έχει χρησιμοποιηθεί στην μελέτη των τάσεων της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στον ελλαδικό χώρο (Mavromatis and Stathis, 2011). Εν αντιθέσει με την γραμμική παλινδρόμηση ανιχνεύει τις αλλαγές που πραγματοποιούνται αλλά και πότε ακριβώς συμβαίνουν. Δίνει επίσης το επίπεδο εμπιστοσύνης για κάθε αλλαγή που υπολογίζει, κάτι πολύ σημαντικό για τον χρήστη αυτής της μεθόδου καθώς είναι κρίσιμο να γνωρίζει την αξιοπιστία και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.





Σχήμα 2.14: Συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών για την περίοδο 1980-2019 στη Λάρνακα και τα σημεία αλλαγής του δείκτη για την περίοδο αυτή με την μέθοδο CPA.

Στο σχήμα 2.14 παρουσιάζεται η ετήσια συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών για την περίοδο 1980-2019 στη Λάρνακα. Στον οριζόντιο άξονα προβάλλονται οι χρονιές της περιόδου αναφοράς και στον κατακόρυφο άξονα ο αριθμός εμφάνισης των τροπικών νυχτών. Στο παράδειγμα μάλιστα φαίνεται ότι κυριαρχεί αυξητική τάση στην εμφάνιση του συγκεκριμένου δείκτη. Όταν το πρόγραμμα ανιχνεύσει σημείο αλλαγής, χρησιμοποιεί διαφορετικό χρώμα. Τα σημεία αλλαγής προβάλλονται στο διάγραμμα με γαλάζιο χρώμα και αφορούν την περίοδο 1986-1994 και 2018. Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της CPA. Το 1986 η CPA εντόπισε αύξηση «τροπικών» νυχτών από 14.86 σε 20.8 με επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Περαιτέρω αυξήσεις στην συχνότητα (από 20.8 σε 27.74 και από 27.74 σε 37.22, με επίπεδο εμπιστοσύνης 97% και 96% αντίστοιχα) παρατηρήθηκαν τα έτη 1994 και 2018.

Πίνακας 2.2: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αλλαγής σημείου

Table of Significant Changes for Iarnaca

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1986	(1983, 1986)	99%	14.868	20.803	3 
1994	(1994, 1996)	96%	20.803	27.746	1 
2018	(2016, 2018)	97%	27.746	37.22	3 

Όλα τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν στο τρίτο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που αφορούν την ανάλυση τάσεων α) με γραμμική ανάλυση και β) με προσδιορισμό του σημείου αλλαγής της τάσης (Change Point Analysis (CPA)).

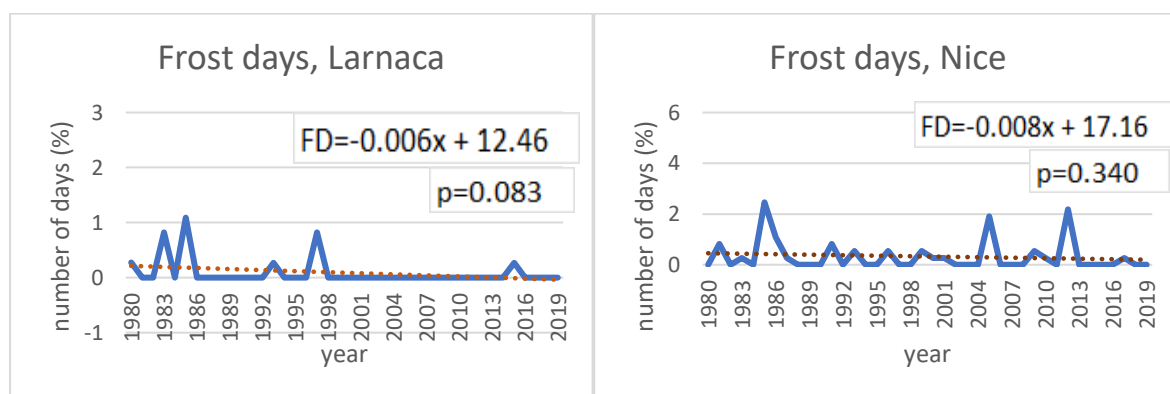
3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΕΩΝ

3.1.1 Γραμμική ανάλυση τάσης

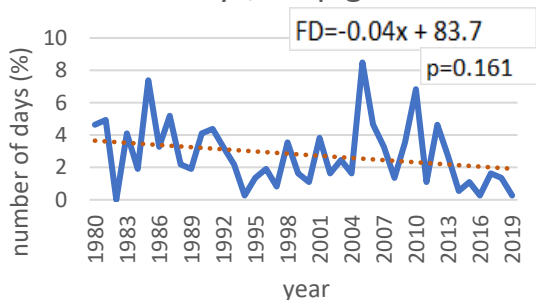
Σε όλα τα σχήματα στον κατακόρυφο άξονα είναι η συχνότητα εμφάνισης του εκάστοτε δείκτη και στον οριζόντιο άξονα ο χρόνος η περίοδος αναφοράς (1980-2019).

3.1.1.1 Ημέρες παγετού (Frost days, ημέρες με $T_{min} < 0^{\circ} \text{C}$)

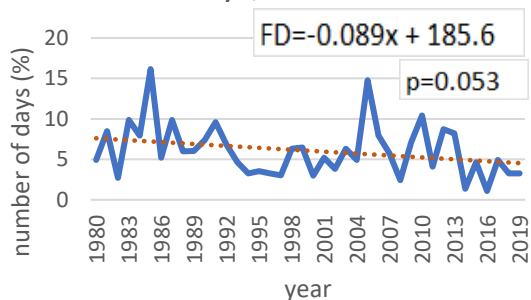
Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται τα σχήματα της γραμμικής παλινδρόμησης για τις ημέρες παγετού σε ετήσια βάση. Παρουσιάζονται επίσης και οι εξισώσεις της γραμμικής ανάλυσης με τα αντίστοιχα p για κάθε σταθμό, τα οποία εκφράζουν τη στατιστική σημαντικότητα.



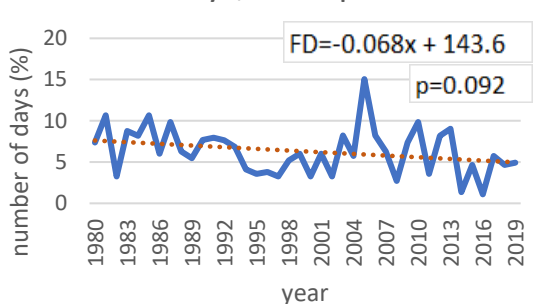
Frost days, Perpignan



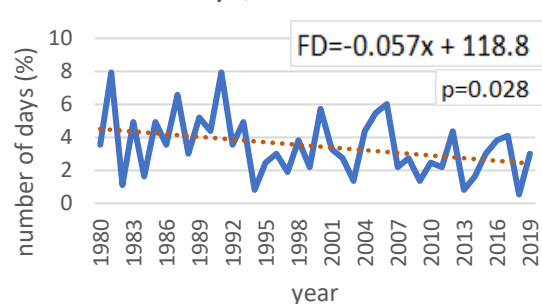
Frost days, Marseilles



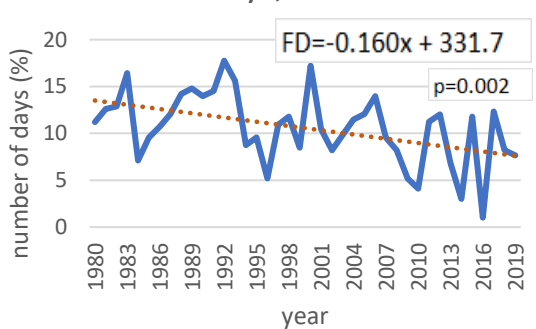
Frost days, Montpellier



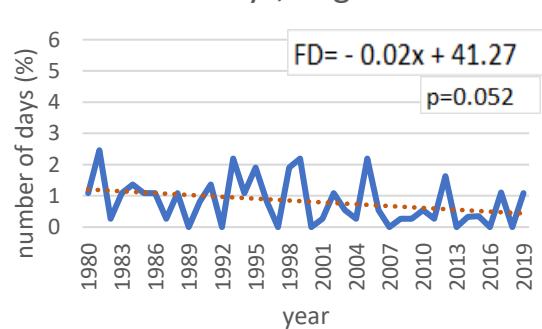
Frost days, Thessaloniki



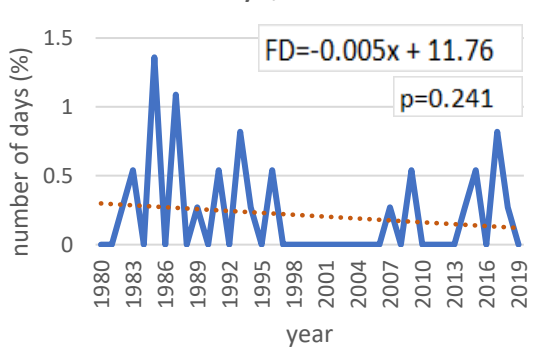
Frost days, Larissa



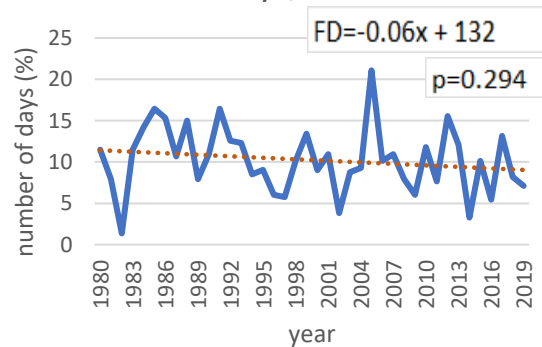
Frost days, Cagliari

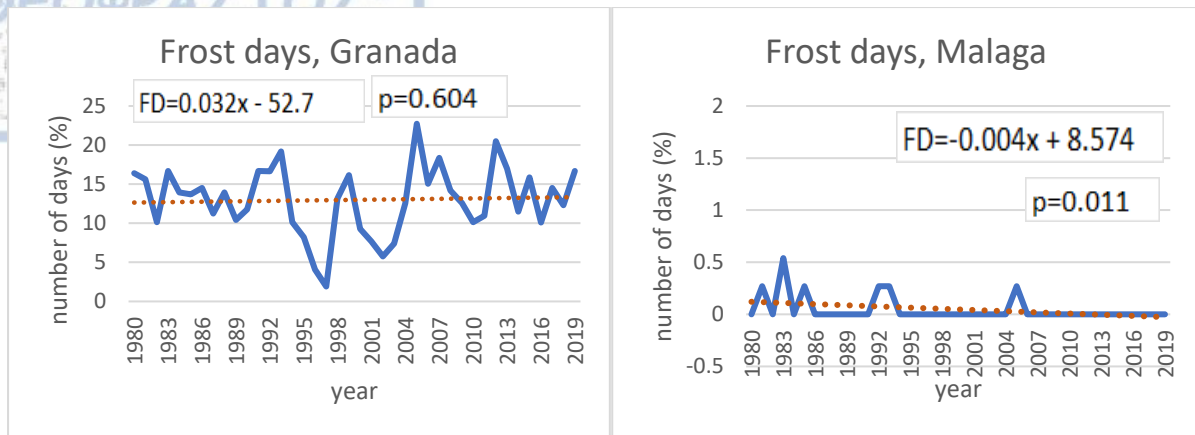


Frost days, Brindisi



Frost days, Lleida

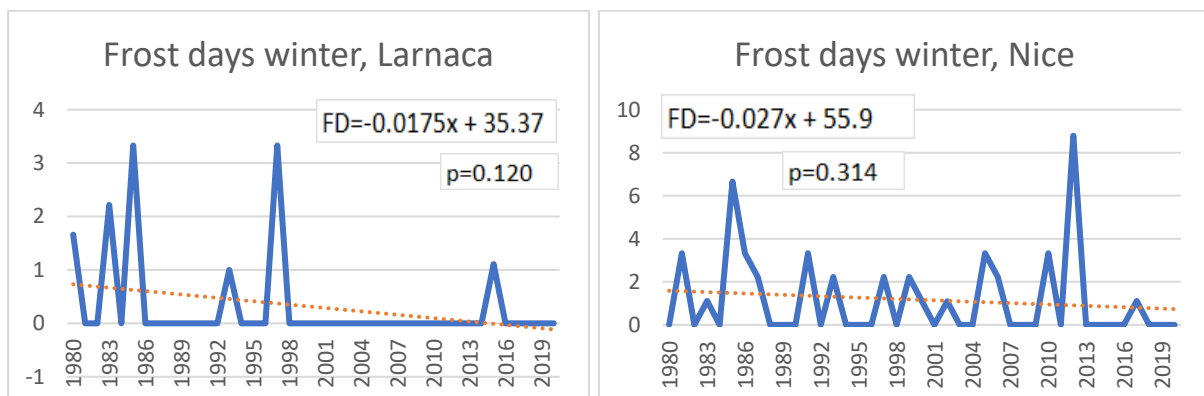




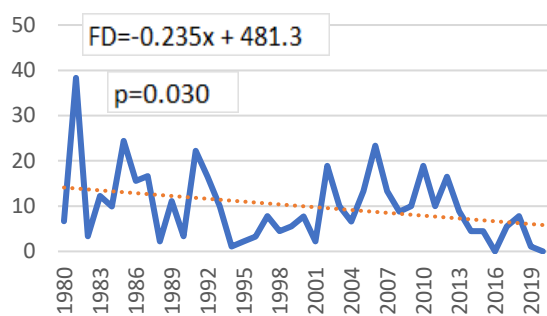
Σχήμα 3.1: Ανάλυση τάσης με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης. Στον άξονα y αναγράφονται τα ποσοστά εμφάνισης ημερών του δείκτη και στον άξονα x τα έτη. Παρουσιάζονται επίσης και οι εξισώσεις της γραμμικής ανάλυσης και η στατιστική σημαντικότητα της κλίσης (p). Η διακεκομμένη κόκκινη γραμμή είναι η γραμμική τάσης.

Οι ημέρες παγετού παρουσιάζουν πτωτική τάση στην εμφάνιση ημερών από το 1980 μέχρι το 2019, σύμφωνα με τη γραμμική ανάλυση. Εξαίρεση αποτελεί η Γρανάδα η οποία φαίνεται να έχει μη στατιστικά σημαντική ($p=0.6 > 0.05$) αυξητική τάση. Οι σταθμοί που παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές τάσεις είναι αυτοί της Λάρισας, της Θεσσαλονίκης και της Μάλαγα. Οι υπόλοιποι (Λάρνακα, Νίκαια, Περπινιάν, Μονπελιέ, Μασσαλία, Κάλιαρι, Μπρίντιζι, Λέριδα, Γρανάδα) έχουν μη στατιστικά σημαντικές τάσεις. Η Μελίγια δεν παρουσιάζεται γιατί δεν εμφανίζονται ημέρες παγετού στην χρονοσειρά της.

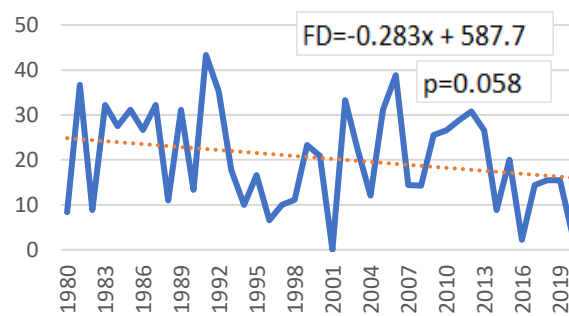
3.1.1.2 Ημέρες παγετού την χειμερινή περίοδο (Frost days-winter, ημέρες με $T_{min} < 0^{\circ} C$)



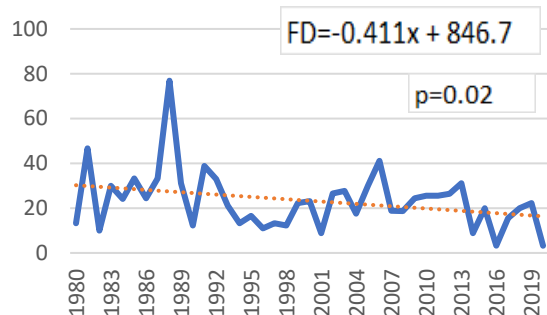
Frost days winter, Perpignan



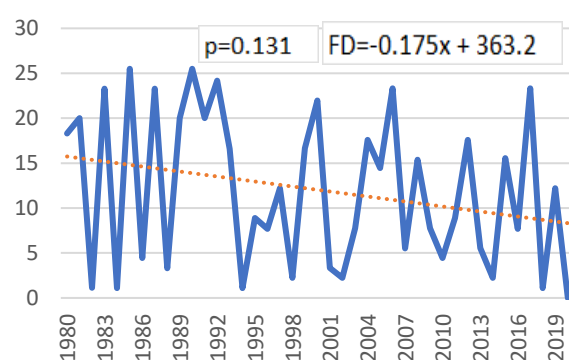
Frost days winter, Marseilles



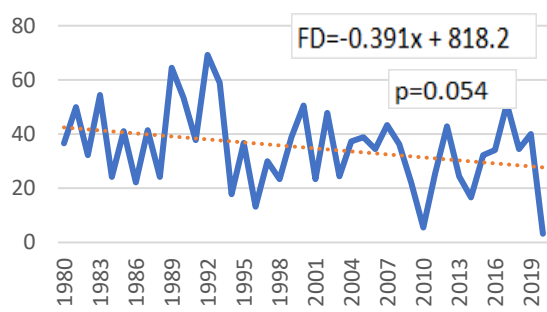
Frost days winter,
Montpellier



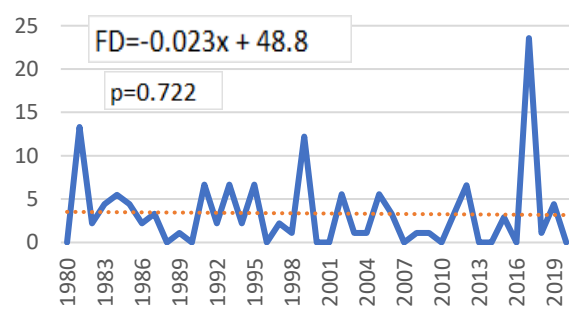
Frost days winter, Thessaloniki



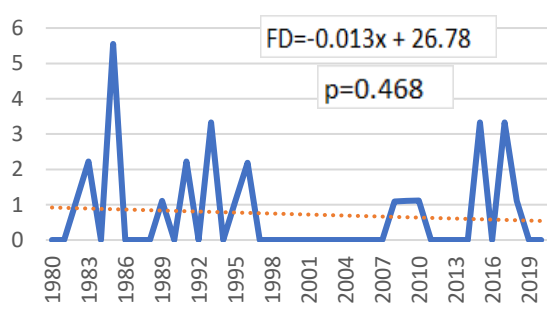
Frost days winter, Larissa



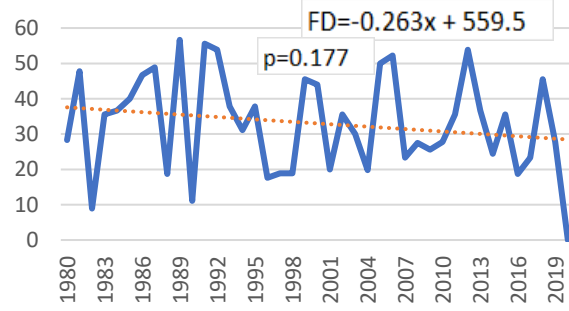
Frost days winter, Cagliari

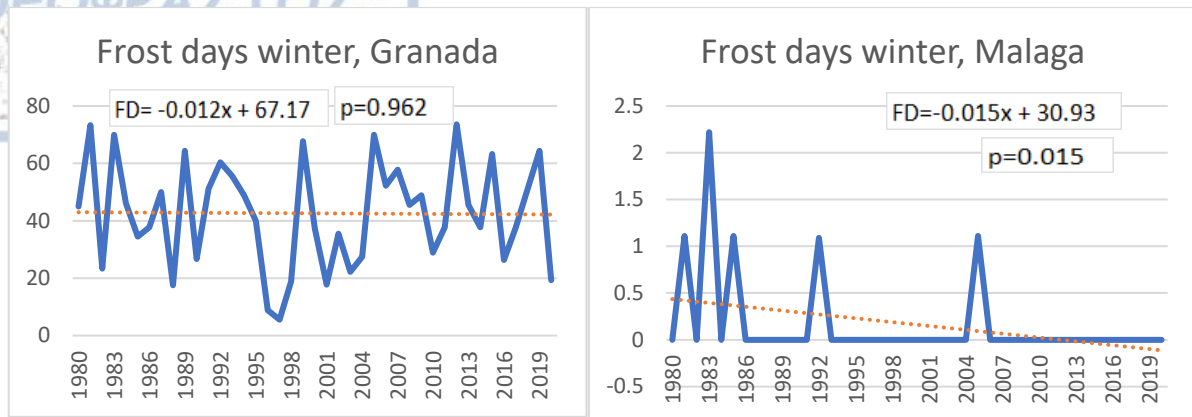


Frost days winter, Brindisi



Frost days winter, Lleida

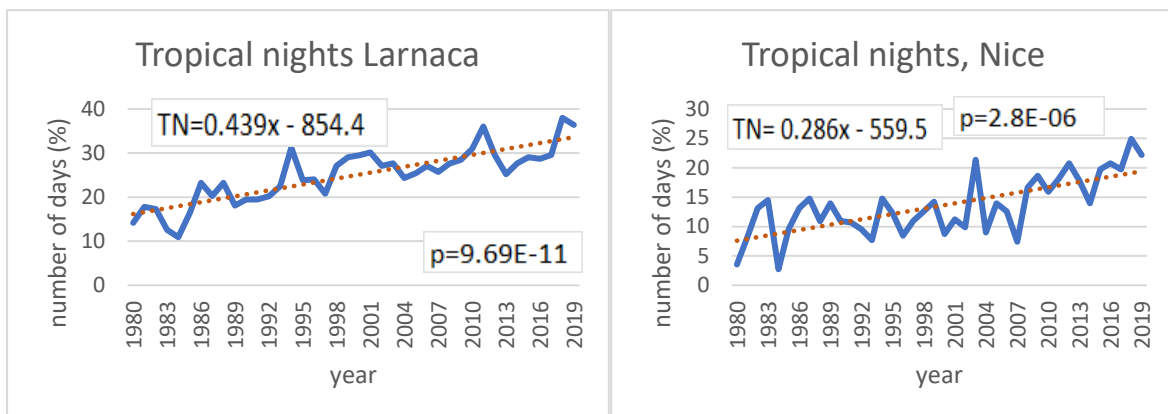




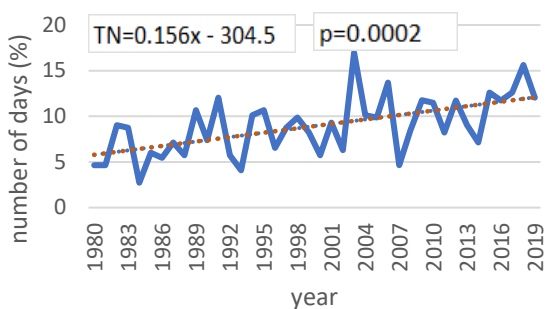
Σχήμα 3.2: Όπως το 3.1 μόνο που εμφανίζεται ο δείκτης για τις ημέρες παγετού για τη χειμερινή περίοδο.

Όλοι οι σταθμοί παρουσιάζουν μειωτική τάση για τον δείκτη frost days, για τη χειμερινή περίοδο. Ωστόσο μόνο οι σταθμοί του Περπινιάν, του Μονπελιέ και της Μάλαγα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές τάσεις σύμφωνα με τη γραμμική ανάλυση. Η Μελίγια δεν παρουσιάζεται γιατί δεν εμφανίζονται ημέρες παγετού στην χρονοσειρά της.

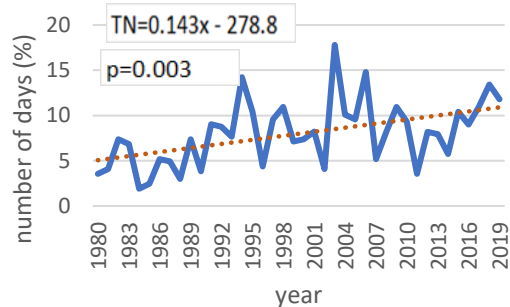
3.1.1.3 Τροπικές νύχτες (Tropical nights, ημέρες με $T_{min} > 20^{\circ} \text{C}$)



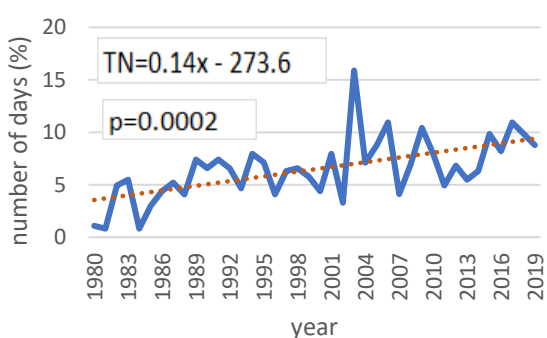
Tropical nights, Perpignan



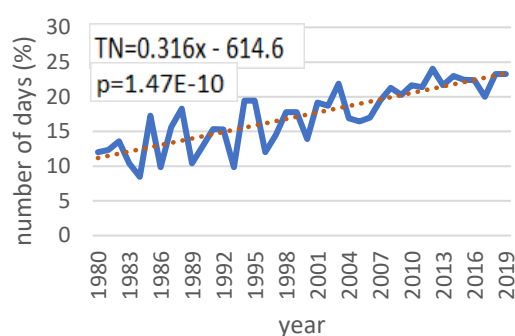
Tropical nights, Marseilles



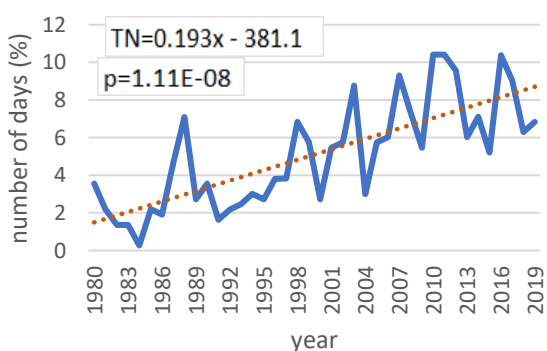
Tropical nights, Montpellier



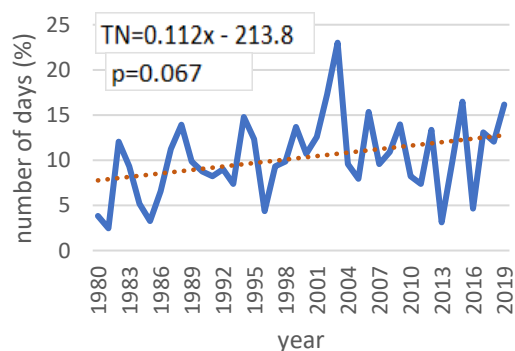
Tropical nights, Thessaloniki



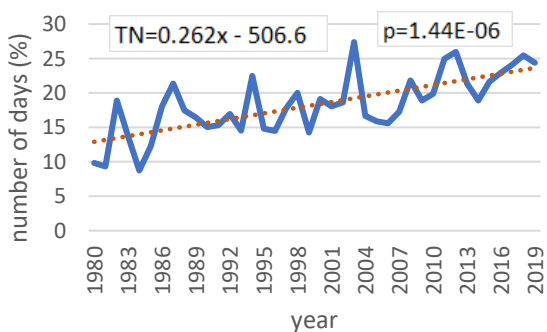
Tropical nights, Larissa



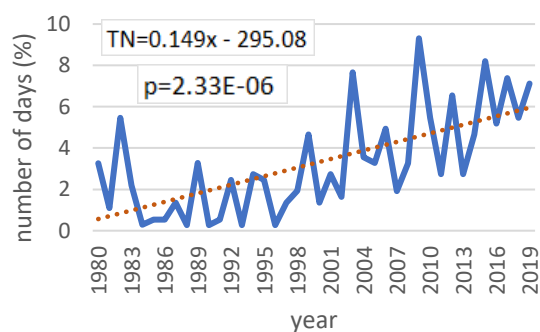
Tropical nights, Cagliari

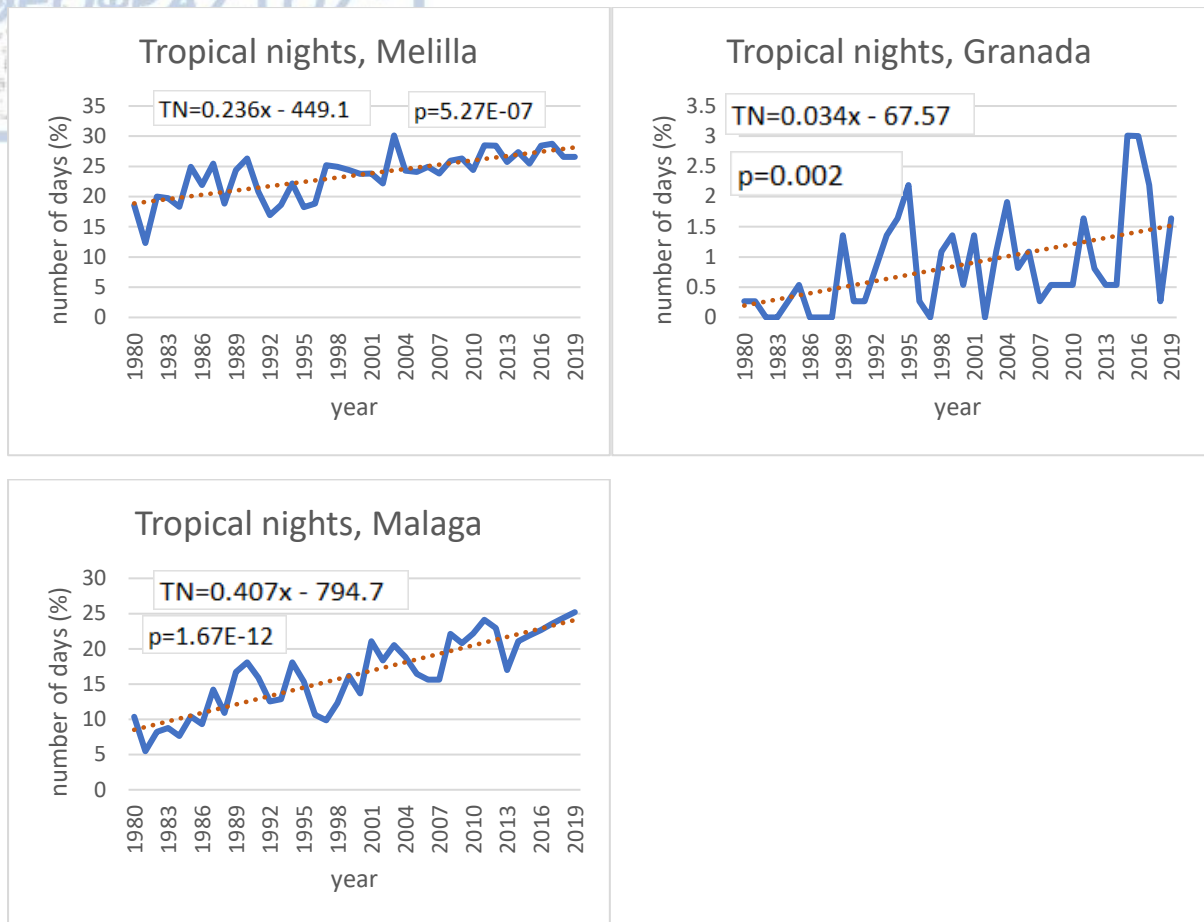


Tropical nights, Brindisi



Tropical nights, Lleida

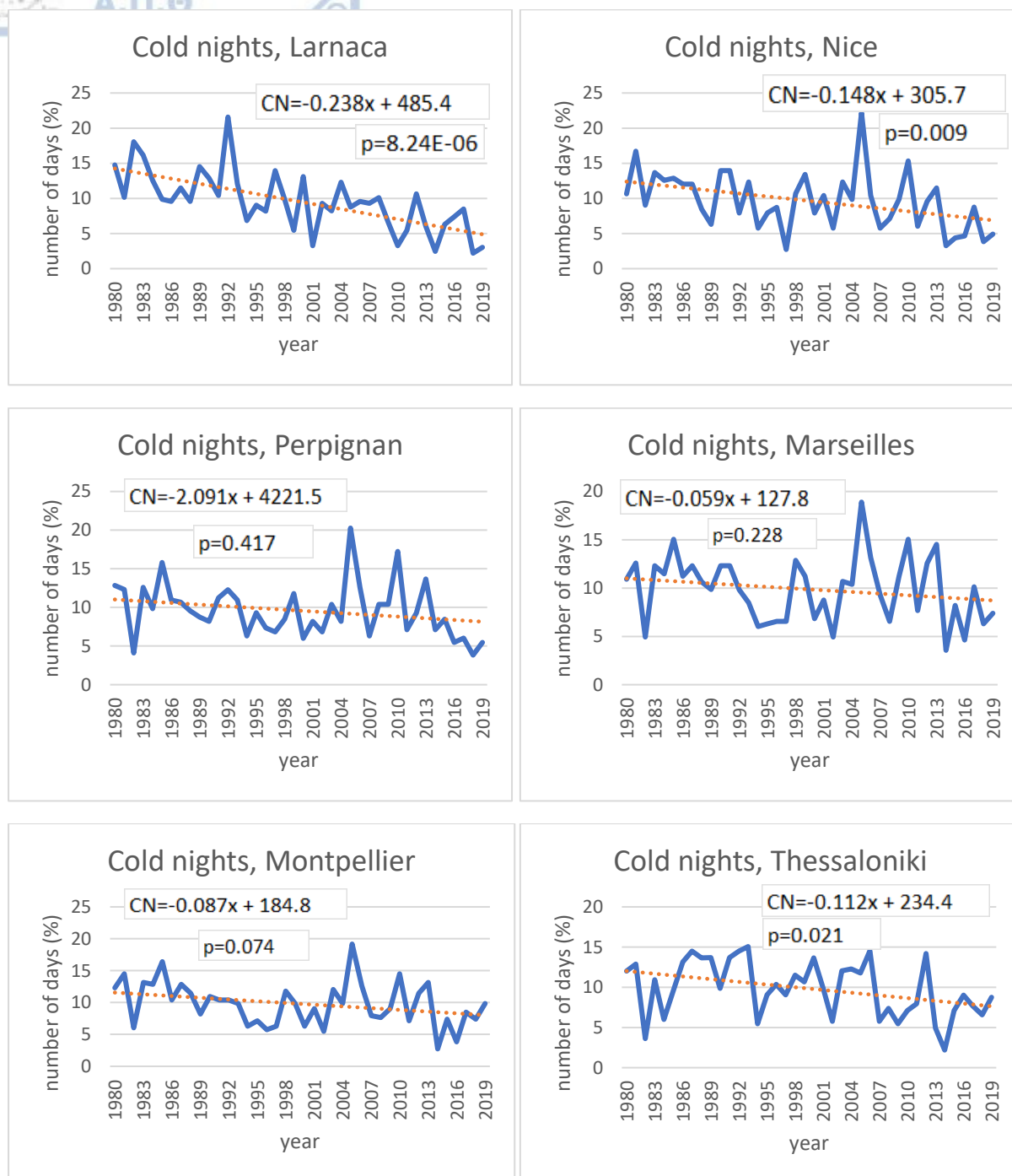




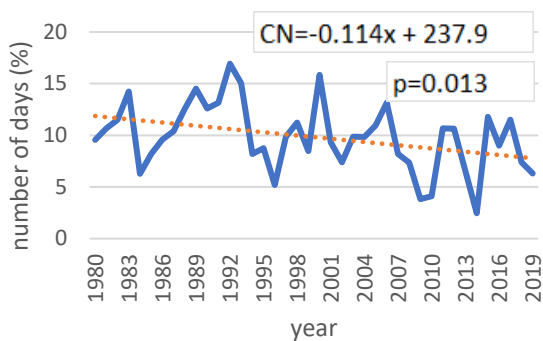
Σχήμα 3.3: Όπως το σχήμα 3.1 μόνο που εμφανίζεται ο δείκτης για τις τροπικές νύχτες.

Όλοι οι σταθμοί παρουσιάζουν αυξητική τάση στην συχνότητα εμφάνισης των τροπικών νυχτών. Οι τάσεις είναι στατιστικά σημαντικές σε όλους τους σταθμούς με εξαίρεση το σταθμό του Κάλιαρι ($p = 0.067 > 0.05$). Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της νύχτας δυσχεραίνουν την καθημερινότητα των ανθρώπων και δη για των ηλικιωμένων, αλλά και των ανθρώπων με προβλήματα υγείας (europaeea) (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/annual-number-of-nights-of>). Τέτοια προβλήματα μπορούν να ενταθούν με την αύξηση εμφάνισης του δείκτη, η οποία όπως διαφαίνεται και από τα διαγράμματα υπάρχει.

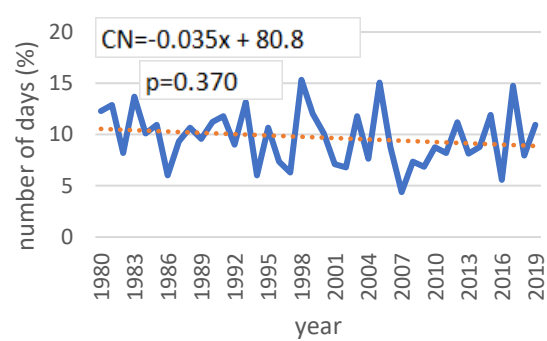
3.1.1.4 Ψυχρές νύχτες (Cold nights, ποσοστό ημερών με $T_{min} < 10^{\circ}$ εκατοστημορίου)



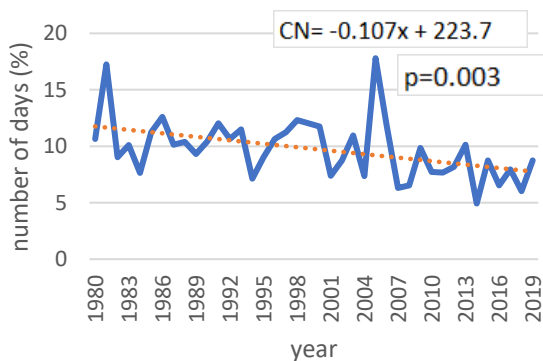
Cold nights, Larissa



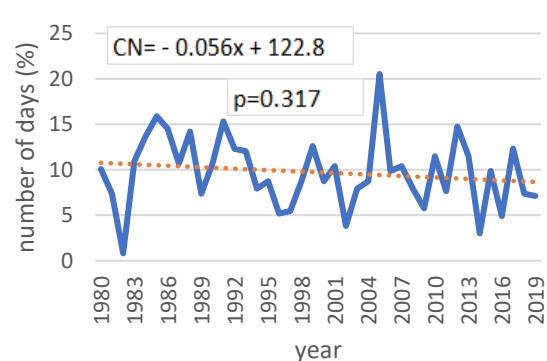
Cold nights, Cagliari



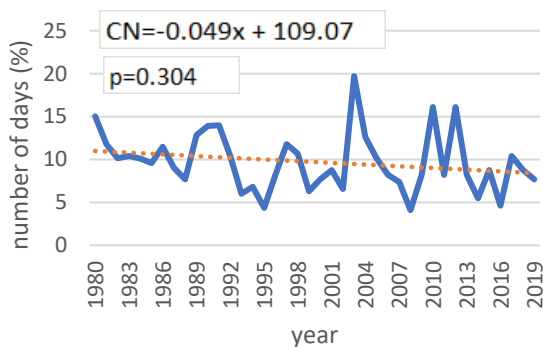
Cold nights, Brindisi



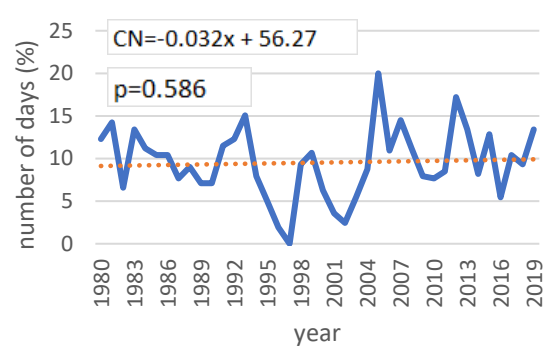
Cold nights, Lleida



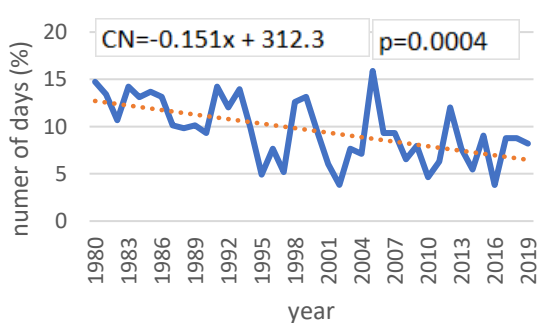
Cold nights, Melilla



Cold nights, Granada



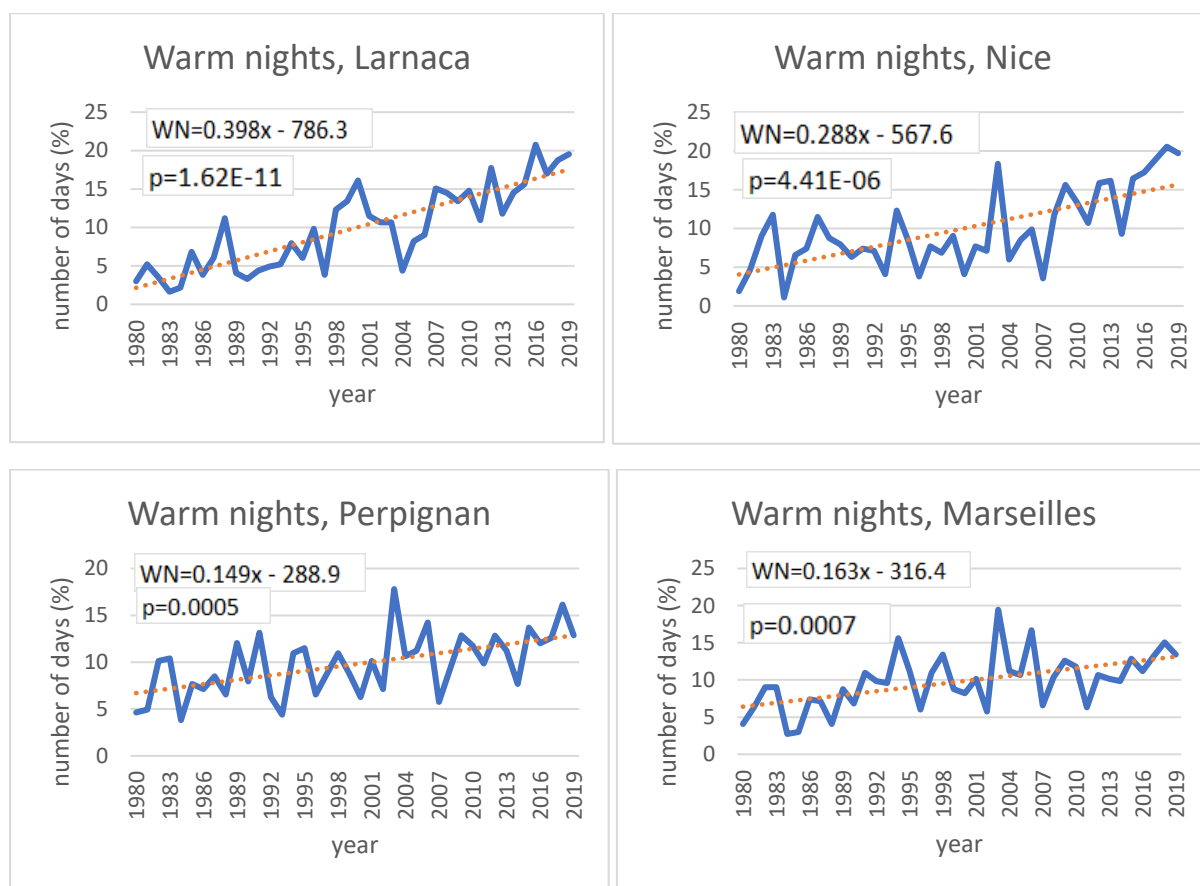
Cold nights, Malaga



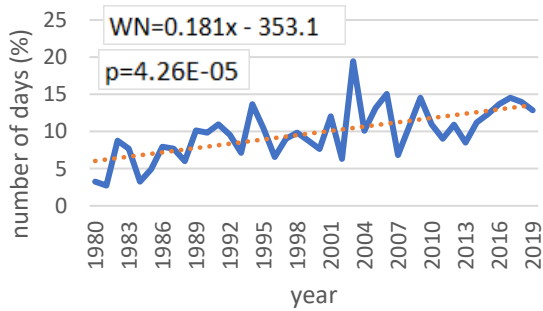
Σχήμα 3.4: Όπως το σχήμα 3.1 μόνο που εμφανίζεται ο δείκτης για τις ψυχρές νύχτες.

Αν και όλοι οι σταθμοί παρουσιάζουν σύμφωνα με τη γραμμική ανάλυση μειωτική τάση στην εμφάνιση των ψυχρών νυχτών, οι σταθμοί που παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές τάσεις είναι οι σταθμοί: στη Λάρνακα, τη Νίκαια, τη Θεσσαλονίκη, τη Λάρισα, το Μπρίντζι και η Μάλαγα. Εξάιρεση στη μείωση που παρατηρείται αποτελεί η Γρανάδα, η οποία παρουσιάζει μια μη στατιστικά σημαντική ($p=0.586>0.05$) αυξητική τάση, με σημαντικές αυξομειώσεις όμως (πχ. ενώ στα έτη 1993 και 1999 βρέθηκε σημαντική αύξηση στην συχνότητα εμφάνισης (15.03% και 10.68% αντίστοιχα).

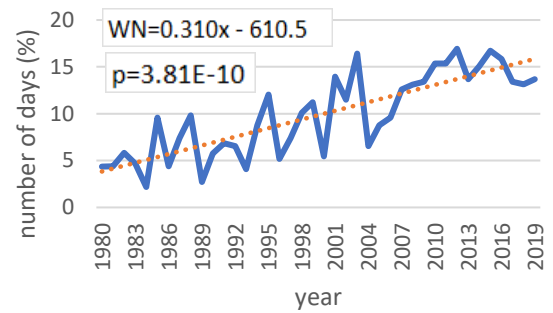
3.1.1.5 Θερμές νύχτες (Warm nights, ποσοστό ημερών με $T_{min}>90^{\circ}$ εκατοστημορίου)



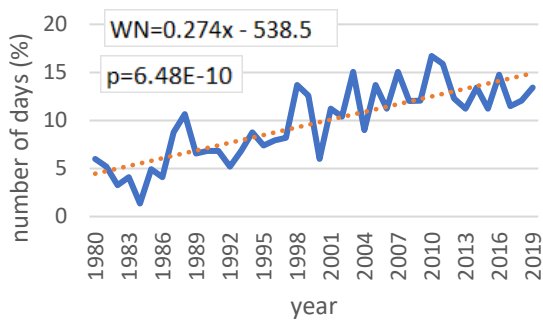
Warm nights, Montpellier



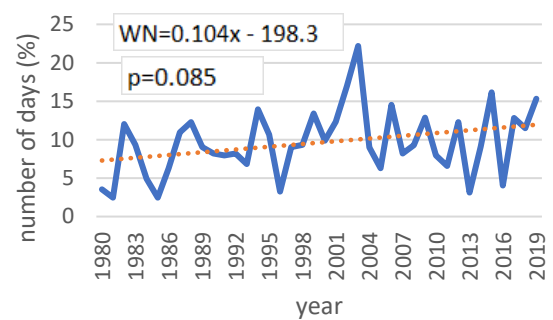
Warm nights, Thessaloniki



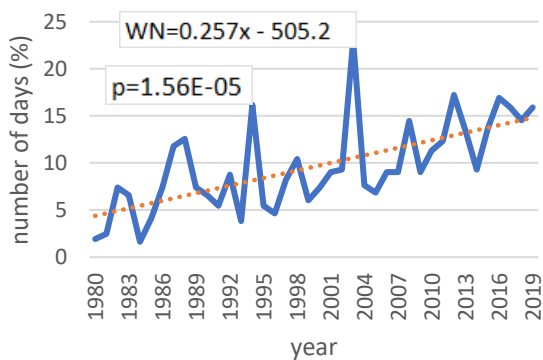
Warm nights, Larissa



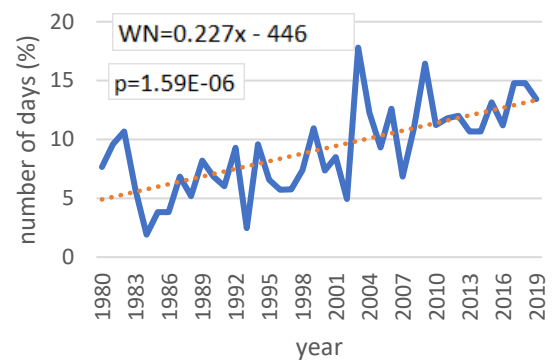
Warm nights, Cagliari



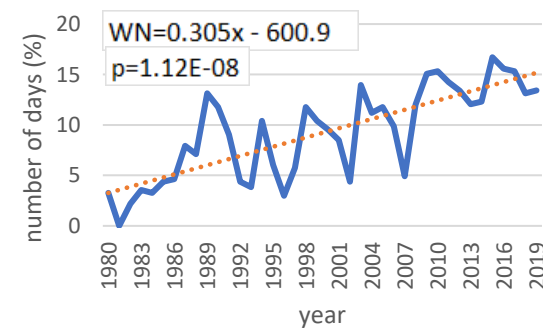
Warm nights, Brindisi



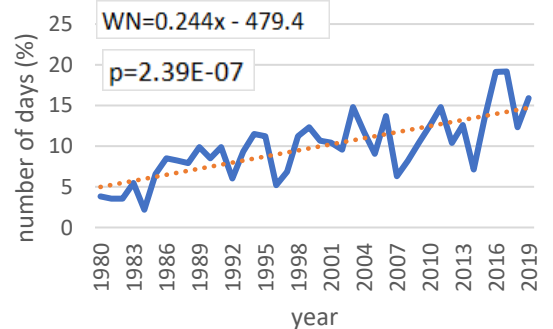
Warm nights, Lleida

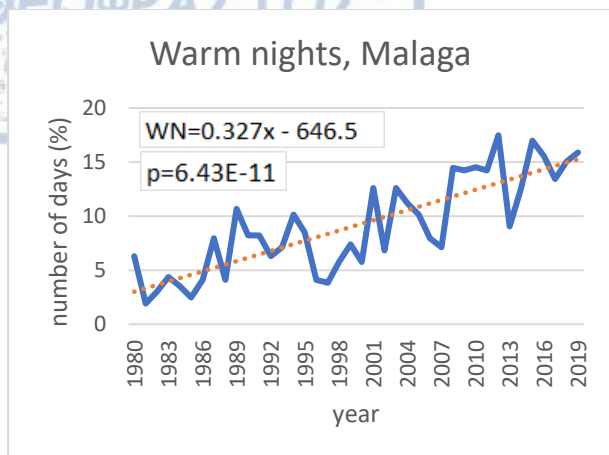


Warm nights, Melilla



Warm nights, Granada





Σχήμα 3.5: Όπως το Σχήμα 3.1 μόνο που εμφανίζεται ο δείκτης για τις Θερμές νύχτες.

Όλοι οι σταθμοί παρουσιάζουν αύξηση στην συχνότητα εμφάνισης των θερμών νυχτών με στατιστικά σημαντικές τάσεις, σύμφωνα με τη γραμμική ανάλυση. Ο μοναδικός σταθμός που δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές τάσεις είναι στο Κάλιαρι ($p=0.085>0.05$). Σε κάποιους σταθμούς εντοπίστηκαν σημαντικές αυξομειώσεις (πχ. στο Μπρίντιζι το 2002 η συχνότητα εμφάνισης του δείκτη ήταν στο 9.31% και το 2003 στο 23.01%).

3.1.2 Ανάλυση τάσης με CPA

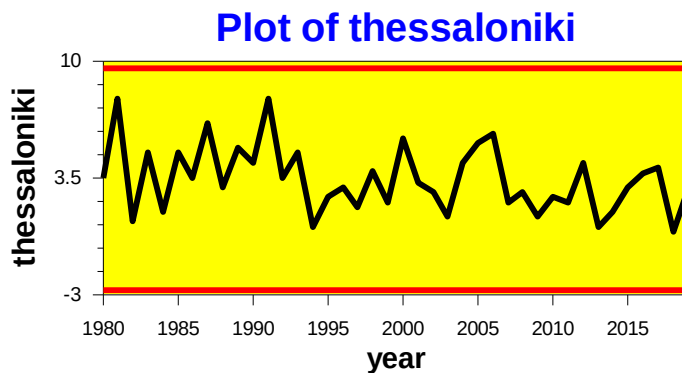
Στους σταθμούς που με τη γραμμική ανάλυση παρουσίασαν στατιστική σημαντικότητα προσδιορίστηκε με το πρόγραμμα CPA το έτος αλλαγής. Οι μεταβλητές ήταν ο χρόνος ως ανεξάρτητη μεταβλητή και ο εκάστοτε δείκτης ως εξαρτημένη. Ακολουθούν τα διαγράμματα από την ανάλυση σημείου αλλαγής μαζί με τους πίνακες που σημειώνουν τις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν. Στα αποτελέσματα δεν λαμβάνονται υπόψη οι αλλαγές με επίπεδο εμπιστοσύνης μικρότερο από 95%.

Στον άξονα y είναι η συχνότητα εμφάνισης του εκάστοτε δείκτη ενώ στον x τα έτη. Το γαλάζιο χρώμα, όπου υπάρχει, υποδεικνύει αλλαγή και οι κόκκινες γραμμές είναι τα «όρια ελέγχου». Στους πίνακες παρουσιάζονται το έτος αλλαγής (year), το διάστημα εμπιστοσύνης (confidence interval), η στάθμη εμπιστοσύνης (confidence level), η μεταβολή της μέσης τιμής του δείκτη (from-to) και τέλος το επίπεδο (level) που εκφράζει πόσο δύσκολα ή εύκολα το πρόγραμμα ανίχνευσε την αλλαγή (όσο μεγαλύτερη η τιμή αυτή τόσο πιο δύσκολα ανιχνεύτηκε η αλλαγή αυτή).

3.1.2.1 Ημέρες παγετού (Frost days, ημέρες με $T_{min} < 0^{\circ} \text{C}$)

Για τις ημέρες παγετού (σε ετήσια βάση) στατιστική σημαντικότητα με τη γραμμική ανάλυση παρουσίασαν οι σταθμοί στη Θεσσαλονίκη, τη Λάρισα και τη Μάλαγα. Η ανάλυση CPA ανίχνευσε 2 σημεία αλλαγής στη Λάρισα με επίπεδο εμπιστοσύνης μικρότερο του 95%.

Θεσσαλονίκη

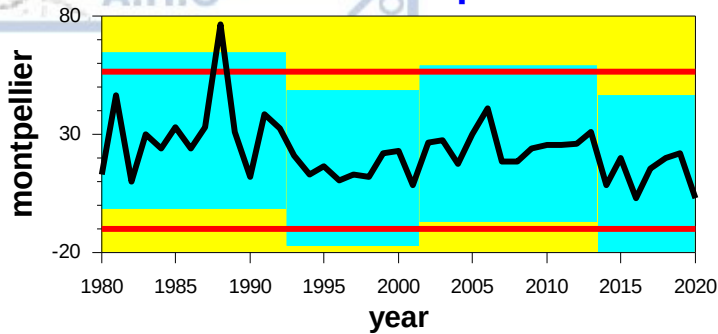


Σχήμα 3.6: Προσδιορισμός του σημείου αλλαγής της συχνότητας των «Ημερών παγετού» σε ετήσια βάση, στο σταθμό της Θεσσαλονίκης (1980-2019) με τη μέθοδο CPA. Το γαλάζιο χρώμα, όπου υπάρχει, υποδεικνύει το έτος που σημειώθηκε η αλλαγή ενώ οι κόκκινες γραμμές παρουσιάζουν τα «όρια ελέγχου».

3.1.2.2 Ημέρες παγετού-χειμώνας (Frost days, ημέρες με $T_{min} < 0^{\circ} \text{C}$)

Για τις ημέρες παγετού τον χειμώνα, στατιστική σημαντικότητα παρουσίασαν οι σταθμοί στο Περπινιάν, το Μονπελιέ και τη Μάλαγα.

Plot of montpellier



Σχήμα 3.7: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για τον σταθμό του Μονπελιέ (1980-2019).

Πίνακας 3.1: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.7 για το Μονπελιέ με τη μέθοδο CPA. Παρουσιάζονται το έτος αλλαγής (year), το διάστημα εμπιστοσύνης (confidence interval), η στάθμη εμπιστοσύνης, η μεταβολή της μέσης τιμής του δείκτη και η ευκολία ανίχνευσης του σημείου αλλαγής (όσο μεγαλύτερη η τιμή αυτή τόσο πιο δύσκολα ανιχνεύτηκε η αλλαγή αυτή).

Table of Significant Changes for montpellier

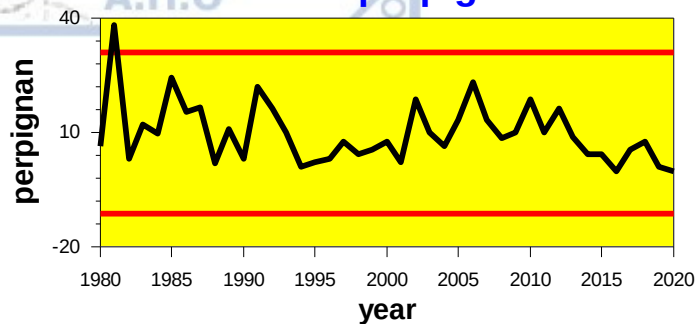
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1993	(1981, 1993)	93%	31.315	15.737	1
2002	(2000, 2006)	98%	15.737	26.111	3
2014	(2012, 2018)	97%	26.111	13.299	2

Δύο σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό του Μονπελιέ με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%. Η πρώτη συνέβη το 2002 με αύξηση του δείκτη από 15.7 σε 26.1 ημέρες και η δεύτερη με μείωση του δείκτη από 26.1 σε 13.3 ημέρες.

Περπινιάν

Plot of perpignan



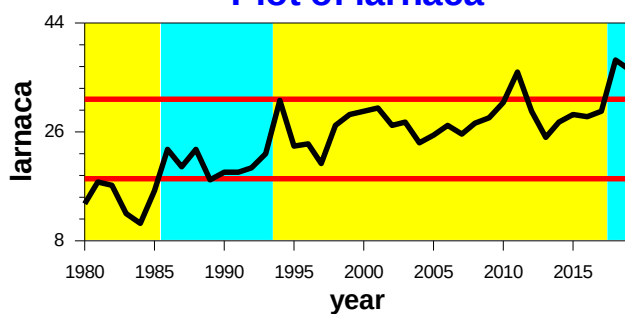
Σχήμα 3.8: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για τον σταθμό του Περπινιάν (1980-2019).

3.1.2.3 Τροπικές νύχτες (Tropical nights, ημέρες με $T_{min} > 20^{\circ} \text{C}$)

Για τις τροπικές νύχτες στατιστική σημαντικότητα παρουσίασαν όλοι οι σταθμοί.

Λάρνακα:

Plot of larnaca



Σχήμα 3.9: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για τον σταθμό της Λάρνακας (1980-2019).

Πίνακας 3.2: Τα αποτελέσματα του σχήματος 3.9 για τον σταθμό της Λάρνακας (1980-2019).

Table of Significant Changes for Iarnaca

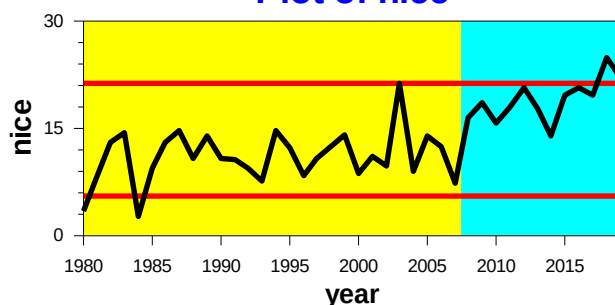
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1986	(1983, 1986)	99%	14.868	20.803	3
1994	(1994, 1996)	96%	20.803	27.746	1
2018	(2016, 2018)	97%	27.746	37.22	3

Τρία σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%: η πρώτη συνέβη το 1986 με αύξηση του δείκτη από 14.86 σε 20.8 ημέρες. Ακολούθησαν δύο ακόμα στατιστικά σημαντικές αυξήσεις: η πρώτη το 1994 (από 20.8 σε 27.7 ημέρες) και η δεύτερη το 2018 (από 27.7 σε 37.2 ημέρες).

Νίκαια

Plot of nice



Σχήμα 3.10: Όπως το Σχήμα 3.6 αλλά για τον σταθμό της Νίκαιας (1980-2019).

Πίνακας 3.3: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.10 για τον σταθμό της Νίκαιας (1980-2019).

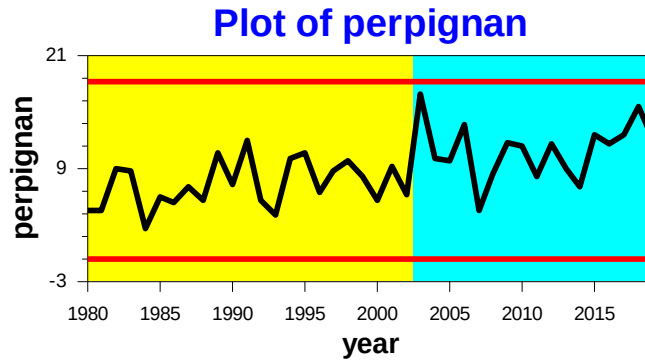
Table of Significant Changes for nice

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
2008	(2005, 2009)	100%	11.105	19.087	1

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό της Νίκαιας με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 2008 με αύξηση του δείκτη από 11.1 σε 19 ημέρες.

Περπινιάν



Σχήμα 3.11: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για τον σταθμό του Περπινιάν (1980-2019).

Πίνακας 3.4: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.11 για τον σταθμό του Περπινιάν (1980-2019).

Table of Significant Changes for perpignan

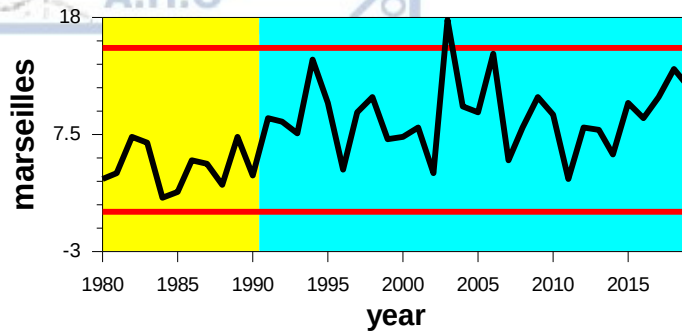
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
2003	(1997, 2009)	99%	7.3757	11.043	3 ■

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό του Περπινιάν με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 2003 με αύξηση του δείκτη από 7.3 σε 11 ημέρες.

Μασσαλία

Plot of marseilles



Σχήμα 3.12: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Μασσαλίας (1980-2019).

Πίνακας 3.5: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.12 για τον σταθμό της Μασσαλίας (1980-2019).

Table of Significant Changes for marseilles

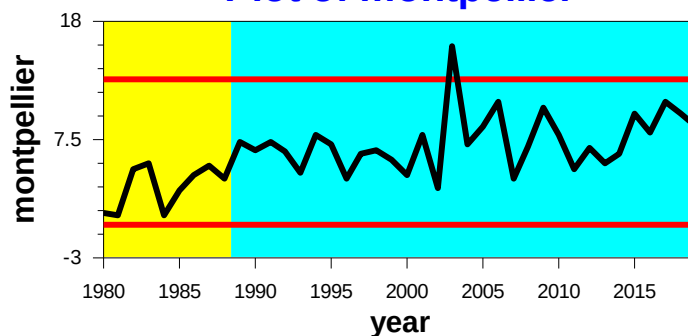
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

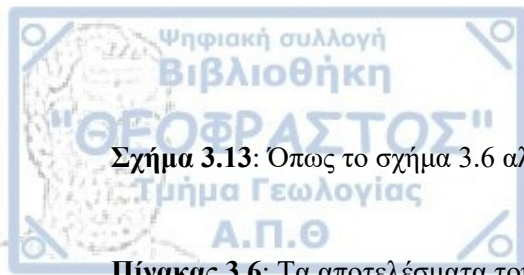
year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1991	(1989, 1999)	98%	4.6	9.2666	1

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό της Μασσαλίας με στάθμη εμπιστοσύνης μεγαλύτερη από 98%, η οποία συνέβη με αύξηση του δείκτη από 4.6 σε 9.2 ημέρες.

Μονπελιέ

Plot of montpellier





Σχήμα 3.13: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό του Μονπελιέ (1980-2019).

Πίνακας 3.6: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.13 για τον σταθμό του Μονπελιέ (1980-2019).

Table of Significant Changes for montpellier

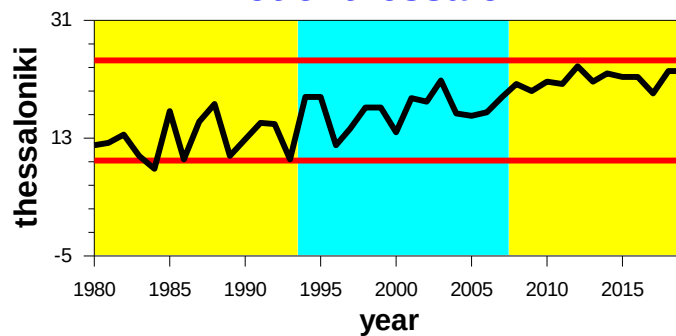
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1989	(1987, 1993)	100%	3.3111	7.39	1 

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό του Μονπελιέ με στάθμη εμπιστοσύνης μεγαλύτερο από 95%, η οποία συνέβη το 1989 με αύξηση του δείκτη από 3.3 σε 7.4 ημέρες.

Θεσσαλονίκη

Plot of thessaloniki



Σχήμα 3.14: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Θεσσαλονίκης (1980-2019).

Πίνακας 3.7: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.14 για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης (1980-2019).

Table of Significant Changes for thessaloniki

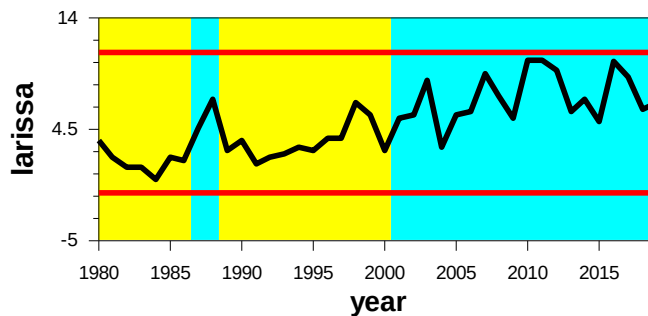
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1994	(1988, 1997)	100%	12.971	17.464	1 
2008	(2004, 2008)	100%	17.464	22.058	4 

Δύο σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό της Θεσσαλονίκης με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη από 95%. Η πρώτη συνέβη το 1994 με αύξηση του δείκτη από 12.9 σε 17.4 ημέρες και η δεύτερη το 2008 με αύξηση από 17.4 σε 22 ημέρες.

Λάρισα

Plot of larissa



Σχήμα 3.15: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Λάρισας (1980-2019).

Πίνακας 3.8: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.15 για τον σταθμό της Λάρισας (1980-2019).

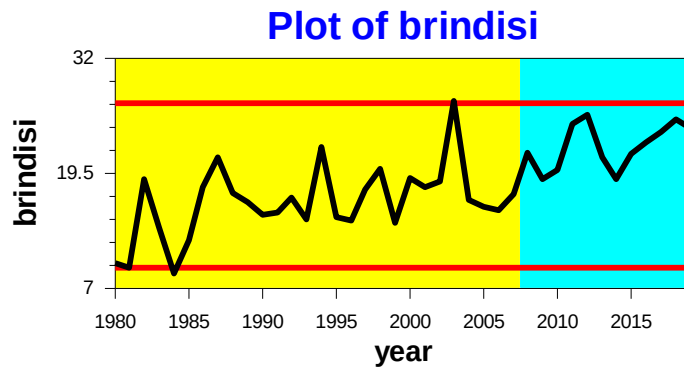
Table of Significant Changes for larissa

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1987	(1987, 1987)	91%	1.8329	5.875	4 
1989	(1988, 1996)	97%	5.875	3.44	5 
2001	(1999, 2005)	100%	3.44	7.2726	4 

Δύο σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό της Λάρισας με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%. Η πρώτη συνέβη το 1989 με μείωση του δείκτη από 5.8 σε 3.4 ημέρες και η δεύτερη το 2001 με αύξηση του δείκτη από 3.4 σε 7.2 ημέρες.

Μπρίντιζι



Σχήμα 3.16: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό του Μπρίντιζι (1980-2019).

Πίνακας 3.9: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.16 για τον σταθμό του Μπρίντιζι (1980-2019).

Table of Significant Changes for brindisi

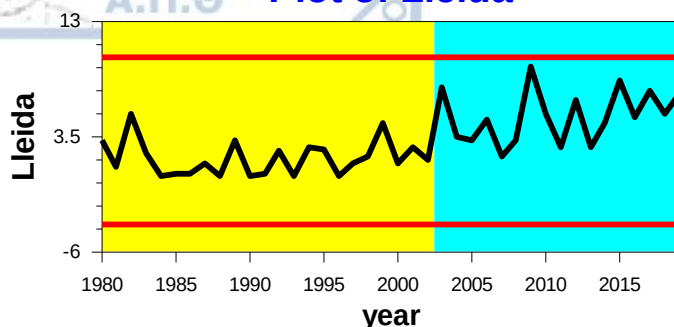
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
2008	(2002, 2009)	100%	16.443	22.526	1

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό του Μπρίντιζι με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 2008 με αύξηση του δείκτη από 16.4 σε 22.5 ημέρες.

Λείδα

Plot of Lleida



Σχήμα 3.17: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Λείδα (1980-2019).

Πίνακας 3.10: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.17 για τον σταθμό στη Λείδα (1980-2019).

Table of Significant Changes for Lleida

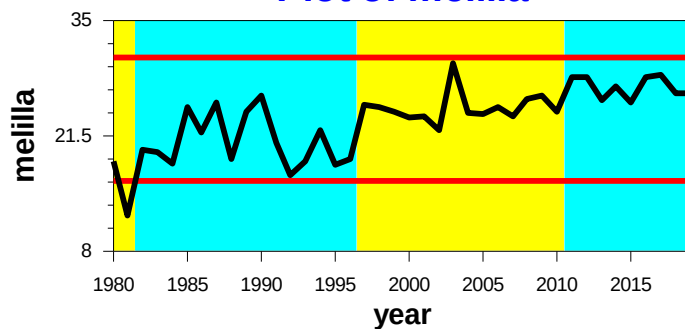
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

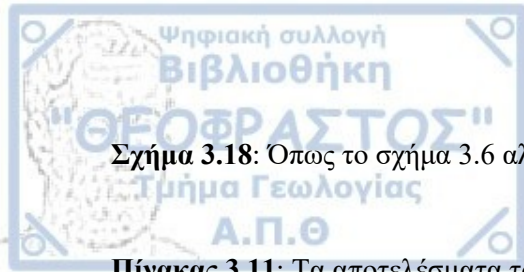
year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
2003	(2001, 2007)	100%	1.7809	5.2606	1

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό της Λείδα με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 2003 με αύξηση του δείκτη από 1.8 σε 5.2 ημέρες.

Μελίγια

Plot of melilla





Σχήμα 3.18: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Μελίγια (1980-2019).

Πίνακας 3.11: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.18 για τον σταθμό στη Μελίγια (1980-2019).

Table of Significant Changes for melilla

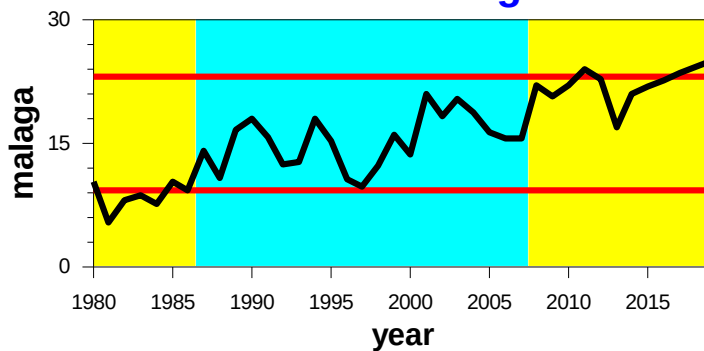
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1982	(1981, 1992)	96%	15.445	21.035	4 
1997	(1991, 1998)	99%	21.035	24.874	1 
2011	(2006, 2014)	93%	24.874	27.313	2 

Δύο σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό της Μελίγια με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%. Η πρώτη συνέβη το 1982 με αύξηση του δείκτη από 15.4 σε 21 ημέρες και η δεύτερη από 21 σε 24.9 ημέρες.

Μάλαγα

Plot of malaga



Σχήμα 3.19: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Μάλαγα (1980-2019).

Πίνακας 3.12: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.19 για τον σταθμό στη Μάλαγα (1980-2019).

Table of Significant Changes for malaga

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

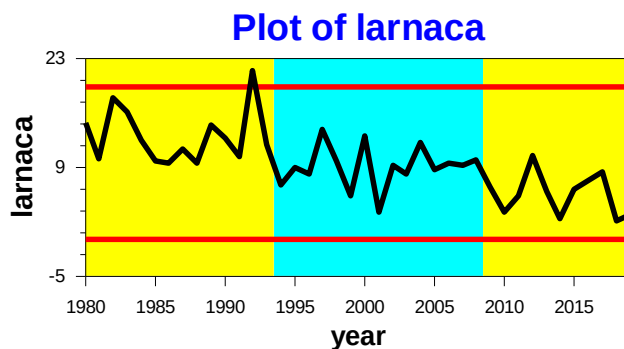
year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1987	(1987, 1990)	99%	8.5986	15.42	3 
2008	(2006, 2009)	100%	15.42	22.332	3 

Δύο σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό της Μάλαγα με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%. Η πρώτη συνέβη το 1987 με αύξηση του δείκτη από 8.6 σε 15.4 ημέρες και η δεύτερη από 15.4 σε 22.3 ημέρες.

3.1.2.4 Ψυχρές νύχτες (Cold nights, ημέρες με $T_{min} < 10^{\circ}$ εκατοστημορίου)

Για τις ψυχρές νύχτες στατιστική σημαντικότητα παρουσίασαν οι σταθμοί: στη Λάρνακα, τη Νίκαια, τη Θεσσαλονίκη, τη Λάρισα, το Μπρίντιζι και τη Μάλαγα. Η ανάλυση CPA ανίχνευσε σημεία αλλαγής στη Νίκαια και τη Λάρισα με επίπεδο εμπιστοσύνης χαμηλότερο του 95%.

Λάρνακα



Σχήμα 3.20: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για τον σταθμό της Λάρνακας (1980-2019).

Πίνακας 3.13: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.20 για τον σταθμό της Λάρνακας (1980-2019).

Table of Significant Changes for Iarnaca

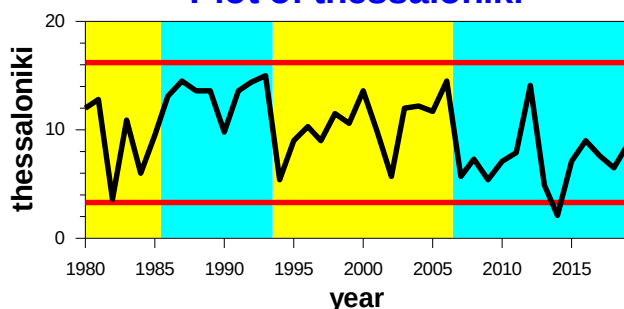
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1994	(1982, 1999)	96%	13.116	9.1547	4
2009	(2003, 2014)	93%	9.1547	5.6218	2

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό της Λάρνακας με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 1994 με μείωση του δείκτη από 13.1 σε 9.1 ημέρες.

Θεσσαλονίκη

Plot of thessaloniki



Σχήμα 3.21: Όπως στο σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Θεσσαλονίκης (1980-2019).

Πίνακας 3.14: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.21 για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης (1980-2019).

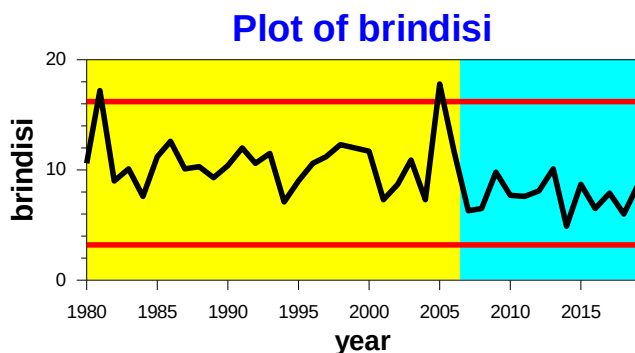
Table of Significant Changes for thessaloniki

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1986	(1981, 1987)	96%	9.1717	13.511	2
1994	(1992, 2003)	99%	13.511	10.463	3
2007	(2001, 2013)	97%	10.463	7.2385	1

Τρία σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό της Θεσσαλονίκης με στάθμη εμπιστοσύνης μεγαλύτερη του 95%: η πρώτη συνέβη το 1986 με μείωση του δείκτη από 9.1 σε 13.5 ημέρες. Ακολούθησαν 2 ακόμα στατιστικά σημαντικές μειώσεις: η πρώτη το 1994 (από 13.5 σε 10.4 ημέρες) και η δεύτερη το 2007 (από 10.4 σε 7.2 ημέρες).

Μπρίντιζι



Σχήμα 3.22: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό του Μπρίντιζι (1980-2019).

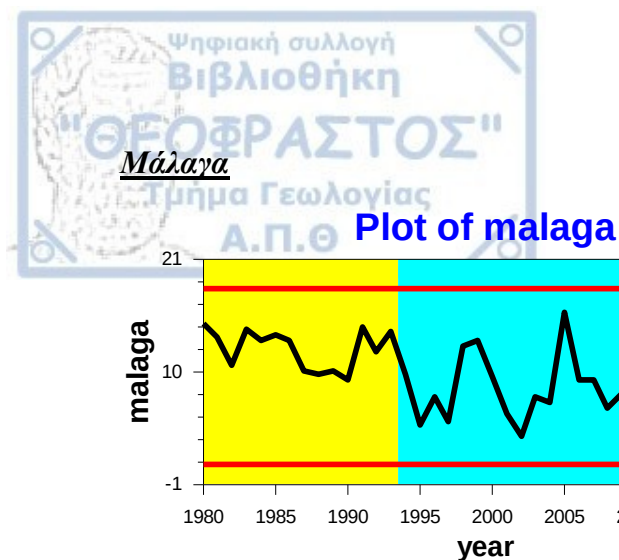
Πίνακας 3.15: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.22 για τον σταθμό του Μπρίντιζι (1980-2019).

Table of Significant Changes for brindisi

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
2007	(1996, 2009)	99%	10.784	7.6454	4 ■

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό του Μπρίντιζι με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 2007 με μείωση του δείκτη από 10.8 σε 7.6 ημέρες.



Σχήμα 3.23: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Μάλαγα (1980-2019).

Πίνακας 3.16: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.23 για τον σταθμό στη Μάλαγα (1980-2019).

Table of Significant Changes for malaga

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1994	(1992, 2001)	99%	12.346	8.1262	2

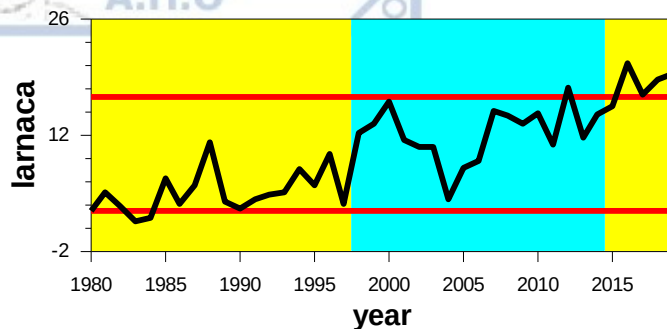
Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό της Μάλαγα με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 1994 με μείωση του δείκτη από 12.3 σε 8.1 ημέρες.

3.1.2.5 Θερμές νύχτες (Warm nights, ημέρες με $T_{min} > 90^{\circ}$ εκατοστημορίου)

Για τις θερμές νύχτες στατιστική σημαντικότητα παρουσίασαν οι σταθμοί: στη Λάρνακα, τη Νίκαια, το Περπινιάν, τη Μασσαλία, το Μονπελιέ, τη Θεσσαλονίκη, τη Λάρισα, το Μπρίντιζι, τη Λέριδα, τη Μελίγια, τη Γρανάδα και τη Μάλαγα.

Λάρνακα

Plot of larnaca



Σχήμα 3.24: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Λάρνακας (1980-2019).

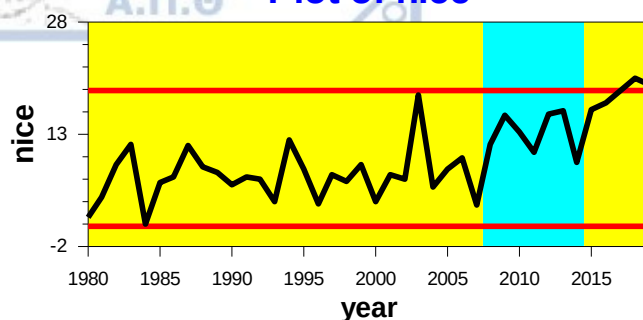
Πίνακας 3.17: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.24 για τον σταθμό της Λάρνακας (1980-2019).

Table of Significant Changes for larnaca

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1998	(1997, 2000)	99%	5.1644	12.299	1
2015	(2010, 2015)	97%	12.299	18.326	4

Δύο σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό της Λάρνακας με στάθμη σημαντικότητας ανώτερη του 95%. Η πρώτη συνέβη το 1998 με αύξηση του δείκτη από 5.1 σε 12.3 ημέρες και η δεύτερη το 2015 με αύξηση από 12.3 σε 18.3 ημέρες.



Σχήμα 3.25: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Νίκαιας (1980-2019).

Πίνακας 3.18: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.25 για το σταθμό της Νίκαιας (1980-2019).

Table of Significant Changes for nice

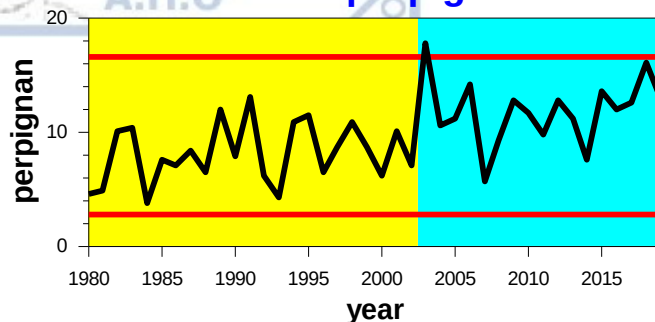
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
2008	(2002, 2010)	100%	7.4582	13.251	1
2015	(2012, 2015)	91%	13.251	18.56	3

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό της Νίκαιας (Πίνακας 3.18) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 2008 με αύξηση του δείκτη από 7.4 σε 13.2 ημέρες.

Περπινιάν

Plot of perpignan



Σχήμα 3.26: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό του Περπινιάν (1980-2019).

Πίνακας 3.19: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.26 για το σταθμό του Περπινιάν (1980-2019).

Table of Significant Changes for perpignan

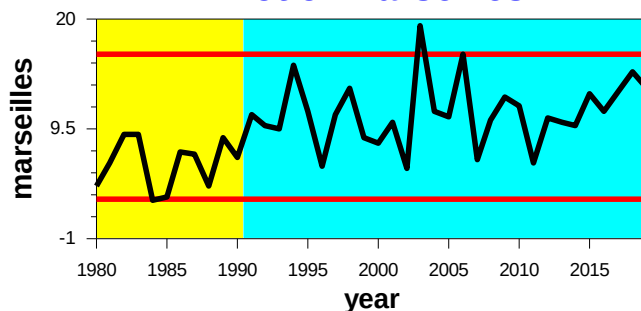
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

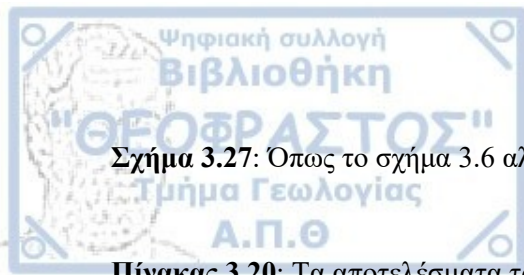
year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
2003	(1998, 2009)	99%	8.1987	11.916	2

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό του Περπινιάν (Πίνακας 3.19) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 2003 με αύξηση του δείκτη από 8.2 σε 11.9 ημέρες.

Μασσαλία

Plot of marseilles





Σχήμα 3.27: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Μασσαλίας (1980-2019).

Πίνακας 3.20: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.27 για το σταθμό της Μασσαλίας (1980-2019).

Table of Significant Changes for marseilles

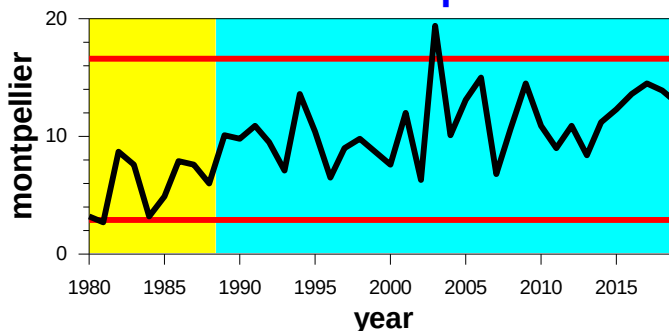
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1991	(1989, 1996)	99%	6.2191	11.118	1

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό της Μασσαλίας (Πίνακας 3.20) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 1991 με αύξηση του δείκτη από 6.2 σε 11.1 ημέρες.

Μονπελιέ

Plot of montpellier



Σχήμα 3.28: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό του Μονπελιέ (1980-2019).

Πίνακας 3.21: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.28 για το σταθμό του Μονπελιέ (1980-2019).

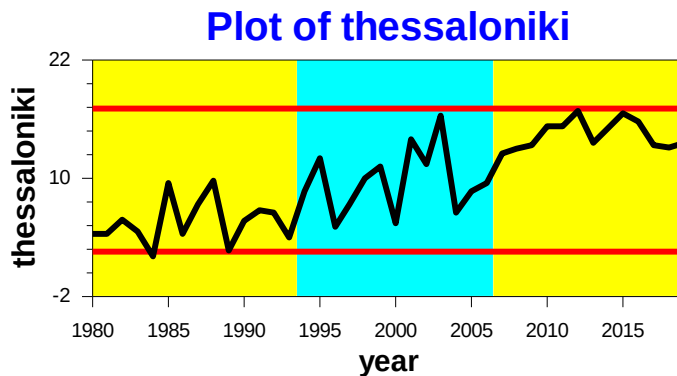
Table of Significant Changes for montpellier

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1989	(1987, 1994)	100%	5.8056	10.957	1

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό του Μονπελιέ (Πίνακας 3.21) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 1989 με αύξηση του δείκτη από 5.8 σε 10.9 ημέρες.

Θεσσαλονίκη



Σχήμα 3.29: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Θεσσαλονίκης (1980-2019).

Πίνακας 3.22: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.29 για τον σταθμό της Θεσσαλονίκης (1980-2019).

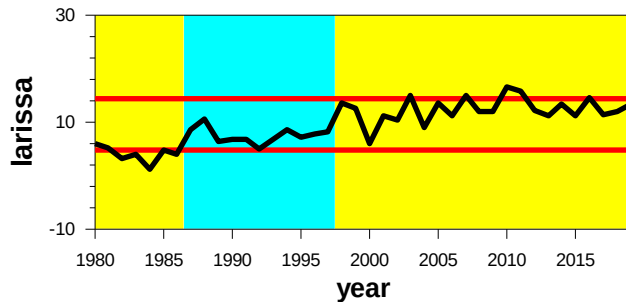
Table of Significant Changes for thessaloniki

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1994	(1991, 2000)	98%	5.61	9.7669	3 ■
2007	(2002, 2007)	100%	9.7669	14.485	3 ■

Δύο σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό της Θεσσαλονίκης (Πίνακας 3.22) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%. Η πρώτη συνέβη το 1994 με αύξηση του δείκτη από 5.6 σε 9.7 ημέρες και η δεύτερη το 2007 με αύξηση από 9.7 σε 14.5 ημέρες.

Plot of larissa



Σχήμα 3.30: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Λάρισας (1980-2019).

Πίνακας 3.23: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.30 για το σταθμό της Λάρισας (1980-2019).

Table of Significant Changes for larissa

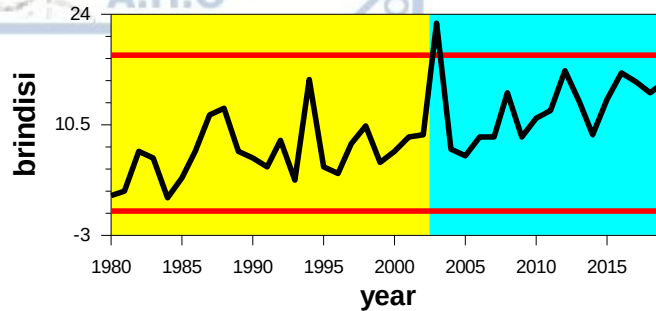
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1987	(1986, 1989)	100%	4.14	7.6336	2 ■
1998	(1997, 2001)	100%	7.6336	12.48	5 ■

Δύο σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό της Λάρισας (Πίνακας 3.23) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%. Η πρώτη συνέβη το 1987 με αύξηση του δείκτη από 4.1 σε 7.6 ημέρες και η δεύτερη το 1998 με αύξηση από 7.6 σε 12.5 ημέρες.

Μπρίντιζι

Plot of brindisi



Σχήμα 3.31: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό του Μπρίντιζι (1980-2019).

Πίνακας 3.24: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.31 για τον σταθμό του Μπρίντιζι (1980-2019).

Table of Significant Changes for brindisi

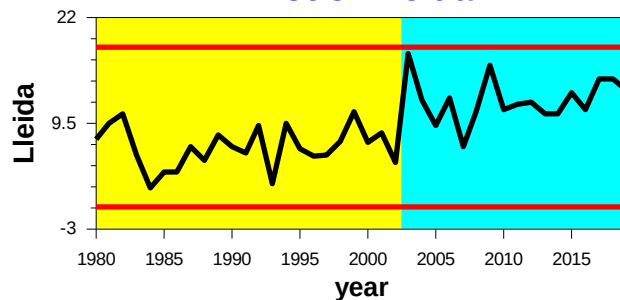
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
2003	(1999, 2009)	100%	7.1487	12.918	3 ■

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίσθηκε στο σταθμό του Μπρίντιζι (Πίνακας 3.24) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 2003 με αύξηση του δείκτη από 7.1 σε 12.9 ημέρες.

Λείδα

Plot of Lleida



Σχήμα 3.32: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Λείδα (1980-2019).

Πίνακας 3.25: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.32 για τον σταθμό στη Λείδα (1980-2019).

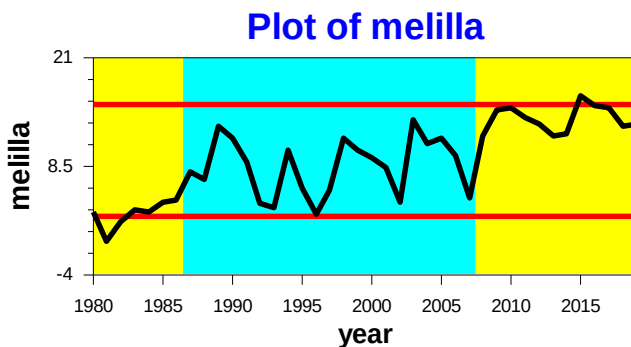
Table of Significant Changes for Lleida

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
2003	(2001, 2005)	100%	6.7317	12.349	2

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό της Λείδα (Πίνακας 3.25) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 2003 με αύξηση του δείκτη από 6.7 σε 12.3 ημέρες.

Μελίγια



Σχήμα 3.33: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό της Μελίγια (1980-2019).

Πίνακας 3.26: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.33 για τον σταθμό στη Μελίγια (1980-2019).

Table of Significant Changes for melilla

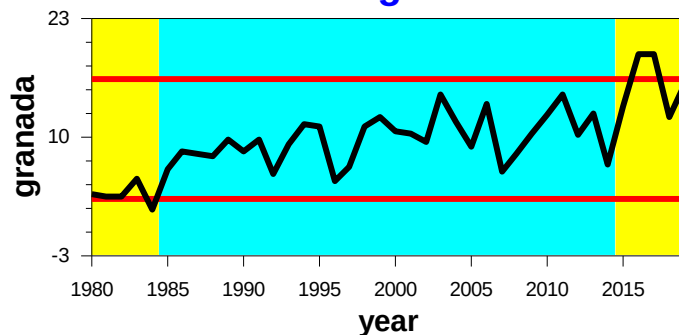
Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1987	(1987, 1992)	94%	3.0457	8.5119	2 ■
2008	(2004, 2008)	100%	8.5119	14.05	2 ■

Ένα σημείο αλλαγής εντοπίστηκε στο σταθμό της Μελίγια (Πίνακας 3.26) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%, η οποία συνέβη το 2008 με αύξηση του δείκτη από 8.5 σε 14.05 ημέρες.

Γρανάδα

Plot of granada



Σχήμα 3.34: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό στη Γρανάδα (1980-2019).

Πίνακας 3.27: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.34 για το σταθμό στη Γρανάδα (1980-2019).

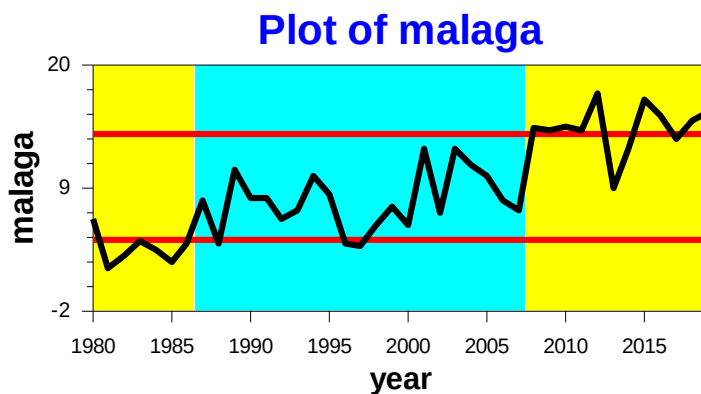
Table of Significant Changes for granada

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1985	(1985, 1987)	99%	3.718	9.841	2 ■
2015	(2013, 2017)	96%	9.841	15.984	4 ■

Δύο σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό της Γρανάδα (Πίνακας 3.27) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%. Η πρώτη συνέβη το 1985 με αύξηση του δείκτη από 3.7 σε 9.8 ημέρες και η δεύτερη με αύξηση από 9.8 σε 16 ημέρες.

Μάλαγα



Σχήμα 3.35: Όπως το σχήμα 3.6 αλλά για το σταθμό στη Μάλαγα (1980-2019).

Πίνακας 3.28: Τα αποτελέσματα του Σχήματος 3.35 για το σταθμό στη Μάλαγα (1980-2019).

Table of Significant Changes for malaga

Confidence Level for Candidate Changes = 50%, Confidence Level for Inclusion in Table = 90%, Confidence Interval = 95%,
Bootstraps = 1000, Without Replacement, MSE Estimates

year	Confidence Interval	Conf. Level	From	To	Level
1987	(1986, 1993)	97%	3.67	7.9233	2
2008	(2006, 2009)	100%	7.9233	14.46	1

Δύο σημεία αλλαγής εντοπίστηκαν στο σταθμό της Μάλαγα (Πίνακας 2.28) με στάθμη εμπιστοσύνης ανώτερη του 95%. Η πρώτη συνέβη το 1987 με αύξηση του δείκτη από 3.6 σε 7.9 ημέρες και η δεύτερη το 2008 με αύξηση από 7.9 σε 14.4 ημέρες.

3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΜΕ CPA

3.2.1 Ημέρες παγετού σε ετήσια βάση (Frost days, $T_{min} < 0^{\circ} \text{C}$)

Πίνακας 3.29: Πίνακας σύγκρισης των μεθόδων γραμμικής ανάλυσης και ανάλυσης σημείου αλλαγής (CPA) για τους 13 σταθμούς, για τις ημέρες παγετού σε ετήσια βάση. Οι στατιστικά σημαντικές τάσεις εμφανίζονται με έντονα (bold) γράμματα.

Station	Regression Analysis Results	CPA
1.Larnaca	FD=-0.006x + 12.46 p=0.083	-
2.Nice	FD=-0.008x + 17.16 p=0.340	-
3.Perpignan	FD=-0.04x + 83.7 p=0.161	-
4.Marseilles	FD=-0.089x + 185.6 p=0.053	-
5.Montpellier	FD=-0.068x + 143.6 p=0.092	-
6.Thessloniki	FD=-0.057x + 118.8 p=0.028	-
7.Larissa	FD=-0.160x + 331.7 p=0.002	-
8.Cagliari	FD= - 0.02x + 41.27 p=0.052	-
9.Brindisi	FD=-0.005x + 11.76 p=0.241	-
10.Lleida	FD=-0.06x + 132 p=0.294	-
11.Melilla	FD=0 p= -	-
12.Granada	FD=0.032x - 52.7 p=0.604	-
13.Malaga	FD=-0.004x + 8.574 p=0.011	-

Δεν παρουσιάζονται στατιστικά σημαντικές τάσεις σύμφωνα με την ανάλυση CPA, ενώ με τη γραμμική ανάλυση παρουσιάζουν οι σταθμοί στη Θεσσαλονίκη, τη Λάρισα και τη Μάλαγα.

3.2.2 Ημέρες παγετού τη χειμερινή περίοδο (Frost days, ημέρες με $T_{min} < 20^{\circ} \text{C}$)

Πίνακας 3.30: Όπως ο πίνακας 3.29 μόνο που εμφανίζεται ο δείκτης για τις ημέρες παγετού για τη χειμερινή περίοδο.

Station	Regression Analysis Results	CPA
1.Larnaca	FD=-0.0175x + 35.37 p=0.120	-
2.Nice	FD=-0.027x + 55.9 p=0.314	-
3.Perpignan	FD=-0.235x + 481.3 p=0.030	-
4.Marseilles	FD=-0.283x + 587.7 p=0.058	-
5.Montpellier	FD=-0.411x + 846.7 p=0.02	2002 from 15.73 tp 26.11 2014 from 26.11 to 13.29
6.Thessaloniki	FD=-0.175x + 363.2 p=0.131	-
7.Larissa	FD=-0.391x + 818.2 p=0.054	-
8.Cagliari	FD=-0.023x + 48.8 p=0.722	-
9.Brindisi	FD=-0.013x + 26.78 p=0.468	-
10.Lleida	FD=-0.263x + 559.5 p=0.177	-
11.Melilla	FD=0 p= -	-
12.Granada	FD= -0.012x + 67.17 p=0.962	-
13.Malaga	FD=-0.015x + 30.93 p=0.015	-

Οι σταθμοί που παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές τάσεις σύμφωνα με τη γραμμική ανάλυση είναι οι σταθμοί στο Περίπιναν, το Μονπελιέ και τη Μάλαγα. Η ανάλυση CPA παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές τάσεις μόνο στον σταθμό του Μονπελιέ. Οι δύο μέθοδοι συμφωνούν στο ότι παρουσιάζεται μείωση στην εμφάνιση του δείκτη, ωστόσο για το 2002 η CPA εντόπισε αύξηση από 15.73 σε 26.11 ημέρες.

3.2.3 Τροπικές νύχτες (Tropical nights, ημέρες με $T_{min} > 20^{\circ} \text{C}$)

Πίνακας 3.31: Όπως ο πίνακας 3.29 μόνο που εμφανίζεται ο δείκτης για τις τροπικές νύχτες.

Station	Regression Analysis Results	CPA
1.Larnaca	TN=0.439x - 854.4 p=9.69E-11	1986 from 14.68 to 20.8 1994 from 20.8 to 27.74 2018 from 27.74 to 37.33
2.Nice	TN= 0.286x - 559.5 p=2.8E-06	2008 from 11.1 to 19.08
3.Perpignan	TN=0.156x - 304.5 p=0.0002	2003 from 7.37 to 11.04
4.Marseilles	TN=0.143x - 278.8 p=0.003	1991 from 4.6 to 9.26
5.Montpellier	TN=0.14x - 273.6 p=0.0002	1989 from 3.31 to 7.39
6.Thessaloniki	TN=0.316x - 614.6 p=1.47E-10	1994 from 12.97 to 17.64 2008 from 17.46 to 22.05
7.Larissa	TN=0.193x - 381.1 p=1.11E-08	1989 from 5.87 to 3.44 2001 from 3.44 to 7.27
8.Cagliari	TN=0.112x - 213.8 p=0.067	-
9.Brindisi	TN=0.262x - 506.6 p=1.44E-06	2008 from 16.43 to 22.52
10.Lleida	TN=0.149x - 295.08 p=2.33E-06	2003 from 1.78 to 5.26
11.Melilla	TN=0.236x - 449.1 p=5.27E-07	1982 from 15.44 to 21.03 1997 from 21.03 to 24.87
12.Granada	TN=0.034x - 67.57 p=0.002	-
13.Malaga	TN=0.407x - 794.7 p=1.67E-12	1987 from 8.59 to 15.42 2008 from 15.42 to 22.33

Όλοι οι σταθμοί (εκτός από του Κάλιαρι) παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές τάσεις σύμφωνα με τη γραμμική ανάλυση. Οι δύο μέθοδοι συμφωνούν μεταξύ τους δείχνοντας γραμμική αύξηση στην τάση εμφάνισης του δείκτη tropical nights, εκτός από τον σταθμό της Λάρισας (όπου για το 1989 ενώ η γραμμική ανάλυση δείχνει αυξητική τάση, η CPA για το 1989 βρήκε μείωση στην εμφάνιση του δείκτη από 5.87 σε 3.44).

3.2.4 Ψυχρές νύχτες (Cold nights, ποσοστό ημερών με $T_{min} < 10^{\circ}$ εκατοστημορίου)

Πίνακας 3.32: Όπως ο πίνακας 3.29 μόνο που εμφανίζεται ο δείκτης για τις ψυχρές νύχτες.

Station	Regression Analysis Results	CPA
1.Larnaca	CN=-0.238x + 485.4 p=8.24E-06	1994 from 13.11 to 9.15
2.Nice	CN=-0.148x + 305.7 p=0.009	-
3.Perpignan	CN=-2.091x + 4221.5 p=0.417	-
4.Marseilles	CN=-0.059x + 127.8 p=0.228	-
5.Montpellier	CN=-0.087x + 184.8 p=0.074	-
6.Thessaloniki	CN=-0.112x + 234.4 p=0.021	1986 from 9.17 to 13.51 1994 from 13.51 to 10.46 2007 from 10.46 to 7.23
7.Larissa	CN=-0.114x + 237.9 p=0.013	-
8.Cagliari	CN=-0.035x + 80.8 p=0.370	-
9.Brindisi	CN= -0.107x + 223.7 p=0.003	2007 from 10.78 to 7.64
10.Lleida	CN= - 0.056x + 122.8 p=0.317	-
11.Melilla	CN=-0.049x + 109.07 p=0.304	-
12.Granada	CN=-0.032x + 56.27 p=0.586	-
13.Malaga	CN=-0.151x + 312.3 p=0.0004	1994 from 12.34 to 8.12

Οι σταθμοί που παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές τάσεις σύμφωνα με τη γραμμική ανάλυση για τον δείκτη cold nights είναι οι σταθμοί στη Λάρνακα, τη Νίκαια, στη Θεσσαλονίκη, τη Λάρισα, το Μπρίντιζι και τη Μάλαγα. Η ανάλυση CPA συμφωνεί με τη γραμμική μόνο για τους σταθμούς στη Λάρνακα, τη Θεσσαλονίκη, το Μπρίντιζι και τη Μάλαγα. Σε όσους σταθμούς συμφωνούν οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν πτωτική τάση.

3.2.5 Θερμές νύχτες (Warm nights, ποσοστό ημερών με $T_{min} > 90^{\circ}$ εκατοστημορίου)

Πίνακας 3.33: Όπως ο πίνακας 3.29 μόνο που εμφανίζεται ο δείκτης για τις θερμές νύχτες.

Station	Regression Analysis Results	CPA
1.Larnaca	WN=0.398x - 786.3 p=1.62E-11	1998 from 5.16 to 12.29 2015 from 12.29 to 18.32
2.Nice	WN=0.288x - 567.6 p=4.41E-06	2008 from 7.45 to 13.25
3.Perpignan	WN=0.149x - 288.9 p=0.0005	2003 from 8.19 to 11.91
4.Marseilles	WN=0.163x - 316.4 p=0.0007	1991 from 6.21 to 11.11
5.Montpellier	WN=0.181x - 353.1 p=4.26E-05	1989 from 5.8 to 10.95
6.Thessaloniki	WN=0.310x - 610.5 p=3.81E-10	1994 from 5.61 to 9.76 2007 from 9.76 to 14.48
7.Larissa	WN=0.274x - 538.5 p=6.48E-10	1987 from 4.14 to 7.63 1998 from 7.63 to 12.48
8.Cagliari	WN=0.104x - 198.3 p=0.085	-
9.Brindisi	WN=0.257x - 505.2 p=1.56E-05	2003 from 7.14 to 12.91
10.Lleida	WN=0.227x - 446 p=1.59E-06	2003 from 6.73 to 12.34
11.Melilla	WN=0.305x - 600.9 p=1.12E-08	2008 from 8.51 to 14.05
12.Granada	WN=0.244x - 479.4 p=2.39E-07	1985 from 3.71 to 9.84 2015 from 9.84 to 15.98
13.Malaga	WN=0.327x - 646.5 p=6.43E-11	1987 from 3.67 to 7.92 2008 from 7.92 to 14.46

Όλοι οι σταθμοί (εκτός από το Κάλιαρι) παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές αυξητικές τάσεις σύμφωνα και με τις δύο μεθόδους. Καμία από τις δύο μεθόδους δεν διαπίστωσε στατιστικά σημαντική μεταβολή του δείκτη στο σταθμό του Κάλιαρι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να εκτιμηθεί η μεταβολή της συχνότητας εμφάνισης συγκεκριμένων κλιματικών δεικτών σε 13 σταθμούς στη νότια Ευρώπη την περίοδο 1980-2019. Η αύξηση ή μείωση εμφάνισης αυτών παίζει καθοριστικό ρόλο καθώς αποτελεί εν μέρει αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, της οποίας οι απόρροιες είναι αισθητές στην καθημερινότητα των ανθρώπων (https://ufmsecretariat.org/wp-content/uploads/2019/10/MedECC-Booklet_EN_WEB.pdf).

Οι σταθμοί που μελετήθηκαν ήταν οι εξής: Θεσσαλονίκη-Λάρισα (Ελλάδα), Λάρνακα (Κύπρος), Μάλαγα-Γρανάδα-Μελίγια-Λέιδα (Ισπανία), Νίκαια-Μονπελιέ-Περπινιάν-Μασσαλία (Γαλλία), Κάλιαρι-Μπρίντζι (Ιταλία). Όλοι τοποθετούνται στη νότια Ευρώπη και την περιοχή της Μεσογείου. Θερμοκρασιακά παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις μεταξύ τους, με τη Λάρνακα να έχει τη μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία μεταξύ των σταθμών που μελετώνται, με 19.8° C. Στον αντίποδα βρίσκεται η Λέιδα με την μικρότερη μέση θερμοκρασία, με 15.19° C. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν 4 δείκτες (Ψυχρές νύχτες-TN10p, Θερμές νύχτες-TN90p, Τροπικές νύχτες-TR20, Ημέρες παγετού-FD) που σχετίζονται με την ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα. Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτών των δεικτών, σε ετήσια βάση, επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν 2 μέθοδοι. Για τον προσδιορισμό της στατιστικής σημαντικότητας των τάσεων των δεικτών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της γραμμικής ανάλυσης. Οι στατιστικά σημαντικές τάσεις στη συνέχεια, αναλύθηκαν και με τη μέθοδο αναγνώρισης σημείων αλλαγής τάσης, Change Point Analyzer ή CPA. Η συγκεκριμένη ανάλυση στατιστικά ανιχνεύει το χρονικό σημείο μεταβολής στην τάση εμφάνισης του εκάστοτε δείκτη αλλά και το επίπεδο εμπιστοσύνης της κάθε ανίχνευσης.

Όλοι οι σταθμοί, σύμφωνα με τη γραμμική ανάλυση, έδειξαν αύξηση στην συχνότητα εμφάνισης του δείκτη για τις τροπικές νύχτες καθώς και για τις θερμές νύχτες (TN90p και TR20, αντίστοιχα). Και για τους δύο δείκτες όλοι οι σταθμοί, εκτός του Κάλιαρι, παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές τάσεις. Από την άλλη οι δείκτες για τις ημέρες παγετού και για τις ψυχρές νύχτες (FD και TN10p, αντίστοιχα) παρουσίασαν μείωση στη συχνότητα εμφάνισης σε όλους τους σταθμούς, με λιγότερους ωστόσο να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές τάσεις. Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός στη Γρανάδα όπου παρουσίασε μη στατιστικά σημαντική αύξηση για τις ημέρες παγετού και τις ψυχρές νύχτες. Η CPA δεν εντόπισε στατιστικά σημαντικές τάσεις για τον δείκτη FD σε ετήσια βάση, ενώ για τον ίδιο δείκτη την χειμερινή περίοδο συμφώνησε με τη γραμμική ανάλυση στο Μονπελιέ. Για τις ψυχρές νύχτες συμφωνούν οι 2 μέθοδοι με εξαίρεση στον σταθμό της Νίκαιας και κλείνοντας για τις τροπικές και θερμές νύχτες, ανιχνεύτηκαν αλλαγές σε όλους τους σταθμούς με συμφωνία των 2 μεθόδων με στατιστικά σημαντικές τάσεις, εκτός από τον σταθμό του Κάλιαρι.

Εν κατακλείδι, σε όλους τους σταθμούς της μελέτης αυτής οι οποίοι τοποθετούνται στη νότια Ευρώπη, οι κλιματικοί δείκτες συμφωνούν σε μια γενικότερη αύξηση της θερμοκρασίας από το 1980 μέχρι το 2019. Οι δείκτες που παρουσιάζουν, σε όλες τις εποχές του χρόνου, αύξηση στην συχνότητα εμφάνισής τους είναι των τροπικών νυχτών (TR20) και των θερμών νυχτών (TN90p) (στατιστικά σημαντικοί 11 και 12 σταθμοί, αντίστοιχα), ενώ ο δείκτης ημερών παγετού (FD) και ψυχρών νυχτών (TN10p) παρουσιάζουν μείωση (ένας και 4 σταθμοί, αντίστοιχα) . Η εφαρμογή των δύο μεθόδων έδειξε πως η μία μέθοδος συμπληρώνει την άλλη και είτε την επιβεβαιώνει, είτε όχι. Το κοινό συμπέρασμα, ωστόσο, που συμφωνούν και οι δύο μέθοδοι είναι πως οι ελάχιστες θερμοκρασίες παρουσιάζουν ανοδική τάση.



Gonick, L., and Smith, W. (1993). *The cartoon guide to statistics* (No. BOOK). HarperCollins Publishers, Inc.

Mavromatis T, and Stathis D., 2011. Response of the water balance in Greece to temperature and precipitation trends. *Theoretical and Applied Climatology*, 104, 13-24.

Lindstrom, D. 2010. Schaum's Easy Outline of Statistics, In: *Schaum's Easy Outlines, 2nd Edition*. McGraw-Hill Education

Ruddiman, W. F. (2001). *Earth's Climate: past and future*. Macmillan

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Tank, A. K., Peterson, T. C., Trewin B. and Zwiers F. W. 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(6), 851-870.

Διαδικτυακές πηγές:

Astronomy.com, 2019

<https://astronomy.com/news/2019/04/the-story-of-snowball-earth>

Climpact

<https://climpact-sci.org/indices/#index-FD>

Google Maps

<https://earth.google.com/web/@33.22246892,32.3057752,-386.86761002a,2595702.77636737d,35y,4.72797867h,0.51586365t,0r>

European Environment Agency, 2017

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/annual-number-of-nights-of>

International Panel on Climate Change (IPCC) Sixth Assessment Report, 2021

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#DataAccess>

Missing days για τις ελάχιστες θερμοκρασίες:

- Στον σταθμό της Λάρνακας: 2 ημέρες τον Φεβρουάριο του 2018 και 2 ημέρες τον Ιούλιο του 2019
- Στον σταθμό της Θεσσαλονίκης: 2 ημέρες τον Ιανουάριο και 2 τον Μάρτιο του 1982
- Στον σταθμό του Μπρίντιζι: 3 ημέρες τον Φεβρουάριο του 2010
- Στον σταθμό του Κάλιαρι: το 2013: 3 ημέρες τον Ιούνιο, 4 ημέρες τον Ιούλιο, 8 ημέρες τον Αύγουστο, 10 ημέρες τον Οκτώβριο, 10 ημέρες τον Νοέμβριο και 11 ημέρες τον Δεκέμβριο. Το 2014: 16 ημέρες τον Ιανουάριο, 14 ημέρες τον Φεβρουάριο, 3 ημέρες τον Μάρτιο, 4 ημέρες τον Απρίλιο, 4 ημέρες τον Ιούνιο, 1 ημέρα τον Ιούλιο, 2 ημέρες τον Αύγουστο, 2 ημέρες τον Σεπτέμβριο, 6 ημέρες τον Οκτώβριο, 11 ημέρες τον Νοέμβριο και 6 ημέρες τον Δεκέμβριο. Το 2015: 11 ημέρες τον Ιανουάριο, 4 ημέρες τον Φεβρουάριο, 7 ημέρες τον Μάρτιο, 5 ημέρες τον Απρίλιο, 6 ημέρες τον Μάιο, 6 ημέρες τον Αύγουστο, 10 ημέρες τον Σεπτέμβριο, 8 ημέρες τον Οκτώβριο, 10 ημέρες τον Νοέμβριο και 13 ημέρες τον Δεκέμβριο. Το 2016: 13 ημέρες τον Ιανουάριο, 9 ημέρες τον Φεβρουάριο, 9 ημέρες τον Μάρτιο, 7 ημέρες τον Απρίλιο, 3 ημέρες τον Μάιο και 3 ημέρες τον Ιούλιο. Τέλος, το 2017: 6 ημέρες τον Φεβρουάριο.

Missing days για τις μέγιστες θερμοκρασίες:

- Στον σταθμό της Θεσσαλονίκης: το 1982: 24 ημέρες τον Ιανουάριο, 15 ημέρες τον Φεβρουάριο και 13 ημέρες τον Μάρτιο. Το 1983: 2 ημέρες τον Ιούλιο.
- Στον σταθμό του Μπρίντιζι: το 1999: 2 ημέρες τον Δεκέμβριο. Το 2010: 2 ημέρες τον Φεβρουάριο.
- Στον σταθμό του Κάλιαρι: το 2013: 3 ημέρες τον Ιούλιο, 2 ημέρες τον Αύγουστο, 2 ημέρες τον Σεπτέμβριο και 6 ημέρες τον Δεκέμβριο. Το 2015: 2 ημέρες τον Οκτώβριο. Το 2016: 2 ημέρες τον Ιανουάριο, 4 ημέρες τον Μάρτιο, 2 ημέρες τον Μάιο και 6 ημέρες τον Ιούνιο.