



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

“Συμπλήρωση χρονοσειρών με αξιοποίηση δεδομένων επανανάλυσης για τη διερεύνηση αλλαγών της βροχόπτωσης στον Ελλαδικό χώρο”

του

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υποβλήθηκε στη Σχολή
Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος
του Πολυτεχνείου Κρήτης
Για το Δίπλωμα Μηχανικού Περιβάλλοντος

Υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Αριστείδη Κουτρούλη

Επιτροπή

Α' Μέλος: Κουτρούλης Αριστείδης

Β' Μέλος: Δάρας Τρύφωνας

Γ' Μέλος: Γρυλλάκης Μανώλης

Περίληψη

Κύριος σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανίχνευση τάσεων με σκοπό την διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη βροχόπτωση για την περιοχή της Ελλάδος σύμφωνα με το πρωτόκολλο ETCCDI (Expert Team on Climate Detection and Indices). Προηγήθηκε ο έλεγχος, η συμπλήρωση και η επέκταση ελλιπών χρονοσειρών βροχόπτωσης από την εθνική βάση «Υδροσκόπιο» με άμεσο όφελος στη συνέπεια των στατιστικών χαρακτηριστικών τους και κατ' επέκταση στη χρησιμότητά τους σε πλήθος εφαρμογών. Στα πλαίσια της εργασίας διερευνήθηκε επιπλέον η αποτελεσματικότητα της χρήσης πλεγματικών δεδομένων στη συνέπεια συμπλήρωσης βροχομετρικών παρατηρήσεων ημερήσιας χρονικής διακριτοποίησης. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν πλεγματικά δεδομένα από τα πλέον σύγχρονα σύνολα δεδομένων υψηλής χωρικής διακριτοποίησης (ERA5-Land, CERRA, E-OBS και CHELSA). Στατιστικοί δείκτες του κλάδου της υδρολογίας (NSE, KGE) καθώς και άλλοι, χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της συνέπειας του εκάστοτε συνόλου πλεγματικών δεδομένων αλλά και στην αξιολόγηση του αποτελέσματος της συμπλήρωσης.

Μέσω πειράματος ψευδο-ελλιπών χρονοσειρών διαπιστώθηκε πως η χρήση πλεγματικών δεδομένων βελτιώνει τη συνέπεια της συμπλήρωσης καθιστώντας την περαιτέρω αξιόπιστη. Η νέα μέθοδος συμπλήρωσης εφαρμόστηκε σε δώδεκα (12) αντιπροσωπευτικούς σταθμούς ανά τα διάφορα υδατικά διαμερίσματα του Ελλαδικού χώρου με χρήση δεδομένων από γειτονικούς σταθμούς και του συνόλου δεδομένων επανανάλυσης CERRA το οποίο κρίθηκε ως πιο αποτελεσματικό. Στη συνέχεια τα δεδομένα των συμπληρωμένων σταθμών μαζί με δεδομένα από επιπλέον 50 σταθμούς ανά την Ελληνική επικράτεια χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή αντιπροσωπευτικών στατιστικών δεικτών σχετικά με την τάση των χαρακτηριστικών της βροχόπτωσης κατά το πρόσφατο παρελθόν, σύμφωνα με το πρωτόκολλο ETCCDI. Η συνδυαστική εικόνα που αποτυπώθηκε μέσω της μελέτης της τάσης για τον κάθε δείκτη ξεχωριστά είναι πως κατά μέσο όρο οι πλείστες περιοχές παρουσιάζουν πτωτική τάση βροχόπτωσης ωστόσο, υπάρχουν και περιοχές όπου παρατηρήθηκε αυξητική τάση και αφορούν κυρίως τις βορειότερες περιοχές της Ελλάδας. Πιο συγκεκριμένα στατιστικά σημαντικές τάσεις της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 90%, ανιχνεύθηκαν για το 25% των σταθμών οι οποίες ισομερίζονται μεταξύ θετικών και αρνητικών.

Abstract

The main objective of the thesis is the detection of trends with the aim of investigating the effects of climate change on precipitation for the region of Greece following the ETCCDI (Expert Team on Climate Detection and Indices) protocol. Prior to this, incomplete precipitation time series from the national database "Hydroscope" were verified, infilled, and extended with direct benefit on the consistency of their statistical characteristics and consequently on their usefulness in a number of applications. In the context of the study, the effectiveness of the use of gridded data on the consistency of infilling daily rainfall observations was further investigated. Gridded data from state-of-the-art high spatial resolution datasets (ERA5-Land, CERRA, E-OBS and CHELSA) were used. Hydrological statistical indicators (NSE, KGE) were used to assess the matching skill of each gridded dataset and to evaluate the added value of the data infilling.

A pseudo-gaps time series experiment, proved that the use of gridded data consistently, although marginally, improves the accuracy of the filling. The new infill method was applied in twelve (12) representative stations across the different water districts of Greece using data from neighbouring stations and the CERRA reanalysis dataset, which was found to be the most efficient. Data from the filled stations together with data from additional 50 stations across the Greek territory were then used to derive representative statistical indicators on the trend of rainfall characteristics in the recent past, in accordance with the ETCCDI protocol. The aggregate pattern obtained through the study of the trend for each individual indicator is that of a decreasing rainfall trend on average for most areas, however, there are also areas where an increasing trend has been observed, mainly in the northernmost regions of Greece. More specifically, statistically significant trends of the average annual rainfall, at 90% confidence level, were detected for 25% of the stations, which are equally divided between positive and negative.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα αρχικά να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Κουτρούλη Αριστείδη τόσο για την ανάθεση του θέματος αλλά και το χρόνο που αφιέρωσε για την καθοδήγηση και τις συμβουλές του προς την ομαλή πραγματοποίηση της εργασίας.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια και τους φίλους μου για τη στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή.....	11
1.1 Πεδίο έρευνας.....	11
1.2 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο	12
2.1 Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός και το Εθνικό Κέντρο Κλιματολογικών Δεδομένων	12
2.1.1 Υδροσκόπιο	12
2.2 Υδρομετεωρολογικά στοιχεία	12
2.2.1 Ατμόσφαιρα	12
2.2.2 Κύκλος του νερού	14
2.2.3 Κατακρήμνιση-Βροχόπτωση.....	15
2.3 Κλίμα της Ελλάδας	16
2.3.1 Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας	16
2.3.2 Ύψος βροχής στην Ελλάδα	17
2.4 Κλιματική Αλλαγή.....	19
2.4.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	19
2.4.2 Αιτίες κλιματικής αλλαγής.....	20
2.4.3 Κλιματική μεταβλητότητα.....	20
2.4.4 Επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στην βροχόπτωση.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μετεωρολογικά συστήματα και δεδομένα.....	23
3.1 Μετεωρολογικά συστήματα παρατήρησης	23
3.1.1 Μετεωρολογικοί σταθμοί.....	23
3.1.2 Βροχομετρικοί σταθμοί.....	24
3.1.3 Μέτρηση Βροχόπτωσης.....	24
3.1.4 Στοιχεία μετεωρολογικών σταθμών	26
3.1.5 Γεωγραφικά δεδομένα	26
3.2 Χρήση μεταδεδομένων Βροχόπτωσης.....	27
3.2.1 Χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων	27
3.2.2 Ανάλυση Χρονοσειρών	28
3.3 Ανάγκη για συμπλήρωση χρονοσειρών	29
3.3.1 Έλεγχος ομογένειας.....	30
3.4 Δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης	30
3.4.1 Πλεγματικά δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης	31
3.5 Κλιματικοί δείκτες	33
3.5.1 Κλιματικοί δείκτες βροχόπτωσης.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μεθοδολογία	35

4.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο	35
4.2 Συμπλήρωση σταθμών	36
4.2.1 Μέθοδοι συμπλήρωσης	38
4.3 Επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων - Υδρογνώμων	41
4.3.1 Κανονικοποίηση χρονικού βήματος	41
4.3.2 Συνάθροιση χρονοσειρών (Aggregation)	42
4.3.3 Μεθοδολογία συμπλήρωσης ελλειπουσών χρονοσειρών	43
4.4 Πείραμα δυναμικής βελτίωσης συμπλήρωσης με χρήση πλεγματικών δεδομένων	45
4.4.1 Δείκτες αξιολόγησης συνέπειας	45
4.5 Συμπλήρωση με χρήση πλεγματικών δεδομένων	48
4.6 Υπολογισμός κλιματικών δεικτών βροχοπτώσης	50
4.6.1 Αντληση δεδομένων από τους δείκτες.....	52
4.6.2 Ανάλυση Τάσης και p-value	53
4.6.3 Sen's slope.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αποτελέσματα και συζήτηση.....	55
5.1 Αποτελέσματα πειράματος με πλεγματικά δεδομένα	55
5.2 Πείραμα συμπλήρωσης με χρήση μοντέλου CERRA	57
5.2.1 Υγρά έτη.....	57
5.2.2 Κανονικά έτη.....	58
5.2.3 Ξηρά έτη.....	58
5.2.4 Σύνοψη πειράματος	59
5.3 Τάση δεικτών βροχοπτώσης Climdex – Χάρτες	60
5.3.1 Δείκτης R10mm.....	60
5.3.2 Δείκτης R20mm.....	61
5.3.3 Δείκτης R30mm.....	62
5.3.4 Δείκτης Rx1day	63
5.3.5 Δείκτης Rx5days.....	64
5.3.6 Δείκτης SDII.....	65
5.3.7 Δείκτης PRCPTOT	66
5.3.8 Δείκτης SPI3	67
5.3.9 Δείκτης SPI6.....	68
5.3.10 Δείκτης SPI12.....	69
5.3.11 Δείκτης CDD.....	70
5.3.12 Δείκτης CWD.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	76
Παράρτημα Α.....	80
Παράρτημα Β.....	86

Κατάλογος Εικόνων

Κεφάλαιο 2

Εικόνα 2.1: Στρώματα της ατμόσφαιρας	13
Εικόνα 2.2: Υδρολογικό ισοζύγιο	14
Εικόνα 2.3: Κλιματικές ζώνες Ελλάδας (πηγή Ε.Μ.Υ)	17
Εικόνα 2.4: Ύψος βροχής στην Ελλάδα (πηγή geogreece.gr)	18
Εικόνα 2.5: Διάγραμμα κλιματικής μεταβλητότητας σε σχέση με την κλιματική αλλαγή. (Κατσαφάδος Π. και Μαυροματιδής Η., 2015)	21

Κεφάλαιο 3

Εικόνα 3.1: Απλό βροχόμετρο	25
Εικόνα 3.2: Βροχογράφος (Hellmann-Fuess)	25
Εικόνα 3.3: Παράδειγμα χρονοσειράς βροχόπτωσης	28

Κεφάλαιο 4

Εικόνα 4.1: Μεθοδολογικό πλαίσιο	35
Εικόνα 4.2: Χάρτης με τους σταθμούς για την διαδικασία της συμπλήρωσης. Με πορτοκαλί χρώμα συμβολίζονται οι σταθμοί που συμπληρώθηκαν και με μπλε οι γειτονικοί σταθμοί αναφοράς ανά περίπτωση	38
Εικόνα 4.3: Κανονικοποίηση χρονικού βήματος	42
Εικόνα 4.4: Συνάθροιση	43
Εικόνα 4.5: Παραδείγματα κενών σε χρονοσειρές	44
Εικόνα 4.6: Παράθυρο εκτέλεσης της μεθόδου συμπλήρωσης	44
Εικόνα 4.7: Σχεδιάγραμμα συμπλήρωσης χρονοσειρών	48
Εικόνα 4.8: Χρονοσειρά πριν από συμπλήρωση	49
Εικόνα 4.9: Χρονοσειρά μετά από συμπλήρωση	49
Εικόνα 4.10: Δεδομένα εισόδου σε μορφή txt.	50
Εικόνα 4.11: Παράθυρο εισόδου του προγράμματος Climdex	51
Εικόνα 4.12: Χάρτης επιλεγμένων σταθμών για τον υπολογισμό δεικτών	52

Κεφάλαιο 5

Εικόνα 5.1: Χάρτης με τάση δείκτη R10mm	60
Εικόνα 5.2: Χάρτης με τάση δείκτη R20mm	61
Εικόνα 5.3: Χάρτης με τάση δείκτη R30mm	62
Εικόνα 5.4: Χάρτης με τάση δείκτη rx1day	63
Εικόνα 5.5: Χάρτης με τάση δείκτη rx5day	64
Εικόνα 5.6: Χάρτης με τάση δείκτη sdii	65
Εικόνα 5.7: Χάρτης με τάση δείκτη prcptot	66
Εικόνα 5.8: Χάρτης με τάση δείκτη spi3	67
Εικόνα 5.9: Χάρτης με τάση δείκτη spi6	68
Εικόνα 5.10: Χάρτης με τάση δείκτη spi12	69
Εικόνα 5.11: Χάρτης με τάση δείκτη cdd	70
Εικόνα 5.12: Χάρτης με τάση δείκτη cwd	71

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά πλεγματικών μοντέλων	32
Πίνακας 5.1: Στατιστικοί δείκτες μοντέλου CHELSA	55
Πίνακας 5.2: Στατιστικοί δείκτες μοντέλου CERRA	55
Πίνακας 5.3: Στατιστικοί δείκτες μοντέλου ERA5-L.....	55
Πίνακας 5.4: Στατιστικοί δείκτες μοντέλου EOBS.....	55
Πίνακας 5.5: Στατιστικοί δείκτες σε υγρό υδρολογικό έτος (χωρίς CERRA)	57
Πίνακας 5.6: Στατιστικοί δείκτες σε υγρό υδρολογικό έτος (με CERRA)	57
Πίνακας 5.7: Στατιστικοί δείκτες σε κανονικό υδρολογικό έτος (χωρίς CERRA)	58
Πίνακας 5.8: Στατιστικοί δείκτες σε κανονικό υδρολογικό έτος (με CERRA)	58
Πίνακας 5.9: Στατιστικοί δείκτες σε ξηρό υδρολογικό έτος (χωρίς CERRA)	58
Πίνακας 5.10: Στατιστικοί δείκτες σε ξηρό υδρολογικό έτος (με CERRA)	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1 Πεδίο έρευνας

Ορισμένες μελέτες υποστηρίζουν μείωση της βροχοπτώσης στον Ελλαδικό χώρο ενώ άλλες διακρίνουν ανάμικτες τάσεις ανά περιοχή. Τα πρόσφατα «υγρά» έτη υποδεικνύουν την ισχυρή επίδραση της φυσικής μεταβλητότητας έναντι της μακροχρόνιας τάσης. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση των αλλαγών της βροχοπτώσης στον Ελλαδικό χώρο, για το πρόσφατο παρελθόν. Πρωτογενή δεδομένα από την εθνική βάση «Υδροσκόπιο» για ένα χωρικά αντιπροσωπευτικό δείγμα σταθμών αποτέλεσαν τη βάση για την προτεινόμενη ανάλυση. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται συχνά από επιστήμονες και μελετητές, ωστόσο πολλές φορές παρουσιάζουν ελλείψεις με αποτέλεσμα η επεξεργασία τους να γίνεται ακόμα πιο δύσκολη. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έγινε συμπλήρωση των ελλειπών χρονοσειρών με ταυτόχρονη αξιοποίηση δεδομένων επανανάλυσης των διαθέσιμων πλεγματικών δεδομένων βροχοπτώσης, με άμεσο όφελος τη βελτίωση των στατιστικών χαρακτηριστικών τους και την πληρότητα των χρονοσειρών. Παράλληλα, εξετάστηκε η συνέπεια μεταξύ διαθέσιμων πλεγματικών δεδομένων χωρικής παλινδρόμησης και επανανάλυσης (CERRA, ERA5-L, Chelsa, EOBS) για τη χρήση του πιο αξιόπιστου στη διαδικασία της συμπλήρωσης. Οι επεξεργασμένες χρονοσειρές αποτέλεσαν τη βάση για τον υπολογισμό των δεικτών ανίχνευσης τάσεων σύμφωνα με το πρωτόκολλο ETCCDI (Expert Team on Climate Detection and Indices) με σκοπό τη διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη βροχοπτώση για την περιοχή της Ελλάδος.

1.2 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η ακόλουθη διπλωματική εργασία απαρτίζεται από τα παρακάτω κεφάλαια:

- **Κεφάλαιο 2:** Παρέχεται το θεωρητικό υπόβαθρο σε βασικές έννοιες σχετικά με τα υδρομετεωρολογικά στοιχεία, την κλιματική αλλαγή ενώ γίνεται επίσης αναφορά στο κλίμα και τα χαρακτηριστικά της βροχοπτώσης στην Ελλάδα.
- **Κεφάλαιο 3:** Αφορά τα μετεωρολογικά συστήματα παρατήρησης, την καταγραφή και τη χρήση των δεδομένων βροχοπτώσης, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται τα δεδομένα που προκύπτουν από τα σύγχρονα μοντέλα υψηλής χωρικής διακριτοποίησης. Επίσης, αναφέρονται οι κλιματικοί δείκτες βροχοπτώσης Climdex.
- **Κεφάλαιο 4:** Παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε με σκοπό αρχικά, τη βελτίωση της συμπλήρωσης ελλειπουσών χρονοσειρών βροχοπτώσης και στη συνέχεια τον υπολογισμό της τάσης των κλιματικών δεικτών.
- **Κεφάλαιο 5:** Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μυθολογίας. Η παρουσίαση και ο σχολιασμός δίνονται μέσω συγκριτικών πινάκων για τη συμπλήρωση και μέσω χαρτών για τους κλιματολογικούς δείκτες βροχοπτώσης.
- **Κεφάλαιο 6:** Συνοψίζονται τα γενικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός και το Εθνικό Κέντρο Κλιματολογικών Δεδομένων

Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization WMO) θεσπίστηκε βασιζόμενος στην ιδέα ότι ο καιρός και το κλίμα δε διαθέτουν σύνορα και πρόκειται για μια υπηρεσία των Ηνωμένων Εθνών η οποία αποτελείται από 193 κράτη μέλη. Κύριος σκοπός, αφορά τη συνεργασία σε παγκόσμιο επίπεδο για την επίβλεψη της κατάστασης και συμπεριφοράς της ατμόσφαιρας της γης, της αλληλεπίδρασης με τους ωκεανούς, το κλίμα και την κατανομή των υδατικών πόρων. Παράλληλα, ενθαρρύνει τη συνεργασία για την εγκατάσταση δικτύων υδρομετεωρολογικών και κλιματολογικών παρατηρήσεων καθώς και την ανταλλαγή, επεξεργασία και ομογενοποίηση των δεδομένων. Από την αρχή της ίδρυσης του το 1950 έχει συμβάλλει ουσιαστικά στις διεθνείς προσπάθειες για την παρακολούθηση και προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης ζωής από τις φυσικές καταστροφές. (WMO)

2.1.1 Υδροσκόπιο

Η συνεχώς εκτεινόμενη έρευνα σχετικά με υδροκλιματικά φαινόμενα συνδέεται με αυξημένες ανάγκες ως προς την αξιοποίηση δεδομένων και των ιστορικών τους από ερευνητές. Το Υδροσκόπιο αναγνωρίζοντας αυτή την πραγματικότητα, αναπτύχθηκε βασιζόμενο στο τρίπτυχο ελευθερία-απλότητα-πληρότητα με στόχο τη δημιουργία μιας σύγχρονης πληροφοριακής υποδομής του υδρολογικού κύκλου στην Ελλάδα. Η υλοποίηση του προέρχεται από τη συνεργασία πολλών φορέων μέσα από την πάροδο αρκετών ετών και πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις στα πλαίσια ερευνητικών έργων από το 1992 μέχρι το 2010.

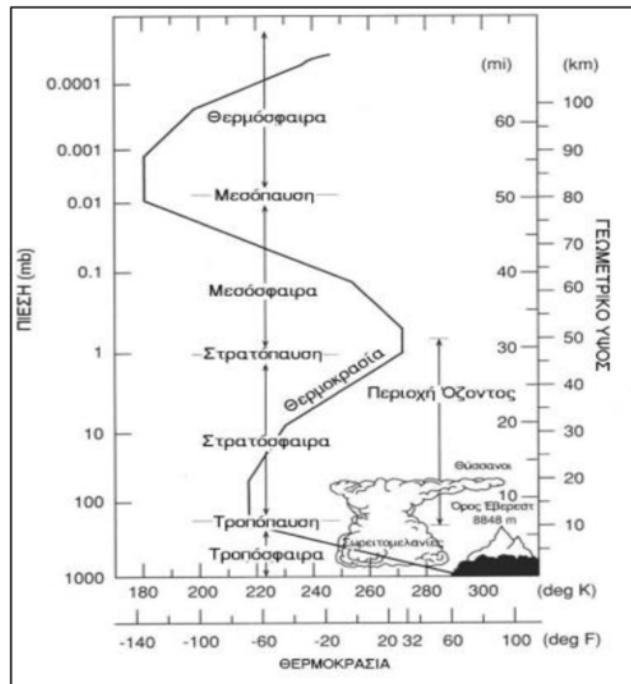
Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα σύστημα σε δικτυακό περιβάλλον το οποίο αποτελείται από βάσεις υδρομετεωρολογικών δεδομένων-γεωγραφικής πληροφορίας, εφαρμογές λογισμικού επεξεργασίας και διαχείρισης δεδομένων καθώς και ψηφιακή βιβλιοθήκη. Βασική στρατηγική του έργου είναι η συνεργασία και η κοινή συνεισφορά όλων των εμπλεκόμενων φορέων και επιστημονικών κλάδων ως προς την αποθήκευση, διαχείριση και ανταλλαγή δεδομένων σε μια κοινή τράπεζα δεδομένων. Το Υδροσκόπιο περιλαμβάνει στην τράπεζα δεδομένων, πληροφορίες σχετικά με τις μετεωρολογικές μετρήσεις καθώς και παράγωγα δεδομένα προερχόμενα από πρωτογενή δεδομένα. (Τολίκας Δ., 2017)

2.2 Υδρομετεωρολογικά στοιχεία

2.2.1 Ατμόσφαιρα

Η ατμόσφαιρα της γης παρουσιάζει έντονη διαστρωμάτωση και περιέχει πλήθος στοιχείων με κυριότερα το άζωτο και το οξυγόνο και σε μικρότερη διαθεσιμότητα το διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμοί, όζον, σκόνη και άλλα αέρια προερχόμενα από την εξάτμιση των επιφανειακών υδάτων, την εξάχνωση των πάγων, την διαπνοή των φυτών και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το ανώτατο οριακό είναι ένα λεπτό στρώμα πάχους 30 km και είναι το πυκνότερο σε μάζα αερίων.

Μέσω της ηλιακής και της γήινης ακτινοβολίας πραγματοποιούνται εντός της ατμόσφαιρας διάφορες μετατροπές μεταξύ μορφών ενέργειας όπως θερμότητα, κινητική ενέργεια κλπ. Η μεταβολή της θερμοκρασίας σε σχέση με το ύψος χωρίζει την ατμόσφαιρα στις τέσσερις ακόλουθες ζώνες: Η τροπόσφαιρα (ύψος 10-15 km), η στρατόσφαιρα (ύψος 45-55 km), η μεσόσφαιρα (ύψος 80-90 km) και η θερμόσφαιρα (εικ. 2.1) με τον αέρα να έχει γενικά προοδευτικά μικρότερη πυκνότητα καθώς αυξάνεται το υψόμετρο (Λαζαρίδης, 2010).



Εικόνα 2.1: Στρώματα της ατμόσφαιρας

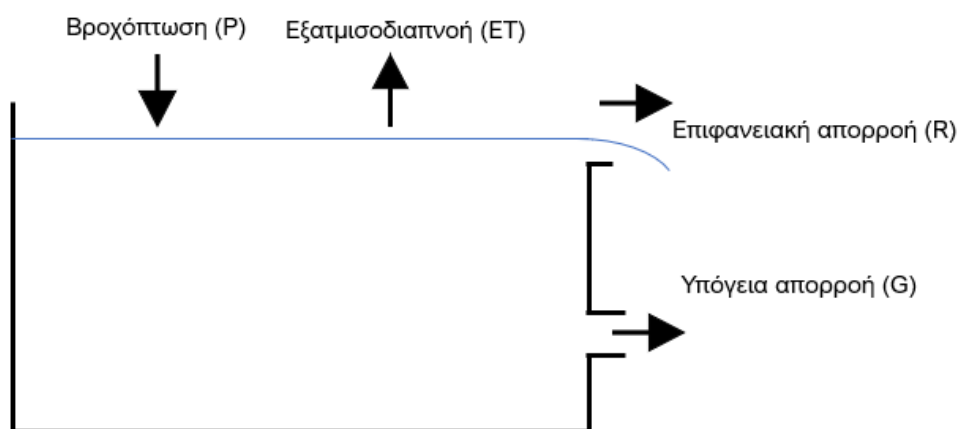
2.2.2 Κύκλος του νερού

Ο υδρολογικός κύκλος αποτελεί ένα από τα πιο αξιοσημείωτα φαινόμενα για την διατήρηση της ζωής και αφορά τη κίνηση του νερού μεταξύ της ατμόσφαιρας και της γης. Αποτελεί μια συνεχή διεργασία στην οποία πραγματοποιούνται αλλαγές μεταξύ υγρών, αέριων και στερεών καταστάσεων. Ξεκινά στην ατμόσφαιρα, όπου οι υδρατμοί δημιουργούνται μέσω της εξάτμισης μεγάλης ποσότητας του νερού από την ξηρά και τη θάλασσα κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της διαπνοής της βλάστης. Ακολουθώντας, μέσω του ανέμου οι υδρατμοί που σχηματίζονται παρασύρονται προς τα άνω στρώματα όπου λόγω χαμηλής θερμοκρασίας, συμπυκνώνονται σε νέφη και επιστρέφουν στη γη ως ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι). Ένα μέρος του νερού που φτάνει στην επιφάνεια της γης είναι σε μορφή πάγου εφόσον η κατακρήμνιση λαμβάνει χώρα σε περιοχές με χαμηλή θερμοκρασία ή σε περιοχές με μεγάλα υψόμετρα ενώ ένα μέρος επιστρέφει σε θάλασσες, λίμνες και ποταμούς με το υπόλοιπο μέρος να συγκεντρώνεται σε υδροφόρους ορίζοντες μετά κατείσδυση.

Τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν το υδρολογικό ισοζύγιο είναι κλιματικά, γεωλογικά και μορφολογικά. Το υδρολογικό ισοζύγιο δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$P = R + G + ET \quad (2.1)$$

Όπου, (P) είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, (R) η επιφανειακή απορροή το νερού που απορρέει στην επιφάνεια της γης, (G) η κατείσδυση δηλαδή το νερό που διεισδύει στο έδαφος και (ET) την εξατμισοδιαπνοή από το την εξάτμιση από ελεύθερες επιφάνειες και από τη διαπνοή των φυτών (Δαλιακόπουλος, 2018).



Εικόνα 2.2: Υδρολογικό ισοζύγιο

2.2.3 Κατακρήμνιση-Βροχόπτωση

Μέσα σε ένα νέφος πραγματοποιείται η διαδικασία της υγροποίησης των υδρατμών με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεγαλύτερα υδροσταγονίδια που έχουν διάμετρο η οποία κυμαίνεται μεταξύ 0.5-0.6 mm. Για να πέσουν στη γη οι σταγόνες που θα δημιουργηθούν, πρέπει να είναι τόσο βαριές που να προκαλούν ταχύτητα πτώσης μεγαλύτερη από αυτήν του ανοδικού ρεύματος και σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο τήξης του νερού. Ωστόσο, είναι πιθανόν κάποιες σταγόνες να μη φθάσουν στο έδαφος από τα ανώτερα στρώματα καθώς κατά την πορεία τους προς το έδαφος ενδέχεται να περάσουν από θερμότερα στρώματα με αποτέλεσμα να εξατμίζονται. Σε μεγαλύτερα ύψη με θερμοκρασία χαμηλότερη του μηδενός, τα υδροσταγονίδια μεγαλώνουν συνεχώς και γίνονται παγοκρυσταλλίδια με μορφή χιονιού. (Νικολακόπουλος, 2015).

Συνολικά, τρεις δυνατότητες (και οι συνδυασμοί τους) είναι σε θέση να προκαλέσουν το φαινόμενο της κατακρήμνισης (βροχή):

1. Όταν ψυχθεί ο αέρας και η θερμοκρασία του μειωθεί σε τέτοιο σημείο όπου ελαττώνεται η ικανότητα συγκράτησης των υδρατμών ή των μικρών σταγονιδίων.
2. Η αύξηση της ατμοσφαιρικής πίεσης έχει ως επακόλουθο την μείωση της ικανότητας συγκράτησης των υδρατμών και των μικρών σταγονιδίων σε κολλοειδή διασπορά.
3. Η αυξημένη συγκέντρωση της υγρασίας και σε τέτοιο σημείο όπου υπερβαίνει την ικανότητα συγκράτησης σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση.

Η βροχόπτωση είναι μια ασυνεχής χωρικά με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ο χαρακτηρισμός της βροχόπτωσης μιας περιοχής γίνεται με βάση διάφορα χαρακτηριστικά, ενδεικτικά:

- Ύψος βροχής: Αφορά τη ποσότητα του νερού που πέφτει στην επιφάνεια της γης. Είναι δηλαδή το ύψος της βροχής που θα έπεφτε σε ένα δοχείο σε μια οριζόντια επιφάνεια αν θεωρήσουμε πως δεν παρατηρούνται φαινόμενα απορροής, απορρόφησης και εξάτμισης.
 - Ένταση: Μετριέται ως το ύψος της βροχής (mm) που πέφτει στην επιφάνεια της γης σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα το οποίο ορίζεται συνήθως σε 1 ώρα. Η ένταση μπορεί να χαρακτηριστεί ως ελαφρά, μέση και εντατική για ταχύτητες μέχρι 2,5 mm/h, από 2,5-7,5 mm/h και πάνω από 7,5 mm/h για κάθε κατηγορία αντίστοιχα.
 - Διάρκεια: Είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο εκδηλώνεται το φαινόμενο της βροχόπτωσης σε μία περιοχή.
- Αριθμός ημερών βροχής: Αποτελεί τον αριθμό των ημερών κατά τις οποίες εκδηλώνεται βροχόπτωση (συνήθως πάνω από συγκεκριμένη κατώφλια τιμή π.χ. >0,1 ή 1mm).

2.3 Κλίμα της Ελλάδας

Η Ελλάδα σύμφωνα με την Ε.Μ.Υ. γεωγραφικά τοποθετείται μεταξύ των παραλλήλων 34^{οο} και 42^{οο} βόρεια του ισημερινού και από τον 19^ο έως τον 29^ο ανατολικό μεσημβρινό και βρέχεται από τη Μεσόγειο θάλασσα και το Ιόνιο Πέλαγος. Κατά μήκος της χώρας εμφανίζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιμάτων σχετικά με το Μεσογειακό κλίμα και αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην τοπογραφική διαμόρφωση της Ελλάδας και τις μεγάλες υψομετρικές διαφορές, την εναλλαγή ξηράς και θάλασσας με το κλίμα στην ανατολική Ελλάδα να είναι πιο ξηρό σε σχέση με τη δυτική που είναι πιο υγρό. Αυτό που κάνει το κλίμα της Ελλάδας να ξεχωρίζει σε σχέση με άλλες χώρες έγκειται στο γεγονός ότι ανά περιπτώσεις παρατηρούνται κλιματικές διαφορές σε περιοχές που είναι σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους.

Κλιματολογικά το έτος της Ελλάδας χωρίζεται σε δύο περιόδους. Η πρώτη είναι η ψυχρή και βροχερή εποχή και διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου μέχρι τα τέλη Μαρτίου με τους ψυχρότερους μήνες να αφορούν τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο με την μέση θερμοκρασία να κυμαίνεται από 5-10 °C σε παραθαλάσσιες περιοχές και από 0-5 °C στις ηπειρωτικές περιοχές ενώ σε πιο βόρειες περιοχές η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει σε αρνητικές τιμές. Η δεύτερη περίοδος είναι η θερμή και άνομβρη με διάρκεια από τον Απρίλιο μέχρι και τον Οκτώβριο με τη θερμότερη περίοδο να παρουσιάζεται από τα μέσα του Ιουλίου μέχρι τα μέσα του Αυγούστου με τις μέσες θερμοκρασίες να κυμαίνονται από 29-35 °C. (emy.gr)

2.3.1 Κλιματικές ζώνες της Ελλάδας

Το γεωγραφικό πλάτος, η αναλογία ξηράς-θάλασσας και το υψόμετρο είναι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν το κλίμα μιας περιοχής. Σύμφωνα με αυτούς τους παράγοντες στην Ελλάδα συναντώνται οι ακόλουθοι κλιματικοί τύποι (Μαριολόπουλος, 1938, 1982):

1. **Ο Θαλάσσιος μεσογειακός τύπος** με στοιχεία εύκρατου κλίματος που συναντάται κυρίως στα δυτικά παράλια και σε νησιά του Ιονίου.

2. **Ο Χερσαίος μεσογειακός τύπος** με πιο ξηρά καλοκαίρια και πιο ψυχρούς χειμώνες από αυτούς του θαλάσσιου μεσογειακού κλίματος. Επικρατεί κυρίως στη ΝΑ Ελλάδα, τμήμα της στερεάς, ανατολική Πελοπόννησος και σε νησιά που βρίσκονται κεντρικά του Αιγαίου και της Κρήτης.

3. **Ο Ηπειρωτικός τύπος** με στοιχεία ηπειρωτικού κλίματος που συναντάται στις βόρειες βαλκανικές περιοχές. Ο τύπος αυτός χαρακτηρίζει το μεγαλύτερο μέρος της Θράκης, τη Μακεδονία και τμήμα της Θεσσαλίας.

4. **Ο Ορεινός τύπος** συναντάται στους ορεινούς όγκους της χώρας και το κλίμα χαρακτηρίζεται από ψυχρούς χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια με ολόχρονες βροχοπτώσεις.

Στον παρακάτω χάρτη φαίνεται η κατανομή των κλιματικών περιοχών της Ελλάδας:



ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη
ΖΩΝΗ Β	Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδία, Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλκίς, Χαλκιδική, Σέρρες, Καβάλα, Δράμα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα

Εικόνα 2.3: Κλιματικές ζώνες Ελλάδας (πηγή Ε.Μ.Υ)

2.3.2 Ύψος βροχής στην Ελλάδα

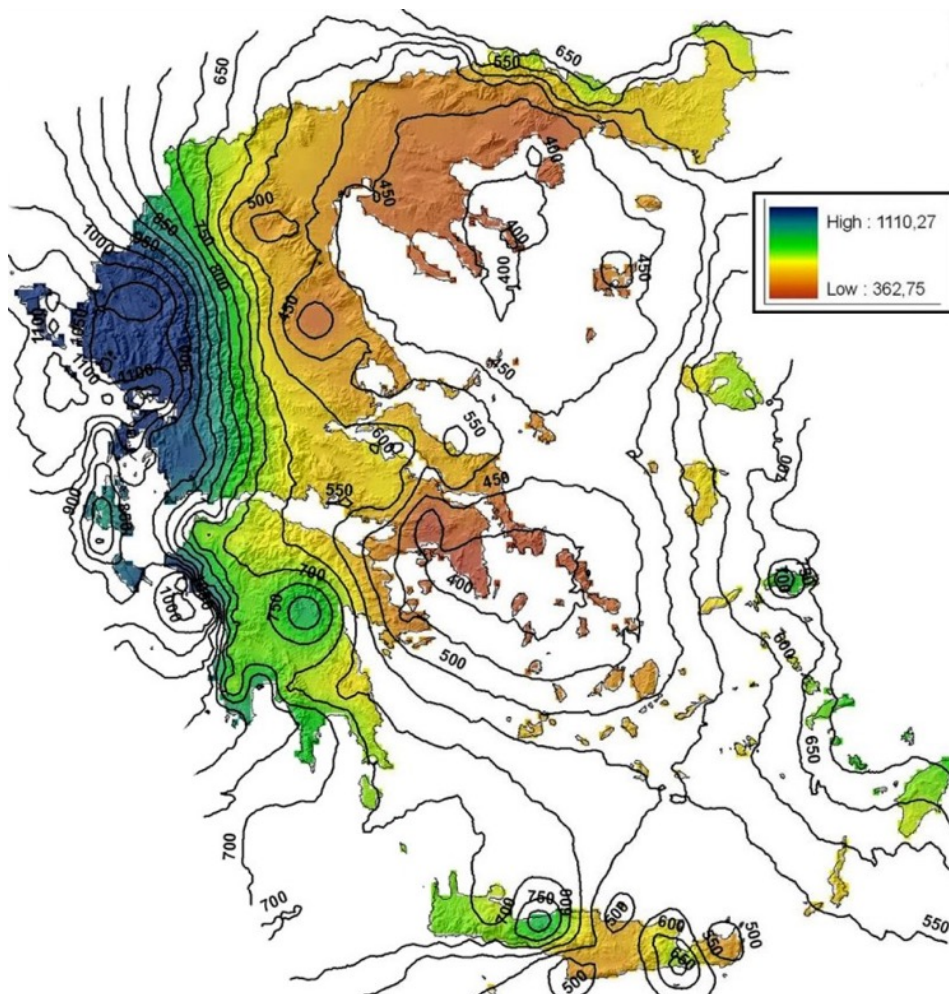
Όπως έχει προαναφερθεί ο ανατολικός μεσημβρινός διαίρει την Ελληνική επικράτεια στο περισσότερο βροχερό δυτικό κομμάτι από τις λιγότερες βροχερές περιοχές στο ανατολικό. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί και από τον χάρτη 2.4 όπου παρουσιάζονται τα μέσα ύψη βροχόπτωσης, σε χιλιοστά, σε ολόκληρη την Ελλάδα. Γενικά στην Ελλάδα παρατηρείται πως το μέσο ύψος βροχής αυξάνεται με το γεωγραφικό πλάτος με τα μεγαλύτερα ύψη να αφορούν ορεινές και δυτικές περιοχές λόγω ανάγλυφου. Παράλληλα, τα καιρικά συστήματα έχουν συνηθίς κίνηση από τα δυτικά στα ανατολικά όπου οι δυτικές περιοχές επηρεασμένες από το τοπογραφικό ανάγλυφο έχουν πιο έντονη βροχόπτωση με μεγαλύτερα ύψη. Τα μικρότερα ύψη βροχής εμφανίζονται στην Ηπειρωτική Ελλάδα τα οποία προκύπτουν από τη μειωμένη περιεκτικότητα σε υδρατμούς λόγω τις πορείας τους που ξεκίνησε από τις δυτικές περιοχές. Επίσης, η πιο άνομβρη περιοχή και με τα χαμηλότερα ύψη βροχής εμφανίζονται στην Αττική και τα νησιά του Αργοσαρωνικού ενώ οι περιοχές της Θεσσαλονίκης και των Σερρών έχουν επίσης μικρά ύψη εξαιτίας της επίδρασης των ξηρών και ψυχρών καταβατικών ανέμων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διακρίνονται οι ακόλουθες 6 ζώνες διαφορετικής βροχόπτωσης:

1. Κατά μήκος των ακτών και των νησιών της δυτικής Ελλάδας, με μέσο ετήσιο ύψος βροχής 800-1200 χιλιοστά.
2. Η πιο βροχερή ζώνη εκτείνεται ανατολικά στην κύρια ορεινή ζώνη της Ελλάδας με τα μέσα ετήσια βροχομετρικά ύψη να κυμαίνονται από 1.000 ως 1.400 mm. Στην ηπειρωτική Πίνδο

μπορούν να υπερβαίνουν ακόμη και τα 1.800 mm. Η ζώνη περιλαμβάνει επίσης και νοτιότερες περιοχές, αυτές της Στερεάς Ελλάδας και τις Πελοποννήσου με τη βροχόπτωση να κυμαίνεται μεταξύ 800-1.600 mm ενώ τα όρη της δυτικής Κρήτης το ύψος φτάνει τα 1.000-2.000 mm.

3. Πρόκειται για ζώνη με τα μικρότερα ύψη η οποία βρίσκεται ανατολικότερα. Περιλαμβάνει τις εξής περιοχές με τα ανάλογα ύψη:
 - Νότια Μακεδονία (600-800 mm),
 - Θεσσαλία, την ανατολική Στερεά και τη δυτική Εύβοια (400-800 mm)
 - Την ανατολική Πελοπόννησο και τις δυτικές Κυκλάδες (350-600 mm).
4. Αφορά σχεδόν ευθεία ορεινή αλυσίδα κατά μεγάλο μέρος παράκτια, με υψηλά βροχομετρικά ύψη. Περιλαμβάνει το Πάικο και το Βέρμιο (800-1.200 mm), τον Όλυμπο (1.000-2.000 mm), την Όσσα και το Πήλιο (800-1.200 mm), τις βόρειες Σποράδες και την ορεινή ανατολική Εύβοια (800-1.200 mm) και τις βορειοανατολικές Κυκλάδες (600-800 mm).
5. Ζώνη κοιλάδας του Αξιού και της δυτικής Χαλκιδικής με περιορισμένες βροχοπτώσεις (400-600 mm). Μεγαλύτερο ύψος παρατηρείται ανατολικά της Χαλκιδικής (600-1.000 mm).
6. Η τελευταία ζώνη αρχίζει από την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη (800-1.200 mm), συνεχίζεται με τα νησιά Θάσο, Λήμνο, Σαμοθράκη (400-600 mm) και εκτείνεται στα νησιά που είναι κοντά στα μικρασιατικά παράλια και τα Δωδεκάνησα (600-1.000 mm). (geogreece.gr, <https://www.geogreece.gr/rain.php>).



Εικόνα 2.4: Ύψος βροχής στην Ελλάδα (πηγή geogreece.gr)

2.4 Κλιματική Αλλαγή

Ως κλιματική αλλαγή ορίζουμε την μεταβολή του κλίματος και των μετεωρολογικών συνθηκών σε παγκόσμια κλίμακα. Προκύπτει από την υπέρμετρη αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου από ανθρωπογενής δραστηριότητες με μεγάλες συνέπειες οι οποίες εκτείνονται σε μακροπρόθεσμη κλίμακα. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει μια αλλαγή σε ότι αφορά τη συχνότητα και των χαρακτηριστικών των βροχομετρικών παραμέτρων, στην εξατμισοδιαπνοή, στην αύξηση της θερμοκρασίας, το λιώσιμο των παγετώνων και κατ' επέκταση αύξηση της στάθμης της θάλασσας (Tsanis I., Koutroulis A., 2011). Πρόκειται για αλλαγές που επηρεάζουν με αρνητικό τρόπο και σε διάφορες κλίμακες τόσο τα οικοσυστήματα του πλανήτη όσο και τη βιοποικιλότητα αυτών.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) αναφέρει πως τέτοιου τύπου κλιματολογικές μεταβολές προκαλούν σημαντικές στατιστικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητα του που εκτείνονται σε βάθος χρόνου. Το προκείμενο φαινόμενο είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο και χωρίς κάποια αμφιβολία ότι προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες που οδηγούν σε σταδιακή αλλαγή του κλίματος της γης. Ορισμένες από τις ανθρώπινες δραστηριότητες όπως για παράδειγμα η καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, η αποψίλωση, η γεωργία και η παραγωγή χημικών ουσιών προσθέτουν επιπλέον στα αέρια του θερμοκηπίου και ειδικότερα του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) το οποίο είναι και το κύριο εξ αυτών (UNFCCC, 1992).

2.4.1 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Πρόκειται για μια φυσική διαδικασία απαραίτητη για τη διατήρηση της ζωής και τις βιοποικιλότητας καθώς διατηρεί τη μέση θερμοκρασία της Γης στο φυσιολογικό για τη ζωή επίπεδο των $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Αντιθέτως, χωρίς το φαινόμενο αυτό η Γη θα ήταν στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, θερμοκρασία η οποία δεν ευνοεί την ανέλιξη και διατήρηση της ζωής. Πιο συγκεκριμένα, ο πλανήτης γη καθώς δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία ένα μέρος της απορροφάται και αυξάνει τη θερμοκρασία του εδάφους και των ωκεανών, με το υπόλοιπο να ανακλάται και να φεύγει προς το διάστημα. Ωστόσο, μερικά από τα αέρια που συμμετέχουν στη σύνθεση της ατμόσφαιρας, απορροφούν θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα μέρος αυτής να επανεκπέμπεται πίσω στην επιφάνεια της γης και να τη θερμαίνει σε φυσιολογική θερμοκρασία για τη ζωή.

Τα αέρια αυτά είναι γνωστά και ως αέρια του θερμοκηπίου τα οποία σχηματίζουν ένα στρώμα πάνω από τη γη και τα σημαντικότερα από αυτά είναι:

- Υδρατμοί
- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)
- Τροποσφαιρικό όζον (O_3)
- Μεθάνιο (CH_4)
- Οξείδιο του αζώτου (N_2O)
- Χλωροφθοράνθρακες (CFC's)

Ωστόσο, λόγω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί σημαντικά οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου σε επίπεδα μη φυσιολογικά με αποτέλεσμα να επιδρούν αρνητικά σε αυτό. Αναλυτικότερα, ένα από τα κυρία αέρια στα οποία έχει παρατηρηθεί υπερβολική αύξηση είναι του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) με άμεσο επακόλουθο την αύξηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας η οποία προκαλεί θερμοκρασιακή μεταβολή. Έρευνες έχουν αποδείξει πως η μέση θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί κατά 0.5 με $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ από το 1880, ενώ εάν δε

ληφθούν μέτρα η αύξηση της θερμοκρασίας θα κυμαίνεται από 2 έως 6 °C μέχρι το 2100 με αποτέλεσμα να προκληθούν δυσμενείς επιπτώσεις στον πλανήτη (Mimikou and Baltas, 2013).

2.4.2 Αιτίες κλιματικής αλλαγής

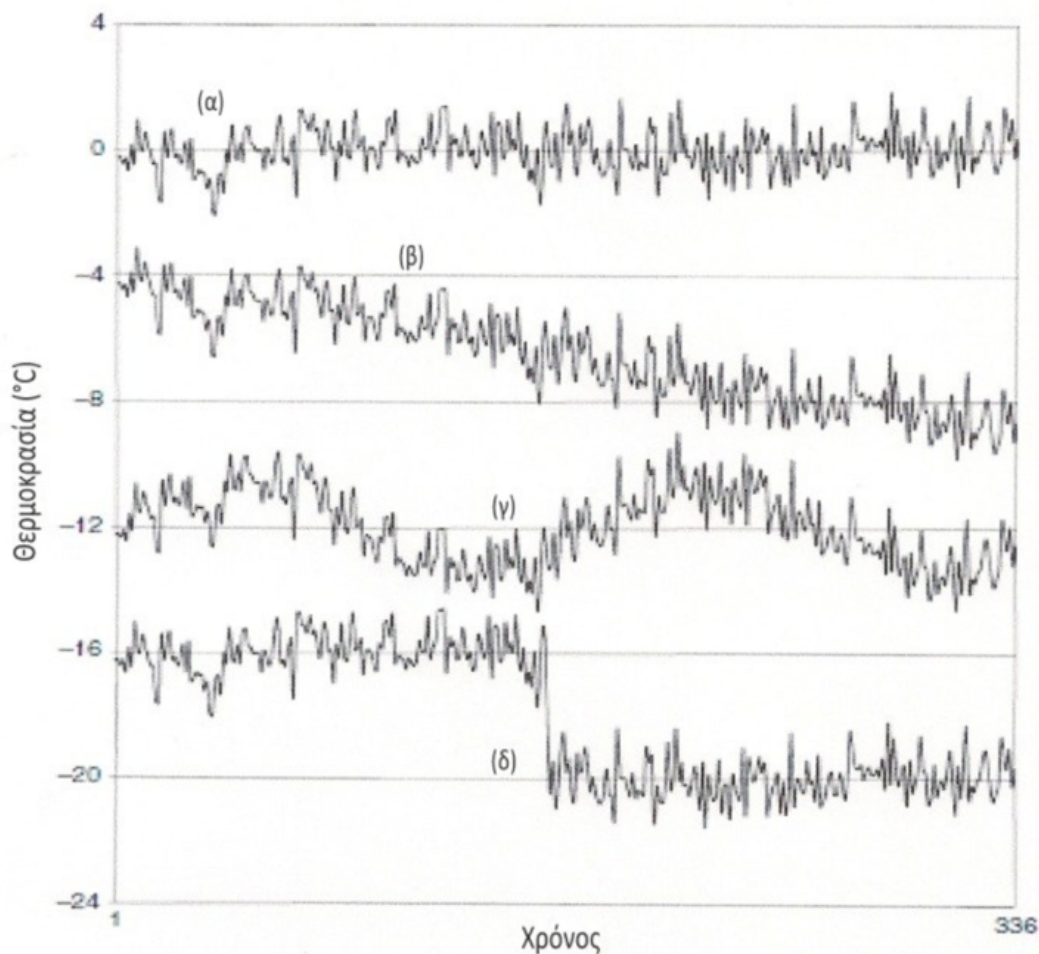
Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες αποτελούν την κύρια αιτία για την παραγωγή επιπλέον αερίων του θερμοκηπίου. Ορισμένες από αυτές είναι (el.green-ecolog):

- Τα ορυκτά καύσιμα όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο κλπ. χρησιμοποιούνται εδώ και πολλές δεκαετίες ως κύρια πηγή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ χρησιμοποιούνται και ως καύσιμα για μεταφορές και άλλες δραστηριότητες που παράγουν ως προϊόν διοξείδιο του άνθρακα και υποξείδιο του αζώτου.
- Τα δέντρα ως γνωστόν απορροφούν το CO₂ από την ατμόσφαιρα και συμβάλλουν έτσι στη ρύθμιση του κλίματος. Ωστόσο, η αυξημένη αποψίλωση των δασών τα τελευταία χρόνια μειώνει τη συνολική συμβολή των δέντρων στη δέσμευση του CO₂ με αποτέλεσμα αυτή να αυξάνεται στο περιβάλλον.
- Τα πρόβατα και το βοοειδή που συνδέονται με την κτηνοτροφία, παράγουν μεγάλες ποσότητες μεθανίου κατά την πέψη της τροφής τους.
- Η διαδικασία της υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων συμβάλλει και αυτή σημαντικά στην παραγωγή μεθανίου.
- Μέσω της γεωργίας και τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων αυξάνονται οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου.
- Αρκετοί εξοπλισμοί και αερολύματα χρησιμοποιούν φθοριούχα αέρια που παράγουν προϊόντα χλωροφθορανθράκων (CFC's) και των διάδοχων ουσιών τους. Οι ουσίες αυτές καταστρέφουν τη στοιβάδα του όζοντος και προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας.

2.4.3 Κλιματική μεταβλητότητα

Με τον όρο κλιματική μεταβλητότητα εννοούμε τη διακύμανση των μέσων τιμών κλιματικών χαρακτηριστικών σε όλες τις χωροχρονικές κλίμακες πέρα από τα συνήθη κλιματολογικά συστήματα. Υπάρχουν δύο παράμετροι που μπορούν να προκαλέσουν κλιματική μεταβλητότητα, η πρώτη αφορά εσωτερικές φυσικές διεργασίες (εσωτερική κλιματική μεταβλητότητα) και η δεύτερη προκαλείται λόγω φυσικών ή ανθρωπογενών εξωτερικών μηχανισμών (εξωτερική φυσική μεταβλητότητα).

Οι όροι κλιματική αλλαγή και κλιματική μεταβλητότητα δεν γίνονται συχνά αντιληπτοί ως διακριτοί, ωστόσο υπάρχει μια σημαντική διαφορά και αυτή οφείλεται στη χρονική κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, φαινόμενα σχετικά μικρής χρονικής διάρκειας συνδέονται με την κλιματική μεταβλητότητα ή διακύμανση, ενώ η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε συνεχή και για μεγάλο χρονικό διάστημα αλλαγή των καιρικών συνθηκών. Στην εικόνα 2.5 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα όπου αναπαρίσται η διαφορά της κλιματικής μεταβλητότητας (α) και (γ) από την κλιματική αλλαγή (β) και (δ) με βάση τη χρονική διακύμανση ενός θεμελιώδους κλιματικού μεγέθους (θερμοκρασία) (Κατσαφάδος Π. και Μαυροματίδης Η., 2015).



Εικόνα 2.5: Διάγραμμα κλιματικής μεταβλητότητας σε σχέση με την κλιματική αλλαγή. (Κατσαφάδος Π. και Μαυροματίδης Η., 2015)

2.4.4 Επίπτωση της κλιματικής αλλαγής στην βροχόπτωση

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει αρνητικά όλες τις περιοχές του κόσμου και κατά συνέπεια τη φύση, τη βιοποικιλότητα και γενικότερα τη ζωή. Ορισμένες περιοχές επηρεάζονται από αυξημένα φαινόμενα ξηρασίας και καύσωνα ενώ άλλες περιοχές από ακραία καιρικά φαινόμενα με έντονες βροχοπτώσεις που προκαλούν πολλές φορές πλημμύρες και άλλες καταστροφές. Πιο συγκεκριμένα, η επιρροή της κλιματικής αλλαγής στη βροχόπτωση προκαλεί τις εξής επιπτώσεις (Επίσημος ιστότοπος Ε.Ε):

- Ξηρασία και δασικές πυρκαγιές: Ξηρασία είναι το φαινόμενο κατά το οποίο παρατηρείται προσωρινό έλλειμμα διαθέσιμου ύδατος το οποίο οφείλεται στον συνδυασμό έλλειψης κατακρήμνισης και εξάτμισης των υδάτων λόγω υψηλής θερμοκρασίας. Ήδη υπάρχουν αυξημένα επίπεδα συχνότητας, έντασης και διάρκειας επεισοδίων ξηρασίας σε αρκετές περιοχές της Ευρώπης με αποτέλεσμα να μειώνεται η στάθμη των ποταμών και υπογείων υδάτων ενώ συμβάλλει στην πρόκληση δασικών πυρκαγιών.
- Πλημμύρες: Σε ορισμένες περιοχές η συχνότητα και η ένταση βροχοπτώσεων αυξάνεται για παρατεταμένες περιόδους. Αυτό, οδηγεί συχνά σε πλημμύρες λόγω υπερχειλίσσης ποταμών ενώ

σε ακόμη πιο ακραία καιρικά φαινόμενα προκαλείται πλημμύρα χωρίς υπερχείλιση κάποιου υδατικού συστήματος.

- Υποβάθμιση ποιότητας γλυκού νερού: Τα συχνά φαινόμενα ξηρασίας σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων είναι αιτίες οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη τοξικών βακτηρίων που υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού. Επίσης, η αύξηση νεροποντών σε ορισμένες περιοχές μπορεί να προκαλέσουν την είσοδο ακάθαρτων λυμάτων στα επιφανειακά ύδατα μέσω των όμβριων λυμάτων.
- Υποβάθμιση του εδάφους: Ακραίες βροχοπτώσεις, υψηλοί όγκοι ροής νερού στους ποταμούς και τα αυξημένα επεισόδια ξηρασίας είναι κλιματικά φαινόμενα τα οποία συμβάλλουν στην υποβάθμιση του εδάφους. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα την επιδείνωση της διάβρωσης, τις κατολισθήσεις, τη μείωση της οργανικής ύλης, την απώλεια βιοποικιλότητας, απερίμωση, αλάτωση κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Μετεωρολογικά συστήματα και δεδομένα

3.1 Μετεωρολογικά συστήματα παρατήρησης

Τα μετεωρολογικά δεδομένα καταγράφονται και συλλέγονται με χρήση επιτόπιων μετρήσεων ή συστημάτων τηλεπισκόπησης για τα οποία υπάρχουν τόσο σε παγκόσμια όσο και σε εθνική κλίμακα κάποιες προκαθορισμένες συνθήκες βέλτιστης λειτουργίας.

Τα μετεωρολογικά όργανα που χρησιμοποιούνται σε εθνική και παγκόσμια κλίμακα προϋποθέτουν ορισμένες απαιτήσεις οι οποίες είναι:

1. Αβεβαιότητα, με βάση την υπό εξέταση μεταβλητή.
2. Αξιοπιστία και σταθερότητα.
3. Ευχέρεια όσον αφορά τη λειτουργία, τη βαθμονόμησης και συντήρηση.
4. Ευκολία σχεδιασμού ανάλογα με τις απαιτήσεις.
5. Ανθεκτικότητα.
6. Βέλτιστο δυνατό κόστος οργάνου και ανταλλακτικών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι προτιμότερο τα όργανα να είναι σε θέση να διατηρούν μια γνωστή αβεβαιότητα και για όσο το δυνατό πιο μεγάλο χρονικό διάστημα λειτουργίας τους αντί να έχουν μια υψηλή αρχική αβεβαιότητα η οποία δεν μπορεί να διατηρηθεί στο μέλλον. Εξίσου σημαντική είναι η απλότητα κατασκευής και ευκολία λειτουργίας καθώς και να υπάρχει η δυνατότητα διόρθωσης τους με κατάλληλη βαθμονόμηση ανά τακτά χρονικά διαστήματα και όποτε αυτό κρίνεται αναγκαίο. Τέλος, τα περισσότερα μετεωρολογικά όργανα που εγκαθίστανται στους σταθμούς βρίσκονται σε συνεχή χρήση για πολλά χρόνια και είναι εκτεθειμένα σε καιρικά φαινόμενα οπότε είναι ιδιαίτερα επιθυμητή η ανθεκτικότητα κατά την κατασκευή τους. Η τήρηση των παραπάνω είναι πολύ σημαντική στη μείωση του κόστους και σφαλμάτων κατά τη λήψη δεδομένων (Jarraud, 2008).

3.1.1 Μετεωρολογικοί σταθμοί

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί πρέπει να τηρούν ορισμένες προϋποθέσεις και να παρέχουν πληροφορίες πέραν των συντεταγμένων και του υψομέτρου του. Τα κριτήρια έχουν θεσπιστεί από τους διεθνείς οργανισμούς (WMO) ώστε να πληρούν τουλάχιστον βασικές προϋποθέσεις και να λειτουργούν σύμφωνα με ορισμένα πρότυπα τα οποία είναι τα εξής:

- Χαρτογράφηση της περιοχής τοποθέτησης του σταθμού μεσοκλίμακας (~ 1:100.000) καθώς και χάρτης τοπικής κλίμακας (~ 1:5000) που ενημερώνεται κάθε χρόνο από την τεχνική επιτροπή του WMO για τα όργανα και μεθόδους παρατήρησης.
- Σύνταξη χάρτη μικροκλίμακας του περιβάλλοντος οργάνου που θα πρέπει να ενημερώνεται σε περίπτωση που μεμονωμένα όργανα μετακινούνται, αντικαθίστανται ή συμβαίνουν άλλες σημαντικές αλλαγές σε αυτά και συνδέονται με μετακίνηση σε χωρική ή χρονική κλίμακα του αισθητήρα του οργάνου.
- Καταγραφή και ανάλυση διάρκειας της ηλιοφάνειας, των οριζόντων ακτινοβολίας που ενημερώνεται κάθε χρόνο και απαιτούν πληροφορίες σχετικά με τον ορίζοντα του πυρανόμετρου.
- Λήψη εικόνων όλων των σημείων της πυξίδας του περιβάλλοντος καθώς και τον θέσεων των οργάνων, ενώ θα πρέπει να ενημερώνονται όταν συμβαίνουν αλλαγές σε αυτά.
- Οι διαστάσεις ενός μετεωρολογικού σταθμού που διαθέτει περιορισμένο αριθμό οργάνων πρέπει να είναι 10X7 m ενώ για σταθμό με περισσότερα όργανα 25X25 m.

- Ο σταθμός πρέπει να τοποθετείται σε περιοχές χωρίς κοιλάματα αλλά παράλληλα να είναι απομακρυσμένος από εμπόδια όπως βράχοι ή πλαγιές, δάση, μεγάλα κτήρια κλπ., που ενδεχομένως να αλλοιώσουν αρνητικά τις μετρήσεις. Επίσης, το έδαφος πρέπει να καλύπτεται με χαμηλό χορτάρι σε ανοιχτή περιφραγή ούτως ώστε να μην επηρεάζονται αρνητικά οι μετρήσεις. (Τζουράς Η., 2020).

3.1.2 Βροχομετρικοί σταθμοί

Η μέτρηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων για να γίνονται με την απαιτούμενη ακρίβεια πέρα από τα απαραίτητα όργανα, πρέπει επίσης να βρίσκονται σε συνθήκες κατάλληλες που να επιτρέπουν τις μετρήσεις με τις λιγότερες δυνατές αποκλίσεις. Επομένως, για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός τα όργανα καταγραφής βροχόπτωσης, γνωστοί ως βροχομετρικοί σταθμοί, βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις. Πρόκειται για ένα κατάλληλα διαμορφωμένο περιβάλλον το οποίο είναι περιφραγμένο και συνήθως περιέχει επιπλέον όργανα που καταγράφουν άλλα μετεωρολογικά μεγέθη.

Ένας βροχομετρικός σταθμός μπορεί να διαθέτει βροχόμετρο ή βροχογράφο ή και τα δύο. Τα συγκεκριμένα όργανα, ιδανικά είναι τοποθετημένα στην επιφάνεια του εδάφους και περιβάλλονται με γρασιδί ή χονδρόκοκκο αδρανές υλικό για να αποφεύγεται η αναπήδηση των σταγόνων. Τέλος, οι βροχομετρικοί σταθμοί τοποθετούνται σε θέσεις που έχουν άμεση σχέση με τον σκοπό που θα χρησιμοποιηθούν ενώ οι βροχομετρικοί σταθμοί με βροχογράφο πρέπει να είναι κοντά σε κάθε υδρομετρικό σταθμό και στο κέντρο βάρους κάθε μεγάλης λεκάνης απορροής για την εκτίμηση του κινδύνου των πλημμυρών (Τσακίρης Γ., 2013).

3.1.3 Μέτρηση Βροχόπτωσης

Το τελικό μέγεθος των σταγόνων προκύπτει μέσω της υγραποίησης υδρατμών με αποτέλεσμα να σχηματίζουν υδροσταγονίδια με διάμετρο μεταξύ 0,5 - 0,6 mm. Η ποσότητα της βροχόπτωσης μετριέται σε χιλιοστά (mm), ενώ στην πραγματικότητα βροχή ύψους 1 mm ισοδυναμεί με ένα λίτρο ανά τετραγωνικό μέτρο. Εάν πρόκειται για καθημερινές μετρήσεις πρέπει να διαβάζονται με ακρίβεια μεταξύ 0,1 mm – 0,2 mm ωστόσο, αυτό εξαρτάται από το είδος του οργάνου.

Η μέθοδος μέτρησης της βροχόπτωσης ανήκει στην επίγεια παρατήρηση και μετριέται από ειδικά όργανα. Πρόκειται για κυλινδρικά δοχεία που διακρίνονται σε αυτογραφικά και μη αυτογραφικά και μετρούν την ποσότητα μιας βροχόπτωσης και γενικότερα των κατακρημνισμάτων μιας περιοχής.

Μη αυτογραφικά:

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα βροχόμετρα τα οποία καταγράφουν την ολική ποσότητα σημειακής βροχόπτωσης και το ισοδύναμο νερού σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα συνήθως 12ώρα και 24ώρα με την ένδειξη καταγραφής του οργάνου να δίνεται από τον υπεύθυνο παρατηρητή. Πρόκειται για συμβατικά δοχεία συλλογής κατακρημνισμάτων που αποτελούνται από μια χοάνη γνωστής διαμέτρου το οποίο τοποθετείται εντελώς οριζόντια και σε ύψος περίπου 150 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Η χοάνη οδηγεί το νερό της βροχόπτωσης σε ένα δοχείο βαθμονομημένο και γνωστής επιφάνειας το οποίο είναι κλειστό για να διασφαλίζεται από τυχόν εξάτμιση. Το βροχόμετρο είναι μόνιμα τοποθετημένο κατακόρυφα σε ένα μετεωρολογικό σταθμό και απομακρυσμένο από υψηλά αντικείμενα.

(Πηγή: <http://4gym-mytil.les.sch.gr/meteo/BROXOPTOSI.htm>)



Εικόνα 3.1: Απλό βροχόμετρο

Αυτογραφικά:

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι βροχογράφοι και λειτουργούν με απλό ωρολογιακό μηχανισμό ο οποίος καταγράφει τη μεταβολή του ύψους βροχής στο χρόνο. Οι βροχογράφοι είναι και αυτοί βροχόμετρα στα οποία έχουν προστεθεί αυτοματοποιημένοι μηχανισμοί καταγραφής του ύψους βροχής. Υπάρχουν κυρίως τρία είδη βροχογράφων και είναι (Μπαλτάς, 2013):

1. Βροχογράφος με ανατρεπόμενους κάδους: Από το χωνί του οργάνου το νερό της βροχής κατευθύνεται σε δύο μικρούς ανατρεπόμενους κάδους, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε κοινό άξονα και κινούνται πάνω – κάτω για τη συλλογή νερού. Οι κάδοι είναι συνδεδεμένοι σε μηχανισμό καταγραφής που αποτυπώνει τις παρατηρήσεις σε χαρτί. Ωστόσο, το συγκεκριμένο όργανο σε περίπτωση ελαφράς βροχής και λόγω του ότι μέχρι να γεμίσει ο κάδος θα χρειαστεί χρόνος, ενδέχεται το νερό που έχει προηγουμένως συλλεχθεί να υποστεί εξάτμιση.
2. Σταθμιστικός βροχογράφος: Σε αυτό το είδος όργανο, το δοχείο είναι τοποθετημένο σε ένα ελατήριο το οποίο συμπιέζεται καθώς το δοχείο δέχεται βροχή (μέγιστη χωρητικότητα 1000 mm). Η συμπίεση που δέχεται το ελατήριο καθώς αυξάνεται η ποσότητα νερού στο δοχείο, μεταφράζεται σε αντίστοιχη καταγραφή βροχοπτώσης σε χαρτί ή σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.
3. Βροχογράφος με πλωτήρα: Το δοχείο του οργάνου συγκεντρώνει το νερό της βροχής και αποτελείται από ένα φλοτέρ το οποίο καταγράφει τη μεταβολή της στάθμης σε ένα χαρτί μέσω ενός μηχανισμού.

Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται συνήθως σιφωνοειδής τύπος (Hellmann-Fuess) το οποίο αποτελείται από το δοχείο συλλογής νερού στο οποίο εμπεριέχεται ένας σωλήνας που καταλήγει σε ένα άλλο κυλινδρικό δοχείο μικρότερης διαμέτρου με πλωτήρα. (Υδροσκόπιο, 1993)



Εικόνα 3.2: Βροχογράφος (Hellmann-Fuess)

3.1.4 Στοιχεία μετεωρολογικών σταθμών

Οι καταγεγραμμένες τιμές μιας βροχόπτωσης παρέχονται συχνά σε ερευνητές για περαιτέρω ανάλυση ωστόσο, οι μετρήσεις αντιπροσωπεύουν μόνο μια περιοχή ανά σταθμό για αυτό είναι σημαντικό ο χρήστης να αναγνωρίζει με σχετική ευκολία τα στοιχεία του σταθμού που τον αφορούν. Για αυτόν τον λόγο, οι βάσεις δεδομένων στις οποίες καταγράφονται οι μετρήσεις περιέχουν ορισμένες πληροφορίες σχετικά με:

1. Όνομα - Ψευδώνυμο: Αναφέρονται συνήθως στην περιοχή όπου συλλέγονται τα δεδομένα. Εάν η περιοχή έχει περισσότερους σταθμούς οι ονομασίες επεκτείνονται για να ξεχωρίζουν μεταξύ τους (Wieringa, 2003).
2. Κωδικός WMO: Πρόκειται για 5 ψηφίο κωδικό ο οποίος καταχωρείται για παγκόσμια αναγνώριση με τα δύο πρώτα ψηφία να υποδεικνύουν την περιοχή και τη χώρα στην οποία βρίσκεται ο σταθμός (Wieringa, 2003).
3. Αριθμός σταθμού ή κωδικός σε άλλα δίκτυα: Πρόκειται για ένα κώδικα τοπικής ή εθνικής κλίμακας ξεχωριστό από αυτό του WMO και συνδέεται πολλές φορές με δίκτυα ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή αγρομετεωρολογίας.
4. Ημερομηνίες έναρξης /λήξης: Καταγράφεται το πότε ένας συγκεκριμένος σταθμός τίθεται σε λειτουργία καθώς και η ημερομηνία λήξης του σε περίπτωση που έχει κλείσει.
5. Επικοινωνία σταθμού: Σε περίπτωση ανοικτού τύπου σταθμού, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με το υπεύθυνο προσωπικό (όνομα, διεύθυνση, τηλέφωνο, φαξ και ηλεκτρονικό ταχυδρομείο) ούτως ώστε να είναι δυνατή η επικοινωνία με σκοπό την άντληση επιπλέον πληροφοριών σχετικά με τον σταθμό ή για αρχειοθέτηση δεδομένων σε περίπτωση μη λειτουργικών τοποθεσιών.

3.1.5 Γεωγραφικά δεδομένα

Εκτός από τα στοιχεία που αφορούν τους μετεωρολογικούς σταθμούς εξίσου σημαντικό είναι να παρέχονται και δεδομένα για το κλίμα που σχετίζονται με γεωγραφικές τοποθετήσεις και παρέχουν πληροφορίες σχετικά με (Wieringa, 2003):

1. Γεωγραφικό πλάτος και μήκος: Πρέπει να αναφέρεται με επαρκή ακρίβεια κατά προτίμηση (0,001 μοιρών) το γεωγραφικό πλάτος και μήκος η τοποθεσία του σταθμού στην οποία βρίσκεται. Παράλληλα, ο φορέας εκμετάλλευσης διακρίνει το ημισφαίριο και αναφέρονται τα γεωγραφικά πλάτη. Συνήθως η διάκριση αυτή πραγματοποιείται με χρήση των ανάλογων γραμμάτων (προθέματα) τα οποία είναι για το Βορρά (N), το Νότο (S), το Ανατολικό (E) και το Δυτικό (W). Ωστόσο, ένας άλλος τρόπος αφορά τη χρήση σημείων μέσω της αναπαράστασης τους με το κατάλληλο λογισμικό το οποίο αποτυπώνει αριθμητικά τις συντεταγμένες.
2. Υψόμετρο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας: Αναφέρεται το ύψος στο οποίο βρίσκεται ο σταθμός σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας σε μέτρα. Σε περίπτωση πίεσης, λόγω του ότι το βαρόμετρο δεν τοποθετείται στο περιβλήμα αναφέρεται ξεχωριστά το επίπεδο πίεσης.
3. Μετακινήσεις: Στα μεταδεδομένα ενός σταθμού, εάν κάποιο από τα όργανα από τα οποία συντελείται ή ολόκληρος ο σταθμός μετακινηθεί καταγράφεται η νέα τοποθεσία και η ημερομηνία στην οποία πραγματοποιήθηκε η μετακίνηση.

3.2 Χρήση μεταδεδομένων Βροχόπτωσης

Εφόσον τα δεδομένα βροχόπτωσης έχουν ήδη συλλεχθεί προκείμενου να είναι έγκυρα και χρήσιμα για μελλοντική επεξεργασία με χρήση διάφορων μεθόδων που εφαρμόζονται στον κλάδο της υδρολογίας πρέπει πρώτα να τεκμηριωθεί το πώς και που έγιναν οι μετρήσεις, αυτό γίνεται με τη χρήση πληροφοριών του σταθμού που ονομάζονται «μεταδεδομένα».

Οι πληροφορίες αυτές αντικατοπτρίζουν τον τρόπο, το πού και πότε συλλέχθηκαν τα δεδομένα της βροχόπτωσης ενώ παράλληλα παρέχουν και όλες τις αλλαγές που μπορεί να έχει υποστεί ο σταθμός καθώς και παρατηρήσεις όπως ο τύπος του οργάνου, η έκθεση και η διάρκεια ζωής του. Αυτό είναι πολύ σημαντικό να αναφέρεται καθώς όταν αλλάζουν τα όργανα οι παρατηρήσεις είναι πιθανό να δείξουν αλλαγές στις μετρήσεις.

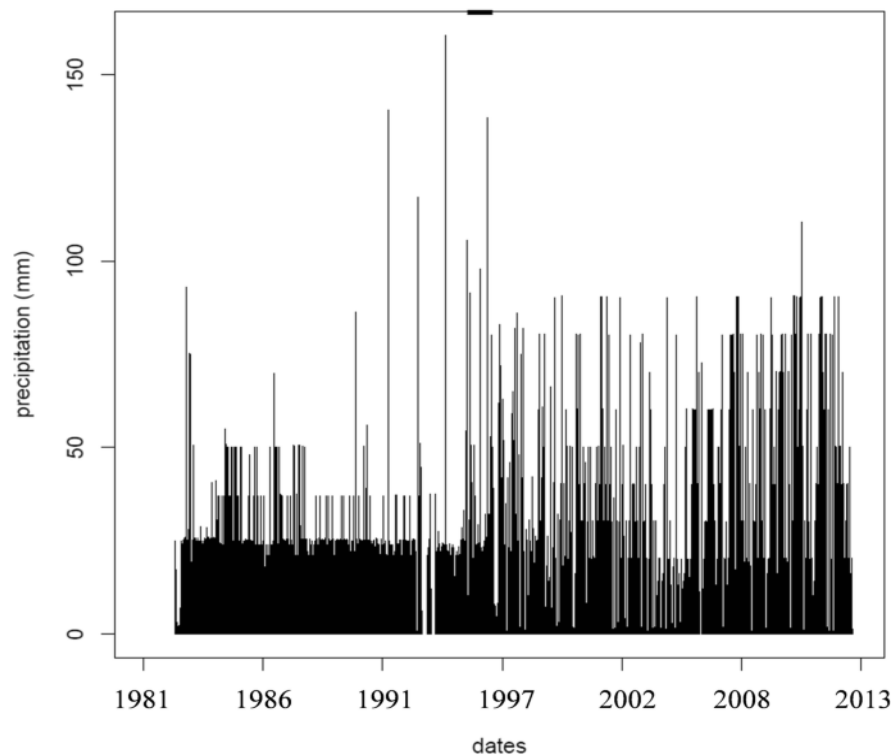
Με όλα τα παραπάνω, είναι σαφές ότι όσο πιο καλή είναι η ποιότητα των μεταδεδομένων ενός σταθμού τόσο χαμηλότερο είναι και το ποσοστό αβεβαιότητας σχετικά με τις συνθήκες από τις οποίες προέκυψαν οι τιμές της υπό εξέταση μεταβλητής ανά περίπτωση. Για να συμβεί αυτό χρειάζονται υψηλής ποιότητας και ομοιογενή μακροπρόθεσμα σύνολα δεδομένων που να σχετίζονται με το κλίμα και να παρέχουν αυξημένη εμπιστοσύνη στις τεχνικές παρατήρησης που εφαρμόστηκαν για να ληφθούν τα δεδομένα. Επομένως, η όποια μεταβολή των κλιματολογικών χρονοσειρών να οφείλονται στην πραγματική μεταβλητότητα και αλλαγή του κλίματος και όχι τόσο σε σφάλματα. Για να υπάρχουν καλά μεταδεδομένα χρειάζεται να ληφθούν υπόψη όλες οι ανάγκες του σταθμού και αυτό γίνεται από κοινού τόσο από τους κατόχους όσο και τους διαχειριστές των σταθμών (Wieringa, 2003).

3.2.1 Χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων

Μια χρονοσειρά αποτελείται από μια σειρά παρατηρήσεων οι οποίες προέκυψαν σε ορισμένα χρονικά διαστήματα. Στην υδρολογία αφορούν τα φυσικά μεγέθη όπως η βροχόπτωση όπου πρόκειται για ένα μετεωρολογικό μέγεθος μεταβαλλόμενο κατά τη διάρκεια του χρόνου. Η καταγραφή προέρχεται από συνεχείς καταγραφές (συνεχείς χρονοσειρές) σε περιπτώσεις καταγραφής θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας ή να γίνεται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές (ασυνεχής χρονοσειρά) για την καταγραφή μεμονωμένων γεγονότων όπως αστραπή, τυφώνας κλπ. (Τσακίρης Γ., 2013).

Για να καταστεί δυνατή η επεξεργασία μιας χρονοσειράς πρέπει να είναι «στατιστικά αποδεκτή» και αυτό γίνεται όταν η χρονοσειρά είναι διακριτή, δηλαδή προκύπτει από τιμές σε ίσα ή τυχαία χρονικά διαστήματα. Τέτοιου τύπου χρονοσειρές βρίσκουν εφαρμογή σε καταγραφή ημερήσιου ύψους βροχής και προκύπτουν μετά από αθροιστικές μετρήσεις σε ίσα χρονικά διαστήματα και σταθερού βήματος. Στην περίπτωση που ο χρόνος δειγματοληψίας δεν είναι σταθερός χρειάζεται ειδικότερη επεξεργασία για την ανάλυση της χρονοσειράς με χρήση παρεμβολής και συμπλήρωσης τιμών.

Πολύ σημαντικό κατά την ανάλυση και επεξεργασία μετεωρολογικών μεταβλητών είναι να αποτελούνται από ένα ικανοποιητικό μέγεθος δεδομένων. Για παράδειγμα, για την πρόβλεψη μελλοντικών κλιματικών αλλαγών ένα χρονικό διάστημα με δεδομένα διάρκειας 30 ετών και άνω θεωρούνται επαρκές για την αξιοποίηση τους ούτως ώστε να επιτυγχάνεται παράλληλα στατιστική σημασία της ανάλυσης. Η μελέτη των χρονοσειρών αφορά συνήθως τη διενέργεια μελλοντικών προβλέψεων του μεγέθους που παρουσιάζουν ή για σκοπούς μελέτης παρελθουσών τιμών που αποσκοπούν στην εξαγωγή συγκεκριμένων συμπερασμάτων.



Εικόνα 3.3: Παράδειγμα χρονοσειράς βροχόπτωσης

3.2.2 Ανάλυση Χρονοσειρών

1. Γραφική αποτύπωση χρονοσειράς

Οι υπό εξέταση χρονοσειρές σχεδιάζονται γραφικά με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα για μια πρόχειρη ανίχνευση σφαλμάτων καθώς εντοπίζονται ακραίες τιμές που μπορεί να οφείλονται σε κάποιο σφάλμα ενώ μπορεί επίσης να φανερωθούν μεμονωμένες ή και ολόκληρες περιόδους όπου δεν υπάρχουν συμπληρωμένες τιμές. Για χρονοσειρές που ανήκουν στην ίδια υδρολογική λεκάνη και προέρχονται από σταθμούς σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους μπορούν να συγκριθούν σε παράλληλη διάταξη γραφικά, με σκοπό να γίνει ένας πρόχειρος εντοπισμός της περιοδικότητας και της τάσης των χρονοσειρών.

2. Στατιστικοί παράμετροι χρονοσειρών

Αφορούν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση χρονοσειρών και αφορούν:

- **Μέση τιμή \bar{x}** είναι το άθροισμα των μετρήσεων της χρονοσειράς διαιρεμένο με το πλήθος αυτών.
- **Το τυπικό σφάλμα** μέσης τιμής είναι ένα μέτρο αβεβαιότητας τις μέσης τιμής.
- **Διακύμανση σ^2** είναι ένα μέτρο απόστασης των μετρήσεων από τη μέση τιμή.
- **Μέση απόκλιση τετραγώνου (τυπική απόκλιση) σ** είναι η θετική τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης. Μεγάλη τιμή της τυπικής απόκλισης είναι ένδειξη μεγάλης μεταβλητότητας των τιμών και συνεπώς δηλώνουν μεγάλη απόσταση των μετρήσεων από το μέσο.
- **Διάμεσος** είναι η κεντρική τιμή όταν διατάξουμε τις μετρήσεις σε αύξουσα διάταξη.
- **Επικρατούσα τιμή** είναι η τιμή που έχει μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης.
- **Εύρος** είναι η διαφορά μεταξύ μεγαλύτερης και μικρότερης τιμής.

- Η **κύρτωση β** δίνει πληροφορίες για το πόσο λεπτή ή πλατιά είναι η κατανομή των τιμών. Οι κατηγορίες που αναγνωρίζονται είναι η λεπτόκυρτη (Κύρτωση >3), πλατύκυρτη (Κύρτωση <3) και η μεσόκυρτη (Κύρτωση $=3$).
- Η **ασυμμετρία S** δείχνει πόσο αποκλίνει το διάγραμμα κατανομής των τιμών από το διάγραμμα της κανονικής κατανομής. Μια κατανομή μπορεί να είναι συμμετρική ($S=0$), θετική (κατανομή με ουρά τις τα δεξιά και δείκτης $S<0$) ή αρνητική (κατανομή με ουρά τις τα αριστερά και $S>0$).

3. Ανίχνευση τάσης

Μια χρονοσειρά μπορεί να παρουσιάζει ανοδική ή πτωτική τάση ανάλογα με τη διακύμανση των τιμών τις. Πιο συγκεκριμένα χαρακτηρίζεται ως παροδική εάν η διακύμανση οφείλεται σε αλλαγές μικρού διαστήματος και μόνιμη εάν υπάρχουν μακρόχρονες αλλαγές. Αυτό συνεπάγεται με το ότι έχουμε μια παρατήρηση μεγαλύτερη ή μικρότερη του μέσου όρου.

4. Περιοδικότητα

Οι χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων είναι κατά βάση εποχιακές και αφορούν περιόδους του έτους όπου παρουσιάζουν συνήθως το ίδιο μοτίβο (ανά μήνα, τρίμηνο, τετράμηνο).

3.3 Ανάγκη για συμπλήρωση χρονοσειρών

Μια χρονοσειρά χαρακτηρίζεται ως ανομοιογενείς όταν παρουσιάζουν πιθανές ατέλειες στις μετρήσεις καθώς και όταν ένα τμήμα της έχει δεδομένα τα οποία δε θεωρούνται αντιπροσωπευτικά σε σχέση με τις κλιματικές μεταβολές μιας περιοχής ως συνάρτηση του χρόνου. Αυτό μπορεί να οφείλεται από μια σειρά παραγόντων όπως η τοποθεσία του σταθμού, η αξιοπιστία των οργάνων μέτρησης καθώς και ο μετρητής στην περιοχή ενδιαφέροντος. Όλα αυτά είναι πολύ σημαντικά στο να καθορίζουν κατά πόσο είναι αντιπροσωπευτικές οι μετρήσεις που απαρτίζουν μια χρονοσειρά. Για παράδειγμα, μπορεί να μην τηρούνται οι απαιτήσεις ενός μετεωρολογικού σταθμού (υποκεφάλαιο 3.1.2), ενώ αρκετές φορές λόγω του ότι πρόκειται για μη αυτοματοποιημένα συστήματα μπορεί να υπάρξει ασυνέπεια ως προς τις ώρες που πρέπει να γίνονται οι μετρήσεις με αποτέλεσμα να υπάρξουν χρονικά κενά ή ακόμη η ανάγνωση των αποτελεσμάτων να μην είναι σωστή.

Επομένως, οι χρονοσειρές περιέχουν συχνά ελλείπουσες τιμές. Συνεπώς, χρειάζεται τεχνική διόρθωση και βελτίωση των δεδομένων καθώς και συμπλήρωση των κενών τιμών για να είναι στατιστικά βάσιμη η ανάλυση και μελέτη μιας μεταβλητής. Γίνεται δηλαδή η προσθήκη τιμών μεμονωμένης ή μακρόχρονης χρονικής διάρκειας ανάλογα με τα κενά διαστήματα ή αντικατάσταση τιμών που θεωρούνται πως είναι αμφίβολες και δεν αντιπροσωπεύουν πραγματικά δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα σε μια χρονοσειρά υπάρχει η ανάγκη για συμπλήρωση τιμών στις εξής περιπτώσεις:

- Μια τιμή, είναι κενή λόγω αδυναμίας καταγραφής της από τον παρατηρητή είτε από σφάλμα οργάνου μέτρησης.
- Πολλαπλό πλήθος τιμών, χωρίς καταγεγραμμένες τιμές συνήθως προερχόμενες από σφάλμα αυτοματοποιημένου οργάνου.
- Τιμές σε εκτενής περιόδους, σε θερινές περιόδους το υπεύθυνο προσωπικό μπορεί να απουσιάζει λόγω άδειας ή σε χρονοβόρα διαδικασία αντικατάστασης εσφαλμένων οργάνων.
- Ελλείψεις ετών, μπορεί να οφείλονται σε ένα από τους προηγούμενους παράγοντες ή σε απώλειες καταγεγραμμένων αρχείων.

3.3.1 Έλεγχος ομογένειας

Τα δεδομένα για το κλίμα εδώ και δεκαετίες παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον και τα στοιχεία που συλλέγονται αποτελούν τη βάση των ερευνητών στο να βελτιώσουν τις κλιματολογικές συνθήκες και να προλάβουν καιρικές καταστροφές στο μέλλον. Ωστόσο, για να πραγματοποιηθεί η οποία ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων μιας περιοχής πρέπει αρχικά να ακολουθηθεί μια διαδικασία που ονομάζεται «έλεγχος ομογένειας». Πρόκειται για μια διαδικασία η οποία αφορά την ποιότητα και πληρότητα των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί και εξετάζεται εάν οι τιμές που σχημάτισαν μια χρονοσειρά προέκυψαν με τις ίδιες συνθήκες μετρήσεως και αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές καιρικές συνθήκες της περιοχής ενδιαφέροντος.

Είναι πολύ συχνό σε μακρόχρονες κλιματολογικές χρονοσειρές να παρουσιάζονται ανομοιογένειες που οφείλονται σε ένα αριθμό εξωγενών παραγόντων και μπορεί να αφορούν τα όργανα παρατήρησης, τις θέσεις των σταθμών, τις πρακτικές παρατήρησης κ.α. Αυτές οι αλλαγές προκαλούν ανομοιογένειες που μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα και σε παρερμηνείες του εξεταζόμενου κλίματος. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό να εντοπιστούν αυτές οι ανομοιογένειες για να περιοριστούν και να εντοπιστεί η πηγή του σφάλματος και να γίνει εφαρμογή κατάλληλων διορθώσεων ώστε να καταστεί αυτή η χρονοσειρά ομογενής (Mamara, 2015).

Οι ανομοιογένειες εμφανίζονται σε μια χρονοσειρά είτε μέσω μιας απότομης μεταβολής που ονομάζεται σημείο ρήξης και η οποία μοιάζει ως ασυνέχεια είτε μέσω μιας βαθμιαίας τάσης σε ένα χρονικό υποδιάστημα αυτής. Ένας τρόπος για να εντοπιστούν πιθανές ασυνέπειες μιας χρονοσειράς είναι με τη χρήση γραφικών μεθόδων ανίχνευσης σφαλμάτων. Μια από αυτές τις μεθόδους ονομάζεται «μέθοδος διπλής αθροιστικής καμπύλης» όπου αθροίζονται τα εποχιακά ή ετήσια ύψη βροχής του σταθμού ενδιαφέροντος και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές μιας αντιπροσωπευτικής ομάδας γειτονικών σταθμών. Δηλαδή πρόκειται για μια εύχρηστη ημιεμπειρική μέθοδο με γραφική απεικόνιση των διαδοχικών υψών βροχής των εξεταζόμενων σταθμών σε διάγραμμα με άξονες κοινής αρίθμησης με σκοπό να γίνει έμμεσα μια σύγκριση των δεδομένων των σταθμών.

Σε περίπτωση που η προς εξέταση χρονοσειρά του ελεγχόμενου σταθμού αποτελείται από ένα συνεπές σύνολο δεδομένων, τότε η σειρά των σημείων της καμπύλης θα σχηματίζουν μια ευθυγραμμία χωρίς κάποια αλλαγή στην κλίση ενώ σε περίπτωση που υπάρχουν αποκλίσεις από την ευθυγραμμία τότε αυτό ερμηνεύεται ως ασυνέπεια των μετρήσεων. (Τσακίρης Γ., 2013).

3.4 Δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης

Για της ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας τα δεδομένα που αποτέλεσαν τη βάση για την εφαρμογή της μεθόδου συμπλήρωσης μέσω της επεξεργασίας των χρονοσειρών τους, προέρχονται από την Εθνική τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής πληροφορίας, με την ονομασία «Υδροσκόπιο» (www.hydroscope.gr). Υπεύθυνοι φορείς είναι το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής καθώς και η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για έναν διαδικτυακό ιστοχώρο ο οποίος δίνει πρόσβαση σε υδρολογικά, μετεωρολογικά και γεωγραφικά δεδομένα της Ελλάδας ενώ παράλληλα παρέχει εφαρμογές λογισμικού για την αναζήτηση και επεξεργασία των δεδομένων. Η «Ενυδρίς» είναι ένα λογισμικό server που περιλαμβάνει τη βάση δεδομένων και σύστημα πρόσβασης σε αυτά. Σε αυτήν, αποθηκεύονται οι σταθμοί με τις χρονοσειρές, τα όργανα και άλλες πληροφορίες ενώ παράλληλα λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε πολλοί συνεργαζόμενοι φορείς μέσω του δικού τους server να μοιράζονται από κοινού ένα portal που αποτελεί μια ενιαία εθνική βάση δεδομένων.

3.4.1 Πλεγματικά δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης

Τα πλεγματικά δεδομένα ERA5-Land, CERRA, E-OBS και CHELSA αποτελούν πλέον τα σύγχρονα μοντέλα υψηλής χωρικής διακριτοποίησης και είναι σε θέση να παρέχουν λεπτομερή πληροφορία στο πεδίο της βροχόπτωσης με ρεαλιστική χωροχρονική απεικόνιση. Παρακάτω περιγράφεται το κάθε ένα από τα μοντέλα:

ERA5-Land:

Το ERA5-Land αποτελείται από ένα σύνολο δεδομένων επανανάλυσης το οποίο παρέχει μια ολοκληρωμένη προσομοίωση μεταβλητών της χερσαίας επιφάνειας για αρκετές δεκαετίες σε πιο υψηλή ανάλυση σε σχέση με το ERA-5. Συνδυάζει δεδομένα μοντέλων με παρατηρήσεις από όλο τον κόσμο σε ένα ολοκληρωμένο και συνεπές σύνολο με βάση τους νόμους της φυσικής παρέχοντας μια ακριβή περιγραφή του κλίματος στο παρελθόν. Χρησιμοποιεί ως είσοδο ατμοσφαιρικές μεταβλητές πεδίων του ERA5 όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα κάτι που ονομάζεται «ατμοσφαιρικός εξαναγκασμός». Χωρίς αυτό τον εξαναγκασμό του μοντέλου, τα αποτελέσματά του μπορούν να αποκλίνουν σημαντικά από την πραγματικότητα. Όπως και όλα τα μοντέλα το σύνολο δεδομένων ERA5-Land παρέχει εκτιμήσεις που έχουν κάποιο βαθμό αβεβαιότητας. Γενικά, η αβεβαιότητα αυτή μεγαλώνει όσο πηγαίνουμε πίσω στον χρόνο επειδή ο διαθέσιμος αριθμός των παρατηρήσεων για τη δημιουργία καλής ατμοσφαιρικής επιβολής μειώνεται.

CERRA:

Το σύνολο δεδομένων Copernicus European Regional Reanalysis (CERRA) παρέχει χρονικά και χωρικά συνεπείς ιστορικές ανασυνθέσεις μεταβλητών επιφάνειας και εδάφους σε υψηλή ανάλυση. Η ανάγκη για μεταβλητές βροχόπτωσης και μεταβλητές επιφάνειας σε διαρκώς αυξανόμενη χωρική και χρονική ανάλυση είναι μια αυξανόμενη απαίτηση και επιτρέπουν μεταξύ άλλων την αντιμετώπιση ζητημάτων διαχείρισης των υδάτινων πόρων και την διεξαγωγή μελετών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Οι περιφερειακές αναλύσεις είναι μια τεχνική ανασύνθεσης των μεταβλητών προηγούμενων ετών, χρησιμοποιώντας μοντέλα τελευταίας τεχνολογίας συνδυάζοντας ένα συνεπές σύνολο δεδομένων με τους νόμους της φυσικής.

Η αρχή στην οποία βασίζεται το μοντέλο, ονομάζεται ενσωμάτωση δεδομένων (data assimilation) και χρησιμοποιείται από τα αριθμητικά κέντρα πρόβλεψης καιρού. Πιο συγκεκριμένα, μια προηγούμενη πρόγνωση συνδυάζεται με πρόσφατα διαθέσιμες παρατηρήσεις με βέλτιστο τρόπο ούτως ώστε να παραχθεί μια νέα καλύτερη και βελτιωμένη εκτίμηση της κατάστασης της ατμόσφαιρας. Αυτή η διαδικασία δεν έχει τον περιορισμό της έκδοσης έγκαιρων προβλέψεων, επομένως υπάρχει περισσότερος χρόνος για τη συλλογή των παρατηρήσεων και όσο πηγαίνουμε πιο πίσω στον χρόνο για τη λήψη βελτιωμένων επανεπεξεργασμένων εκδόσεων των αρχικών παρατηρήσεων τόσο αυξάνεται και η ποιότητα της επανάλυσης.

E-OBS:

Το E-OBS πρόκειται για ένα πλεγματικό τύπο ημερήσιων δεδομένων παρατήρησης για την χερσαία επιφάνεια που καλύπτει όλη την Ευρώπη. Συνδυάζει χρονοσειρές από το δίκτυο σταθμών του European Climate Assessment and Dataset (ECA&D) αποτελώντας τη βάση του μοντέλου με τα δεδομένα να προέρχονται απευθείας από τις Ευρωπαϊκές Εθνικές Υδρομετεωρολογικές Υπηρεσίες ή άλλους φορείς παροχής δεδομένων (NMHS). Στις πλείστες χώρες, ο αριθμός των σταθμών που χρησιμοποιούνται είναι το εθνικό δίκτυο με την πυκνότητα των σταθμών να αυξάνεται σταδιακά μέσω της συνεργασίας του (NMHS).

Το πλέγμα δεδομένων αναπτύχθηκε το 2008, για να παρέχει επικύρωση στην προσομοίωση κλιματικών μοντέλων σε όλη την Ευρώπη. Παράλληλα, χρησιμοποιείται γενικότερα για την παρακολούθηση του κλίματος στην Ευρώπη, ιδιαίτερα όσον αφορά την εκτίμηση του μεγέθους και της συχνότητας των ημερήσιων ακραίων περιστάσεων. Βασικό χαρακτηριστικό του μοντέλου που το κάνει να ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα είναι η σχετικά μεγάλη οριζόντια χωρική απόσταση του πλέγματος, η ημερήσια ανάλυση του συνόλου δεδομένων, η παροχή πολλαπλών μεταβλητών και το μεγάλο σύνολο δεδομένων. Τέλος, το σύνολο δεδομένων είναι καθημερινό που σημαίνει ότι έχει χρονικό βήμα ανά 24 ώρες.

CHELSA:

Πρόκειται για ένα σύνολο κλιματολογικών δεδομένων σε υψηλή ανάλυση για την επιφάνεια της γης με τα δεδομένα να προορίζονται για εφαρμογές στην οικολογία, τη γεωργία και τη μετεωρολογία. Παρόλο που κυρίως σκοπός του μοντέλου προέρχεται από μια εκ νέου ανάλυση, το σύνολο δεδομένων CHELSA μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της κλίμακας προσομοιώσεων κλιματικών μοντέλων του παρελθόντος και του μελλοντικού κλίματος.

Το μοντέλο CERRA περιέχει κλιματολογίες υψηλής χωρικής ανάλυσης σε ελάχιστες, μέσες και μέγιστες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, που αντιπροσωπεύουν την περίοδο 1979-2013. Το CHELSA είναι ουσιαστικά μια στατιστική υποκλιμάκωση της επανάλυσης ERA-interim με βάση τους μέσους ρυθμούς λήξης και την ανύψωση της θερμοκρασίας ενώ όσον αφορά τη βροχόπτωση χρησιμοποιεί γεωγραφικούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων των πεδίων ανέμου, της έκθεσης και του ύψους του οριακού στρώματος.

Χαρακτηριστικά	ERA5-Land	CERRA	E-OBS	CHELSA
Οριζόντια κάλυψη	Παγκόσμια	Ευρώπη	Ευρώπη	Παγκόσμια
Χωρική ανάλυση	0.1° X 0.1°	5.5 km x 5.5 km	0.1° X 0.1° 0.5° X 0.5°	1 km x 1 km
Χρονική κάλυψη	1950-σήμερα	1984-2021	1950-σήμερα	1979-2013

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά πλεγμάτων μοντέλων

3.5 Κλιματικοί δείκτες

Τα αρχεία κλιματικών δεδομένων που προέρχονται από επίγειες παρατηρήσεις ή μέσω τηλεμετρίας χρησιμοποιούνται συχνά από επιστήμονες ούτως ώστε να παρακολουθήσουν παρελθούσες και μελλοντικές αλλαγές και να βγάλουν κάποια συμπεράσματα. Στην προσπάθεια τους αυτή ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) ανέπτυξε ένα πλαίσιο δεικτών κλιματικής αλλαγής με σκοπό την παρακολούθηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής όπως η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, το λιώσιμο των πάγων στους πόλους, παγετώνες των βουνών καθώς και η συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων όπως τυφώνες, καύσωνες, πυρκαγιές, ξηρασίες, πλημμύρες, έντονες βροχοπτώσεις κ.α.

Στην πάροδο πολλών ετών έχουν αναπτυχθεί 40 κλιματικοί δείκτες από τους οποίους σύμφωνα με το πρότυπο του ETCCDI (Expert Team on Climate Detection and Indices) οι 27 είναι σημαντικότεροι, από τους οποίους οι 16 περιγράφουν μεταβολές στη θερμοκρασία και οι άλλοι 11 στη βροχόπτωση. Ένας δείκτης παρουσιάζει την εξέλιξη ενός μεγέθους διαχρονικά και εκφράζει τη μεταβολή του από μια χρονική στιγμή σε μια άλλη. Δηλαδή, πρόκειται για μια υπολογίσιμη τιμή που περιγράφει μια κατάσταση αλλά και τις αλλαγές σε μια κλιματική μεταβλητή και όχι τις παραμέτρους του καιρού. Ο υπολογισμός των δεικτών γίνεται από δεδομένα ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας και ημερήσιας συνολικής βροχόπτωσης ωστόσο, για να έχουν στατιστική βάση απαιτείται ένας εκτενής όγκος καταγεγραμμένων δεδομένων που πρέπει να περιλαμβάνει τιμές τουλάχιστον 30 ετών. (Περαματζή Β., 2017)

3.5.1 Κλιματικοί δείκτες βροχόπτωσης

Όπως έχει προαναφερθεί από τους 27 δείκτες οι οποίοι είναι οι σημαντικότεροι οι 16 περιγράφουν μεταβολές στην θερμοκρασία και οι άλλοι 11 στην βροχόπτωση. Οι δείκτες που αφορούν την βροχόπτωση αναφέρονται στην ιστοσελίδα του ETCCDI (Expert Team on Climate Detection and Indices) και είναι οι εξής:

1. *Rx1day, Monthly maximum 1-day precipitation (Μηνιαία μέγιστη βροχόπτωση 1 ημέρας)*: Έστω RR_{ij} είναι η ημερήσια ποσότητα βροχόπτωσης την ημέρα i στην περίοδο j . Η μέγιστη τιμή 1 ημέρας για την περίοδο j είναι:

$$Rx1dayj = \max (RR_{ij}) \quad (3.1)$$

2. *Rx5day, Monthly maximum consecutive 5-day precipitation (Μηνιαία μέγιστη αθροιστική βροχόπτωση 5 ημερών)*: Έστω RR_{kj} είναι η ποσότητα βροχόπτωσης για το διάστημα 5 ημερών που λήγει k , περίοδο j . Έτσι, οι μέγιστες τιμές 5 ημερών για την περίοδο j είναι:

$$Rx5dayj = \max (RR_{kj}) \quad (3.2)$$

3. *SDII Simple precipitation intensity index (Απλός δείκτης έντασης αναφοράς)*: Έστω RR_{wj} η ημερήσια ποσότητα βροχόπτωσης σε υγρές ημέρες, w ($RR \geq 1\text{mm}$) στην περίοδο j . Εάν το W αντιπροσωπεύει τον αριθμό των υγρών ημερών σε j , τότε:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (3.3)$$

4. R10mm Annual count of days when PRCP $\geq 10mm$ (Ετήσιος αριθμός με βροχόπτωση $\geq 10mm$): Έστω RR_{ij} είναι η ημερήσια ποσότητα βροχόπτωσης την ημέρα i κατά την περίοδο j . Μετριέται ο αριθμός των ημερών όπου: $RR_{ij} \geq 10 mm$ (3.4)
5. R20mm Annual count of days when PRCP $\geq 20mm$ (Ετήσιος αριθμός με βροχόπτωση $\geq 20mm$): Έστω RR_{ij} είναι η ημερήσια ποσότητα βροχόπτωσης την ημέρα i κατά την περίοδο j . Μετριέται ο αριθμός των ημερών όπου: $RR_{ij} \geq 20 mm$ (3.5)
6. CDD. Maximum length of dry spell, maximum number of consecutive days with $RR < 1mm$ (Μέγιστη διάρκεια ξηρής περιόδου, μέγιστος αριθμός διαδοχικών ημερών με $RR < 1mm$): Έστω RR_{ij} είναι η ημερήσια ποσότητα βροχόπτωσης την ημέρα i κατά την περίοδο j . Μετριέται ο μεγαλύτερος αριθμός διαδοχικών ημερών όπου: $RR_{ij} < 1 mm$ (3.6)
7. CWD. Maximum length of wet spell, maximum number of consecutive days with $RR \geq 1mm$ (Μέγιστη διάρκεια υγρής περιόδου, μέγιστος αριθμός διαδοχικών ημερών με $RR \geq 1mm$): Έστω RR_{ij} η ημερήσια ποσότητα βροχόπτωσης την ημέρα i κατά την περίοδο j . Μετριέται ο μεγαλύτερος αριθμός διαδοχικών ημερών όπου: $RR_{ij} \geq 1 mm$ (3.7)
8. R95pTOT. Annual total PRCP when $RR > 95p$ (Ετήσια συνολική βροχόπτωση για $RR > 95p$): Έστω RR_{wj} η ημερήσια ποσότητα βροχόπτωσης σε μια υγρή ημέρα w ($RR \geq 1,0mm$) στην περίοδο i και το $RR_{wn}95$ να είναι το 95ο εκατοστημόριο της κατακρήμνισης σε υγρές ημέρες κατά την περίοδο 1961-1990. Αν το W αντιπροσωπεύει τον αριθμό των υγρών ημερών στην περίοδο, τότε:

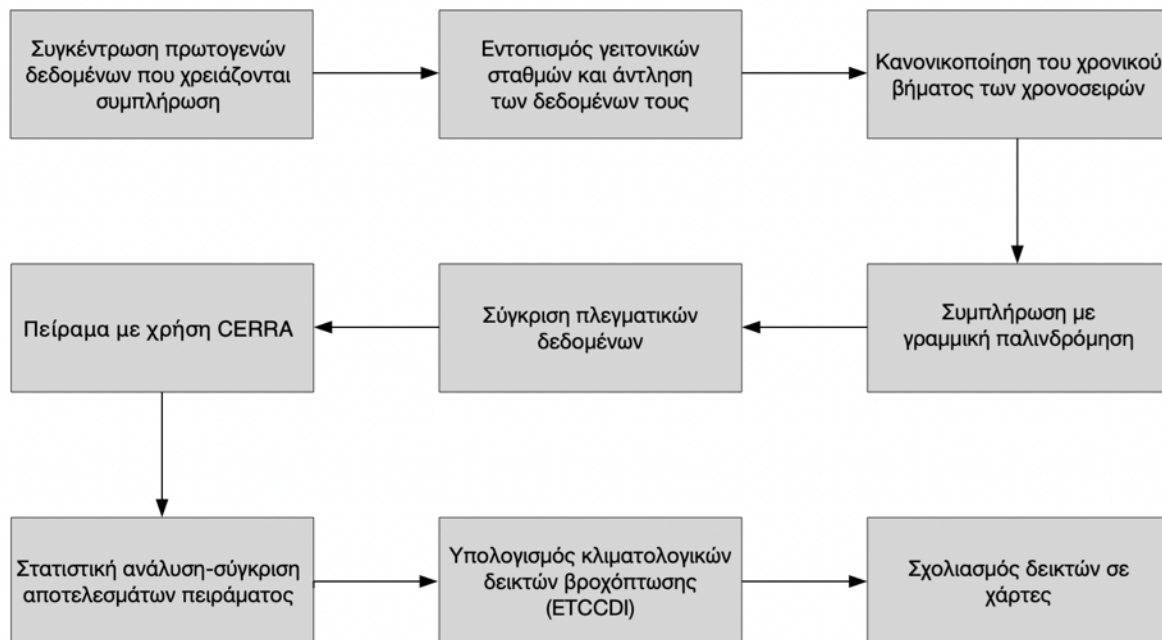
$$R95_p = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn}95 \quad (3.8)$$
9. R99pTOT. Annual total PRCP when $RR > 99p$ (Ετήσια συνολική βροχόπτωση για $RR > 99p$): Έστω RR_{wj} η ημερήσια ποσότητα βροχόπτωσης σε υγρή ημέρα w ($RR \geq 1,0mm$) κατά την περίοδο i και το $RR_{wn}99$ είναι το 99ο εκατοστημόριο της καθίζησης σε υγρές ημέρες κατά την περίοδο 1961-1990. Αν το W αντιπροσωπεύει τον αριθμό των υγρών ημερών στην περίοδο, τότε:

$$R99_p = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn}99 \quad (3.9)$$
10. PRCPTOT. Annual total precipitation in wet days (Ετήσια συνολική βροχόπτωση υγρών ημερών): Έστω RR_{ij} η ημερήσια ποσότητα βροχόπτωσης την ημέρα i κατά την περίοδο j . Έστω ο αριθμός των ημερών j , τότε:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (3.10)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μεθοδολογία

4.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο



Εικόνα 4.1: Μεθοδολογικό πλαίσιο

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί το μεθοδολογικό πλαίσιο που εφαρμόστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Αρχικά, επιλέχθηκαν 12 σταθμοί από το Εθνικό μετεωρολογικό δίκτυο των οποίων τα δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης παρουσίαζαν ορισμένα κενά με σκοπό στη συνέχεια να συμπληρωθούν. Αυτό έγινε με τον εντοπισμό γειτονικών σταθμών των οποίων τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τη διαδικασία της συμπλήρωσης. Εφόσον επιλέχθηκε η βάση δεδομένων των σταθμών προς συμπλήρωση και των γειτονικών σταθμών, με τη χρήση του λογισμικού «Υδρογνώμων» (“Hydrognomon”) πραγματοποιήθηκε αρχικά η κανονικοποίηση του χρονικού βήματος των χρονοσειρών ούτως ώστε να καταστεί δυνατή η περαιτέρω επεξεργασία τους. Ακολούθως, αφού εντοπίστηκε το βέλτιστο μοντέλο με δεδομένα επανάλυσης με τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης πραγματοποιήθηκε πείραμα συμπλήρωσης. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά χωρίς τη χρήση πλεγματικών δεδομένων, για να εξετασθεί κατά πόσο βελτιώνεται η διαδικασία της συμπλήρωσης. Εφόσον μέσω στατιστικής ανάλυσης κρίθηκε πως η χρήση πλεγματικών δεδομένων οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα οι υπόλοιποι σταθμοί συμπληρώθηκαν με τη νέα μέθοδο. Το επόμενο κομμάτι της εργασίας αποτελεί τον υπολογισμό κλιματολογικών δεικτών από τον ETCCDI (Expert Team on Climate Detection and Indices) με τη χρήση του προγράμματος CLIMDEX. Ως δεδομένα εισόδου χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές των σταθμών που συμπληρώθηκαν, οι γειτονικοί τους σταθμοί καθώς και επιπρόσθετοι σταθμοί ούτως ώστε να υπάρξει μεγάλη κάλυψη του Ελλαδικού χώρου. Αυτό που μελετήθηκε είναι η τάση των δεικτών ανά δεκαετία και ο σχολιασμός έγινε μέσω απεικόνισης χαρτών του Ελλαδικού χώρου ανά δείκτη.

4.2 Συμπλήρωση σταθμών

Η παρούσα εργασία επεκτείνεται στην εξέταση ενός ικανοποιητικού δείγματος σταθμών που καλύπτουν μεγάλη έκταση του Ελλαδικού χώρου. Στη συνέχεια αναφέρονται οι σταθμοί ενδιαφέροντος με σκοπό τη συμπλήρωση των ημερήσιων δεδομένων βροχοπτώσης στις χρονοσειρές τους, καθώς και οι γειτονικοί σταθμοί που αποτελούν τις βάσεις από τους οποίους αντλήθηκαν τα δεδομένα για τη διαδικασία της συμπλήρωσης.

Συμπλήρωση σταθμού ΚΥΠΡΙΝΟΣ (Θράκη)

Ο σταθμός παρουσιάζει αρκετά κενά σε διαφορετικά διαστήματα από το 1966 μέχρι το 1969 και από τα μέσα του 1979 μέχρι τα τέλη του 1984. Επίσης, σε πιο πρόσφατα έτη, υπάρχουν κενά σε αρκετούς μήνες του 2014 καθώς και ανά αρκετές περιόδους από τον Δεκέμβριο του 2016 μέχρι και τα τέλη του 2018. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους σταθμούς ΦΕΡΡΕΣ, ΛΕΥΚΙΜΗ και ΠΡΩΤΟΚΚΛΗΣΙ.

Συμπλήρωση σταθμού ΑΧΛΑΔΟΧΩΡΙ (Ανατολική Μακεδονία)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά για περίπου μια δεκαετία και αφορά περιόδους από το 1969 μέχρι το 1980. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους σταθμούς ΝΕΑ ΖΙΧΝΗ, ΑΝΩ ΠΟΡΟΪΑ, ΟΡΕΙΝΗ ΣΕΡΡΩΝ και ΑΗΔΟΝΟΧΩΡΙΟ.

Συμπλήρωση σταθμού ΓΟΥΜΕΝΙΣΣΑ (Κεντρική Μακεδονία)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά το 1966 καθώς και από τις αρχές του έτους 1997 μέχρι και τα τέλη του 2000. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους σταθμούς ΑΝΘΟΦΥΤΟ, ΕΥΖΩΝΟΙ (ΚΙΛΚΙΣ) και ΣΚΡΑ.

Συμπλήρωση σταθμού ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ (Δυτική Μακεδονία)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά από τα τέλη του έτους 1997 μέχρι και τα μέσα του 2003. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους σταθμούς ΠΟΝΤΟΚΩΜΗ, ΣΙΑΤΙΣΤΑ και ΤΣΟΤΥΛΙΟ.

Συμπλήρωση σταθμού ΕΛΑΣΣΩΝΑ (Θεσσαλία)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά από τον Δεκέμβριο του έτους 2012 μέχρι και τον Δεκέμβριο του 2013 καθώς επίσης από τα τέλη του 2017 μέχρι τα τέλη του 2018. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους σταθμούς ΠΙΑΝΝΩΤΑ, ΤΥΡΝΑΒΟΣ και ΖΑΠΠΕΙΟ.

Συμπλήρωση σταθμού ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ (Θεσσαλία)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά από τον Δεκέμβριο του έτους 1990 μέχρι και τα μέσα του 1993. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους σταθμούς PENTINA και ΑΝΑΒΡΑ.

Συμπλήρωση σταθμού ΠΥΡΑ (Δυτική Στερεά Ελλάδα)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά ανά αρκετές περιόδους από τον Νοέμβριο του έτους 1997 μέχρι και τις αρχές του 2004. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από του σταθμούς ΔΑΦΝΟΣ, ΚΑΡΟΥΤΕΣ και ΦΡΑΓΜΑ ΜΟΡΝΟΥ.

Συμπλήρωση σταθμού ΚΑΛΛΙΘΕΑ (Ανατολική Στερεά Ελλάδα)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά ανά αρκετές περιόδους από τα μέσα του έτους 1998 μέχρι και τα μέσα του 2005. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από του σταθμούς ΑΓΙΑ ΤΡΙΑΔΑ, ΔΑΥΛΕΙΑ, ΘΙΣΒΗ και ΛΕΙΒΑΔΙΑ.

Συμπλήρωση σταθμού ΜΠΟΥΖΙ (Βόρεια Πελοπόννησος)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά ανά αρκετές περιόδους από τα μέσα του έτους 1980 μέχρι και τα μέσα του 1986. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από του σταθμούς ΛΑΥΚΑ και ΨΑΡΙ.

Συμπλήρωση σταθμού ΤΡΟΠΑΙΑ (Δυτική Πελοπόννησος)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά ανά αρκετές περιόδους, αρχικά το 1985 με 1986 και μεταγενέστερα από τα μέσα του έτους 1999 μέχρι και τα μέσα του 2000 καθώς και περιόδους μεταξύ 2002 και 2003. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από του σταθμούς ΒΥΤΙΝΑ, ΠΙΑΝΑ, ΠΕΡΔΙΚΟΝΕΡΙ και ΚΑΡΥΤΑΙΝΑ.

Συμπλήρωση σταθμού ΚΑΝΔΑΝΟΣ (Κρήτη)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά τα έτη 1983-1984 καθώς και από τον Μάρτιο του 1997 μέχρι τον Δεκέμβριο του 1998. Επίσης, παρουσιάζει μεγάλο χρονικό κενό από τον Σεπτέμβριο του 2002 μέχρι και τις αρχές του 2007 όπου δεν υπήρχαν καταγεγραμμένες μετρήσεις. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από του σταθμούς ΕΜΠΡΟΣΝΕΡΟΣ, ΜΕΣΚΛΑ και ΣΤΡΟΒΛΕΣ.

Συμπλήρωση σταθμού ΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ (Κρήτη)

Ο σταθμός παρουσιάζει κενά από τις αρχές του έτους 2000 μέχρι το 2001, από το 2003 μέχρι και τα τέλη του 2005 καθώς και ανά αρκετά διαστήματα μεταξύ του έτους 2006 μέχρι και το 2012. Για τη συμπλήρωση του σταθμού χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από του σταθμούς ΑΓΙΟΣ ΘΩΜΑΣ και ΣΤΕΡΝΕΣ.

Παρακάτω ακολουθεί ο χάρτης (Εικόνα 4.2) με τις γεωγραφικές τοποθεσίες των σταθμών, όπου με πορτοκαλί χρώμα είναι οι σταθμοί που συμπληρώθηκαν και με μπλε οι γειτονικοί σταθμοί ανά περίπτωση.



Εικόνα 4.2: Χάρτης με τους σταθμούς για την διαδικασία της συμπλήρωσης. Με πορτοκαλί χρώμα συμβολίζονται οι σταθμοί που συμπληρώθηκαν και με μπλε οι γειτονικοί σταθμοί αναφοράς ανά περίπτωση.

4.2.1 Μέθοδοι συμπλήρωσης

Οι περισσότερες μέθοδοι συμπλήρωσης συνήθως συσχετίζουν τις τιμές της ελλιπούς χρονοσειράς με τιμές μιας ή περισσότερων χρονοσειρών που προκύπτουν από γειτονικούς σταθμούς των οποίων οι μετρήσεις θεωρούνται αξιόπιστες και χαρακτηρίζονται ως «χρονοσειρές αναφοράς». Προκειμένου να αξιοποιηθούν τα δεδομένα ενός τέτοιου σταθμού για να συμπληρώσουν έναν άλλο οι δυο αυτοί σταθμοί πρέπει να βρίσκονται σε κάποια συσχέτιση. Πιο συγκεκριμένα πρέπει να είναι γειτονικοί, δηλαδή να ανήκουν στο ίδιο μετεωρολογικό δίκτυο καθώς και εντός της ίδιας εμβέλειας. Παρακάτω αναλύονται μερικές από τις μεθόδους συμπλήρωσης ελλειπουσών τιμών:

* Μέση τιμή:

Πρόκειται για μέθοδο η οποία εφαρμόζεται για τη συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών όταν δεν μπορεί να βρεθεί κάποια συσχέτιση. Η εφαρμογή της μέσης τιμής αποτελεί την απλούστερη από τις υπόλοιπες μεθόδους συμπλήρωσης, όπου η προς συμπλήρωση τιμή τίθεται ίση με το μέσο όρο των συμπληρωμένων τιμών της ελλείπουσας χρονοσειράς. Απαιτείται η χρονοσειρά να αποτελείται από ένα μεγάλο όγκο δεδομένων με σταθερή μέση τιμή και τυπική απόκλιση ενώ παράλληλα μπορεί να εφαρμοστεί η μεθοδολογία εισαγωγής τυχαίου όρου.

Η μεθοδολογία της μέσης τιμής μπορεί να εφαρμοστεί κυρίως σε χρονοσειρές με μηνιαίο χρονικό βήμα λαμβάνοντας υπόψη την εποχικότητα δηλαδή, αφορά την άντληση τιμών από τον ίδιο μήνα

της προς συμπλήρωση τιμής από ένα άλλο συμπληρωμένο έτος που παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά βροχόπτωσης.

* Μέθοδος των διαφορών:

Χρησιμοποιεί δεδομένα από δύο μετεωρολογικούς σταθμούς. Η διαφορά μεταξύ των τιμών των δύο σταθμών είναι:

$$d = \frac{\sum (b_i - a_i)}{N} \quad (4.1)$$

Όπου b_i και a_i οι καταγραφές των δυο σταθμών και N το πλήθος τους

* Μέθοδος του Αντιστρόφου της απόστασης:

Η παραδοχή που βρίσκεται πίσω από αυτή τη μέθοδο είναι ότι όσο πιο κοντά στον σταθμό της ελλιπούς χρονοσειράς βρίσκονται οι σταθμοί των χρονοσειρών αναφοράς, τόσο πιο κοντά βρίσκονται οι μετρημένες τιμές τους. Σε αυτή τη μέθοδο η ελλείπουσα τιμή (Y_t) εκτιμάται με βάση τις αντίστοιχες τιμές των χρονοσειρών αναφοράς σύμφωνα με τον τύπο:

$$Y_t = \sum_{j=1}^n A_j * X_{j,t} \quad (4.2)$$

Όπου A_j (συντελεστής βάρους):

$$A_j = \frac{(\frac{1}{D_i^2})}{\sum_{i=1}^n (\frac{1}{D_i^2})} \quad (4.3)$$

Όπου D_i η απόσταση του σταθμού i από τον σταθμό που εμφανίζει ελλειμματικά δεδομένα και n το πλήθος των γειτονικών σταθμών

* Μέθοδος των ημερήσιων λόγων:

Η μέθοδος συσχετίζει την ελλείπουσα τιμή με τις αντίστοιχες των χρονοσειρών αναφοράς με τον ίδιο τύπο όπως η μέθοδος του αντιστρόφου της απόστασης:

$$Y_t = \sum_{j=1}^n A_j * X_{j,t} \quad (4.4)$$

Ωστόσο αυτό που διαφέρει είναι ο συντελεστής βάρους:

$$A_j = \frac{1}{n} * \frac{Y}{X_j} \quad (4.5)$$

Με Y και X_j τις ημερήσιες τιμές των μηνιαίων καταγραφών του ελλειμματικού σταθμού και j των γειτονικών σταθμών αντίστοιχα.

Αυτή η μέθοδος υπερέχει της προηγούμενης γιατί δίνει μεγαλύτερο βάρος στις χρονοσειρές αναφοράς των οποίων οι υπερετήσιοι λόγοι είναι πλησιέστερα στον υπερετήσιο λόγο της ελλιπούς και όχι στην πιο κοντινή. Επομένως, η μέθοδος αυτή δίνει αποτελέσματα πιο κοντά στα πραγματικά δεδομένα.

* Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση:

Μια βασική μέθοδος συμπλήρωσης βροχομετρικών σταθμών αποτελεί η γραμμική συσχέτιση των καταγεγραμμένων δεδομένων του προς συμπλήρωση σταθμού σε σχέση με ένα άλλο γειτονικό σταθμό του οποίου οι χρονοσειρές είναι πιο πλήρες για τη χρονική περίοδο που μας αφορά. Πρόκειται για μια μέθοδο βέλτιστης προσαρμογής μιας ευθείας στο καρτεσιανό επίπεδο και βασίζεται στην αρχή των ελαχίστων τετραγώνων η οποία ελαχιστοποιεί το άθροισμα των τετραγώνων των αποστάσεων των σημείων από την ευθεία. Σύμφωνα με αυτήν προσδιορίζεται ένας σταθερός όρος a και μία κλίση b , οι όροι δηλαδή της εξίσωσης:

$$y = a + bx \quad (4.6)$$

Όπου η προς συμπλήρωση τιμή y , εκτιμάται από την αντίστοιχη τιμή x του γειτονικού σταθμού για την περίοδο που σημειώνεται έλλειψη στο σταθμό y . Οι συντελεστές της απλής γραμμικής συσχέτισης δίνονται από τις σχέσεις:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (4.7)$$

και:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (4.8)$$

Όπου n είναι το πλήθος των κοινών ταυτόχρονων μετρήσεων μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής y και της ανεξάρτητης x για τιμές χρονοσειράς.

Για να καταστεί δυνατή η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης, πρέπει το σύνολο των χρονοσειρών που θα χρησιμοποιηθούν να έχουν κοινή περίοδο καταγεγραμμένων δεδομένων. Ο βαθμός καταλληλότητας της μεθόδου για τα εξεταζόμενα δεδομένα αποδίδεται από το στατιστικό συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r , ο οποίος λαμβάνει τιμές μεταξύ του διαστήματος $[-1,1]$ όπου όσο πιο κοντά είναι στα όρια του διαστήματος τόσο ισχυρότερη είναι και η συσχέτιση ενώ το μηδέν υποδεικνύει ανυπαρξία συσχέτισης.

4.3 Επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων - Υδρογνώμων

Για να καταστεί ευκολότερη αλλά και πιο εύχρηστη η επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «Υδρογνώμων» ("Hydrognomon"). Είναι μια αυτόνομη εφαρμογή που λειτουργεί σε περιβάλλον Microsoft Windows 2000 ή νεότερων εκδόσεων και αναπτύχθηκε από το Ε.Μ.Π. Αποτελεί μια ολοκληρωμένη εφαρμογή πρόσβασης και ανάλυσης υδρομετεωρολογικών δεδομένων και χρονοσειρών, ενώ παράλληλα χαρακτηρίζεται από μια πλήρης κεντρική βάση αποθηκευμένων δεδομένων. Επιπλέον, δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης επιπρόσθετων πληροφοριών ενός σταθμού εκτός από τη χρονοσειρά του όπως το ιστορικό του, πληροφορίες για τα όργανα μέτρησης και άλλες πληροφορίες που καλύπτουν σε σημαντικό βαθμό τους φορείς που ασχολούνται με την επεξεργασία υδρομετεωρολογικών δεδομένων.

Τα αρχεία βροχομετρικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία χρονοσειρών είναι τύπου .hts και αποτελούν την κατάλληλη μορφή αρχείων εισόδου για το λογισμικό Υδρογνώμων. Διαθέτει ακόμη και τις πιο βασικές δυνατότητες επεξεργασίας των δεδομένων, ενώ παράλληλα παρέχει τη δυνατότητα συνεργασίας με άλλες εφαρμογές όπως το Excel και το ArcView. Η τελευταία έκδοση του λογισμικού (4.0) πραγματοποιεί απλές υδρολογικές επεξεργασίες όπως συνάθροιση και κανονικοποίηση χρονικού βήματος, παρεμβολή, ανάλυση παλινδρόμησης και συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών, επέκταση χρονοσειρών, ελέγχους συνέπειας, φιλτράρισμα δεδομένων, οπτικοποίηση χρονοσειρών με χρήση γραφημάτων και πινάκων, κτλ. Το λογισμικό «Υδρογνώμων» καθώς και τα εγχειρίδια λειτουργίας του (και θεωρητική τεκμηρίωση) διατίθενται ελεύθερα στην ιστοσελίδα του προγράμματος <http://www.hydroscope.gr/hydrognomon/>

4.3.1 Κανονικοποίηση χρονικού βήματος

Πριν πραγματοποιηθεί κάποια πιο σύνθετη ανάλυση και επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων, απαραίτητο στάδιο αποτελεί η κανονικοποίηση του χρονικού βήματος (άρση χρονικών ολισθήσεων). Αυτό έγινε με τη χρήση του προγράμματος «Υδρογνώμων» και περιλαμβάνει την αναίρεση των χρονικών μετατοπίσεων στις ακανόνιστες πρωτογενείς χρονοσειρές. Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται προτείνεται από τον Χριστοφίδη (1998) και εφαρμόζεται σε χρονοσειρές με μικρή χρονική ολίσθηση (έως 25% - 50% του χρονικού βήματος). Αρχικά γίνεται αναφορά σε ένα βασικό χαρακτηριστικό των χρονικών καταγραφών που ονομάζεται «χρονοσφραγίδα» και αποτελεί τη χρονική στιγμή στην οποία αποτυπώνεται μια διακριτή τιμή της χρονοσειράς και αναφέρονται συνήθως στο τέλος του χρονικού διαστήματος που προηγείται. Παράλληλα, αναφέρεται ακόμη ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για την τυποποίηση των δεδομένων και είναι το χρονικό βήμα (time step - observation time scale) το οποίο υποδουλώνει το πόσο απέχουν οι χρονοσφραγίδες διαδοχικών τιμών μιας χρονοσειράς.

Στο πρόγραμμα «Υδρογνώμων» για την πραγματοποίηση της επεξεργασίας συμπληρώνεται αρχικά μια φόρμα σε ένα παράθυρο που ορίζει τη χρονική μετατόπιση (offset in minutes) καθώς και το τύπο της μεταβλητής. Το offset τοποθετήθηκε στην τιμή 480 min προκειμένου η χρονοσειρά να είναι ημερήσιου βήματος με τις μετρήσεις να είναι καθημερινές στις 8 το πρωί. Ο τύπος της μεταβλητής επιλέχθηκε να αφορά μετρήσεις περιόδου που ξεκινάει από την προηγούμενη μέτρηση. (βλ. Εικ. 4.3). Έτσι, εξαλείφθηκαν τυχόν διαταραχές και οι χρονοσειρές έγιναν κατάλληλες για περαιτέρω επεξεργασία.

Εικόνα 4.3: Κανονικοποίηση χρονικού βήματος

4.3.2 Συνάθροιση χρονοσειρών (Aggregation)

Πρόκειται για μια επεξεργασία με σκοπό την παραγωγή χρονοσειρών μεγαλύτερου βήματος. Η διαδικασία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί εφόσον προηγουμένως οι χρονοσειρές έχουν αποκτήσει σταθερό χρονικό βήμα μέσω της κανονικοποίησης. Συνήθως αφορά πρόσθεση τιμών αλλά υπάρχει και η δυνατότητα για εξαγωγή μέσης ή μέγιστης τιμής ενός χρονικού διαστήματος.

Για τους σκοπούς της εργασίας η συνάθροιση χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό ετήσιας βροχοπτώσης με το άθροισμα δεδομένων ημερήσιας βροχοπτώσης από τους σταθμούς ενδιαφέροντος με το υδρολογικό έτος να έχει οριστεί από τη 1^η Σεπτεμβρίου μέχρι και 31 Αυγούστου.

Για να εκτελεστεί η διαδικασία της συνάθροισης πρέπει αρχικά να οριστεί ο μέγιστος αριθμός των επιτρεπόμενων ελλείψεων στις καταγεγραμμένες τιμές ενός έτους, δηλαδή αν υπερβεί το προκαθορισμένο όριο τότε το αποτέλεσμα που θα προκύψει είναι κενή τιμή. Στην παρούσα εργασία το όριο αυτό οριστικό στο μηδέν (0) με αποτέλεσμα ακόμη και αν υπήρχε έστω και ένα κενό στη χρονοσειρά το αποτέλεσμα εξόδου της συνάθροισης να είναι κενό (null).

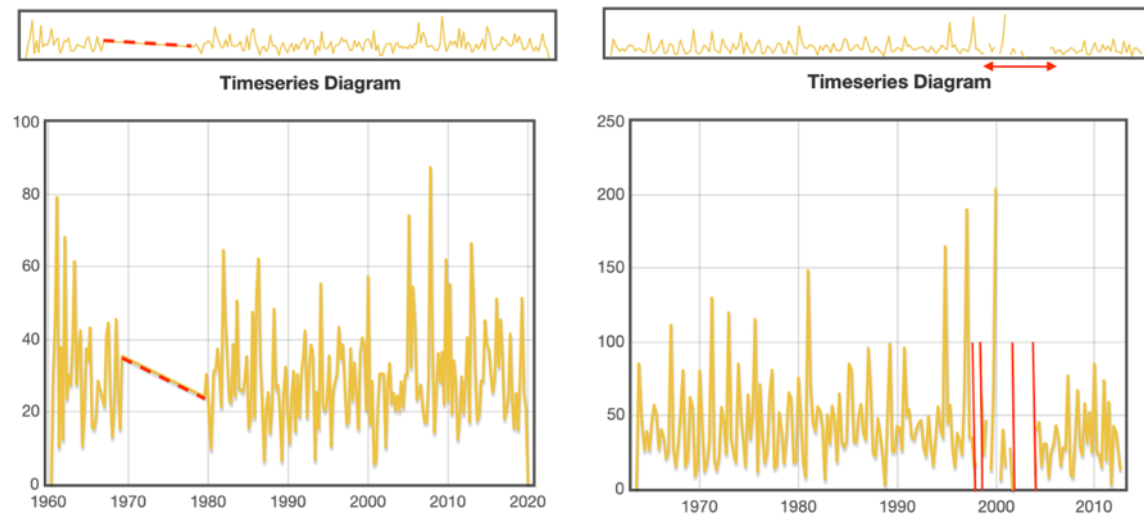
Επίσης, ορίζονται οι χρονοσφραγίδες της χρονοσειράς εξόδου ανάλογα με το μήκος της χρονοσειράς εισόδου. Οι χρονοσειρές εισόδου δημιουργήθηκαν από καθημερινές μετρήσεις στις 8:00 το πρωί και οι χρονοσειρές εξόδου καθορίστηκαν να είναι ετήσιου χρονικού βήματος με το nominal offset να είναι εξορισμού (0,0) και το actual offset έχει τεθεί σε δώδεκα μήνες και οκτώ (8) ώρες ούτως ώστε το λογισμικό «Υδρογνώμων» να αποφεύγει την παρεμβολή. Οι επιλογές που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στην εικόνα (Εικ. 4.4).

Εικόνα 4.4: Συνάθροιση

4.3.3 Μεθοδολογία συμπλήρωσης ελλειπουσών χρονοσειρών

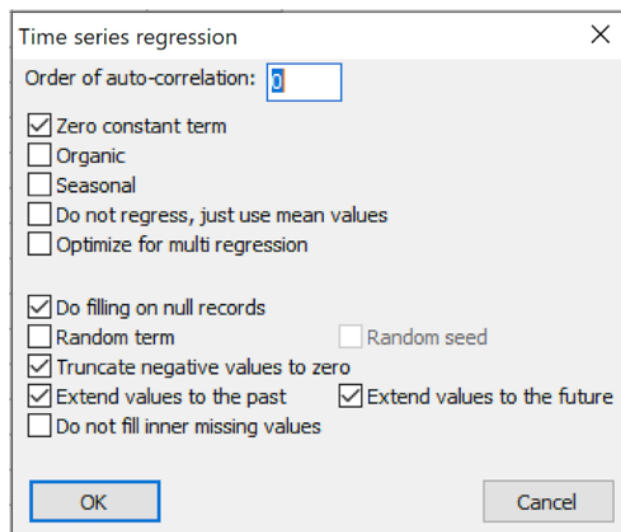
Συγκεντρώθηκαν και επεξεργάστηκαν 47 χρονοσειρές εκ των οποίων οι 12 αφορούσαν τους σταθμούς συμπλήρωσης και οι υπόλοιποι 35 τους γειτονικούς σταθμούς που ανήκουν στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο και αφορούν δεδομένα από το 1940 μέχρι το 2019. Για τους σταθμούς από τους οποίους αντλήθηκαν δεδομένα σημειώθηκαν ο κωδικός αναγνώρισης, το όνομα, οι συντεταγμένες, το υψόμετρο και το υδατικό διαμέρισμα του κάθε σταθμού.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η διαδικασία εντοπισμού των σημείων ασυνέχειας από τα υπάρχοντα δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης για τους εκάστοτε σταθμούς ενδιαφέροντος, μέσω του γραφήματος (βλ. Εικ. 4.5) που είναι αναρτημένο για κάθε χρονοσειρά στη βάση δεδομένων «Ενυδρίς». Για τη συμπλήρωση των κενών εντοπίστηκαν γειτονικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν ως σταθμοί βάσης καθώς για τα χρονικά διαστήματα που μας ενδιέφερε η συμπλήρωση των σημείων ασυνέχειας παρουσιάζουν ολοκληρωμένες χρονοσειρές. Παράλληλα, οι γειτονικοί σταθμοί ανήκουν στο ίδιο υδατικό διαμέρισμα και των οποίων τα υψόμετρα δεν ξεπερνάνε τα 300 m σε σχέση με τον υπό συμπλήρωση σταθμό.



Εικόνα 4.5: Παραδείγματα κενών σε χρονοσειρές

Για τη συμπλήρωση, εφαρμόστηκε η μέθοδος της απλής γραμμικής παλινδρόμησης με τη χρήση του προγράμματος «Υδρογνώμων». Στο παράθυρο εκτέλεσης της μεθόδου επιλέχθηκε μηδενικός σταθερός όρος και η αποκοπή των αρνητικών τιμών βροχοπτώσης στην τιμή μηδέν (0), (Εκ. 4.6).



Εικόνα 4.6: Παράθυρο εκτέλεσης της μεθόδου συμπλήρωσης

4.4 Πείραμα δυνητικής βελτίωσης συμπλήρωσης με χρήση πλεγματικών δεδομένων

Εκτός από τη «κλασσική» μέθοδο συμπλήρωσης με τη χρήση αποκλειστικά γειτονικών σταθμών, διερευνήθηκε κατά πόσο η χρήση πλεγματικών δεδομένων από διαθέσιμα μοντέλα (ERA5Land, CERRA, E-OBS και CHELSA) καταλήγει σε βελτίωση της διαδικασίας συμπλήρωσης. Η διερεύνηση έγινε ελέγχοντας κατά πόσο η διαδικασία αυτή δίνει τη δυνατότητα συνεπέστερης συμπλήρωσης τόσο σε ξηρά, κανονικά και υγρά έτη βροχοπτώσης.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είχε ως εξής. Αρχικά έγινε η επιλογή τεσσάρων γειτονικών σταθμών για τους οποίους σε ένα χρονικό διάστημα τριάντα ετών έχουν σχετικά ολοκληρωμένες χρονοσειρές ημερήσιας βροχοπτώσης ούτως ώστε μέσω της διαδικασίας της συνάθροισης να εντοπιστούν τα ξηρά, κανονικά και υγρά έτη του κάθε σταθμού. Στη συνέχεια αφού εντοπίστηκαν τα έτη αφαιρέθηκαν εξ'ολοκλήρου για να πραγματοποιηθεί το πείραμα με τα πλεγματικά δεδομένα και να υπάρξει σύγκριση μεταξύ πραγματικών και των εκτιμημένων τιμών με σκοπό να εντοπιστεί η βέλτιστη μεθολογία για τη συμπλήρωση και των υπόλοιπων σταθμών ενδιαφέροντος.

Για την επιλογή μεταξύ των διαθέσιμων μοντέλων πλεγματικών δεδομένων (ERA5Land, CERRA, E-OBS και CHELSA) αρχικά υπολογίστηκαν κάποιοι στατιστικοί δείκτες που αφορούν τα δεδομένα ημερήσιας βροχοπτώσης των σταθμών σε σχέση με αυτά των πλεγματικών μοντέλων. Πιο συγκεκριμένα υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης (R), το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας Root Mean Squared Error (RMSE), ο συντελεστής αποδοτικότητας Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), το mean bias (MB) και το kling gupta efficiency (KGE) ούτως ώστε να υπάρξει μια σύγκριση και να βρεθεί κατά μέσο όρο πιο πλεγματικό μοντέλο είναι πιο αξιόπιστο.

4.4.1 Δείκτες αξιολόγησης συνέπειας

Συντελεστής συσχέτισης Pearson's (r)

Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης Pearson γνωστός και επίσης ως στατιστικός έλεγχος Pearson R, υπολογίζει τον βαθμό της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών και την ισχύ τους. Οι τιμές που παίρνει κυμαίνονται από -1 έως 1 και η ερμηνεία που έχει η τιμή r είναι ως εξής:

- [r = -1]: Όταν η τιμή r συγκλίνει κοντά στο -1, αυτό δείχνει μια ισχυρή αρνητική σχέση.
- [r = 0]: Εάν παίρνει τιμή ίση με το μηδέν τότε δεν υπάρχει καμία γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών.
- [r = 1]: Όταν η τιμή r συγκλίνει κοντά στο 1, αυτό δείχνει μια ισχυρή θετική σχέση και υπονοεί πως τα σημεία των δύο μεταβλητών αν ήταν οι άξονες ενός διαγράμματος διασποράς τότε τα θα ακολουθούσαν μια ίσια γραμμή στη βέλτιστη περίπτωση.

Ο τύπος του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r είναι ο εξής:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.9)$$

Όπου \bar{x} είναι η μέση τιμή της μιας μεταβλητής και \bar{y} η μέση τιμή της άλλης μεταβλητής. Κάθε μεταβλητή περιλαμβάνει ένα σύνολο δεδομένων και το n είναι ο αριθμός του συνόλου αυτού.

Mean bias error (MBE)

Το mean bias error (MBE) καταγράφει τις μέσες αποκλίσεις μεταξύ δύο συνόλων δεδομένων και υποδεικνύει εάν υπάρχει κάποια τάση ενός συνόλου δεδομένων στο να υπερεκτίμα ή να υποτιμά. Εάν η τιμή που δίνει το MBE είναι αρνητική δηλώνει υποτίμηση ενώ εάν είναι θετική τότε δηλώνει υπερεκτίμηση, για αυτό και είναι προτιμότερο για ένα μοντέλο να δίνει τιμές κοντά στο μηδέν που θεωρείται και η βέλτιστη τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου.

Ο υπολογισμός του MBE δίνεται από τον τύπο:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (4.10)$$

Όπου O_i είναι η i τιμή για το στοιχείο που αξιολογείται, P_i είναι η i τιμή του μοντέλου και n ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων

Root Mean Squared Error (RMSE)

Το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας Root Mean Squared Error (RMSE) εκφράζει το μέσο μέγεθος της απόκλισης μεταξύ των τιμών που εκτιμήθηκαν μέσω του μοντέλου που εφαρμόστηκε και τα πραγματικά δεδομένα. Όταν παίρνει την τιμή 0 τότε υποδεικνύεται τέλεια αντιστοίχιση μεταξύ παρατηρούμενων και προβλεπόμενων τιμών ενώ όσο αυξάνεται η τιμή του RMSE τόσο πιο αναξιόπιστο ενδέχεται να είναι το υπό μελέτη μοντέλο.

Ο υπολογισμός του RMSE δίνεται από τον τύπο:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (4.11)$$

Όπου O_i είναι η i τιμή για το στοιχείο που αξιολογείται, P_i είναι η i τιμή του μοντέλου και n ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων.

Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient (NSE)

Ο συντελεστής Nash-Sutcliffe είναι ένας στατιστικός δείκτης που κανονικοποιεί την υπολειμματική διακύμανση («θόρυβος») των παρατηρήσεων σε σχέση με τη μετρούμενη διαφορά δεδομένων («πληροφορία») και προσδιορίζει πόσο καλά τα παρατηρούμενα έναντι των προσομοιωμένων δεδομένων ταιριάζουν στη γραμμή με κλίση 1. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές που παίρνει εκτείνονται από το μείον άπειρο μέχρι το 1, το οποίο 1 αποτελεί τέλεια αποτύπωση ενώ τιμές μεταξύ 0 και 1 θεωρούνται ως αποδεκτές και εάν η τιμή είναι ίση ή μικρότερη του μηδενός τότε το NSE δεν έχει αποδεκτή τιμή και σημαίνει πώς η μέση τιμή των παρατηρούμενων δεδομένων έχει καλύτερο στατιστικό αποτέλεσμα σε σχέση με την προσομοιωμένη τιμή.

Ο υπολογισμός του NSE δίνεται από τον τύπο:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (4.12)$$

Όπου O_i είναι η i παρατήρηση για το στοιχείο που αξιολογείται, P_i είναι η i τιμή του μοντέλου, \bar{O} είναι η μέση τιμή των παρατηρούμενων δεδομένων και n ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων.

Kling-Gupta efficiency (KGE)

Το Kling-Gupta efficiency (KGE) αποτελεί σημαντικό στατιστικό κριτήριο που υποδεικνύει την αξιοπιστία ενός μοντέλου στον τομέα της υδρολογίας. Το KGE παρουσιάζει ομοιότητες με το NSE το οποίο συνδυάζει τη συσχέτιση Pearson, το μεροληπτικό σφάλμα (bias) και τον λόγο διακυμάνσεων με πιο ισορροπημένο τρόπο από ότι το NSE και χρησιμοποιείται συχνά για τη βαθμονόμηση και αξιολόγηση υδρολογικών μοντέλων. Όπως και στο NSE όταν παίρνει τιμή ίση με 1 τότε υποδηλώνει τέλεια συμφωνία μεταξύ του στοιχείου που αξιολογείται και του μοντέλου ενώ όταν παίρνει θετικές τιμές αρκετοί ερευνητές αξιολογούν το μοντέλο ως καλό και όταν παίρνει αρνητικές ως κακό.

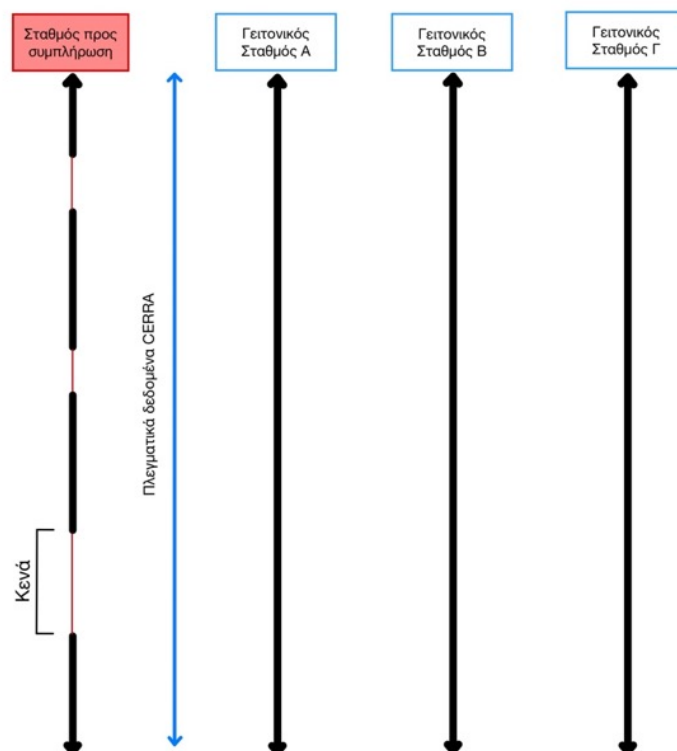
Ο υπολογισμός του KGE δίνεται από τον τύπο:

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + \left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1\right)^2} \quad (4.13)$$

Όπου σ_{obs} είναι η τυπική απόκλιση για το στοιχείο που αξιολογείται, σ_{sim} είναι η τυπική απόκλιση της προσομοίωσης (μοντέλου), μ_{obs} είναι ο μέσος όρος για το στοιχείο που αξιολογείται και μ_{sim} είναι ο μέσος όρος του μοντέλου.

4.5 Συμπλήρωση με χρήση πλεγματοικών δεδομένων

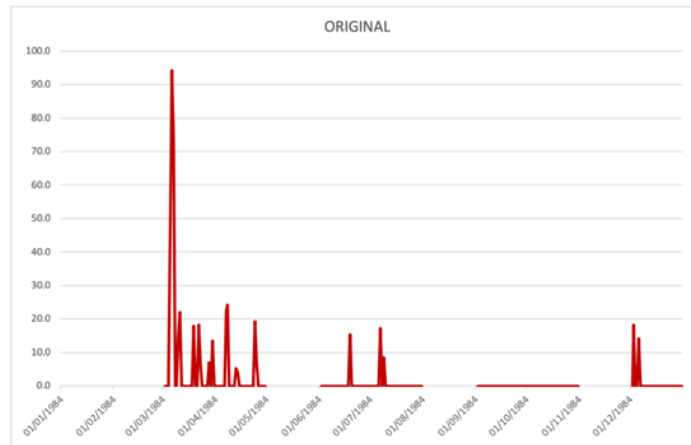
Η τελική διαδικασία συμπλήρωσης των σταθμών επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί με την εισαγωγή πλεγματοικών δεδομένων. Όπως παρουσιάζεται μέσω των αποτελεσμάτων του πειράματος στο κεφάλαιο 5.1 το μοντέλο CERRA οδηγεί στις πλείστες περιπτώσεις σε βελτίωση της μεθόδου συμπλήρωσης, οπότε πέρα από τη χρήση δεδομένων από τους γειτονικούς σταθμούς θα εισαχθούν και αυτά του μοντέλου. Η διαδικασία συμπλήρωσης είναι η ίδια με αυτή που έχει αναλυθεί στο υποκεφάλαιο 4.3.3 με τη μονή διαφορά πως θα υπάρχει μια επιπλέον χρονοσειρά και αυτή αφορά τα δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης του σταθμού συμπλήρωσης από το πλεγματοικό μοντέλο CERRA. Στην παρακάτω εικόνα 4.7 φαίνεται η λογική που ακολουθήθηκε για τη συμπλήρωση, όπου απεικονίζονται οι χρονοσειρές σε ένα πρόχειρο σκίτσο. Αξίζει να σημειωθεί πως σε αρκετές περιπτώσεις ο αριθμός των γειτονικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν διαφέρει ανά περίπτωση.



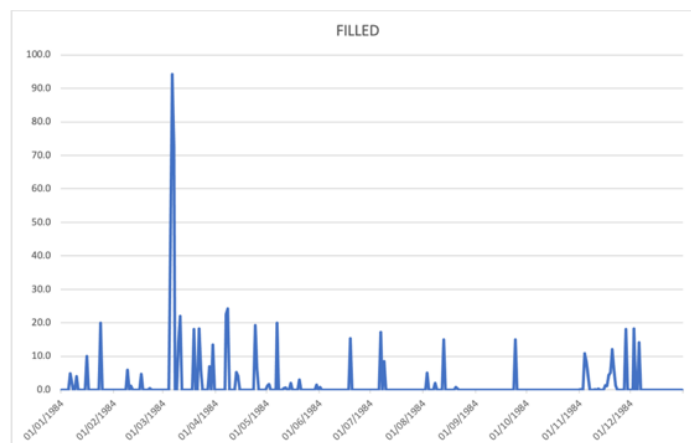
Εικόνα 4.7: Σχεδιάγραμμα συμπλήρωσης χρονοσειρών

Εφόσον εισάχθηκαν οι ανάλογες χρονοσειρές ανά περίπτωση και αφού πρώτα πραγματοποιήθηκε η διαδικασία κανονικοποίησης του χρονικού βήματος στο πρόγραμμα «Υδρογνώμων», ακολουθήθηκε η διαδικασία της συμπλήρωσης με τη χρήση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Σαν αποτέλεσμα προκύπτει μια νέα χρονοσειρά βασισμένη στην αρχική ωστόσο, τα οποία κενά είχε είναι πλέον συμπληρωμένα και αποτελεί μια ενιαία χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης.

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται λόγω μεγάλου όγκου δεδομένων, ένα απόσπασμα μιας χρονοσειράς ενός έτους η οποία αρχικά παρουσίαζε κενά ανά διάφορα χρονικά διαστήματα (εικόνα 4.8) ενώ στην (εικόνα 4.9) φαίνεται η ίδια χρονοσειρά αφού πρώτα έχει ολοκληρωθεί μέσω της διαδικασίας της συμπλήρωσης.



Εικόνα 4.8: Χρονοσειρά πριν από συμπλήρωση



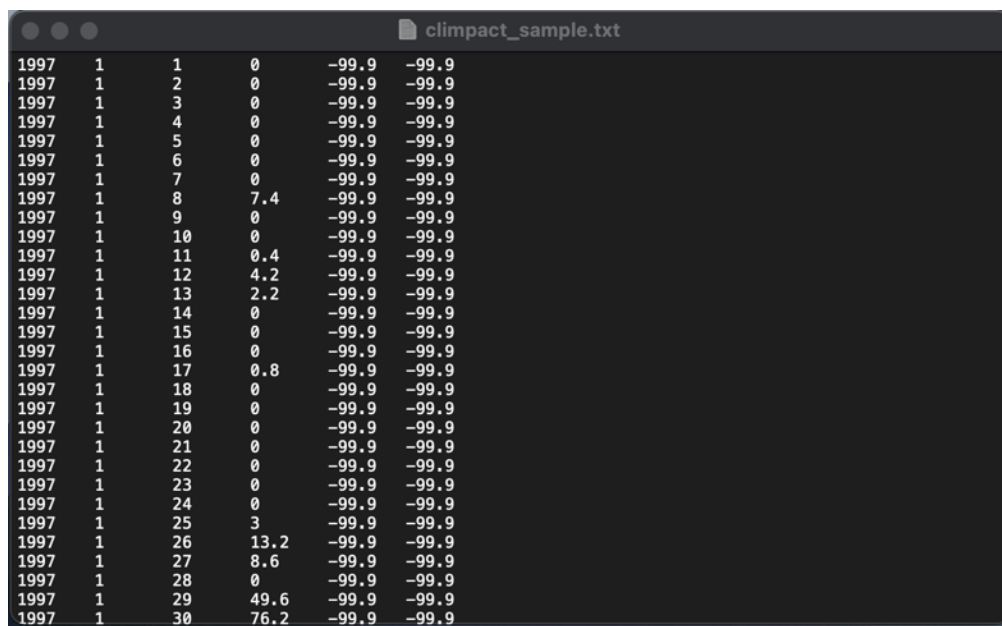
Εικόνα 4.9: Χρονοσειρά μετά από συμπλήρωση

Όπως φαίνεται στα πιο πάνω διαγράμματα, πριν τη συμπλήρωση υπάρχουν αρκετές ασυνέχειες στα δεδομένα της ημερήσιας χρονοσειράς οι οποίες μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να επεκταθούν σε μήνες ή ακόμη και χρόνια με αποτέλεσμα να καθιστούν τα δεδομένα των σταθμών αυτών δύσκολα προς την περαιτέρω επεξεργασίας τους. Ωστόσο, το πρόβλημα αυτό διορθώνεται μετά την εφαρμογή της μεθόδου της συμπλήρωσης καθώς με τη διαδικασία αυτή, τα κενά που υπήρχαν συμπληρώνονται με αποτέλεσμα η τελική χρονοσειρά να παρουσιάζεται ενιαία όπως φαίνεται στο παράδειγμα (εικ. 4.9). Αφού πλέον έχουν διορθωθεί οι χρονοσειρές των σταθμών ενδιαφέροντος που είχαν κενά, μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου για την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων όσον αφορά τη βροχοπτώση. Πιο συγκεκριμένα, για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας αφορούν τον υπολογισμό κλιματολογικών δεικτών σύμφωνα με τα πρότυπα του ETCCDI.

4.6 Υπολογισμός κλιματικών δεικτών βροχόπτωσης

Ο υπολογισμός των κλιματικών δεικτών, έγινε με βάση τα δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης που έχουν διορθωθεί στο προηγούμενο κομμάτι της εργασίας και αφορούσαν τους σταθμούς ενδιαφέροντος, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και επιπλέον σταθμοί για να υπάρξει μεγαλύτερη κάλυψη του Ελλαδικού χώρου. Οι δείκτες βροχόπτωσης ETCCDI (Expert Team on Climate Detection and Indices) υπολογίστηκαν μέσω του προγράμματος Climdex το οποίο πρόκειται για ένα ελεύθερο λογισμικό βασισμένο στη γλώσσα προγραμματισμού «R». Το πρόγραμμα Climdex δέχεται δεδομένα εισόδου σε ειδική μορφή για να τρέξει και πρέπει να γίνει συγκεκριμένη μορφοποίηση των δεδομένων ημερήσιας βροχόπτωσης για να γίνουν αποδεκτά. Πιο συγκεκριμένα η μορφή που πρέπει να έχουν τα αρχεία εισόδου φαίνονται στην εικόνα 4.10 και είναι η εξής:

1. Τα δεδομένα πρέπει να είναι σε αρχείο τύπου ASCII text file.
2. Πρέπει να περιέχουν έξι στήλες: Έτος, μήνας, μέρα, PRCP, Tmax, Tmin με κάθε δεδομένο από τα πιο πάνω να διαχωρίζεται με διάστημα.
3. Τα δεδομένα της βροχόπτωσης να είναι σε mm.
4. Τα δεδομένα τα οποία είναι ελλιπή κωδικοποιούνται ως -99.9 (Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας οι στήλες Tmax, Tmin συμπληρώνονται με την τιμή αυτή, καθώς γίνεται μελέτη των δεικτών που αφορούν μόνο τη βροχόπτωση).



Year	Month	Day	PRCP	Tmax	Tmin
1997	1	1	0	-99.9	-99.9
1997	1	2	0	-99.9	-99.9
1997	1	3	0	-99.9	-99.9
1997	1	4	0	-99.9	-99.9
1997	1	5	0	-99.9	-99.9
1997	1	6	0	-99.9	-99.9
1997	1	7	0	-99.9	-99.9
1997	1	8	7.4	-99.9	-99.9
1997	1	9	0	-99.9	-99.9
1997	1	10	0	-99.9	-99.9
1997	1	11	0.4	-99.9	-99.9
1997	1	12	4.2	-99.9	-99.9
1997	1	13	2.2	-99.9	-99.9
1997	1	14	0	-99.9	-99.9
1997	1	15	0	-99.9	-99.9
1997	1	16	0	-99.9	-99.9
1997	1	17	0.8	-99.9	-99.9
1997	1	18	0	-99.9	-99.9
1997	1	19	0	-99.9	-99.9
1997	1	20	0	-99.9	-99.9
1997	1	21	0	-99.9	-99.9
1997	1	22	0	-99.9	-99.9
1997	1	23	0	-99.9	-99.9
1997	1	24	0	-99.9	-99.9
1997	1	25	3	-99.9	-99.9
1997	1	26	13.2	-99.9	-99.9
1997	1	27	8.6	-99.9	-99.9
1997	1	28	0	-99.9	-99.9
1997	1	29	49.6	-99.9	-99.9
1997	1	30	76.2	-99.9	-99.9

Εικόνα 4.10: Δεδομένα εισόδου σε μορφή txt.

Αφού πλέον το αρχείο εισόδου για τον κάθε σταθμό είναι στη μορφή που το δέχεται το πρόγραμμα, ανεβάζεται στο πρώτο παράθυρο του προγράμματος ενώ παράλληλα παρέχονται οι συντεταγμένες του σταθμού, η ημερομηνία έναρξης και λήξης υπολογισμού των δεικτών. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα πραγματοποιεί έναν έλεγχο για τα δεδομένα εισόδου και εάν είναι σωστή μορφή που πρέπει τότε προχωρά στον υπολογισμό των δεικτών. Το πρόγραμμα όταν ολοκληρώσει τη διαδικασία, επιστρέφει σε αρχείο excel τους δείκτες που υπολογίστηκαν και σε αρχείο τύπου .png τα γραφήματα των εκάστοτε δεικτών.

Process Single Station

1. Load

2. Check

3. Calculate

4. Compare

1. Load station data and provide metadata

Station data

The dataset **must** use the format described in [Appendix B](#) of the *Climpact User Guide*.
For a sample dataset look at [sydney_observatory_hill_1936-2015.txt](#)

Browse...

STROVLES.txt

Upload complete

Metadata

Station name (used in output file names):

STROVLES

Latitude (decimal degrees e.g. -40.992):

35.36214

Longitude (decimal degrees e.g. 148.346):

23.66429

Base period start year:

1972

Base period end year:

2015

Εικόνα 4.11: Παράθυρο εισόδου του προγράμματος Climdex

4.6.1 Άντληση δεδομένων από τους δείκτες

Η χρήση του Climpack έγινε για την άντληση 12 δεικτών από 62 διαφορετικούς σταθμούς εκ των οποίων οι 12 αφορούσαν σταθμούς των οποίων τα ημερήσια δεδομένα βροχοπτώσης είχαν διορθωθεί μέσω της διαδικασίας της συμπλήρωσης ενώ οι υπόλοιποι 49 είναι οι γειτονικοί. Ως αρχικό έτος υπολογισμού των δεικτών ορίστηκε το 1972 με τελικό έτος το 2015 ούτως ώστε να υπάρξει μια κοινή περίοδος υπαρκτών δεδομένων για όλους τους σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν. Αξίζει να σημειωθεί πως ορισμένοι από τους γειτονικούς σταθμούς παρουσίαζαν ορισμένα κενά τα οποία είναι σε πολύ μικρότερο βαθμό από τις αρχικές χρονοσειρές των σταθμών που συμπληρώθηκαν με αποτέλεσμα να μην δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στην εξαγωγή των δεικτών.

Αυτό που μελετήθηκε μέσω των δεικτών είναι η κλίση (slope) τους στην πάροδο των ετών που ορίστηκαν προς μελέτη, ούτως ώστε να ανιχνευτεί η οποία τάση ανά σταθμό και να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα όσον αφορά τη βροχοπτώση στον ελλαδικό χώρο. Το πρόγραμμα Climpack εξάγει τις τιμές των δεικτών σε ετήσια βάση αλλά για τους σκοπούς της εργασίας μελετήθηκαν ανά δεκαετία.



Εικόνα 4.12: Χάρτης επιλεγμένων σταθμών για τον υπολογισμό δεικτών

4.6.2 Ανάλυση Τάσης και p -value

Η τάση εκφράζει το μέσο ρυθμό μεταβολής μιας μεταβλητής σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα και σκοπός είναι να ελεγχθεί κατά πόσο μια εξεταζόμενη μεταβλητή γενικά αυξάνεται ή μειώνεται κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξάχθηκαν 12 διαφορετικοί χάρτες με την τάση για τον κάθε ένα δείκτη βροχοπτώσης ξεχωριστά και αφορούν τους δείκτες r10mm, r20mm, r30mm, rx1day, rx5days, sdii, prcptot, spi3, spi6, spi12, cdd και cwd. Πιο συγκεκριμένα για τον κάθε χάρτη που κατασκευάστηκε, απεικονίζεται ο Ελλαδικός χώρος και οι γεωγραφικές θέσεις των σταθμών ενδιαφέροντος όπου με βάση το υπόμνημα, παρουσιάζουν και το ανάλογο χρώμα που υποδεικνύει εάν υπάρχει αυξητική ή πτωτική τάση για τον εκάστοτε σταθμό.

Σημαντικός παράγοντας στη μελέτη της τάσης αποτελεί η τιμή p -value η οποία υποδεικνύει εάν η τάση έχει κάποια σημαντική στατιστική σημασία. Η τιμή p -value ορίζει την πιθανότητα να βρεθεί ένα αποτέλεσμα ίσο ή «περισσότερο ακραίο» από ότι είναι στην πραγματικότητα η τιμή που παρατηρήθηκε όταν η μηδενική υπόθεση σε ένα έλεγχο υποθέσεων είναι αληθής (Biau, 2010). Σε κάθε πείραμα ή παρατήρηση που πραγματοποιείται υπάρχει η πιθανότητα ότι το αποτέλεσμα που εξάγεται να συμβαίνει λόγω κάποιου σφάλματος από το δείγμα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε, έτσι είναι σημαντικό να ορίζεται ένα κατώφλι για την τιμή του p -value το οποίο ταυτίζεται με την τιμή α (επίπεδο εμπιστοσύνης) του πειράματος με τιμές συνήθως 0.05 και 0.01. Επομένως, εάν η τιμή του p -value είναι μικρότερη ή ίση από το επίπεδο εμπιστοσύνης που ορίστηκε τότε προκύπτει ότι το παρατηρούμενο αποτέλεσμα είναι ασυμβίβαστο με τη μηδενική υπόθεση η οποία απορρίπτεται και συνάμα, η παρατηρούμενη επίδραση συνάδει με τα πραγματικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και επιτυγχάνεται στατιστική σημαντικότητα.

4.6.3 Sen's slope

Ο υπολογισμός της τάσης αναπτύχθηκε από τον Sen μέσω μιας μη παραμετρικής διαδικασίας. Ο τύπος σε ένα δείγμα N ζευγαριών παρατηρήσεων είναι:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \text{ για } j=1, \dots, N \quad (4.14)$$

Όπου x_j, x_k είναι οι τιμές των παρατηρήσεων τον χρόνο j και k ($j > k$), αντίστοιχα.

- Σε περίπτωση όπου υπάρχει ένα δεδομένο σε κάθε χρονική περίοδο τότε ισχύει:

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (4.15)$$

Όπου n είναι οι αριθμός των χρονικών περιόδων

- Σε περίπτωση όπου υπάρχουν πολλαπλές παρατηρήσεις σε μια ή περισσότερες χρονικές περιόδους τότε ισχύει:

$$N < \frac{n(n-1)}{2} \quad (4.16)$$

Όπου n είναι ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων

Οι N τιμές του Q_i ταξινομούνται από το μικρότερο στο μεγαλύτερο και η διάμεσος της κλίσης (Sen's slope) υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[\frac{N+1}{2}]} & \text{αν το } N \text{ είναι περιττός} \\ \frac{Q_{[\frac{N}{2}] + Q_{[\frac{N+2}{2}]}}{2} & \text{αν το } N \text{ είναι ζυγός} \end{cases} \quad (4.17)$$

Το πρόσημο που παίρνει το Q_{med} υποδεικνύει την τιμή της τάσης και την κλίση που παρουσιάζει. Ο προσδιορισμός κατά πόσο η μέση κλίση είναι στατιστικά αδιάφορη του μηδενός δίνεται από το διάστημα εμπιστοσύνης του Q_{med} και υπολογίζεται ως εξής:

$$C_a = Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{Var(s)} \quad (4.18)$$

Όπου το $Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ δίνεται από τον πίνακα της τυπικής κανονικής κατανομής, και το $Var(s)$ υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Var(s) = \frac{n \cdot (n-1) \cdot (2n+5) - \sum_{i=1}^g t_i \cdot i \cdot (i-1) \cdot (2i+5)}{18} \quad (4.19)$$

Όπου t_i είναι ο αριθμός των τιμών που έχουν την ίδια τιμή στο σύνολο i και g ο αριθμός των συνόλων που έχουν την ίδια τιμή.

Υπολογίζονται οι τιμές $M_1 = \frac{N-C_a}{2}$ και $M_2 = \frac{N+C_a}{2}$, όπου το κατώτερο και ανώτατο όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης της κλίσης Q_{min} και Q_{max} αντίστοιχα, υπολογίζεται ως η κλίση Q_i που βρίσκεται στην θέση M_1 και η κλίση Q_i που βρίσκεται στην θέση $(M_2 + 1)$ της φθίνουσας σειράς $\{Q_i, i = 1, 2, \dots, N\}$, αντίστοιχα

Το Sen's slope είναι στατιστικά αδιάφορο του μηδενός εάν τα δύο όρια του διαστήματος εμπιστοσύνης της κλίσης Q_{min} και Q_{max} , έχουν ίδιο πρόσημο. Η μέθοδος διαλέγει την διάμεσο των κλίσεων σε όλες τις γραμμές που έχουν προκύψει από τα ζευγάρια παρατηρήσεων του δείγματος με το βασικό πλεονέκτημα σε σχέση με άλλες μεθόδους ότι δεν είναι ευαίσθητη σε ακραίες τιμές. (Gocic and Trajkovic, 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αποτελέσματα και συζήτηση

5.1 Αποτελέσματα πειράματος με πλεγματικά δεδομένα

Για την πραγματοποίηση του πειράματος, από τα τέσσερα διαθέσιμα μοντέλα έπρεπε να επιλεγεί ένα το οποίο κατά μέσο όρο δίνει δεδομένα πιο κοντά στα πραγματικά. Αυτό, διαφάνηκε μέσω της σύγκρισης των δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης των σταθμών σε σχέση με αυτά των πλεγματικών μοντέλων. Μέσω της χρήσης στατιστικών δεικτών, αυτό που δίνει κατά μέσο όρο καλύτερα αποτελέσματα είναι το μοντέλο CERRA καθώς υπάρχει μεγαλύτερη συσχέτιση σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Ο συντελεστής συσχέτισης (R), το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMSE), ο συντελεστής αποδοτικότητας (NSE), το mean bias (MB) και το Kling Gupta Efficiency (KGE) για τα μοντέλα CHELSEA, CERRA, ERA5-L και EOBS σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης των τεσσάρων σταθμών, φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 5.1: Στατιστικοί δείκτες μοντέλου CHELSEA

Μοντέλο CHELSEA	R	R ²	RMSE (mm/d)	NSE	MB (mm/d)	Mean % Bias	KGE
BYTINA	0.42	0.17	7.6	0.111	-0.54	-21%	0.293
PIANA	0.60	0.36	7.4	0.351	-0.92	-31%	0.345
PERDIKONERI	0.41	0.17	10.3	0.142	-1.76	-47%	0.067
KARYTAINA	0.45	0.21	7.1	0.180	-0.60	-25%	0.271

Πίνακας 5.2: Στατιστικοί δείκτες μοντέλου CERRA

Μοντέλο CERRA	R	R ²	RMSE (mm/d)	NSE	MB (mm/d)	Mean % Bias	KGE
BYTINA	0.63	0.40	6.3	0.367	-0.20	-8%	0.592
PIANA	0.23	0.06	10.0	-0.290	-0.40	-13%	0.208
PERDIKONERI	0.33	0.11	11.0	0.003	-1.27	-34%	0.165
KARYTAINA	0.54	0.29	7.2	0.149	0.02	1%	0.523

Πίνακας 5.3: Στατιστικοί δείκτες μοντέλου ERA5-L

Μοντέλο ERA5-L	R	R ²	RMSE (mm/d)	NSE	MB (mm/d)	Mean % Bias	KGE
BYTINA	0.04	0.00	9.3	-0.323	-0.40	-15%	-0.054
PIANA	-0.03	0.00	10.5	-0.302	-0.93	-32%	-0.178
PERDIKONERI	0.28	0.08	11.0	0.019	-1.31	-35%	0.042
KARYTAINA	0.50	0.25	7.0	0.210	-0.24	-10%	0.402

Πίνακας 5.4: Στατιστικοί δείκτες μοντέλου EOBS

Μοντέλο EOBS	R	R ²	RMSE (mm/d)	NSE	MB (mm/d)	Mean % Bias	KGE
BYTINA	0.06	0.00	9.1	-0.271	-0.79	-30%	-0.070
PIANA	-0.01	0.00	11.4	-0.258	-1.31	-45%	-0.211

PERDIKONERI	0.36	0.17	9.6	0.142	-2.01	-54%	0.011
KARYTAINA	0.53	0.28	6.7	0.274	-0.66	-28%	0.309

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω πίνακες όσον αφορά τον συντελεστής συσχέτισης (R), τα μοντέλα CERRA και CHELSEA δίνουν τις πιο κοντινές τιμές στη βέλτιστη τιμή ένα (1) κατά μέσο όρο σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα. Ωστόσο, κατά γενική εικόνα κανένα από τα μοντέλα δε δίνει αρκετά υψηλές τιμές.

Το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας (RMSE) υπολογίζει τη ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ των τιμών που εκτιμήθηκαν από το μοντέλο σε σχέση με τις πραγματικές τιμές επομένως, όσο πιο μικρές είναι οι τιμές του RMSE τόσο πιο αξιόπιστο είναι το μοντέλο. Κατά μέσο όρο και τα τέσσερα μοντέλα είχαν παρόμοια εικόνα, με το μοντέλο CHELSA να παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερες τιμές. Επομένως, ο συντελεστής αυτός δεν είχε καθοριστικό ρόλο στην επιλογή του βέλτιστου μοντέλου.

Ο συντελεστής αποδοτικότητας (NSE) είναι στατιστικός δείκτης ο οποίος καθορίζει το σχετικό μέγεθος της υπολειπόμενης διακύμανσης γνωστό και ως «Θόρυβος» σε σύγκριση με τις πραγματικές τιμές. Όσο πιο κοντά στο ένα (1), η οποία είναι η τιμή που αποτελεί την τέλεια αντιστοιχία μεταξύ του μοντέλου σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα τόσο πιο ακριβής είναι το μοντέλο. Τα μοντέλα CERRA και CHELSEA δίνουν τις πιο βέλτιστες τιμές κατά μέσο όρο σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα, με το μοντέλο CHELSEA να υπερτερεί του CERRA.

Το mean bias error (MB) χρησιμοποιείται συχνά για τον υπολογισμό της απόκλισης του μοντέλου σε σχέση με τις πραγματικές τιμές. Επομένως, όσο πιο χαμηλό είναι τόσο πιο αξιόπιστο θεωρείται το μοντέλο. Σε εκατοστιαία βάση το μοντέλο CERRA παρουσιάζει τη μικρότερη απόκλιση σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα.

Το kling gupta efficiency (KGE) αποτελεί ένα σημαντικό στατιστικό παράγοντα που υποδεικνύει την αξιοπιστία ενός μοντέλου στον τομέα της υδρολογίας. Αρνητικές τιμές του KGE συνήθως οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για λιγότερο αξιόπιστα αποτελέσματα ενώ όσο πιο κοντά είναι στην τιμή ένα (1) είναι πιο αξιόπιστα. Τα μοντέλα CHELSA και CERRA φαίνονται να είναι πιο αξιόπιστα σε σχέση με τα υπόλοιπα ωστόσο, το CERRA υπερτερεί καθώς στους τρεις από τους τέσσερις σταθμούς δίνει υψηλότερες τιμές.

Συμφώνα με τους πιο πάνω παράγοντες, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα μοντέλα CHELSA και CERRA υπερτερούν στις πλείστες περιπτώσεις σε σχέση με τα μοντέλα ERA5-L και EOBS που φαίνονται να είναι λιγότερα αξιόπιστα. Η εκπλήρωση του πειράματος με τα πλεγματικά δεδομένα, θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση του μοντέλου CERRA καθώς σημαντικοί στατιστικοί δείκτες όπως το mean bias error (MB) και το kling gupta efficiency (KGE) δίνουν πιο συνεπής τιμές ως προς την αξιοπιστία του μοντέλου.

5.2 Πείραμα συμπλήρωσης με χρήση μοντέλου CERRA

Σε αυτό το μέρος, εξετάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος συμπλήρωσης χρονοσειρών με τη χρήση του πλεγματικού μοντέλου CERRA και συγκρίνονται με αυτά που προέκυψαν χωρίς τη χρήση δεδομένων του μοντέλου. Επομένως, θα διαπιστωθεί κατά ποσό αυτή η διαδικασία οδηγεί σε βελτίωση των στατιστικών χαρακτηριστικών μεταξύ των εκτιμώμενων και πραγματικών τιμών. Τα αποτελέσματα χωρίζονται σε υγρά, κανονικά και ξηρά έτη ούτως ώστε να διερευνηθεί εάν έχουμε κάποια βελτίωση και στις τρεις περιπτώσεις συμπλήρωσης.

5.2.1 Υγρά έτη

Πίνακας 5.5: Στατιστικοί δείκτες σε υγρό υδρολογικό έτος (χωρίς CERRA)

ΧΩΡΙΣ CERRA	R	R ²	RMSE (mm/d)	NSE	MB (mm/d)	Mean % Bias	KGE
BYTINA	0.53	0.28	9.2	0.267	-1.88	-38%	0.237
PIANA	0.42	0.18	9.3	0.142	-1.76	-41%	0.140
PERDIKONERI	0.63	0.40	10.6	0.297	-3.71	-52%	0.150
KARYTAINA	0.57	0.33	9.0	0.308	-0.97	-28%	0.253

Πίνακας 5.6: Στατιστικοί δείκτες σε υγρό υδρολογικό έτος (με CERRA)

CERRA	R	R ²	RMSE (mm/d)	NSE	MB (mm/d)	Mean % Bias	KGE
BYTINA	0.61	0.38	8.6	0.361	-1.61	-33%	0.308
PIANA	0.43	0.18	9.2	0.144	-1.83	-43%	0.134
PERDIKONERI	0.64	0.41	10.6	0.304	-3.67	-52%	0.145
KARYTAINA	0.66	0.44	8.4	0.396	-0.66	-19%	0.340

Με τη χρήση του μοντέλου CERRA ο συντελεστής συσχέτισης (R) παρουσιάζεται ελαφρώς βελτιωμένος και στους τέσσερις σταθμούς με τη μεγαλύτερη βελτίωση να την έχει ο σταθμός Karytaina καθώς από 0.57 αυξήθηκε σε 0.66. Το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας Root Mean Squared Error (RMSE) παραμένει στα ίδια επίπεδα με τη μεγαλύτερη βελτίωση να παρουσιάζεται στους σταθμούς Bytina και Karytaina με μείωση κατά 0.6 mm/d. Ο συντελεστής αποδοτικότητας Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) παρουσιάζει βελτίωση και στους τέσσερις σταθμούς καθώς έχει αυξημένες τιμές, με τη μεγαλύτερη διαφορά να αφορά αύξηση από 0.267 σε 0.361. Όσον αφορά το mean bias (MB) έχει μειωθεί σε δύο σταθμούς ενώ στους υπόλοιπους παραμένει στο ίδιο επίπεδο. Τέλος, το kling gupta efficiency (KGE) παρουσιάζει σημαντική βελτίωση σε δύο σταθμούς με αύξηση από 0.253 σε 0.340 στον σταθμό Karytaina και από 0.237 σε 0.308 στον σταθμό Bytina.

5.2.2 Κανονικά έτη

Πίνακας 5.7: Στατιστικοί δείκτες σε κανονικό υδρολογικό έτος (χωρίς CERRA)

ΧΩΡΙΣ CERRA	R	R ²	RMSE (mm/d)	NSE	MB (mm/d)	Mean % Bias	KGE
BYTINA	0.84	0.70	6.7	0.571	-0.86	-31%	0.376
PIANA	0.36	0.13	8.1	0.104	-1.42	-47%	0.007
PERDIKONERI	0.60	0.36	8.0	0.259	-2.32	-58%	0.080
KARYTAINA	0.41	0.17	8.2	0.015	0.07	3%	0.376

Πίνακας 5.8: Στατιστικοί δείκτες σε κανονικό υδρολογικό έτος (με CERRA)

CERRA	R	R ²	RMSE (mm/d)	NSE	MB (mm/d)	Mean % Bias	KGE
BYTINA	0.84	0.70	6.2	0.634	-0.37	-14%	0.532
PIANA	0.37	0.13	8.1	0.104	-1.45	-48%	0.008
PERDIKONERI	0.61	0.37	7.9	0.280	-2.14	-53%	0.118
KARYTAINA	0.41	0.17	8.2	0.022	0.07	3%	0.370

Με τη χρήση του μοντέλου CERRA ο συντελεστής συσχέτισης (R) παραμένει σταθερός και στους τέσσερις σταθμούς χωρίς κάποια αξιολογή μεταβολή. Το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας Root Mean Squared Error (RMSE) παραμένει στα ίδια επίπεδα με τη μεγαλύτερη βελτίωση να αφορά τον σταθμό Bytina με μείωση κατά 0.5 mm/day. Ο συντελεστής αποδοτικότητας Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) παρουσιάζει βελτίωση σε τρεις σταθμούς καθώς έχει μεγαλύτερες τιμές, με τη μεγαλύτερη αύξηση να την έχουν οι σταθμοί Bytina από 0.571 σε 0.634 και Perdikoneri από 0.259 σε 0.280. Το mean bias (MB) έχει μειωθεί σε δύο σταθμούς εκ των οποίων ο ένας σημαντικά, καθώς στον σταθμό Bytina μειώθηκε από -31% σε -14% ενώ στους υπόλοιπους παραμένει στο ίδιο επίπεδο. Τέλος, το kling gupta efficiency (KGE) παρουσιάζει σημαντική βελτίωση σε δύο σταθμούς με αύξηση από 0.376 σε 0.532 στον σταθμό Bytina και από 0.08 σε 0.118 στον σταθμό Perdikoneri.

5.2.3 Ξηρά έτη

Πίνακας 5.9: Στατιστικοί δείκτες σε ξηρό υδρολογικό έτος (χωρίς CERRA)

ΧΩΡΙΣ CERRA	R	R ²	RMSE (mm/d)	NSE	MB (mm/d)	Mean % Bias	KGE
BYTINA	0.37	0.14	7.0	0.105	-0.70	-36%	0.143
PIANA	0.67	0.44	6.5	0.403	-0.90	-36%	0.299
PERDIKONERI	0.17	0.03	9.7	-0.119	-0.98	-31%	-0.002
KARYTAINA	0.59	0.35	5.1	0.346	0.11	6%	0.389

Πίνακας 5.10: Στατιστικοί δείκτες σε ξηρό υδρολογικό έτος (με CERRA)

CERRA	R	R ²	RMSE (mm/d)	NSE	MB (mm/d)	Mean % Bias	KGE
BYTINA	0.81	0.65	4.5	0.621	-0.22	-11%	0.568
PIANA	0.67	0.45	6.5	0.406	-0.96	-38%	0.287
PERDIKONERI	0.19	0.04	9.6	-0.102	-0.83	-26%	0.034
KARYTAINA	0.58	0.33	5.2	0.332	0.08	4%	0.391

Με τη χρήση του μοντέλου CERRA ο συντελεστής συσχέτισης (R) παραμένει σταθερός στους τρεις από τους τέσσερις σταθμούς ωστόσο, ο σταθμός Bytina παρουσιάζει αρκετά μεγάλη βελτίωση καθώς αυξήθηκε από 0.37 σε 0.81. Το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας Root Mean Squared Error (RMSE) παραμένει στα ίδια επίπεδα, με τη μεγαλύτερη βελτίωση να αφορά τον σταθμό Bytina όπου μειώθηκε κατά 2.5 mm/day. Ο συντελεστής αποδοτικότητας Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) παρουσιάζει βελτίωση και στους τέσσερις σταθμούς καθώς έχει μεγαλύτερες τιμές, με τον σταθμό Bytina να παρουσιάζει σημαντική αύξηση από 0.105 σε 0.621. Το mean bias (MB) έχει μειωθεί σε τρεις σταθμούς εκ των οποίων ο ένας σημαντικά, καθώς στον σταθμό Bytina μειώθηκε από -36% σε -11%. Τέλος, το kling gupta efficiency (KGE) παρουσιάζει σημαντική βελτίωση σε δύο σταθμούς με αύξηση από 0.143 σε 0.568 στον σταθμό Bytina και από -0.002 σε 0.034 στον σταθμό Perdikoneri.

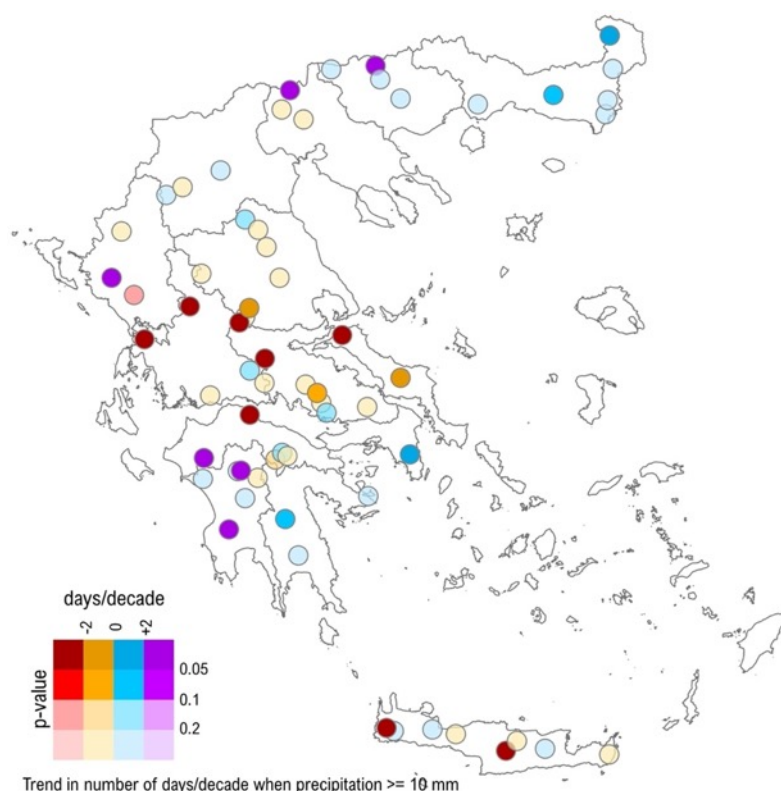
5.2.4 Σύνοψη πειράματος

Συμφώνα με το πείραμα που πραγματοποιήθηκε, η χρήση πλεγματοειδούς μοντέλου και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση του CERRA, η διαδικασία συμπλήρωσης παρουσιάζει βελτίωση σε σχέση με τη συμπλήρωση απουσίας του μοντέλου. Αυτό μπορεί να διαπιστωθεί από το γεγονός ότι στις πλείστες περιπτώσεις οι στατιστικοί συντελεστές παρουσιάζουν βελτιωμένες τιμές. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η βελτίωση δεν είναι τόσο εμφανής και οι δείκτες παραμένουν στα ίδια επίπεδα επομένως, το μοντέλο CERRA δεν επηρεάζει αρνητικά τη διαδικασία της συμπλήρωσης. Επίσης, το πείραμα πραγματοποιήθηκε τόσο σε υγρά, κανονικά και ξηρά έτη και διαπιστώθηκε ότι η διαδικασία δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από αυτό και είναι εξίσου αποτελεσματική και στις τρεις περιπτώσεις. Συμφωνά με τα πιο πάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για μια αξιόπιστη μέθοδο συμπλήρωσης για αυτό και το μοντέλο CERRA θα χρησιμοποιηθεί και για τη συμπλήρωση των υπολοίπων σταθμών που επιλέχθηκαν.

5.3 Τάση δεικτών βροχόπτωσης Climdex – Χάρτες

Αυτό που μελετήθηκε μέσω των δεικτών είναι η τάση ανά δεκαετία στον Ελλαδικό χώρο ξεχωριστά για τον κάθε ένα από τους δείκτες που επιλέχθηκαν. Παρακάτω ακολουθούν οι χάρτες για τον κάθε δείκτη αντίστοιχα, όπου αναλόγως της τάσης απεικονίζεται με γαλάζιο και μοβ όταν η τάση είναι αυξητική ενώ με πορτοκαλί και κόκκινο όταν είναι πτωτική. Επίσης, όσο πιο έντονο είναι ένα χρώμα υποδεικνύει και μεγαλύτερη στατιστική σημασία, δηλαδή η τιμή p-value είναι πιο κοντά στο επίπεδο εμπιστοσύνης ($p\text{-value} \leq 0.05$).

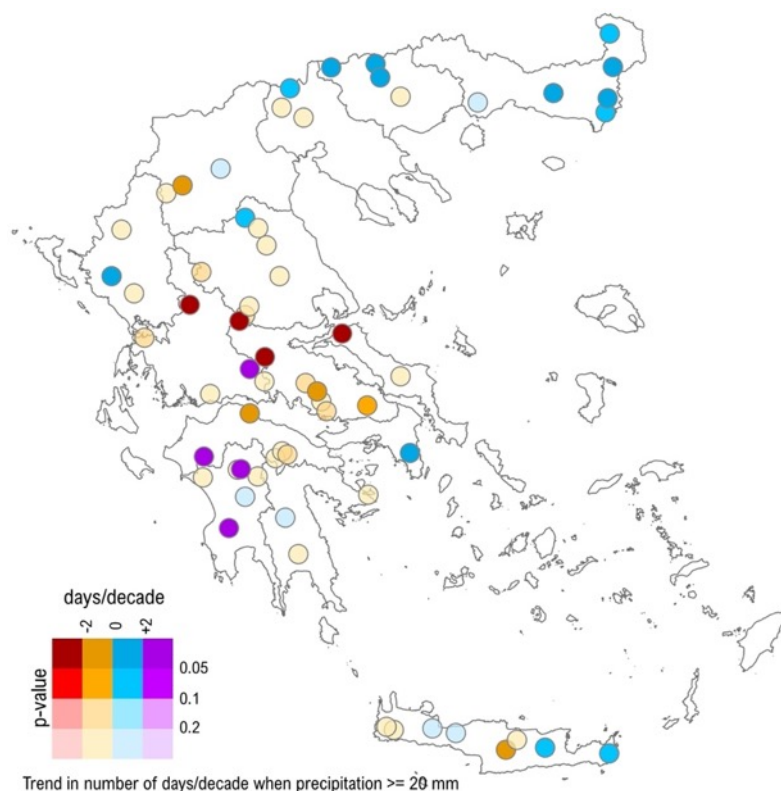
5.3.1 Δείκτης R10mm



Εικόνα 5.1: Χάρτης με τάση δείκτη R10mm

Ο δείκτης R10mm εκφράζει την καταγραφή ημερών με κατακρήμνιση μεγαλύτερη ή ίση των 10 χιλιοστών, με τον παραπάνω χάρτη στην εικόνα 5.1 να απεικονίζει την τάση ανά δεκαετία στον Ελλαδικό χώρο. Κατά γενική εικόνα με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς παρατηρείται πτωτική τάση της τάξεως -0.79 days/decade ωστόσο, σε ορισμένες περιοχές και σταθμούς η τάση είναι αυξητική. Πιο συγκεκριμένα στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη όλοι οι σταθμοί ενδιαφέροντος παρουσιάζουν αυξητική τάση ενώ στην Κεντρική και Δυτική Μακεδονία υπάρχει αρνητική και αυξητική τάση αντίστοιχα. Τόσο στην Ήπειρο όσο και στη Θεσσαλία υπάρχει αρνητική τάση ενώ βόρεια της Στερεάς και Δυτικής Ελλάδας η αρνητική τάση είναι ακόμη πιο έντονη με την εικόνα να αλλάζει όσο προχωράμε από τα νότια μέχρι και την Πελοπόννησο όπου η τάση αλλάζει και γίνεται αυξητική. Όσον αφορά την Κρήτη δεν υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα καθώς υπάρχουν σταθμοί με αρνητικές και αυξητικές τάσεις ωστόσο οι σταθμοί που έχουν μεγαλύτερη στατιστική σημασία έχουν αρνητική.

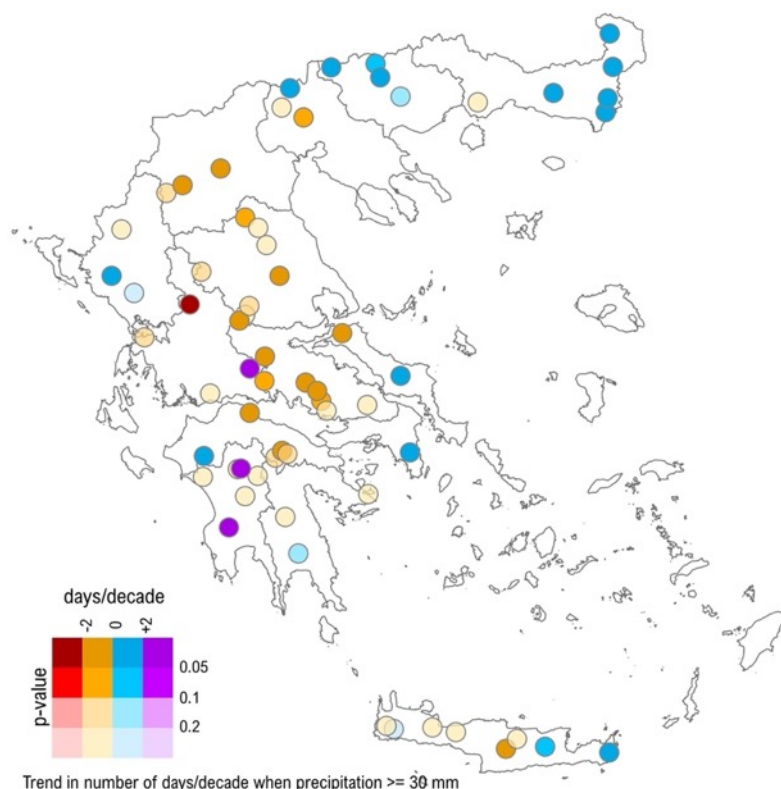
5.3.2 Δείκτης R20mm



Εικόνα 5.2: Χάρτης με τάση δείκτη R20mm

Ο δείκτης R20mm εκφράζει την καταγραφή ημερών με κατακρήμνιση μεγαλύτερη ή ίση των 20 χιλιοστών, με τον παραπάνω χάρτη στην εικόνα 5.2 να απεικονίζει την τάση ανά δεκαετία στον Ελλαδικό χώρο. Σε γενικές γραμμές Βόρεια και Νότια της Ελλάδας υπάρχει αυξητική τάση ενώ στην κεντρική Ελλάδα είναι κυρίως πτωτική. Λαμβάνοντας υπόψη της τιμές των στατιστικά σημαντικών σταθμών η τάση είναι αυξητική της τάξεως 0.62 days/decade. Πιο συγκεκριμένα, στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη όλοι οι σταθμοί ενδιαφέροντος παρουσιάζουν αυξητική τάση σε αντίθεση με την Κεντρική και Δυτική Μακεδονία, Ήπειρο και Θεσσαλία όπου υπάρχει πτωτική τάση με εξαίρεση μερικούς σταθμούς. Ακόμα πιο έντονη πτωτική τάση παρατηρείται στην κεντρική Ελλάδα όπου η εικόνα είναι ακόμα πιο ξεκάθαρη όσον αφορά την τάση με εξαίρεση την Αττική όπου είναι αυξητική. Όσον αφορά την Πελοπόννησο υπάρχουν περισσότεροι σταθμοί με αυξητική τάση σε σχέση με τους σταθμούς που έχουν πτωτική, ενώ στην Κρήτη δεν υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα ωστόσο, οι σταθμοί με μεγαλύτερη στατιστική σημασία υποδεικνύουν αυξητικές τάσεις στα ανατολικά του νησιού.

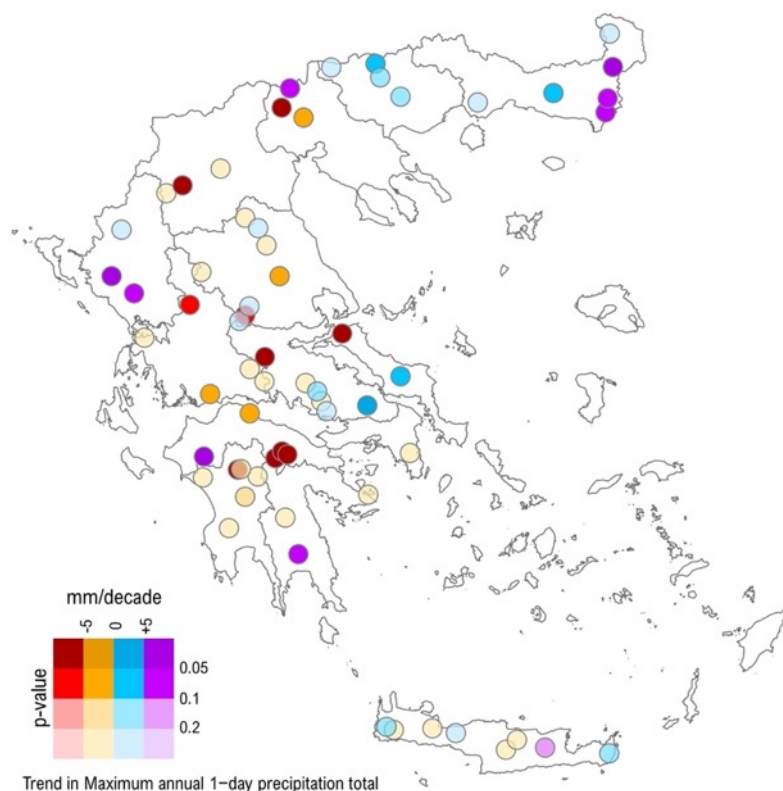
5.3.3 Δείκτης R30mm



Εικόνα 5.3: Χάρτης με τάση δείκτη R30mm

Ο δείκτης R30mm εκφράζει την καταγραφή ημερών με κατακρήμνιση μεγαλύτερη ή ίση των 30 χιλιοστών, με τον παραπάνω χάρτη στην εικόνα 5.3 να απεικονίζει την τάση ανά δεκαετία στον Ελλαδικό χώρο. Κατά γενική εικόνα υπάρχει αυξητική τάση του δείκτη στην επικράτεια του Ελλαδικού χώρου της τάξεως 0.42 days/decade, ωστόσο παρατηρείται και πτωτική τάση σε αρκετές περιοχές κυρίως στα κεντρικά της χώρας. Πιο συγκεκριμένα, η Ανατολική Μακεδονία και Θράκη υποδεικνύουν αυξητική τάση με τους σταθμούς να έχουν σημαντική στατιστική σημασία. Η εικόνα αλλάζει στις περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας, της Θεσσαλίας και της Κεντρικής Ελλάδας όπου οι πλείστοι σταθμοί παρουσιάζουν πτωτική τάση με αρκετούς από αυτούς να έχουν παράλληλα και σημαντική στατιστική σημασία με εξαίρεση την περιοχή της Ηπείρου και της Αττικής όπου υπάρχει αυξητική τάση. Όσον αφορά την Πελοπόννησο η εικόνα είναι ανάμεικτη καθώς ενώ υπάρχουν αρκετοί σταθμοί με πτωτική τάση, οι σταθμοί με πιο μεγάλη στατιστική σημασία βρίσκονται στη δυτική περιφέρεια και έχουν αυξητική τάση. Στην Κρήτη με εξαίρεση το ανατολικό τμήμα όπου υπάρχουν σταθμοί με αυξητική τάση, οι υπόλοιποι παρουσιάζουν πτωτική.

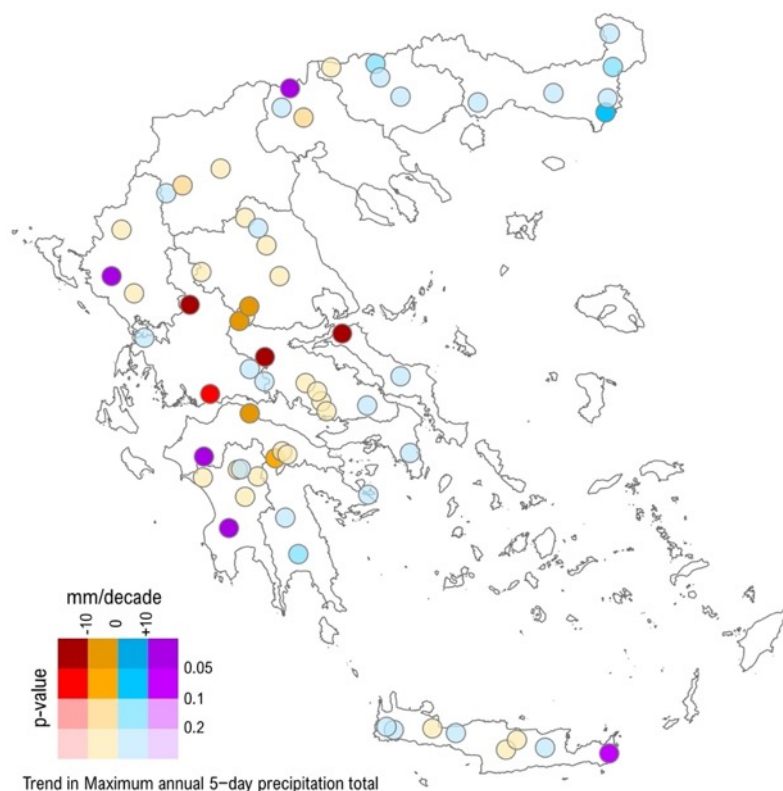
5.3.4 Δείκτης Rx1day



Εικόνα 5.4: Χάρτης με τάση δείκτη rx1day

Ο δείκτης RX1day annual δίνει τη μέγιστη ετήσια καταγραφή κατακρήμνισης και η τάση του ανά δεκαετία φαίνεται στον παραπάνω χάρτη στην εικόνα 5.4. Οι στατιστικά σημαντικοί σταθμοί είναι σε μικρό αριθμό και υποδεικνύουν πτωτική τάση της τάξεως -3.3 mm/decade. Η γενικότερη εντύπωση που αφήνει ο συγκεκριμένος δείκτης είναι πως οι πλείστοι σταθμοί παρουσιάζουν πτωτική τάση και αφορούν μεγάλη έκταση του ελλαδικού χώρου με εξαίρεση μερικές περιοχές. Αναλυτικότερα, ξεκινώντας από βόρεια και συγκεκριμένα από την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη όλοι οι σταθμοί παρουσιάζουν αυξητική τάση η οποία είναι πιο εμφανής στο ανατολικό κομμάτι της περιοχής. Η Κεντρική και Δυτική Μακεδονία παρουσιάζουν κυρίως πτωτική τάση ενώ στην Ήπειρο οι σταθμοί με σημαντική στατιστική σημασία δίνουν αυξητική τάση. Στη Θεσσαλία παρόλο που δεν υπάρχουν αρκετοί σταθμοί με σημαντική στατιστική σημασία οι πλείστοι υποδεικνύουν πτωτική τάση. Στην κεντρική Ελλάδα με εξαίρεση ορισμένους σταθμούς στο Ανατολικό κομμάτι όπου η τάση είναι αυξητική, οι υπόλοιποι έχουν πτωτική τάση ενώ παρόμοια εικόνα επικρατεί και στην Πελοπόννησο. Όσον αφορά την Κρήτη, δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικοί σταθμοί για τον συγκεκριμένο δείκτη και η εικόνα είναι ανάμεικτη με αυξητικές τάσεις να παρατηρούνται στα Δυτικά και Ανατολικά του νησιού ενώ στα κεντρικά δεν υπάρχει ξεκάθαρο συμπέρασμα.

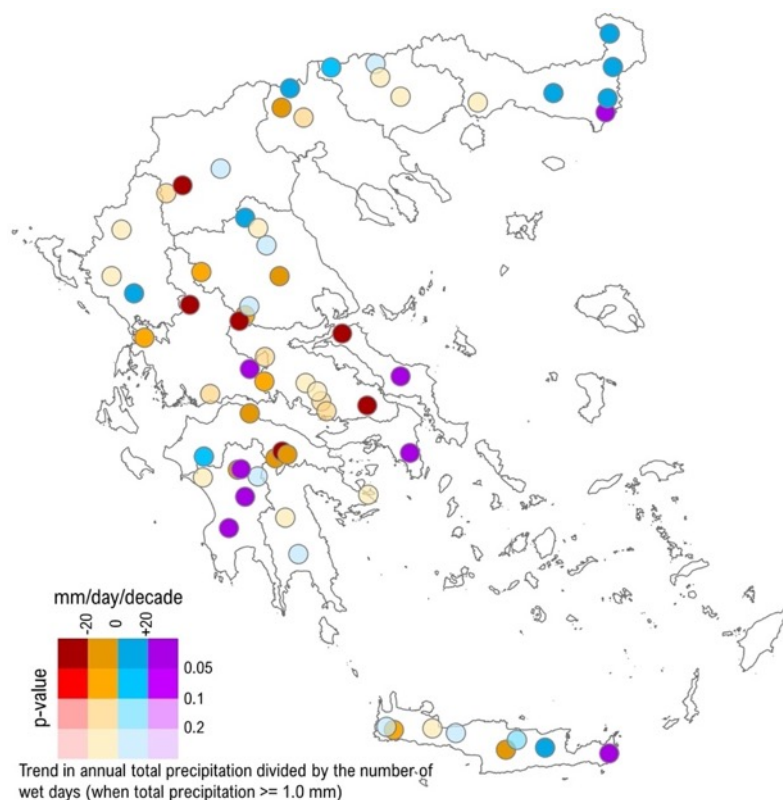
5.3.5 Δείκτης Rx5days



Εικόνα 5.5: Χάρτης με τάση δείκτη rx5day

Ο δείκτης RX5day annual δίνει τη μέγιστη ετήσια ποσότητα κατακρήμνισης σε διάστημα 5 συνεχόμενων ημερών και η τάση του ανά δεκαετία φαίνεται στον παραπάνω χάρτη στην εικόνα 5.5. Κατά γενική εικόνα και με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς υπάρχει πτωτική τάση της τάξεως -1.59 mm/decade ωστόσο, η τάση διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Ξεκινώντας από το βόρειο τμήμα της χώρας και συγκεκριμένα από την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη η τάση είναι αυξητική σε όλους τους σταθμούς ενώ στην Κεντρική Μακεδονία παρόλο που υπάρχει σημείο με αρνητική τάση ο σταθμός με τη μεγαλύτερη στατιστική σημασία παρουσιάζει αυξητική τάση. Όσον αφορά τις περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας, την Ήπειρο και τη Θεσσαλία οι πλείστοι σταθμοί υποδεικνύουν πτωτική τάση, ενώ στην κεντρική Ελλάδα η εικόνα είναι ανάμεικτη καθώς η Δυτική Ελλάδα στο δυτικό τμήμα και η Αττική περιέχουν σταθμούς με αυξητική τάση σε αντίθεση με τη Στερεά Ελλάδα όπου οι περισσότεροι σταθμοί είναι με πτωτική. Η Πελοπόννησος περιέχει σταθμούς με πτωτική τάση στα Βόρεια και με αυξητική τάση στα νότια, ωστόσο οι στατιστικά σημαντικότεροι από αυτούς είναι με αυξητική τάση. Στην Κρήτη η γενική εικόνα που επικρατεί είναι ότι υπάρχει αυξητική τάση με εξαίρεση ορισμένους σταθμούς στα κεντρικά του νησιού.

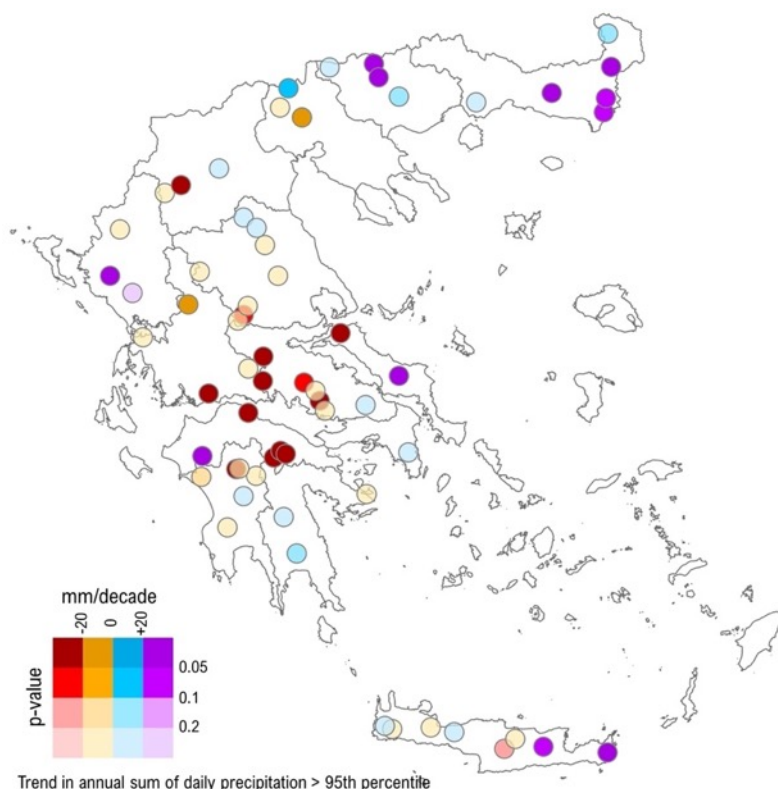
5.3.6 Δείκτης SDII



Εικόνα 5.6: Χάρτης με τάση δείκτη sdii

Ο δείκτης SDII δηλώνει τη μέση ετήσια ένταση της βροχοπτώσης μεγαλύτερης του 1 mm και η τάση του ανά δεκαετία φαίνεται στον παραπάνω χάρτη 5.6. Ο μέσος όρος της τάσης του δείκτη με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς είναι θετική με τιμή 0.34 mm/day/decade. Η εξέλιξη του δείκτη παρουσιάζει αυξητική τάση κυρίως στα βόρεια και νότια της χώρας ενώ στις κεντρικές περιοχές η εικόνα διαφέρει. Αναλυτικότερα, η Ανατολική Μακεδονία και Θράκη υποδεικνύουν αυξητική τάση με τους σταθμούς να έχουν σημαντική στατιστική σημασία. Η εικόνα αλλάζει στις περιοχές της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας και Θεσσαλίας όπου οι σταθμοί δίνουν ανάμεικτα αποτελέσματα και δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο απόλυτο συμπέρασμα όσον αφορά την τάση ωστόσο, οι περισσότεροι στατιστικά σημαντικοί σταθμοί έχουν πτωτική τάση. Στην Ήπειρο επικρατούν οι σταθμοί με πτωτική τάση αλλά υπάρχει σταθμός με μεγαλύτερη στατιστική σημασία που έχει αυξητική. Η Κεντρική Ελλάδα αποτελείται από αρκετούς σταθμούς που έχουν πτωτική τάση με εξαίρεση την Αττική, ενώ όσον αφορά την Πελοπόννησο στα βόρεια υπάρχει πτωτική τάση σε αντίθεση με το δυτικό κομμάτι όπου υπάρχει αυξητική. Τέλος, στο νησί της Κρήτης κυριαρχεί η αυξητική τάση με εξαίρεση μερικούς σταθμούς.

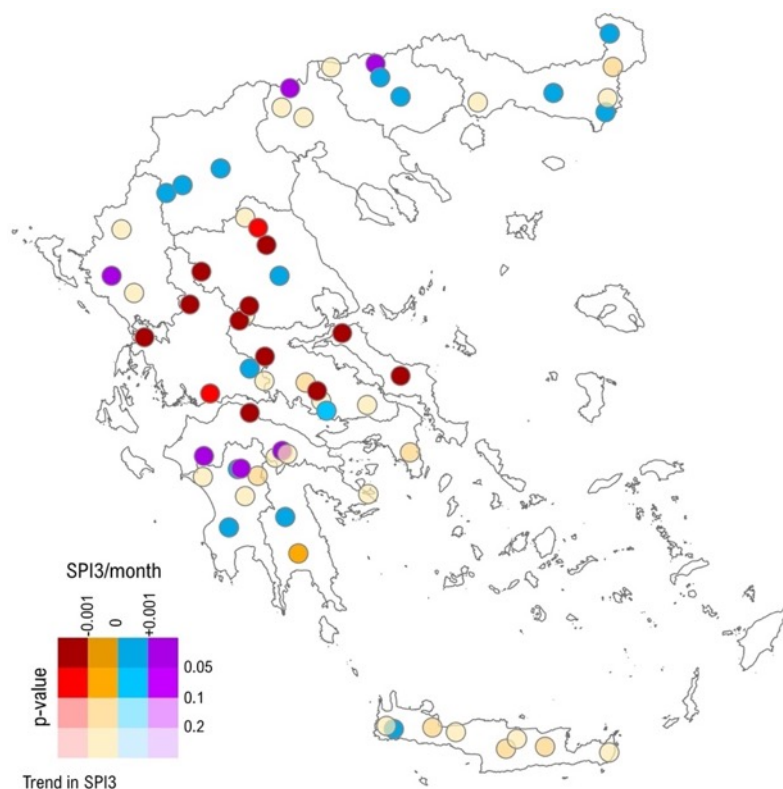
5.3.7 Δείκτης PRCPTOT



Εικόνα 5.7: Χάρτης με τάση δείκτη prcptot

Ο δείκτης PRCPTOT δίνει την ολική ετήσια βροχόπτωση για μέρες με κατακρήμνιση μεγαλύτερης του 1 mm και η τάση του ανά δεκαετία φαίνεται στον παραπάνω χάρτη 5.8. Γενικά παρουσιάζονται διαφορετικές συνθήκες σε διάφορες περιοχές της χώρας με τη μέση τάση των στατιστικά σημαντικών σταθμών να είναι πτωτική με τιμή -4.32 mm/decade. Πιο συγκεκριμένα, η Ανατολική Μακεδονία και Θράκη υποδεικνύουν ισχυρή αυξητική τάση με αρκετούς από τους σταθμούς να έχουν σημαντική στατιστική σημασία ενώ στην Κεντρική και Δυτική Μακεδονία οι πλείστοι σταθμοί υποδεικνύουν πτωτική τάση. Στην Ήπειρο οι περισσότεροι σταθμοί παρουσιάζουν αυξητική τάση εκ των οποίων ο ένας με σημαντική στατιστική σημασία έχει ισχυρή αυξητική τάση, ενώ στη Θεσσαλία υπάρχει αυξητική τάση στα βόρεια και πτωτική στην υπόλοιπη περιφέρεια. Στη Στερεά και Δυτική Ελλάδα σχεδόν όλοι οι σταθμοί υποδεικνύουν ισχυρή πτωτική σε αντίθεση με την Αττική η οποία παρουσιάζει αυξητική. Όσον αφορά την Πελοπόννησο, στα βόρεια η τάση είναι κυρίως πτωτική με τους υπόλοιπους σταθμούς της περιοχής να παρουσιάζουν ελαφρά αυξητική τάση. Στην Κρήτη εκτός από τους σταθμούς που βρίσκονται στα ανατολικά του νησιού και παρουσιάζουν ισχυρή αυξητική τάση δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα από τους υπόλοιπους καθώς δίνουν ανάμεικτα αποτελέσματα.

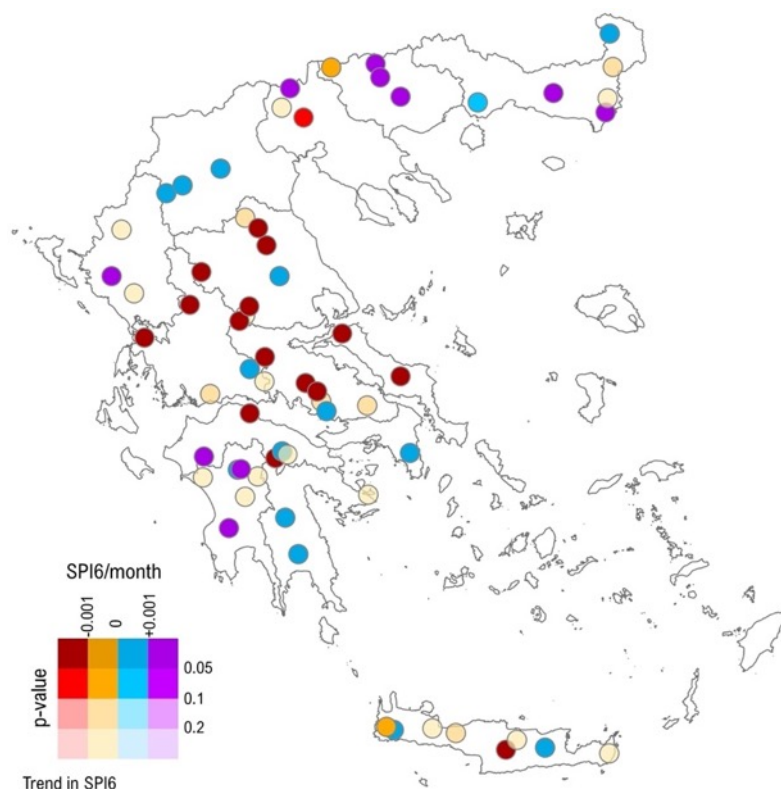
5.3.8 Δείκτης SPI3



Εικόνα 5.8: Χάρτης με τάση δείκτη spi3

Ο δείκτης SPI3 είναι δείκτης παρακολούθησης ξηρασίας με τον οποίο είναι εφικτή η καταγραφή της έντασης και έκτασης επεισοδίων ξηρασίας καθώς και την πιθανότητα εμφάνισης τους γνωρίζοντας τη βροχόπτωση των προηγούμενων 3 μηνών. Η τάση του φαίνεται στον παραπάνω χάρτη στην εικόνα 5.8 και η γενική εικόνα του δείκτη είναι πώς σε αρκετές περιοχές υπάρχει πτωτική τάση και επομένως τα επεισόδια ξηρασίας έχουν αυξηθεί. Αναλυτικότερα, στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς η τάση είναι αυξητική, στην Κεντρική Μακεδονία όσο και στην Ήπειρο οι περισσότεροι σταθμοί έχουν πτωτική τάση χωρίς μεγάλη στατιστική σημασία ωστόσο, υπάρχει η παρουσία ενός πιο σημαντικού σταθμού που παρουσιάζει ισχυρή αυξητική τάση. Αυξητική τάση υποδεικνύουν και οι σταθμοί της Δυτικής Μακεδονίας ενώ στη Θεσσαλία και κεντρική Ελλάδα οι πλείστοι σταθμοί παρουσιάζουν ισχυρή πτωτική τάση. Η εικόνα αλλάζει στην Πελοπόννησο, όπου οι περισσότεροι στατιστικά σημαντικοί σταθμοί έχουν αυξητική τάση. Τέλος, όσον αφορά την Κρήτη ο δείκτης παρουσιάζει πτωτική τάση σε όλη την επικράτεια με εξαίρεση έναν σταθμό στα δυτικά του νησιού.

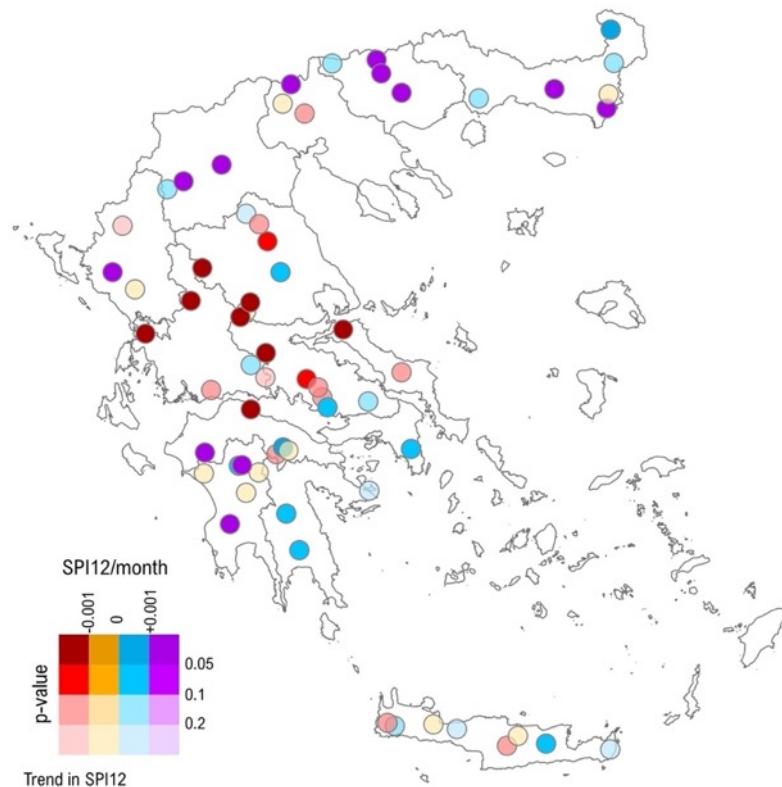
5.3.9 Δείκτης SPI6



Εικόνα 5.9: Χάρτης με τάση δείκτη spi6

Ο δείκτης SPI6 είναι δείκτης παρακολούθησης ξηρασίας με τον οποίο είναι εφικτή η καταγραφή της έντασης και έκτασης επεισοδίων ξηρασίας καθώς και την πιθανότητα εμφάνισης τους γνωρίζοντας τη βροχόπτωση των προηγούμενων 6 μηνών. Η τάση του φαίνεται στον παραπάνω χάρτη στην εικόνα 5.9 και η γενική εικόνα που αφήνει ο δείκτης είναι πολύ παρόμοια με αυτή του SPI3 στις πλείστες περιοχές. Ωστόσο, αυτό που παρατηρείται είναι πώς ορισμένοι σταθμοί σε σχέση με τον προηγούμενο δείκτη έχουν μεγαλύτερη αυξητική τάση και επομένως τα επεισόδια ξηρασίας είναι πιο πιθανόν να μειωθούν. Πιο συγκεκριμένα, στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη η αυξητική τάση του δείκτη είναι ακόμα πιο μεγάλη κυρίως στα δυτικά ενώ όσον αφορά τις υπόλοιπες περιοχές της Μακεδονίας, της Ηπείρου και Θεσσαλίας δεν παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές. Επίσης, ούτε στην κεντρική Ελλάδα παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές με εξαίρεση την Αττική η οποία έχει πλέον αυξητική τάση. Στη Θεσσαλονίκη αυτό που αλλάζει είναι ότι σε σχέση με το SPI3 είναι ότι υπάρχει μεγαλύτερη αυξητική τάση σε ορισμένους σταθμούς ενώ όσον αφορά την Κρήτη η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι ορισμένοι σταθμοί παρουσιάζουν μεγαλύτερη στατιστική σημασία.

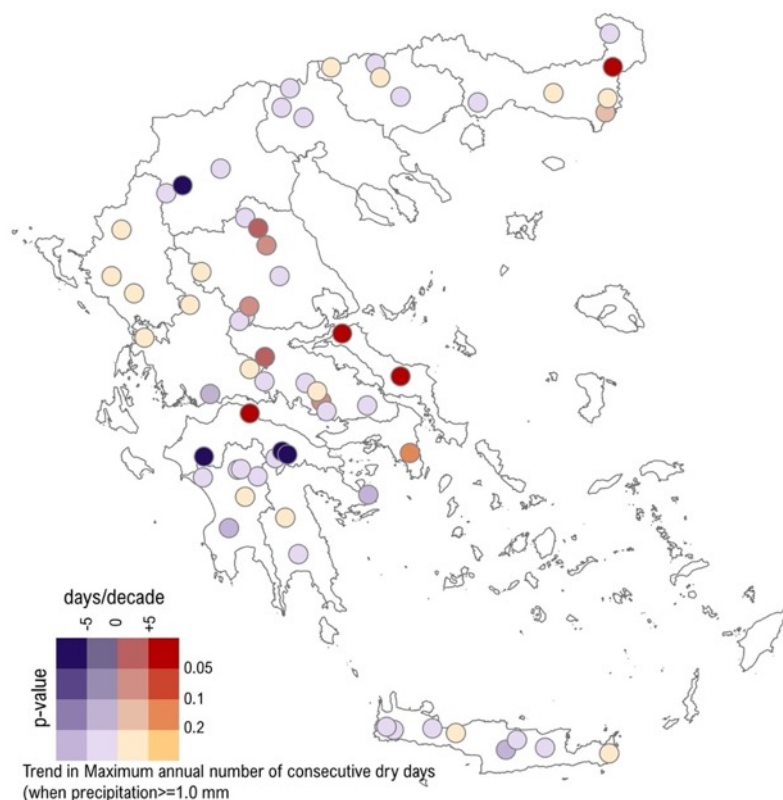
5.3.10 Δείκτης SPI12



Εικόνα 5.10: Χάρτης με τάση δείκτη spi12

Ο δείκτης SPI12 είναι δείκτης παρακολούθησης ξηρασίας με τον οποίο είναι εφικτή η καταγραφή της έντασης και έκτασης επεισοδίων ξηρασίας καθώς και την πιθανότητα εμφάνισης τους γνωρίζοντας τη βροχόπτωση των προηγούμενων 12 μηνών. Η τάση του φαίνεται στον παραπάνω χάρτη στην εικόνα 5.10 και ο αριθμός των στατιστικά σημαντικών σταθμών έχει αυξηθεί σε αρκετές περιοχές σε σχέση με τους προηγούμενους δείκτες SPI. Ωστόσο, αυτό που παρατηρείται με τον συγκεκριμένο δείκτη είναι πώς η πιθανότητας εμφάνισης επεισοδίων ξηρασίας δεν παρουσιάζει σημαντικές αλλαγές. Οι πιο εμφανείς διαφορές αφορούν την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη και τη Θεσσαλία, όπου η αυξητική τάση είναι ακόμα μεγαλύτερη ενώ στην Κρήτη η εικόνα είναι ανάμεικτη με τους σταθμούς να παρουσιάζουν και θετική και αρνητική τάση με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εξαχθεί κάποιο γενικό συμπέρασμα για το νησί.

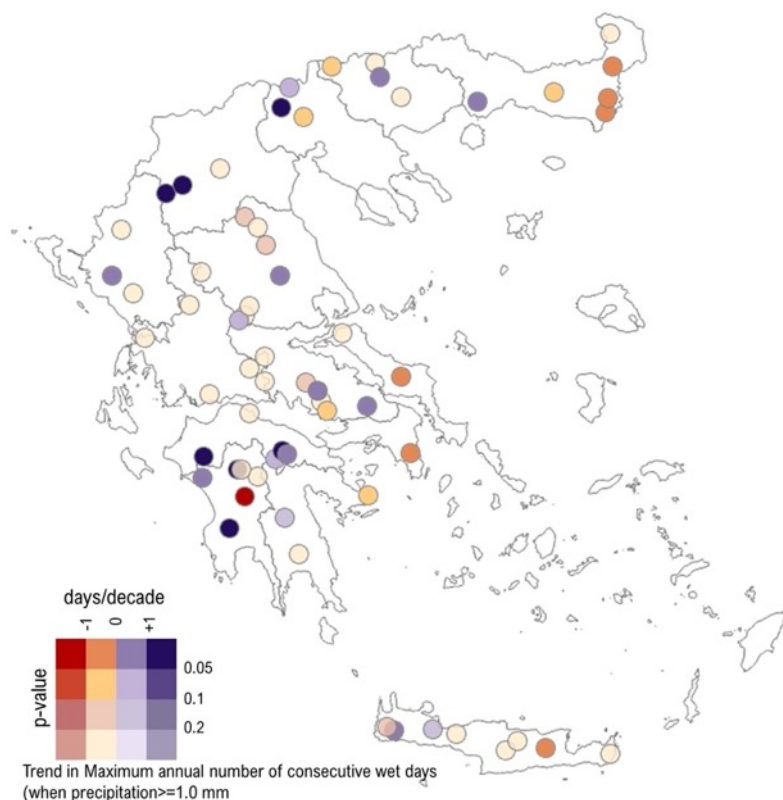
5.3.11 Δείκτης CDD



Εικόνα 5.11: Χάρτης με τάση δείκτη cdd

Ο δείκτης CDD δίνει τον μέγιστο ετήσιο αριθμό συνεχόμενων ημερών χωρίς κατακρήμνιση (καταγραφή μικρότερη από 1 mm) και η τάση του ανά δεκαετία φαίνεται στον παραπάνω χάρτη (Εικ. 5.11). Με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς ο μέσος όρος υποδεικνύει αυξητική τάση της τάξεως 1.84 days/decade. Ωστόσο, η γενική εικόνα που αποτυπώνεται είναι η πτωτική πορεία του δείκτη στη μεγαλύτερη έκταση του Ελλαδικού χώρου κάτι που σημαίνει πως το χρονικό διάστημα μεταξύ επεισοδίων βροχόπτωσης μειώνεται ανά δεκαετία. Πιο συγκεκριμένα, στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη, την Κεντρική και Δυτική Μακεδονία παρατηρείται μείωση του δείκτη με εξαίρεση τους σταθμούς που βρίσκονται στα ανατολικά της Μακεδονίας. Στην Ήπειρο και Θεσσαλία παρατηρείται αύξηση του δείκτη ενώ στην Κεντρική Ελλάδα η εικόνα είναι ανάμεικτη με τους σταθμούς που παρουσιάζουν πτωτική τάση να βρίσκονται πιο συγκεντρωμένοι στα κεντρικά της περιφέρειας. Τέλος, όσον αφορά την Πελοπόννησο παρατηρείται και εκεί πτωτική τάση στους πλείστους σταθμούς ενώ το ίδιο συμπέρασμα μπορεί να εξαχθεί και για το νησί της Κρήτης.

5.3.12 Δείκτης CWD



Εικόνα 5.12: Χάρτης με τάση δείκτη cwd

Ο δείκτης CWD δίνει τον μέγιστο ετήσιο αριθμό συνεχόμενων ημερών με κατακρήμνιση (καταγραφή μεγαλύτερη από 1 mm) και η τάση του ανά δεκαετία φαίνεται στον παραπάνω χάρτη (Εικ. 5.12). Ο μέσος όρος της τάσης του δείκτη με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς είναι θετική με τιμή 0.56 days/decade. Πιο συγκεκριμένα στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη στα ανατολικά κυριαρχεί πτωτική τάση ενώ προς τα δυτικά και τις περιοχές της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας η τάση αλλάζει και είναι κυρίως αυξητική με αρκετούς σταθμούς να έχουν παράλληλα σημαντική στατιστική σημασία. Οι σταθμοί που βρίσκονται στην Ήπειρο, Θεσσαλία και Κεντρική Ελλάδα παρουσιάζουν σε μεγάλο αριθμό πτωτική τάση με τους πλείστους ωστόσο να μην έχουν μεγάλη στατιστική σημασία με εξαίρεση σταθμούς που βρίσκονται ανατολικά της Στερεάς Ελλάδας. Όσον αφορά την Πελοπόννησο η γενική εικόνα που αποτυπώνεται με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς είναι πως επικρατεί αυξητική τάση ενώ στην Κρήτη με εξαίρεση τα δυτικά του νησιού η τάση είναι πτωτική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα

Από τη μελέτη αυτή, προέκυψαν κάποια γενικά συμπεράσματα τόσο για τη διαδικασία της συμπλήρωσης ελλειψών βροχομετρικών χρονοσειρών ημερήσιου βήματος, όσο και για την πορεία της βροχοπτώσης στον Ελλαδικό χώρο μέσω του υπολογισμού της τάσης των κλιματικών δεικτών βροχοπτώσης σύμφωνα με το πρωτόκολλο ETCCDI (Expert Team on Climate Detection and Indices).

Όπως προαναφέρθηκε, η διπλωματική εργασία είχε ως αρχικό σκοπό τη συμπλήρωση ελλειψών χρονοσειρών ημερήσιας βροχοπτώσης από σταθμούς που ανήκουν στον Εθνικό μετεωρολογικό δίκτυο. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε για τη συμπλήρωση 12 σταθμών σε διάφορες περιοχές που κάλυπταν σε ικανοποιητικό βαθμό την έκταση του Ελλαδικού χώρου και αφορούν τις περιοχές της Θράκης, της Μακεδονίας, της Θεσσαλίας, της Κεντρικής Ελλάδας, της Πελοποννήσου και της Κρήτης. Τα κενά που συμπληρώθηκαν καλύπταν διαφορετικές περιόδους από το 1954 μέχρι και το 2019, ενώ συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 47 χρονοσειρές εκ των οποίων οι 12 αφορούσαν τους σταθμούς συμπλήρωσης και οι υπόλοιποι 35 τους γειτονικούς σταθμούς.

Για την επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου από τα πλέον σύγχρονα μοντέλα χωρικής διακριτοποίησης (ERA5-L, CERRA, E-OBS και CHELSA), πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ των ήδη καταγεγραμμένων δεδομένων ημερήσιας βροχοπτώσης τεσσάρων σταθμών σε σχέση με αυτά των πλεγματικών δεδομένων. Το μοντέλο Cerra κρίθηκε ως το βέλτιστο μεταξύ των υπολοίπων, καθώς σύμφωνα με τους στατιστικούς δείκτες:

- Το μοντέλο CERRA έχει τιμές Mean Bias Error (MBE) 1% και -34% ως καλύτερο και χειρότερο ποσοστό αντίστοιχα μεταξύ των σταθμών που εξετάστηκε η απόκλιση, ενώ το αμέσως καλύτερο μοντέλο έχει τιμές -10% και -35%. Επομένως, παρουσιάζει μικρότερη απόκλιση από τις πραγματικές τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα.
- Το Kling Gupta Efficiency (KGE) πρόκειται για σημαντικό στατιστικό παράγοντα στον κλάδο της υδρολογίας. Το μοντέλο CERRA λαμβάνει ως καλύτερη τιμή μεταξύ των σταθμών που εξετάστηκαν 0.592 και χειρότερη 0.165, ενώ το αμέσως καλύτερο μοντέλο 0.345 και 0.067 αντίστοιχα.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε πείραμα συμπλήρωσης με απλή γραμμική παλινδρόμηση σε κανονικά, υγρά και ξηρά υδρολογικά έτη με τη χρήση δεδομένων του μοντέλου CERRA. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά χωρίς τη χρήση του μοντέλου ούτως ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο η χρήση πλεγματικών δεδομένων οδηγεί σε βελτίωση της μεθόδου συμπλήρωσης. Μέσω του πειράματος εξάχθηκαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η χρήση πλεγματικών δεδομένων και πιο συγκεκριμένα του μοντέλου CERRA, η διαδικασία συμπλήρωσης παρουσιάζει βελτίωση σε σχέση με τη «κλασσική» μέθοδο συμπλήρωσης η οποία πραγματοποιείται με τη χρήση δεδομένων αποκλειστικά από γειτονικούς σταθμούς.
- Η συμπλήρωση δεν επηρεάζεται από υγρά, κανονικά ή ξηρά έτη και είναι εξίσου αποτελεσματική.
- Ο συντελεστής συσχέτισης R παραμένει σταθερός ή παρουσιάζει βελτίωση σε όλες τις περιπτώσεις σε σχέση με τη συμπλήρωση χωρίς τη χρήση πλεγματικών δεδομένων. Η μεγαλύτερη βελτίωση μεταξύ των περιπτώσεων που εξετάστηκαν, αφορούσε τη μεταβολή από $R=0.37$ (χωρίς CERRA) σε $R=0.81$ (με CERRA).
- Το σφάλμα μέσης τετραγωνικής ρίζας Root Mean Squared Error (RMSE) παρουσιάζει επίσης βελτίωση καθώς έχει μειωθεί σε αρκετές περιπτώσεις. Η μεγαλύτερη βελτίωση μεταξύ των περιπτώσεων που εξετάστηκαν, αφορούσε τη μεταβολή από $RMSE=7.0$ (χωρίς CERRA) σε $RMSE=4.5$ (με CERRA).

- Ο συντελεστής αποδοτικότητας Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) αυξήθηκε σημαντικά σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις. Η μεγαλύτερη βελτίωση μεταξύ των περιπτώσεων που εξετάστηκαν, αφορούσε τη μεταβολή από $NSE=0.105$ (χωρίς CERRA) σε $NSE=0.621$ (με CERRA).
- Οι τιμές του mean bias error (MBE) σε αρκετές περιπτώσεις παραμένουν σταθερές ενώ σε άλλες έχουν μειωθεί. Η μεγαλύτερη βελτίωση μεταξύ των περιπτώσεων που εξετάστηκαν, αφορούσε τη μεταβολή από $MBE -36\%$ (χωρίς CERRA) σε $MBE 11\%$ (με CERRA).
- Το kling gupta efficiency (KGE) παρουσιάζει σημαντική βελτίωση σε ορισμένες περιπτώσεις ενώ σε αυτές που δεν αυξήθηκε παραμένει στα ίδια επίπεδα. Η μεγαλύτερη βελτίωση μεταξύ των περιπτώσεων που εξετάστηκαν, αφορούσε τη μεταβολή από $KGE=0.143$ (χωρίς CERRA) σε $KGE=0.568$ (με CERRA).
- Η συμπλήρωση με χρήση πλεγμάτων δεδομένων και πιο συγκεκριμένα του μοντέλου CERRA βελτιώνει σε σημαντικό βαθμό τους στατιστικούς δείκτες σε σχέση με τη συμπλήρωση χωρίς τη χρήση του μοντέλου. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που σε ορισμένες περιπτώσεις η βελτίωση δεν είναι τόσο εμφανής, το μοντέλο δεν επηρεάζει αρνητικά τη διαδικασία της συμπλήρωσης. Επομένως, πρόκειται για μια αξιόπιστη μέθοδο συμπλήρωσης.

Μελλοντική ερευνά που αφορά τη διαδικασία της συμπλήρωσης, θα μπορούσε να επικεντρωθεί στον συνδυασμό δύο ή περισσότερων χρονοσειρών πλεγμάτων δεδομένων. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε μόνο το μοντέλο CERRA το οποίο μέσω του πειράματος που πραγματοποιήθηκε κρίθηκε ως το καταλληλότερο. Ωστόσο, και το μοντέλο CHELSA φαίνεται να είναι αξιόπιστο καθώς αρκετοί στατιστικοί δείκτες παρουσίαζαν παρόμοιες τιμές με το μοντέλο CERRA. Επομένως, ενδέχεται ο συνδυασμός αυτών των δύο μοντέλων ή άλλων από τα σύγχρονα μοντέλα χωρικής διακριτοποίησης που είναι διαθέσιμα, να οδηγούν σε περαιτέρω βελτίωση της διαδικασίας της συμπλήρωσης.

Το δεύτερο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας, αφορούσε τον υπολογισμό κλιματολογικών δεικτών βροχόπτωσης Climdex για τον υπολογισμό της τάσης των δεικτών και την πορεία τους ανά δεκαετία στον Ελλαδικό χώρο. Ως δεδομένα, χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές από τους σταθμούς που συμπληρώθηκαν, των γειτονικών τους καθώς και επιπλέον σταθμοί ούτως ώστε να υπάρξει μεγαλύτερη κάλυψη. Στο σύνολο, υπολογίστηκαν 12 δείκτες με τη χρήση 62 χρονοσειρών έχοντας ως κοινή περίοδο μελέτης από το 1972 μέχρι το 2015 και η τάση τους σχολιάστηκε μέσω χαρτών.

Ο καθένας από τους δείκτες παρουσιάζει τη «δική του» ξεχωριστή σημασία όσον αφορά τη μελέτη της πορείας της βροχόπτωσης στον Ελλαδικό χώρο τις τελευταίες δεκαετίες. Συγκεκριμένα, από τους χάρτες που κατασκευάστηκαν και μελετήθηκαν μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα:

Γενικά:

- Ο δείκτης με τη μεγαλύτερη αυξητική τάση με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς είναι ο δείκτης Cdd.
- Ο δείκτης με τη μεγαλύτερη πτωτική τάση με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς είναι ο δείκτης Prcptot.
- Από τους δείκτες που μελετήθηκαν, το Spri12 παρουσιάζει τον μεγαλύτερο αριθμό στατιστικά σημαντικών σταθμών.
- Από τους δείκτες που μελετήθηκαν, το Rx5days παρουσιάζει τον μικρότερο αριθμό στατιστικά σημαντικών σταθμών.

Δείκτες R10mm, R20mm, R30mm:

- Οι σταθμοί που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο βαθμό αυξητικής τάσης βρίσκονται βόρεια της Ελλάδας και καλύπτουν περιοχές της Κεντρικής, Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης κυρίως στα ανατολικά καθώς και στα κεντρικά της Πελοποννήσου. Επομένως, πρόκειται για περιοχές με αυξανόμενο ύψος βροχής ανά δεκαετία.
- Οι σταθμοί που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο βαθμό πτωτικής τάσης αφορούν την Κεντρική Ελλάδα. Επομένως, πρόκειται για περιοχές που παρουσιάζουν μειωμένο ύψος βροχής ανά δεκαετία.
- Το νησί της Κρήτης δε δίνει σε κανέναν από τους δείκτες ξεκάθαρη εικόνα όσον αφορά την τάση καθώς υπάρχουν σταθμοί με πτωτική αλλά και αυξητική τάση.
- Με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς ο δείκτης R20mm παρουσιάζει τον μεγαλύτερο μέσο όρο αυξητικής τάσης ενώ ο δείκτης R10mm τον μικρότερο.
- Από τους δείκτες R ο δείκτης R30mm έχει τον μεγαλύτερο αριθμό σταθμών με σημαντική στατιστική σημασία ενώ οι δείκτες R10mm, R20mm έχουν τον ίδιο αριθμό στατιστικά σημαντικών σταθμών.

Δείκτες Rx1day, Rx5days:

- Οι σταθμοί που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο βαθμό αυξητικής τάσης βρίσκονται βόρεια της Ελλάδας και καλύπτουν περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης κυρίως στα ανατολικά. Επομένως, πρόκειται για περιοχές που παρουσιάζουν αυξανόμενη ετήσια ποσότητα κατακρήμνισης σε διάστημα μίας ημέρας και πέντε ημερών για τους δείκτες Rx1day και Rx5days αντίστοιχα.
- Με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς και οι δύο δείκτες παρουσιάζουν πτωτική τάση.
- Κατά γενική εικόνα οι συγκεκριμένοι δείκτες παρουσιάζουν μικρό αριθμό σταθμών με σημαντική στατιστική σημασία επομένως, πρόκειται για δείκτες με μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά την τάση.

Δείκτες SPI3, SPI6, SPI12:

- Οι σταθμοί που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο βαθμό αυξητικής τάσης βρίσκονται βόρεια της Ελλάδας και καλύπτουν περιοχές της περιφέρειας της Μακεδονίας. Επομένως, πρόκειται για περιοχές όπου η πιθανότητα για επεισόδια ξηρασίας μειώνεται.
- Οι σταθμοί που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο βαθμό πτωτικής τάσης αφορούν την Κεντρική Ελλάδα, άρα η πιθανότητα για εμφάνιση επεισοδίων ξηρασίας αυξάνεται ανά δεκαετία.
- Με βάση τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς και οι τρεις δείκτες SPI παρουσιάζουν θετική τάση.
- Από τους δείκτες SPI, ο δείκτης SPI12 έχει τον μεγαλύτερο αριθμό σταθμών με σημαντική στατιστική σημασία ενώ ο δείκτης SPI3 τον μικρότερο. Επομένως, όσο πιο μεγάλη είναι η χρονική διάρκεια που ορίζεται ως πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίων ξηρασίας στο διάστημα αυτό, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ποσοστό βεβαιότητας του δείκτη SPI.

Παρατηρώντας τη συνδυαστική εικόνα που αποτυπώνουν οι τάσεις των δεικτών, κατά γενική εικόνα κυριαρχεί πτωτική τάση βροχοπτώσης στις πλείστες περιοχές. Ωστόσο, υπάρχουν σταθμοί που στο σύνολο τους σε ορισμένες περιοχές υποδεικνύουν αυξητική τάση και αφορούν την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη, την Ήπειρο, την Αττική, το δυτικό κομμάτι της Πελοποννήσου και το ανατολικό τμήμα του νησιού της Κρήτης. Οι υπόλοιπες περιοχές κατά κύριο λόγο παρουσιάζουν πτωτική τάση, η οποία είναι ιδιαίτερα εμφανής στη Δυτική Μακεδονία, στη Θεσσαλία, στην Κεντρική Ελλάδα και στο δυτικό κομμάτι της Κρήτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γκίνη, Μ., (1993), «Ανάπτυξη μεθόδων ομογενοποίησης δεδομένων, προσδιορισμού σφαλμάτων, συσχέτισης, διόρθωσης αποκλίσεων και συμπλήρωσης ελλειπουσών τιμών χρονοσειρών δεδομένων», Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Δαλιακόπουλος Ι., (2018), Σημειώσεις μαθήματος: Διαχείριση Υδατικών Πόρων, «Εισαγωγική διάλεξη»
- Ερευνητική ομάδα «ΙΤΙΑ», (2010), «Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό υδρογνώμων-εκδοση 4», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών- Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, 2-3.
- Ιωάννου Γ. Σακκά, (2004), «Τεχνική Υδρολογία τόμος Ι, Θεσσαλονίκη», Εκδόσεις Αϊβαζή.
- Κατσαφάδος Π. και Μαυροματίδης Η., (2015), «Εισαγωγή στη Φυσική της Ατμόσφαιρας και την Κλιματική Αλλαγή», Αθήνα, ΣΕΑΒ.
- Κοζάνης Σ., Ευστρατιάδης Α. και Μαρκόνης Ι., (2010). «Τυπικές και Εξειδικευμένες Υδρολογικές Αναλύσεις». Πρόγραμμα Εκπαίδευσης Συστημάτων Υδροσκοπίου, Κεντρική Υπηρεσία. Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κουτσογιάννης Δ.,(1997), «Στατιστική Υδρολογία», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Τομέας Υδατικών Πόρων, 96 & 131-171.
- Κουτσογιάννης, Δ. και Ξανθόπουλος Θ., (1999), «Τεχνική Υδρολογία», Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 3^η Έκδοση.
- Λαζαρίδης Μ., (2010), «Ατμοσφαιρική Ρύπανση Με Στοιχεία Μετεωρολογίας», Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Τζιόλα, 2^η έκδοση.
- Μαριολόπουλος Η. Γ., (1938), «Το Κλίμα της Ελλάδος», Ακαδημία Αθηνών Κέντρον Ερεύνης Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας, Δημοσίευμα, αρ. 7.
- Μαριολόπουλος Η. Γ., (1982), «Επιτομή του Κλίματος της Ελλάδος», ΚΕΦΑΚ Ακαδημίας Αθηνών.
- Μ.Α. Μιμίκου και Ε.Α. Μπαλτάς, (2006), «Τεχνική Υδρολογία», Αθήνα, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 4^η έκδοση.
- Μπαλτάς, Ε. (2013), «Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία», Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Ζήτη, 2^η έκδοση.

- Ναλμπάντης Ι. και Τσιμπίδης Γ., (1993), «Επίπεδα καταχώρησης πρωτογενούς και επεξεργασμένης πληροφορίας και αντίστοιχες απαιτήσεις επεξεργασίας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Υδροσκόπιο, τεύχος 1/11.
- Νικολακόπουλος, Κ., Κατσάνου, Κ., Λαμπράκης, Ν., (2015), «Υδρολογία με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και δεδομένων τηλεπισκόπησης», Αθήνα, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
- Παπακώστας Ν., (1992), «Προδιαγραφές για την τυποποίηση στην ανάπτυξη λογισμικού», Τεχνική Αναφορά Υδροσκοπίου, Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Περματζή Β., (2017), «Δείκτες Κλιματικής Αλλαγής με Βάση τη Μεταβολή της Ατμοσφαιρικής Πίεσης», Αθήνα, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Τζουράς Η., (2020), «Ομογενοποίηση χρονοσειρών θερμοκρασίας και υετού», Εργαστήριο Φυσικής της ατμόσφαιρας του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Πατρών.
- Τολίκας Δ., (2017), «Υδροσκόπιο: Ένα σύστημα πληροφοριών για τη μελέτη των υδροκλιματικών φαινομένων στην Ελλάδα», Τομέας Υδραυλικής και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο.
- Τσακίρης Γ. – Καθηγητής Ε.Μ.Π., (2013), «Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη διαχείριση υδατικών πόρων», Αθήνα, Εκδόσεις Συμμετρία.
- Τσιμπίδης Γ., (1993), «Υδροσκόπιο: Τρόπος και χρονική κλίμακα καταχώρησης πρωτογενών υδρολογικών δεδομένων», Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Χριστοφίδης Α., (1994), «Συμπλήρωση Ελλιπών υδρομετεωρολογικών χρονοσειρών σε κατανεμημένες σχεσιακές βάσεις δεδομένων», Αθήνα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Χριστοφίδης Α., Κουτσογιάννης Δ., (2002) , Υδρογνώμων, «Βάση δεδομένων υδρολογικών και μετεωρολογικών χρονοσειρών και σύστημα επεξεργασίας χρονοσειρών», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων Υδραυλικών και Θαλασσίων Έργων, 3.
- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T. & Wieringa, J. (2003). 'Guidelines on climate metadata and homogenization. world climate programme data and monitoring wcdmp-no. 53, wmo-td no. 1186', World Meteorological Organization, Geneva 55.
- Biau DJ, Porcher R. (2010), "A method for monitoring a process from an out of control to an in control state: Application to the learning curve." Stat Med. (18):1900-9. doi: 10.1002/sim.3947. PMID: 20680983.

- Gocic, M. and Trajkovic, S., (2013) “Analysis of Changes in Meteorological Variables Using Mann-Kendall and Sen’s Slope Estimator Statistical Tests in Serbia.”, *Global and Planetary Change*, 100, 172- 182.
- Jarraud, M., (2008). ‘Guide to meteorological instruments and methods of observation’, (WMO-No. 8). World Meteorological Organisation: Geneva, Switzerland, 29.
- Mamara A.,(2015), Homogenization of Hellenic climate series and spatial resolution of homogenized products, PhD thesis, University of Patras.
- Mimikou, M. A., and E. A. Baltas., (2013). Assessment of Climate Change Impacts in Greece: A General Overview. *American Journal of Climate Change* **3**: 46-56.
- Pita-diaz O. and Ortega D., (2020), ‘Analysis of Rainfall Trend Series using Mann-Kendall and Sen’s Slope Estimator Statistical Test in Mandya District, Karnataka’.
- Tsanis I., Koutroulis A., Daliakopoulos I. and Jacob D., (2011). Severe climate-induced water shortage and extremes in Crete. *Climatic Change*, 106(4), 667-677.
- Wieringa, J. (2003). Coordinator of text: Enric Aguilar.

Διαδικτυακές Πηγές

- ΔΕΥΑΒΑ, Ο Κύκλος του Νερού,
<https://www.deyava.gr/περιβάλλον/ο-κύκλος-του-νερού/> , [Νοέμβρης, 2022].
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Το κλίμα της Ελλάδας,
<http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology> , [Σεπτέμβρης, 2022].
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή επίσημος ιστότοπος, Συνέπειες κλιματικής αλλαγής,
https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_el , [Μάρτιος, 2023].
- Μέτρηση βροχόπτωσης,
<http://4gym-mytil.les.sch.gr/meteo/BROXOPTOSI.htm> [Σεπτέμβρης, 2022].
- Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization WMO), <https://public.wmo.int/en> , [Σεπτέμβρης, 2022].
- Πανελλήνια βάση υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων «Υδροσκόπιο»,
<http://kvy.hydroscope.gr> , [Σεπτέμβρης, 2022].
- Υδροσκόπιο, Λογισμικό «Υδρογνώμων»,
<http://www.hydroscope.gr/hydrognomon/> , [Σεπτέμβρης, 2022].

- Climipact, Υπολογισμός κλιματολογικών δεικτών βροχόπτωσης, <https://climipact-sci.org> , [Ιανουάριος, 2023].
- Copernicus, Πλεγματικά μοντέλα χωρικής επανάλυσης, <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home> , [Νοέμβριος, 2022].
- El.green-ecolog.com, Αιτίες και συνέπειες κλιματικής αλλαγής, <https://el.green-ecolog.com/15339637-causes-and-consequences-of-climate-change>, [Φεβρουάριος , 2023].
- Etcddi, Δείκτες ETCCDI (Expert Team on Climate Detection and Indices), http://etcddi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml , [Ιανουάριος, 2023].
- Geogreece.gr, Βροχοπτώσεις: Το ύψος βροχής στην Ελλάδα, <https://www.geogreece.gr/rain.php> , [Σεπτέμβριος, 2022].
- Itia, Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό Υδρογνώμων, <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/928/> , [Σεπτέμβριος, 2022].
- Physiclessons, Κατανομή βροχής στην Ελλάδα, <http://physiclessons.blogspot.com/2012/03/k.html> , [Σεπτέμβριος, 2022].
- United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, 1992, <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>, [Μάρτιος, 2023].

Παράρτημα Α

Δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης σε mm τα οποία προέκυψαν μετά από συμπλήρωση με γραμμική παλινδρόμηση. Λόγω μεγάλου όγκου δεδομένων παρουσιάζονται ορισμένα αποσπάσματα από δύο σταθμούς.

Συμπλήρωση σταθμού ΚΥΠΡΙΝΟΣ (Θράκη)

01/09/1966	0.0	06/10/1966	0.0	10/11/1966	0.3
02/09/1966	4.4	07/10/1966	0.0	11/11/1966	9.2
03/09/1966	0.1	08/10/1966	0.1	12/11/1966	2.5
04/09/1966	0.0	09/10/1966	0.0	13/11/1966	0.0
05/09/1966	0.0	10/10/1966	4.3	14/11/1966	0.0
06/09/1966	0.0	11/10/1966	0.0	15/11/1966	0.0
07/09/1966	10.6	12/10/1966	0.0	16/11/1966	0.0
08/09/1966	0.4	13/10/1966	0.3	17/11/1966	1.9
09/09/1966	0.0	14/10/1966	0.0	18/11/1966	0.0
10/09/1966	0.0	15/10/1966	0.0	19/11/1966	0.0
11/09/1966	0.0	16/10/1966	0.6	20/11/1966	0.4
12/09/1966	0.0	17/10/1966	0.0	21/11/1966	4.9
13/09/1966	0.0	18/10/1966	0.0	22/11/1966	0.0
14/09/1966	0.0	19/10/1966	0.0	23/11/1966	0.0
15/09/1966	0.0	20/10/1966	0.0	24/11/1966	0.0
16/09/1966	0.0	21/10/1966	3.1	25/11/1966	3.7
17/09/1966	0.0	22/10/1966	0.0	26/11/1966	10.9
18/09/1966	0.0	23/10/1966	0.0	27/11/1966	1.8
19/09/1966	0.0	24/10/1966	0.1	28/11/1966	0.7
20/09/1966	0.0	25/10/1966	0.6	29/11/1966	0.0
21/09/1966	0.0	26/10/1966	2.7	30/11/1966	9.2
22/09/1966	0.0	27/10/1966	0.4	01/12/1966	0.0
23/09/1966	0.0	28/10/1966	0.0	02/12/1966	0.0
24/09/1966	0.0	29/10/1966	0.0	03/12/1966	7.0
25/09/1966	0.0	30/10/1966	0.0	04/12/1966	0.0
26/09/1966	0.0	31/10/1966	0.0	05/12/1966	0.0
27/09/1966	0.0	01/11/1966	0.4	06/12/1966	0.1
28/09/1966	0.0	02/11/1966	13.9	07/12/1966	0.2
29/09/1966	0.0	03/11/1966	13.6	08/12/1966	9.3
30/09/1966	0.0	04/11/1966	0.0	09/12/1966	1.6
01/10/1966	0.0	05/11/1966	0.0	10/12/1966	0.0
02/10/1966	0.0	06/11/1966	0.0	11/12/1966	0.0
03/10/1966	0.0	07/11/1966	0.0	12/12/1966	0.0

04/10/1966	0.0	08/11/1966	0.0	13/12/1966	0.0
05/10/1966	0.1	09/11/1966	0.1	14/12/1966	0.0
15/12/1966	2.2	29/03/1969	1.2	09/05/1979	0.0
16/12/1966	2.4	30/03/1969	0.0	10/05/1979	0.0
17/12/1966	3.7	31/03/1969	0.0	11/05/1979	0.0
18/12/1966	0.0	01/04/1969	0.0	12/05/1979	0.0
19/12/1966	0.0	01/04/1979	0.0	13/05/1979	0.0
20/12/1966	0.0	02/04/1979	0.0	14/05/1979	0.0
21/12/1966	0.9	03/04/1979	0.0	15/05/1979	0.6
22/12/1966	3.3	04/04/1979	0.0	16/05/1979	0.0
23/12/1966	20.1	05/04/1979	0.0	17/05/1979	0.0
24/12/1966	7.8	06/04/1979	0.0	18/05/1979	0.0
25/12/1966	1.9	07/04/1979	0.0	19/05/1979	0.0
26/12/1966	0.0	08/04/1979	0.0	20/05/1979	0.0
27/12/1966	0.0	09/04/1979	0.0	21/05/1979	0.0
28/12/1966	0.0	10/04/1979	0.0	22/05/1979	0.0
01/03/1969	0.0	11/04/1979	11.4	23/05/1979	2.0
02/03/1969	0.0	12/04/1979	6.3	24/05/1979	0.6
03/03/1969	0.0	13/04/1979	0.0	25/05/1979	0.0
04/03/1969	0.0	14/04/1979	0.0	26/05/1979	0.0
05/03/1969	4.9	15/04/1979	0.0	27/05/1979	0.0
06/03/1969	5.6	16/04/1979	0.0	28/05/1979	0.0
07/03/1969	0.4	17/04/1979	0.0	29/05/1979	0.0
08/03/1969	0.0	18/04/1979	0.0	30/05/1979	0.0
09/03/1969	0.0	19/04/1979	0.0	31/05/1979	0.0
10/03/1969	0.0	20/04/1979	0.9	01/06/1979	4.6
11/03/1969	0.0	21/04/1979	0.0	02/06/1979	1.4
12/03/1969	0.0	22/04/1979	0.0	03/06/1979	1.4
13/03/1969	0.0	23/04/1979	2.0	04/06/1979	0.0
14/03/1969	0.0	24/04/1979	5.2	05/06/1979	0.0
15/03/1969	2.3	25/04/1979	0.0	06/06/1979	0.0
16/03/1969	2.9	26/04/1979	0.0	07/06/1979	0.0
17/03/1969	10.7	27/04/1979	0.0	08/06/1979	0.0
18/03/1969	1.4	28/04/1979	0.0	09/06/1979	0.0
19/03/1969	0.0	29/04/1979	0.6	10/06/1979	0.0
20/03/1969	0.0	30/04/1979	0.0	11/06/1979	0.0
21/03/1969	0.0	01/05/1979	0.0	12/06/1979	0.0
22/03/1969	0.0	02/05/1979	0.0	13/06/1979	0.0
23/03/1969	0.0	03/05/1979	0.0	14/06/1979	0.0
24/03/1969	9.4	04/05/1979	0.0	15/06/1979	0.0
25/03/1969	0.0	05/05/1979	0.0	16/06/1979	0.0
26/03/1969	1.5	06/05/1979	0.0	17/06/1979	0.0

27/03/1969	0.0	30/07/1979	0.0	09/02/1980	0.0
28/03/1969	3.6	31/07/1979	0.0	10/02/1980	0.0
20/06/1979	0.0	01/08/1979	0.0	11/02/1980	0.0
21/06/1979	0.0	02/08/1979	0.0	12/02/1980	1.2
22/06/1979	0.0	03/08/1979	0.0	13/02/1980	0.6
23/06/1979	0.0	04/08/1979	0.0	14/02/1980	0.0
24/06/1979	0.0	05/08/1979	0.0	15/02/1980	3.6
25/06/1979	0.0	06/08/1979	0.0	16/02/1980	1.0
26/06/1979	0.0	07/08/1979	0.0	17/02/1980	0.5
27/06/1979	0.6	08/08/1979	0.0	18/02/1980	0.0
28/06/1979	0.0	09/08/1979	0.0	19/02/1980	0.0
29/06/1979	0.0	10/08/1979	0.0	20/02/1980	0.0
30/06/1979	0.0	11/08/1979	0.0	21/02/1980	0.0
01/07/1979	0.0	12/08/1979	0.0	22/02/1980	0.0
02/07/1979	0.0	13/08/1979	0.0	23/02/1980	0.0
03/07/1979	0.0	14/08/1979	0.0	24/02/1980	0.0
04/07/1979	0.0	15/08/1979	0.0	25/02/1980	0.2
05/07/1979	0.0	16/08/1979	0.0	26/02/1980	0.1
06/07/1979	0.0	17/08/1979	0.0	27/02/1980	0.0
07/07/1979	0.0	18/08/1979	0.0	28/02/1980	0.0
08/07/1979	0.0	19/08/1979	0.0	29/02/1980	0.0
09/07/1979	0.0	20/08/1979	0.0	01/03/1980	0.0
10/07/1979	0.0	21/08/1979	0.0	02/03/1980	0.0
11/07/1979	0.0	22/08/1979	0.0	03/03/1980	0.0
12/07/1979	0.0	23/08/1979	0.0	04/03/1980	0.0
13/07/1979	0.0	24/08/1979	0.0	05/03/1980	0.0
14/07/1979	3.4	25/08/1979	0.0	06/03/1980	0.0
15/07/1979	0.0	26/08/1979	0.0	07/03/1980	2.0
16/07/1979	0.0	27/08/1979	0.0	08/03/1980	0.0
17/07/1979	0.0	28/08/1979	0.0	09/03/1980	0.0
18/07/1979	0.0	29/08/1979	0.0	10/03/1980	0.0
19/07/1979	0.0	30/08/1979	0.0	11/03/1980	0.0
20/07/1979	0.0	31/08/1979	0.0	12/03/1980	0.0
21/07/1979	0.0	01/09/1979	0.0	13/03/1980	0.0
22/07/1979	0.0	01/02/1980	0.0	14/03/1980	0.0
23/07/1979	0.6	02/02/1980	1.5	15/03/1980	0.0
24/07/1979	0.0	03/02/1980	0.2	16/03/1980	0.0
25/07/1979	0.0	04/02/1980	0.0	17/03/1980	0.0
26/07/1979	0.0	05/02/1980	0.0	18/03/1980	2.3
27/07/1979	0.0	06/02/1980	0.0	19/03/1980	0.0
28/07/1979	0.0	07/02/1980	0.3	20/03/1980	0.0
29/07/1979	0.0	08/02/1980	0.0	21/03/1980	0.0

Συμπλήρωση σταθμού ΑΧΛΑΔΟΧΩΡΙ (Ανατολική Μακεδονία)

01/06/1969	0.0	11/07/1969	0.0	20/08/1969	0.0
02/06/1969	0.0	12/07/1969	0.0	21/08/1969	0.0
03/06/1969	0.0	13/07/1969	0.0	22/08/1969	0.0
04/06/1969	0.0	14/07/1969	0.0	23/08/1969	0.0
05/06/1969	11.3	15/07/1969	0.0	24/08/1969	0.0
06/06/1969	0.0	16/07/1969	0.0	25/08/1969	0.0
07/06/1969	3.1	17/07/1969	0.0	26/08/1969	0.0
08/06/1969	6.8	18/07/1969	0.0	27/08/1969	0.0
09/06/1969	0.0	19/07/1969	0.0	28/08/1969	1.1
10/06/1969	0.0	20/07/1969	0.0	29/08/1969	0.0
11/06/1969	0.0	21/07/1969	0.0	30/08/1969	0.0
12/06/1969	1.1	22/07/1969	0.0	31/08/1969	0.0
13/06/1969	0.0	23/07/1969	0.0	01/09/1969	0.0
14/06/1969	0.0	24/07/1969	0.0	02/09/1969	0.0
15/06/1969	0.0	25/07/1969	0.5	03/09/1969	0.0
16/06/1969	0.0	26/07/1969	0.0	04/09/1969	0.0
17/06/1969	0.0	27/07/1969	0.0	05/09/1969	0.0
18/06/1969	0.0	28/07/1969	0.0	06/09/1969	9.7
19/06/1969	2.2	29/07/1969	0.0	07/09/1969	7.3
20/06/1969	0.0	30/07/1969	0.0	08/09/1969	22.5
21/06/1969	0.0	31/07/1969	5.8	09/09/1969	0.0
22/06/1969	0.0	01/08/1969	0.0	10/09/1969	0.0
23/06/1969	0.0	02/08/1969	0.0	11/09/1969	0.0
24/06/1969	0.0	03/08/1969	0.0	12/09/1969	0.0
25/06/1969	0.0	04/08/1969	15.7	13/09/1969	0.5
26/06/1969	1.8	05/08/1969	0.0	14/09/1969	5.0
27/06/1969	6.8	06/08/1969	0.0	15/09/1969	0.0
28/06/1969	0.0	07/08/1969	0.0	16/09/1969	0.0
29/06/1969	0.0	08/08/1969	0.0	17/09/1969	0.0
30/06/1969	0.0	09/08/1969	0.0	18/09/1969	0.0
01/07/1969	0.0	10/08/1969	0.0	19/09/1969	0.0
02/07/1969	0.0	11/08/1969	0.0	20/09/1969	0.0
03/07/1969	0.0	12/08/1969	0.0	21/09/1969	0.0
04/07/1969	0.0	13/08/1969	0.0	22/09/1969	0.0
05/07/1969	0.0	14/08/1969	0.0	23/09/1969	0.0
06/07/1969	0.6	15/08/1969	0.0	24/09/1969	0.0
07/07/1969	0.0	16/08/1969	0.0	25/09/1969	0.0
08/07/1969	0.0	17/08/1969	0.0	26/09/1969	0.0
09/07/1969	0.0	18/08/1969	0.0	27/09/1969	0.0
10/07/1969	0.0	19/08/1969	0.0	28/09/1969	0.0

29/09/1969	0.0	10/11/1969	0.0	22/12/1969	0.0
30/09/1969	0.0	11/11/1969	0.0	23/12/1969	3.4
01/10/1969	0.0	12/11/1969	0.0	24/12/1969	0.0
02/10/1969	0.0	13/11/1969	0.0	25/12/1969	0.6
03/10/1969	2.0	14/11/1969	0.0	26/12/1969	0.0
04/10/1969	0.0	15/11/1969	0.0	27/12/1969	3.4
05/10/1969	0.0	16/11/1969	0.0	28/12/1969	7.7
06/10/1969	0.0	17/11/1969	0.0	29/12/1969	0.0
07/10/1969	0.0	18/11/1969	0.0	30/12/1969	10.3
08/10/1969	0.0	19/11/1969	0.0	31/12/1969	0.0
09/10/1969	0.0	20/11/1969	0.0	01/01/1970	0.9
10/10/1969	0.0	21/11/1969	0.0	02/01/1970	0.0
11/10/1969	0.0	22/11/1969	0.0	03/01/1970	10.8
12/10/1969	0.0	23/11/1969	0.0	04/01/1970	0.0
13/10/1969	0.0	24/11/1969	0.0	05/01/1970	0.0
14/10/1969	0.0	25/11/1969	0.0	06/01/1970	8.8
15/10/1969	0.0	26/11/1969	2.7	07/01/1970	8.9
16/10/1969	0.0	27/11/1969	3.7	08/01/1970	0.0
17/10/1969	0.0	28/11/1969	0.0	09/01/1970	0.0
18/10/1969	0.0	29/11/1969	0.0	10/01/1970	0.0
19/10/1969	0.0	30/11/1969	5.2	11/01/1970	0.0
20/10/1969	0.0	01/12/1969	3.3	12/01/1970	0.0
21/10/1969	0.0	02/12/1969	4.4	13/01/1970	0.0
22/10/1969	0.0	03/12/1969	6.5	14/01/1970	1.5
23/10/1969	0.0	04/12/1969	8.2	15/01/1970	0.0
24/10/1969	0.0	05/12/1969	3.5	16/01/1970	0.0
25/10/1969	0.0	06/12/1969	0.4	17/01/1970	17.1
26/10/1969	0.0	07/12/1969	4.8	18/01/1970	11.0
27/10/1969	0.0	08/12/1969	7.8	19/01/1970	0.0
28/10/1969	0.0	09/12/1969	13.7	20/01/1970	0.0
29/10/1969	0.0	10/12/1969	9.4	21/01/1970	0.0
30/10/1969	0.0	11/12/1969	1.4	22/01/1970	0.0
31/10/1969	0.0	12/12/1969	0.0	23/01/1970	0.0
01/11/1969	0.0	13/12/1969	0.0	24/01/1970	0.0
02/11/1969	0.0	14/12/1969	0.0	25/01/1970	0.0
03/11/1969	0.0	15/12/1969	0.0	26/01/1970	0.0
04/11/1969	0.0	16/12/1969	3.4	27/01/1970	0.0
05/11/1969	3.5	17/12/1969	4.2	28/01/1970	0.0
06/11/1969	1.2	18/12/1969	0.0	29/01/1970	0.0
07/11/1969	0.7	19/12/1969	15.7	30/01/1970	2.2
08/11/1969	2.1	20/12/1969	9.2	31/01/1970	1.1
09/11/1969	3.4	21/12/1969	6.9	01/02/1970	1.6

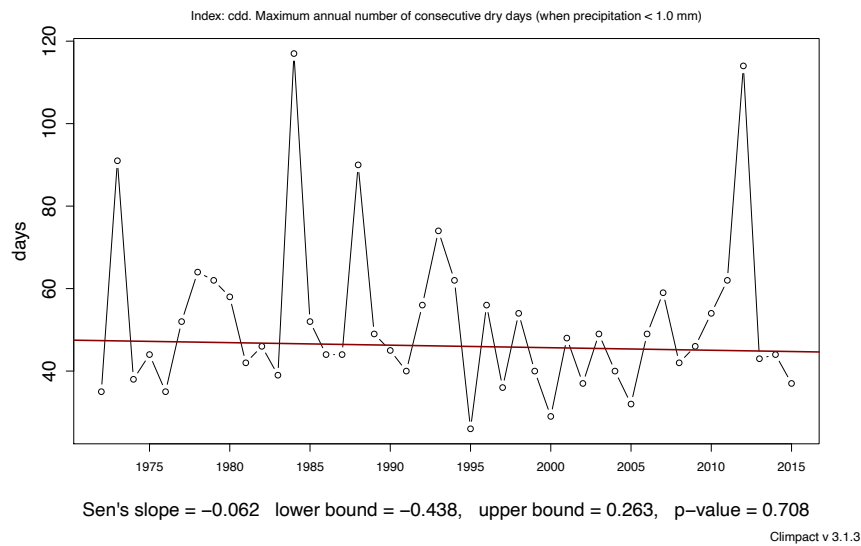
02/02/1970	5.7	16/03/1970	4.9	27/04/1970	0.0
03/02/1970	3.4	17/03/1970	9.8	28/04/1970	0.0
04/02/1970	0.0	18/03/1970	0.7	29/04/1970	0.0
05/02/1970	0.0	19/03/1970	0.2	30/04/1970	0.0
06/02/1970	0.0	20/03/1970	8.0	01/05/1970	0.0
07/02/1970	0.0	21/03/1970	3.1	02/05/1970	3.6
08/02/1970	0.0	22/03/1970	0.0	03/05/1970	0.0
09/02/1970	0.0	23/03/1970	0.0	04/05/1970	0.0
10/02/1970	0.0	24/03/1970	0.0	05/05/1970	1.4
11/02/1970	0.0	25/03/1970	0.0	06/05/1970	0.9
12/02/1970	2.5	26/03/1970	0.0	07/05/1970	0.0
13/02/1970	0.0	27/03/1970	0.0	08/05/1970	0.0
14/02/1970	0.0	28/03/1970	0.0	09/05/1970	0.0
15/02/1970	0.0	29/03/1970	0.0	10/05/1970	0.0
16/02/1970	2.5	30/03/1970	0.0	11/05/1970	0.0
17/02/1970	5.1	31/03/1970	0.0	12/05/1970	0.0
18/02/1970	1.4	01/04/1970	0.0	13/05/1970	0.0
19/02/1970	12.9	02/04/1970	7.6	14/05/1970	0.0
20/02/1970	9.9	03/04/1970	1.9	15/05/1970	0.0
21/02/1970	0.0	04/04/1970	0.0	16/05/1970	1.1
22/02/1970	0.0	05/04/1970	0.0	17/05/1970	0.0
23/02/1970	0.0	06/04/1970	8.0	18/05/1970	22.2
24/02/1970	1.7	07/04/1970	0.0	19/05/1970	1.9
25/02/1970	1.9	08/04/1970	0.0	20/05/1970	0.0
26/02/1970	0.0	09/04/1970	0.0	21/05/1970	7.5
27/02/1970	2.0	10/04/1970	0.0	22/05/1970	5.5
28/02/1970	0.0	11/04/1970	0.0	23/05/1970	4.2
01/03/1970	0.0	12/04/1970	0.0	24/05/1970	0.0
02/03/1970	0.0	13/04/1970	0.0	25/05/1970	0.0
03/03/1970	0.0	14/04/1970	0.0	26/05/1970	0.0
04/03/1970	4.5	15/04/1970	0.0	27/05/1970	3.3
05/03/1970	2.8	16/04/1970	0.0	28/05/1970	4.5
06/03/1970	0.0	17/04/1970	0.0	29/05/1970	1.7
07/03/1970	0.0	18/04/1970	0.0	30/05/1970	0.0
08/03/1970	1.1	19/04/1970	0.0	31/05/1970	0.0
09/03/1970	0.0	20/04/1970	0.0	01/06/1970	1.4
10/03/1970	0.0	21/04/1970	0.0	02/06/1970	0.0
11/03/1970	0.0	22/04/1970	0.0	03/06/1970	2.6
12/03/1970	3.3	23/04/1970	0.0	04/06/1970	0.0
13/03/1970	0.0	24/04/1970	0.0	05/06/1970	0.0
14/03/1970	0.0	25/04/1970	0.0	06/06/1970	0.0
15/03/1970	0.0	26/04/1970	0.0	07/06/1970	0.0

Παράρτημα Β

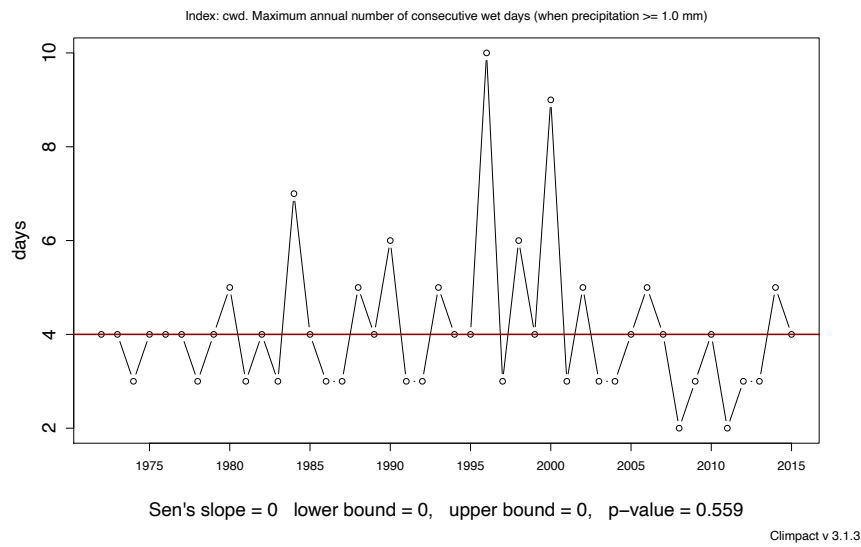
Γραφικές παραστάσεις κλιματολογικών δεικτών βροχοπτώσης (ETCCDI) για τους σταθμούς συμπλήρωσης μέσω του προγράμματος Climipact.

Σταθμός ΚΥΠΡΙΝΟΣ (Θράκη)

Station: KYPRINOS [41.57577°N, 26.22247°E]

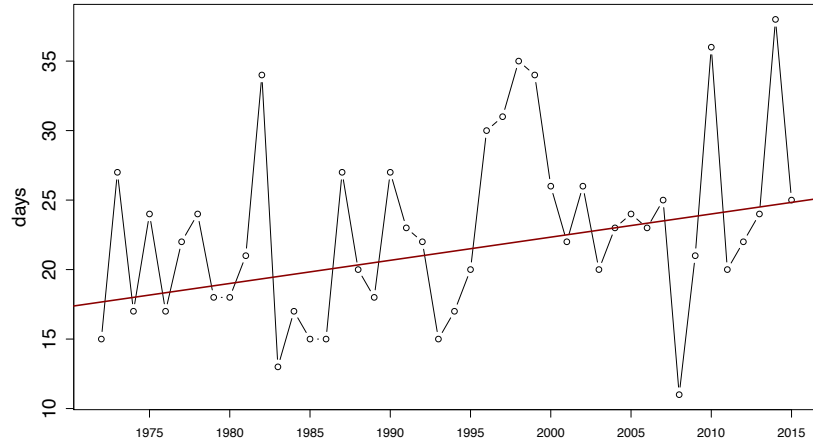


Station: KYPRINOS [41.57577°N, 26.22247°E]



Station: KYPRINOS [41.57577°N, 26.22247°E]

Index: r10mm. Annual number of days when precipitation ≥ 10 mm

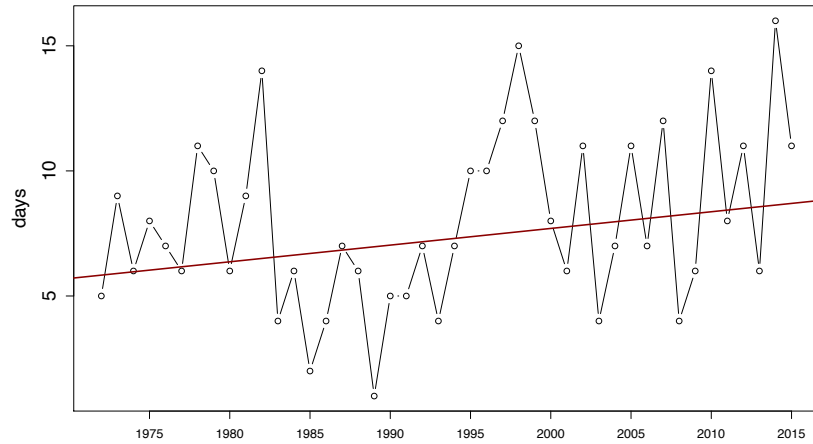


Sen's slope = 0.167 lower bound = 0, upper bound = 0.286, p-value = 0.032

Climpact v 3.1.3

Station: KYPRINOS [41.57577°N, 26.22247°E]

Index: r20mm. Annual number of days when precipitation ≥ 20 mm

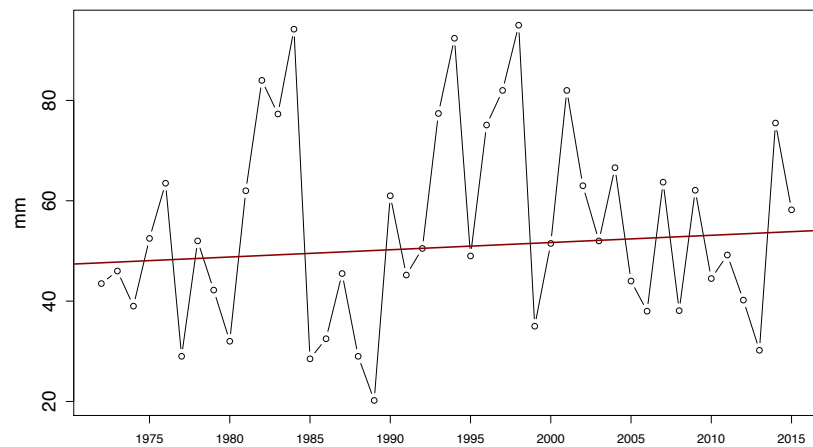


Sen's slope = 0.067 lower bound = 0, upper bound = 0.161, p-value = 0.064

Climpact v 3.1.3

Station: KYPRINOS [41.57577°N, 26.22247°E]

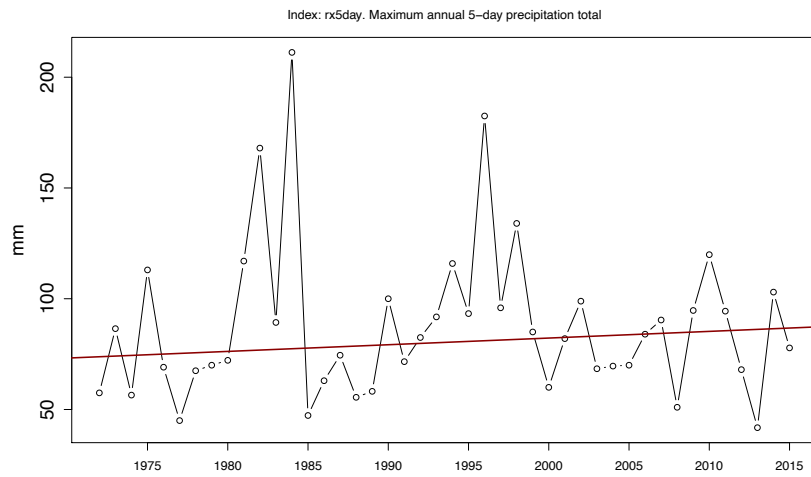
Index: rx1day. Maximum annual 1-day precipitation total



Sen's slope = 0.144 lower bound = -0.343, upper bound = 0.575, p-value = 0.544

Climpact v 3.1.3

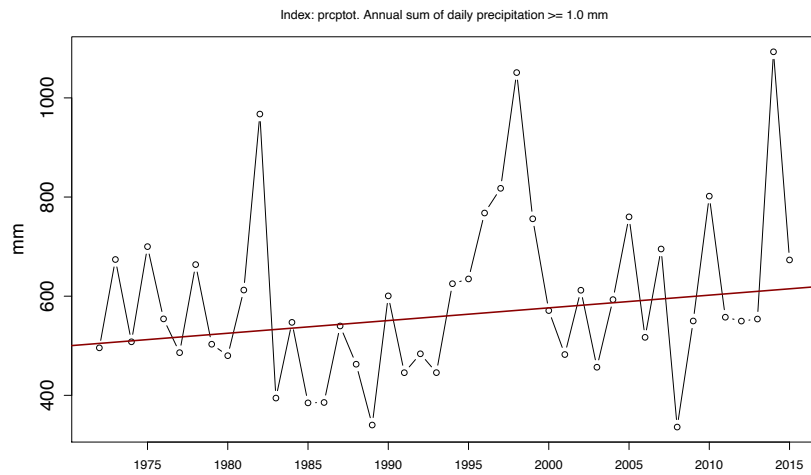
Station: KYPRINOS [41.57577°N, 26.22247°E]



Sen's slope = 0.301 lower bound = -0.379, upper bound = 0.853, p-value = 0.373

Climpact v 3.1.3

Station: KYPRINOS [41.57577°N, 26.22247°E]

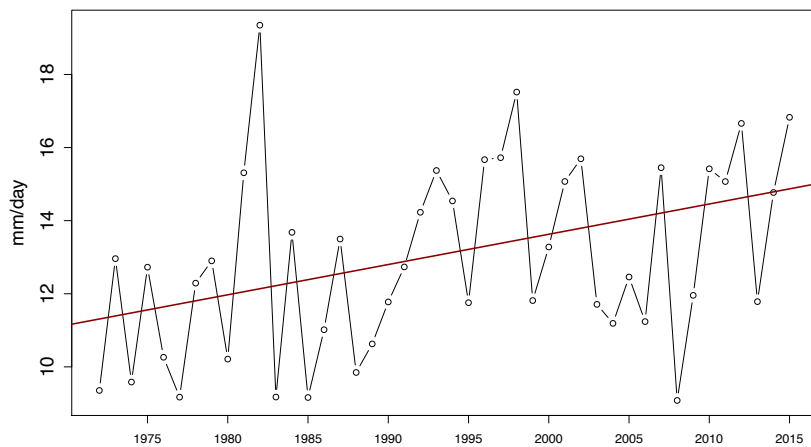


Sen's slope = 2.561 lower bound = -1.344, upper bound = 5.983, p-value = 0.192

Climpact v 3.1.3

Station: KYPRINOS [41.57577°N, 26.22247°E]

Index: sdii. Annual total precipitation divided by the number of wet days (when total precipitation ≥ 1.0 mm)

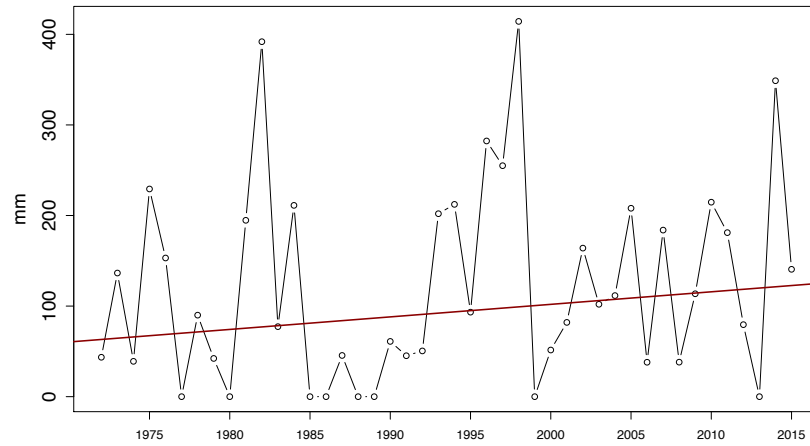


Sen's slope = 0.083 lower bound = 0.031, upper bound = 0.136, p-value = 0.009

Climpact v 3.1.3

Station: KYPRINOS [41.57577°N, 26.22247°E]

Index: r95p. Annual sum of daily precipitation > 95th percentile

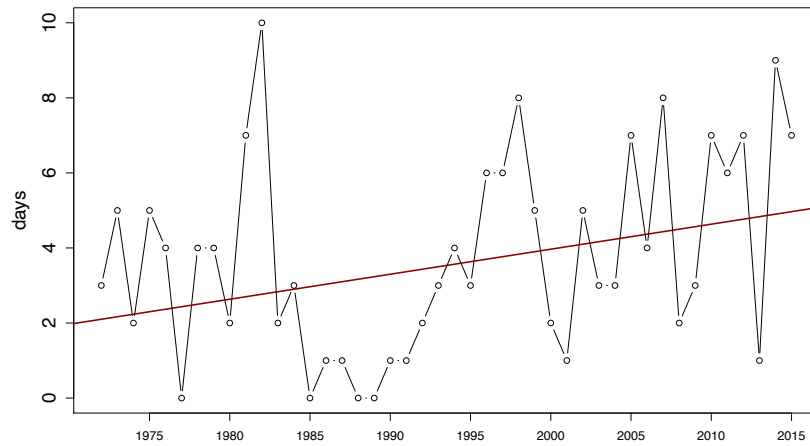


Sen's slope = 1.385 lower bound = -0.348, upper bound = 3.95, p-value = 0.152

Climpact v 3.1.3

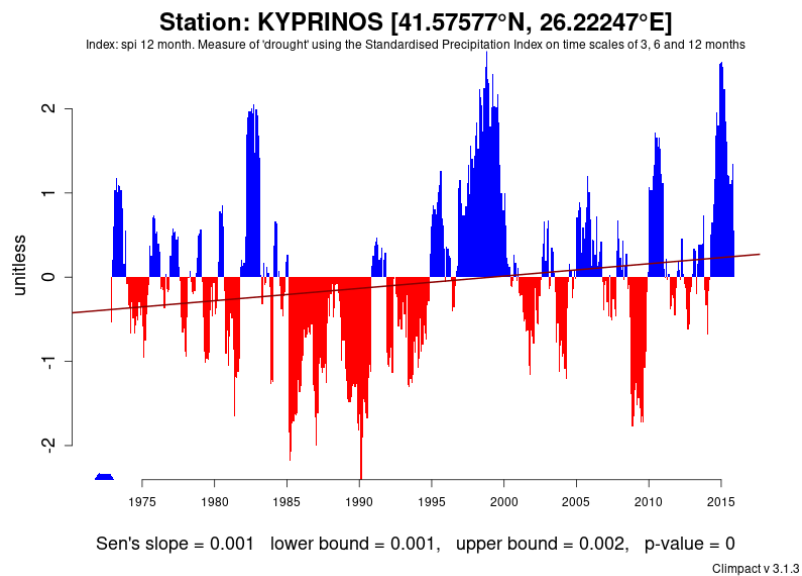
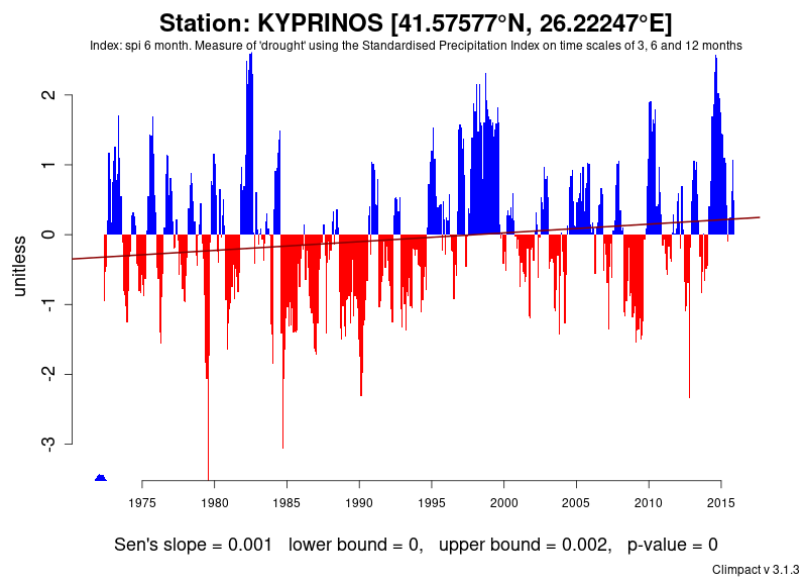
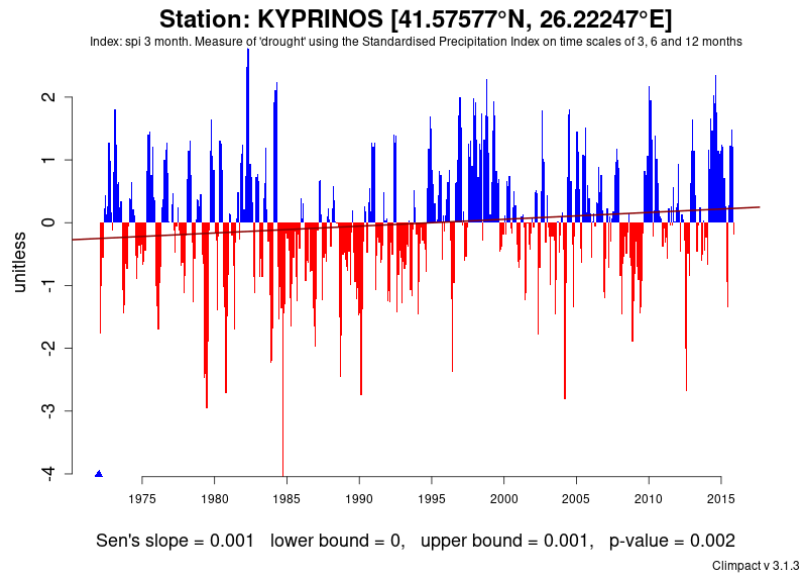
Station: KYPRINOS [41.57577°N, 26.22247°E]

Index: r30mm. Number of days when precipitation >= 30



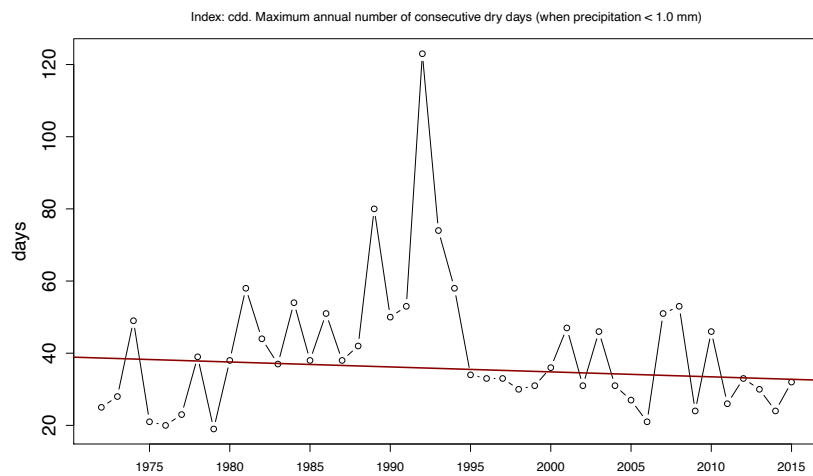
Sen's slope = 0.067 lower bound = 0, upper bound = 0.133, p-value = 0.039

Climpact v 3.1.3



Σταθμός ΑΧΛΑΔΟΧΩΡΙ (Ανατολική Μακεδονία)

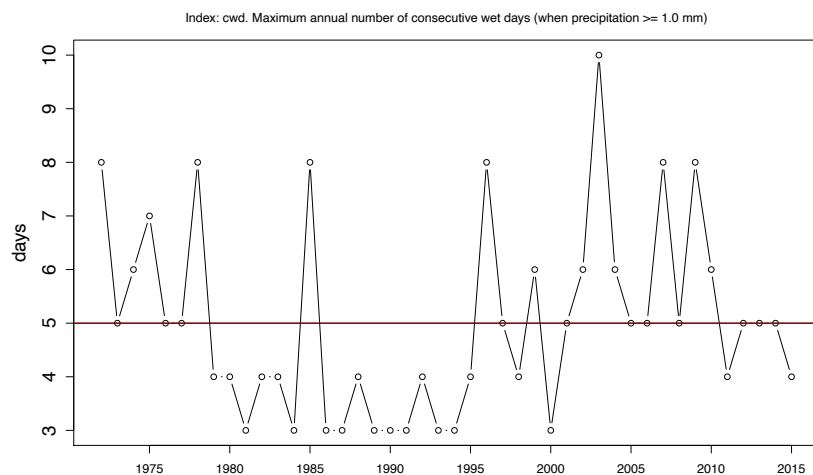
Station: AXLADOXORI [41.3195°N, 23.53666°E]



Sen's slope = -0.137 lower bound = -0.452 , upper bound = 0.219 , p-value = 0.485

Climpact v 3.1.3

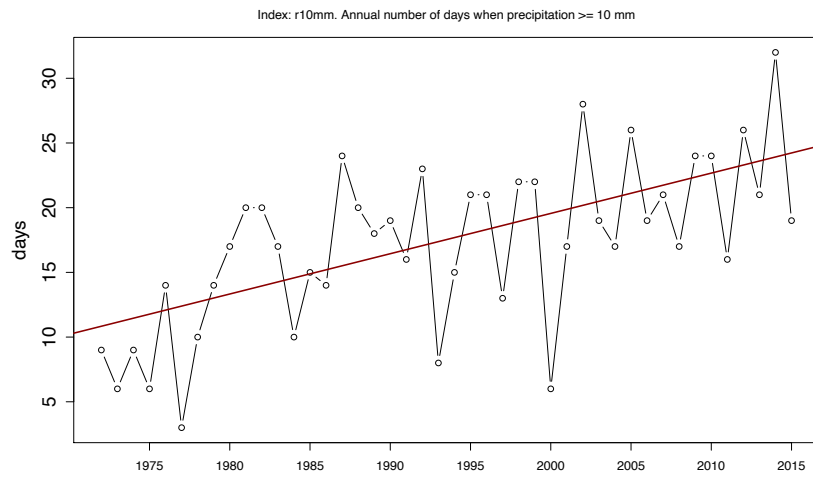
Station: AXLADOXORI [41.3195°N, 23.53666°E]



Sen's slope = 0 lower bound = 0 , upper bound = 0.04 , p-value = 0.501

Climpact v 3.1.3

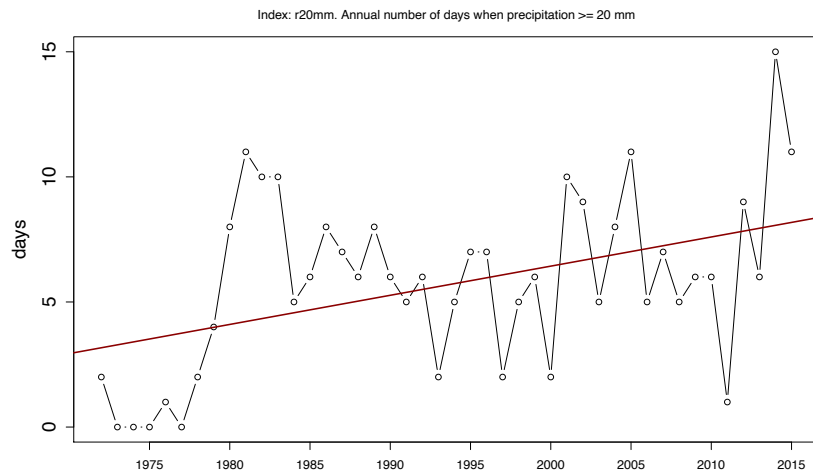
Station: AXLADOXORI [41.3195°N, 23.53666°E]



Sen's slope = 0.311 lower bound = 0.182, upper bound = 0.438, p-value = 0

Climpact v 3.1.3

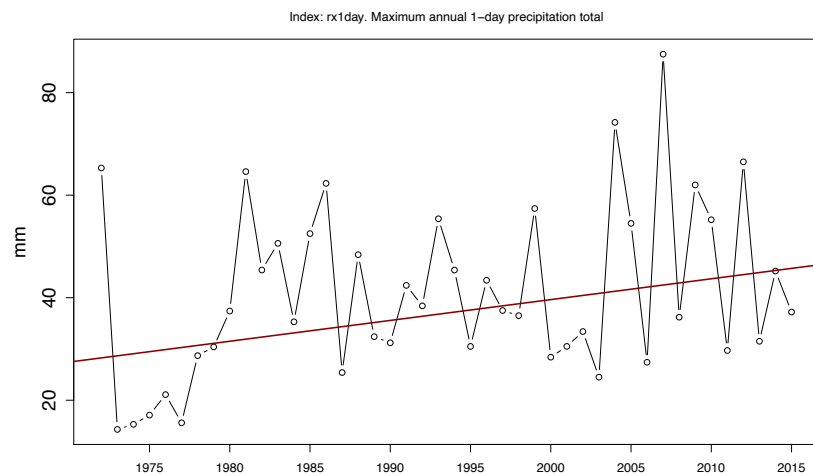
Station: AXLADOXORI [41.3195°N, 23.53666°E]



Sen's slope = 0.117 lower bound = 0, upper bound = 0.2, p-value = 0.013

Climpact v 3.1.3

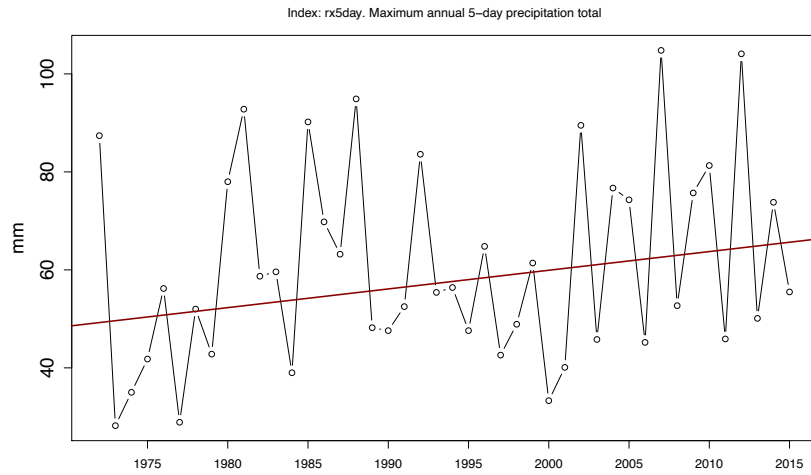
Station: AXLADOXORI [41.3195°N, 23.53666°E]



Sen's slope = 0.406 lower bound = -0.013, upper bound = 0.8, p-value = 0.064

Climpact v 3.1.3

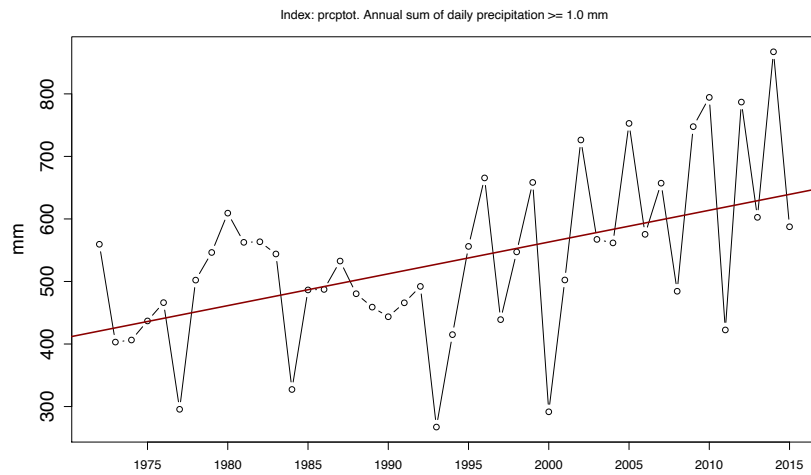
Station: AXLADOXORI [41.3195°N, 23.53666°E]



Sen's slope = 0.381 lower bound = -0.157, upper bound = 0.821, p-value = 0.169

Climpact v 3.1.3

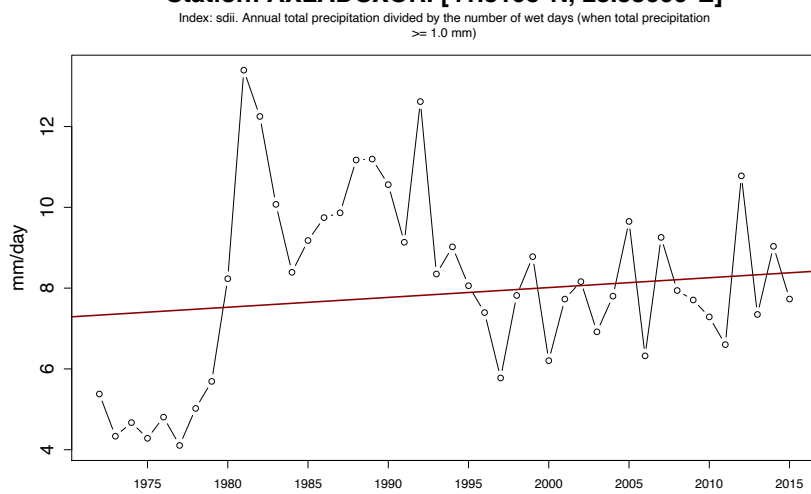
Station: AXLADOXORI [41.3195°N, 23.53666°E]



Sen's slope = 5.083 lower bound = 2.255, upper bound = 8.237, p-value = 0.001

Climpact v 3.1.3

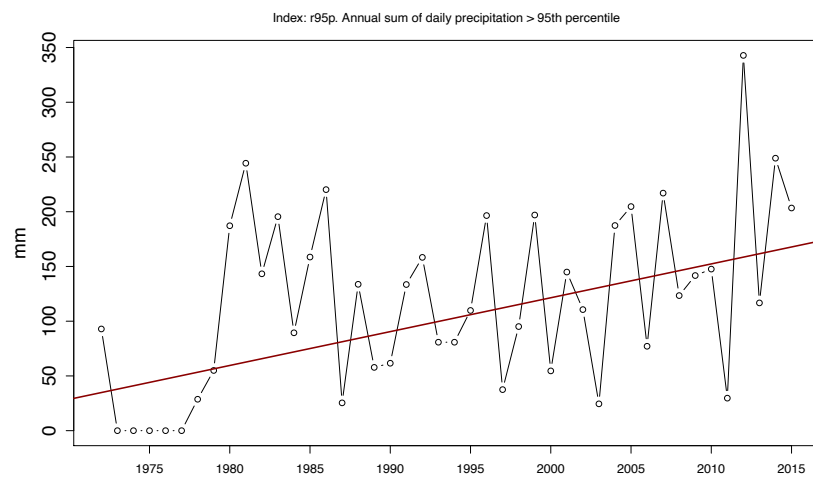
Station: AXLADOXORI [41.3195°N, 23.53666°E]



Sen's slope = 0.024 lower bound = -0.051, upper bound = 0.082, p-value = 0.635

Climpact v 3.1.3

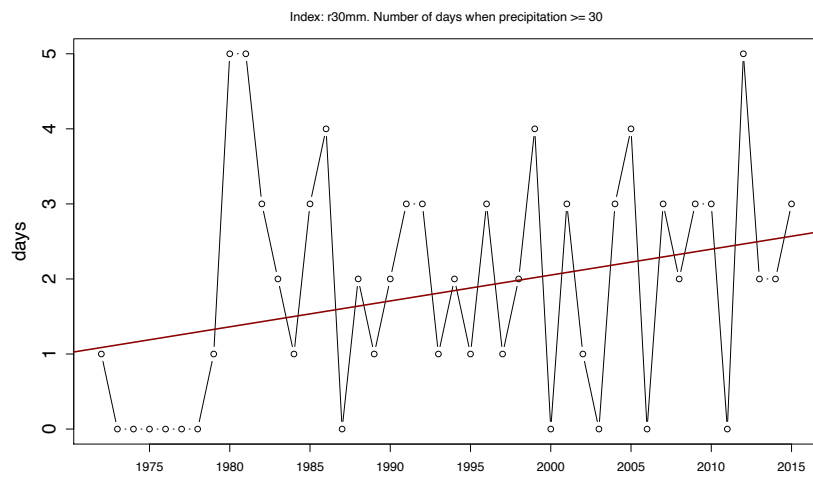
Station: AXLADOXORI [41.3195°N, 23.53666°E]



Sen's slope = 3.092 lower bound = 0.874, upper bound = 4.446, p-value = 0.003

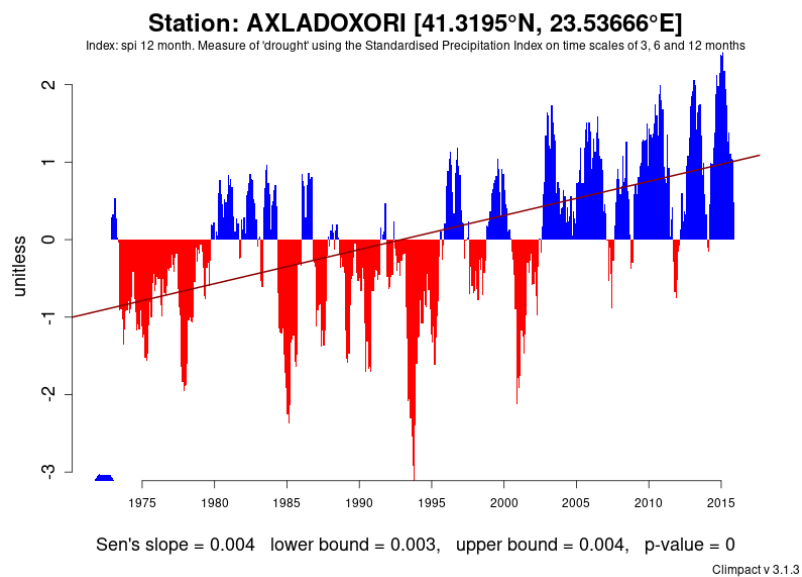
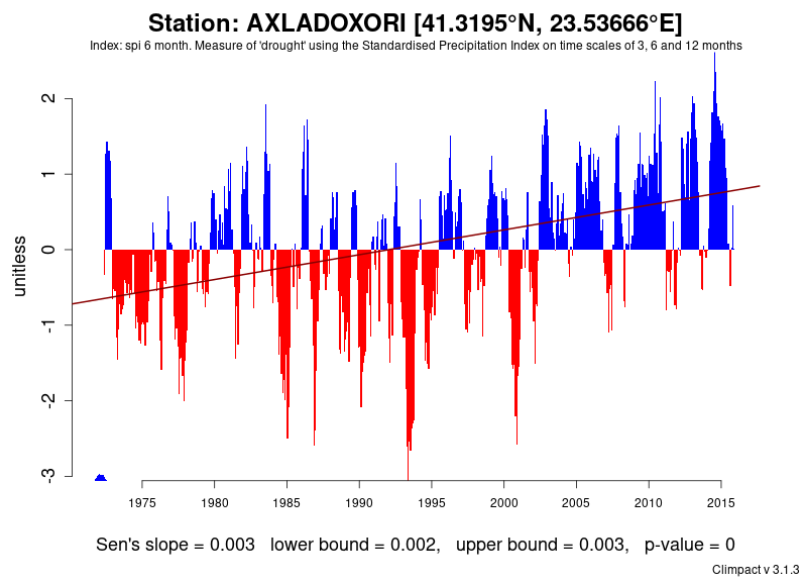
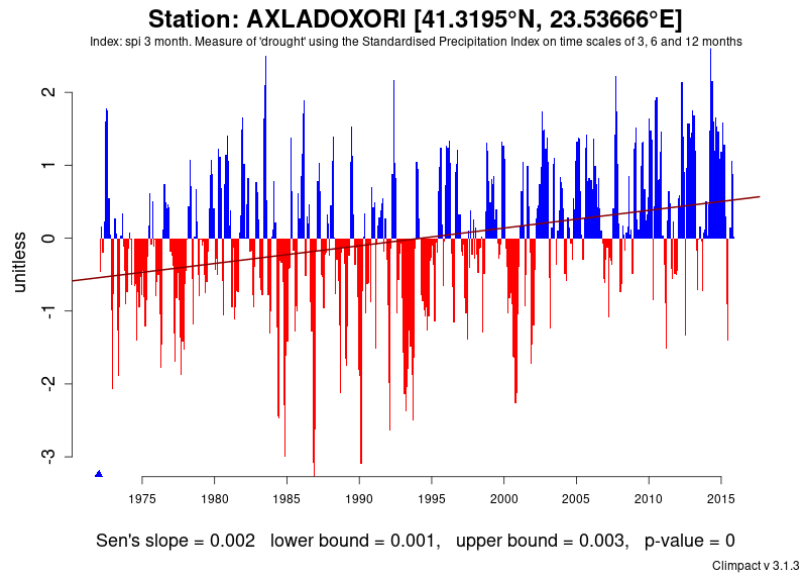
Climpact v 3.1.3

Station: AXLADOXORI [41.3195°N, 23.53666°E]



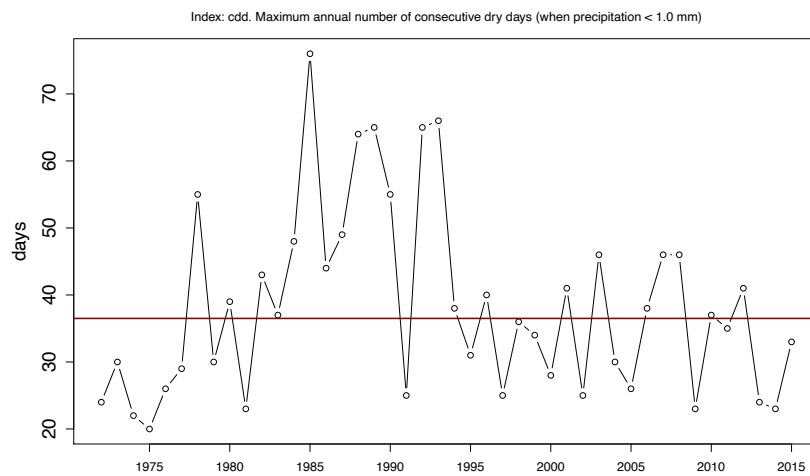
Sen's slope = 0.034 lower bound = 0, upper bound = 0.067, p-value = 0.053

Climpact v 3.1.3



Σταθμός ΓΟΥΜΕΝΙΣΣΑ (Κεντρική Μακεδονία)

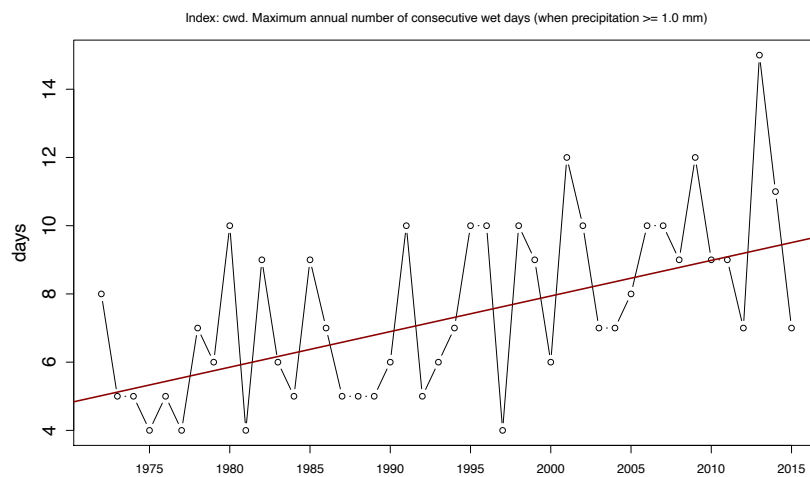
Station: GOUMENISA [40.93828°N, 22.45872°E]



Sen's slope = 0 lower bound = -0.36, upper bound = 0.273, p-value = 0.952

Climpact v 3.1.3

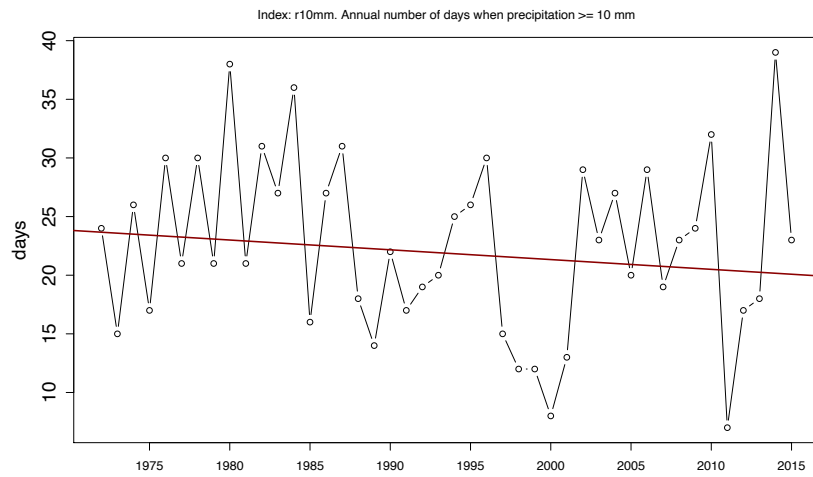
Station: GOUMENISA [40.93828°N, 22.45872°E]



Sen's slope = 0.104 lower bound = 0.053, upper bound = 0.161, p-value = 0

Climpact v 3.1.3

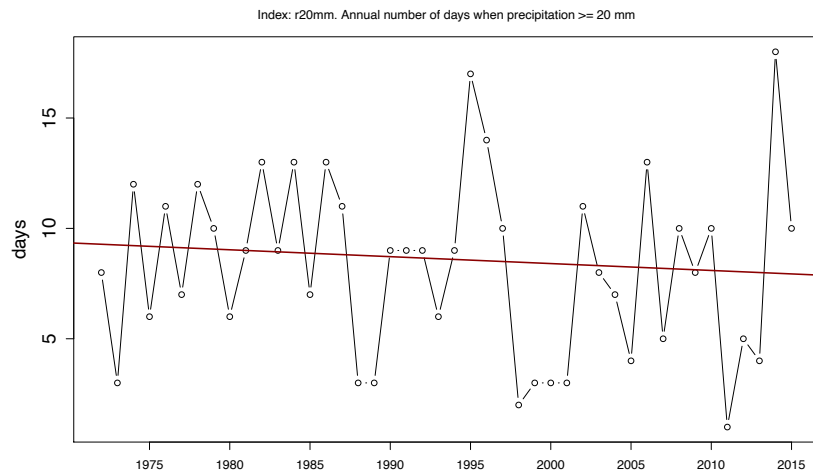
Station: GOUMENISA [40.93828°N, 22.45872°E]



Sen's slope = -0.083 lower bound = -0.3 , upper bound = 0.107 , p-value = 0.435

Climpact v 3.1.3

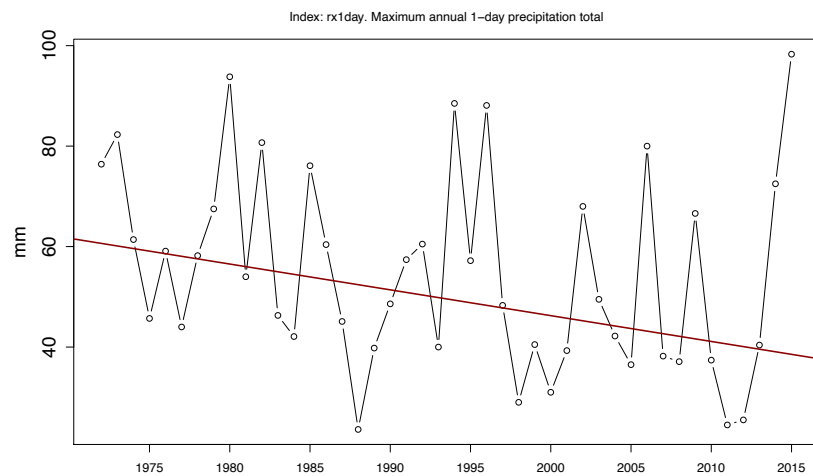
Station: GOUMENISA [40.93828°N, 22.45872°E]



Sen's slope = -0.031 lower bound = -0.136 , upper bound = 0.053 , p-value = 0.489

Climpact v 3.1.3

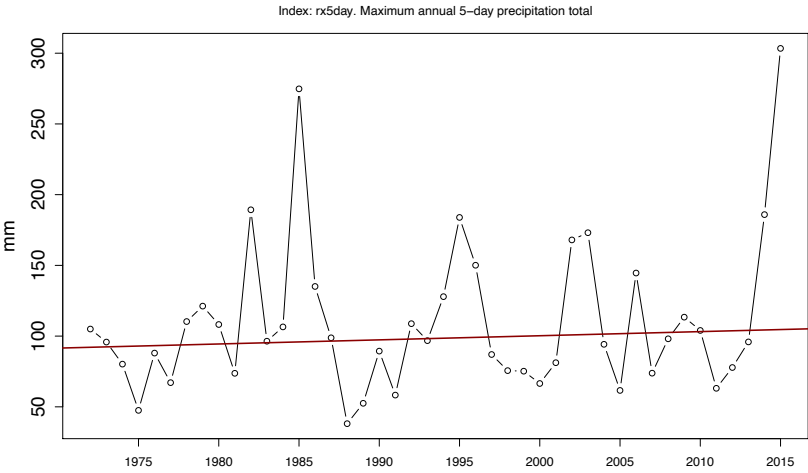
Station: GOUMENISA [40.93828°N, 22.45872°E]



Sen's slope = -0.514 lower bound = -0.919 , upper bound = -0.093 , p-value = 0.022

Climpact v 3.1.3

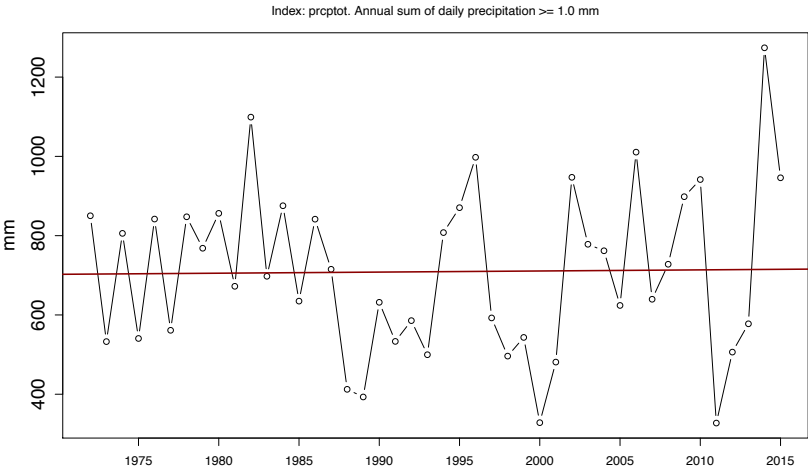
Station: GOUMENISA [40.93828°N, 22.45872°E]



Sen's slope = 0.292 lower bound = -0.557, upper bound = 1.533, p-value = 0.46

Climpact v 3.1.3

Station: GOUMENISA [40.93828°N, 22.45872°E]

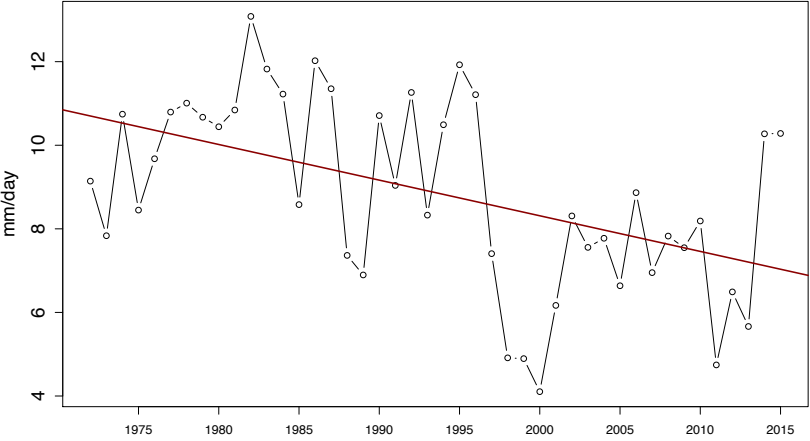


Sen's slope = 0.281 lower bound = -5.621, upper bound = 5.333, p-value = 0.944

Climpact v 3.1.3

Station: GOUMENISA [40.93828°N, 22.45872°E]

Index: sdii. Annual total precipitation divided by the number of wet days (when total precipitation ≥ 1.0 mm)

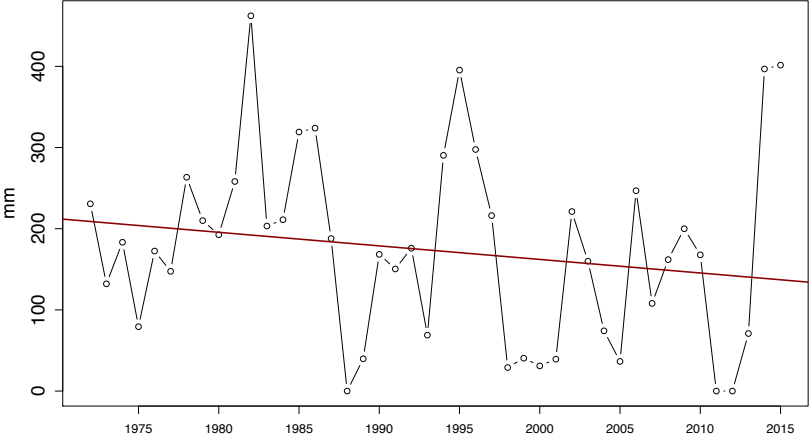


Sen's slope = -0.085 lower bound = -0.136 , upper bound = -0.025 , p-value = 0.002

Climpact v 3.1.3

Station: GOUMENISA [40.93828°N, 22.45872°E]

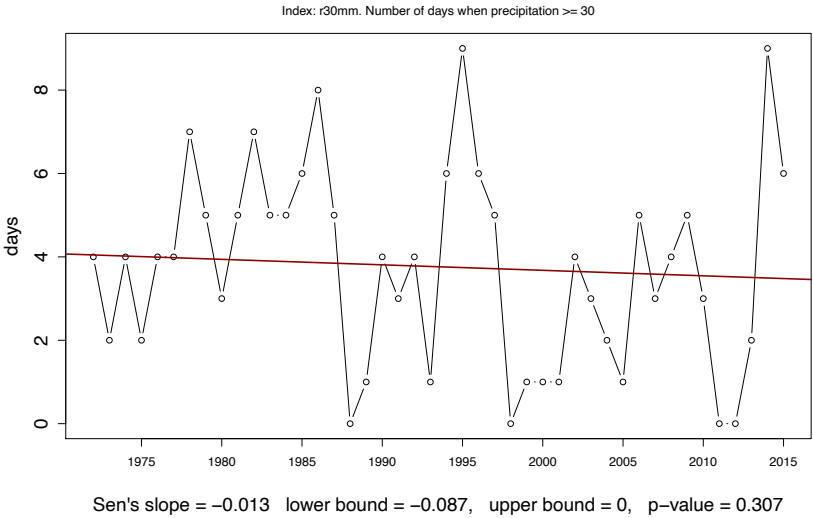
Index: r95p. Annual sum of daily precipitation > 95 th percentile



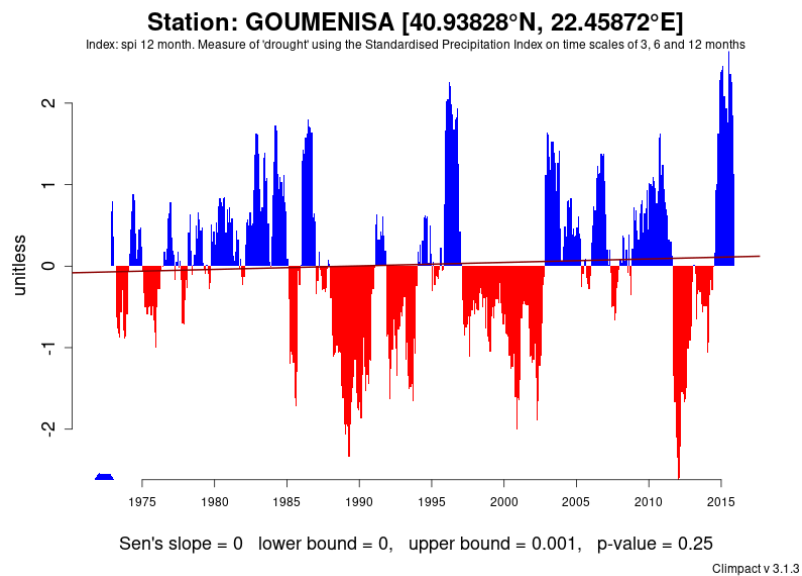
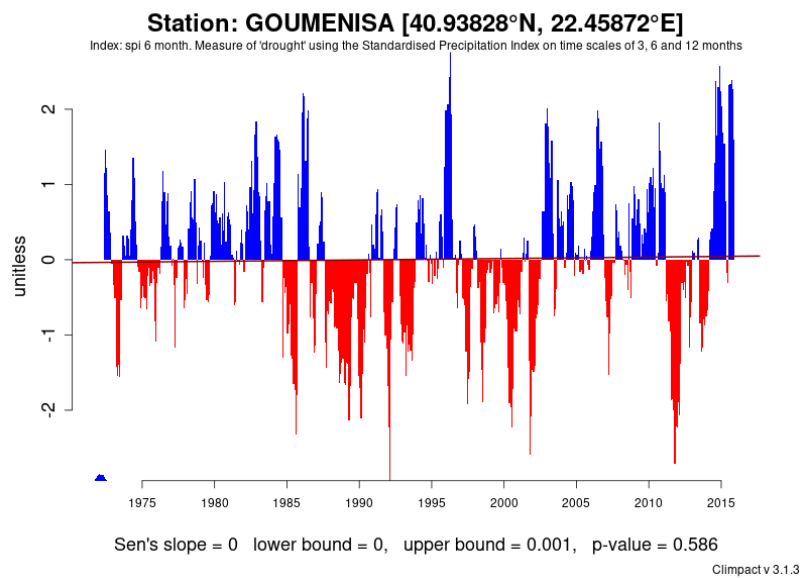
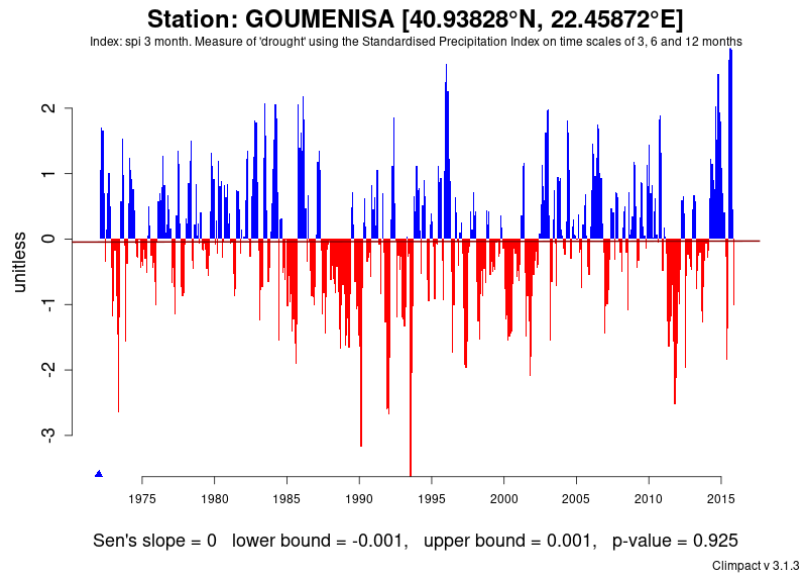
Sen's slope = -1.67 lower bound = -4.388 , upper bound = 1.295 , p-value = 0.249

Climpact v 3.1.3

Station: GOUMENISA [40.93828°N, 22.45872°E]

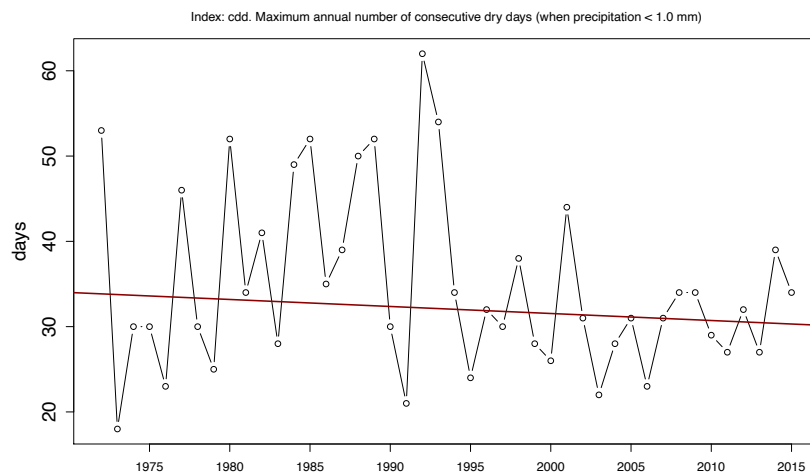


Climpact v 3.1.3



Σταθμός ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ (Δυτική Μακεδονία)

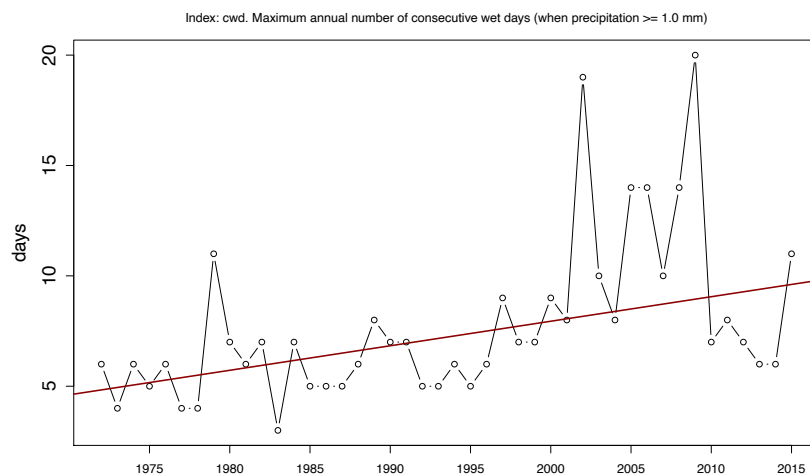
Station: PENTALOFOS [40.1943°N, 21.14179°E]



Sen's slope = -0.082 lower bound = -0.382 , upper bound = 0.114 , p-value = 0.406

Climpact v 3.1.3

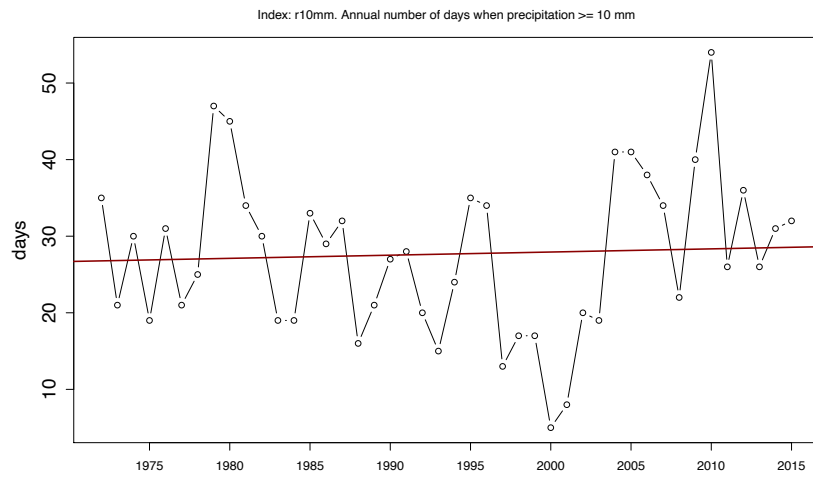
Station: PENTALOFOS [40.1943°N, 21.14179°E]



Sen's slope = 0.111 lower bound = 0.053 , upper bound = 0.167 , p-value = 0

Climpact v 3.1.3

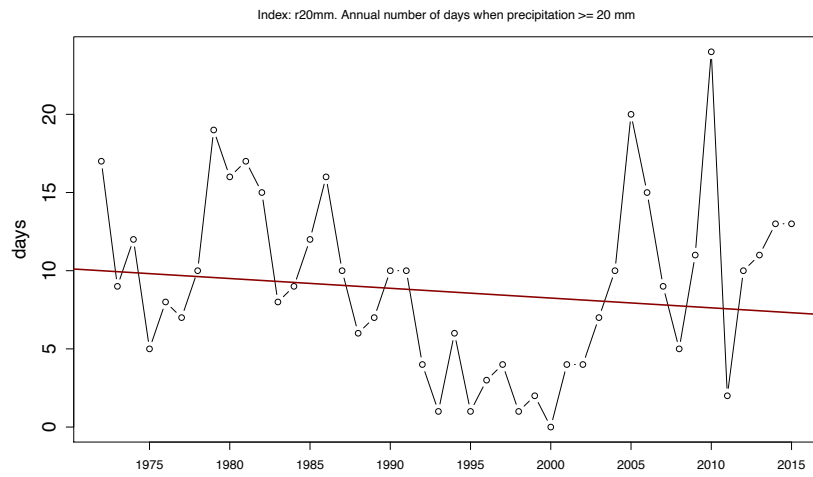
Station: PENTALOFOS [40.1943°N, 21.14179°E]



Sen's slope = 0.041 lower bound = -0.222, upper bound = 0.31, p-value = 0.708

Climpact v 3.1.3

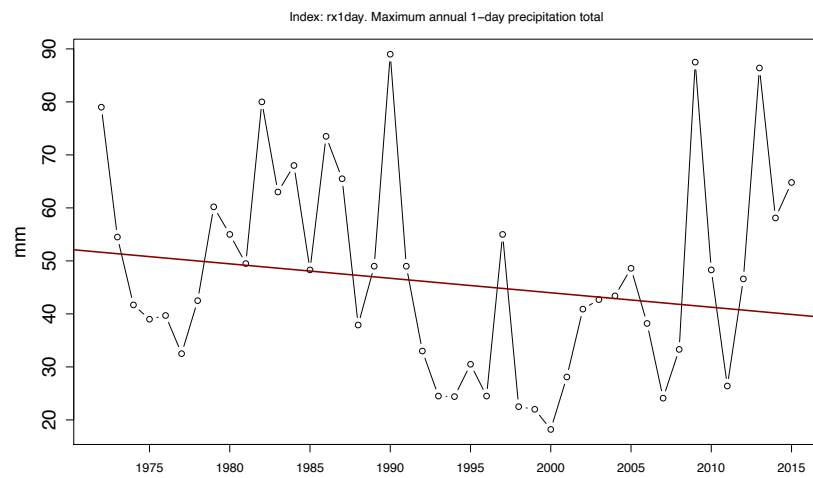
Station: PENTALOFOS [40.1943°N, 21.14179°E]



Sen's slope = -0.062 lower bound = -0.222, upper bound = 0.077, p-value = 0.411

Climpact v 3.1.3

Station: PENTALOFOS [40.1943°N, 21.14179°E]

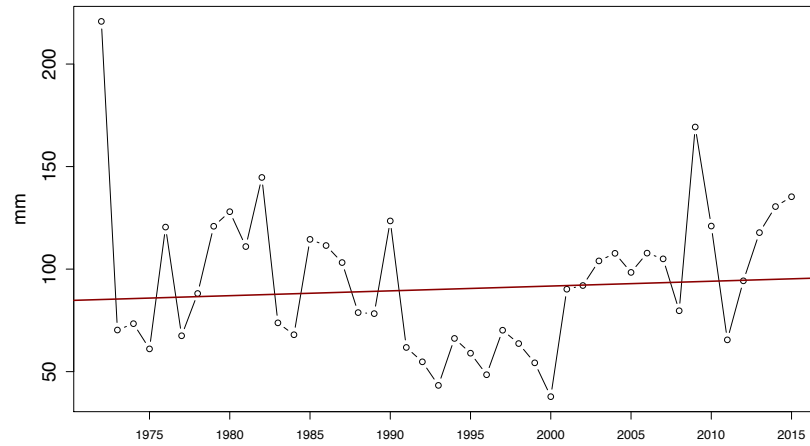


Sen's slope = -0.273 lower bound = -0.72, upper bound = 0.226, p-value = 0.307

Climpact v 3.1.3

Station: PENTALOFOS [40.1943°N, 21.14179°E]

Index: rx5day. Maximum annual 5-day precipitation total

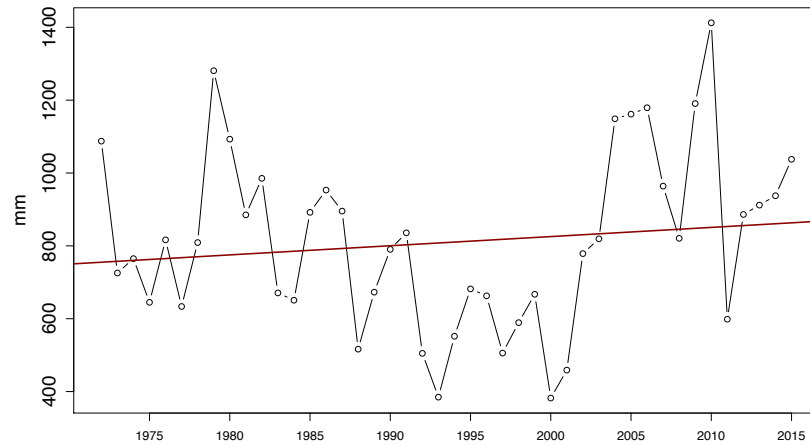


Sen's slope = 0.235 lower bound = -0.625, upper bound = 1.187, p-value = 0.564

Climpact v 3.1.3

Station: PENTALOFOS [40.1943°N, 21.14179°E]

Index: prcptot. Annual sum of daily precipitation ≥ 1.0 mm

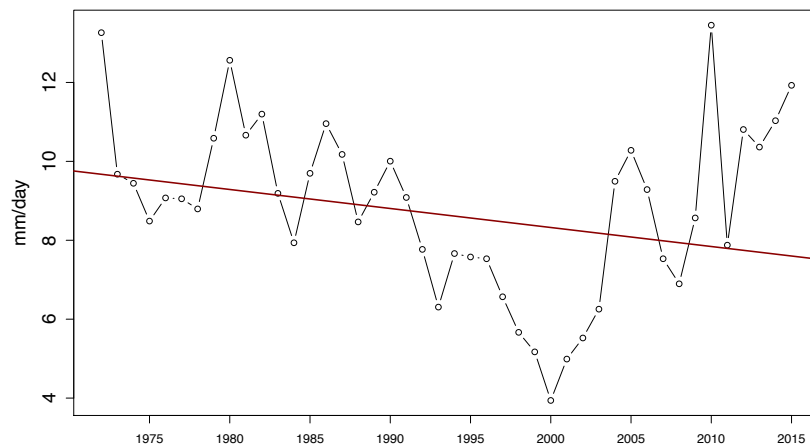


Sen's slope = 2.516 lower bound = -3.916, upper bound = 9.375, p-value = 0.327

Climpact v 3.1.3

Station: PENTALOFOS [40.1943°N, 21.14179°E]

Index: sdii. Annual total precipitation divided by the number of wet days (when total precipitation ≥ 1.0 mm)

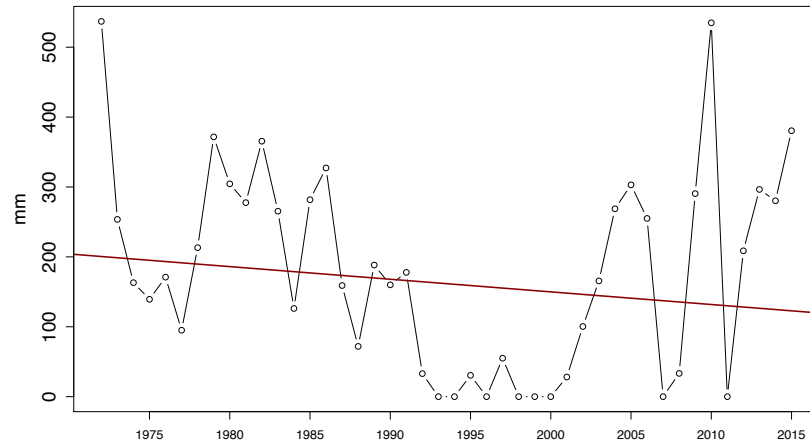


Sen's slope = -0.048 lower bound = -0.108, upper bound = 0.015, p-value = 0.16

Climpact v 3.1.3

Station: PENTALOFOS [40.1943°N, 21.14179°E]

Index: r95p. Annual sum of daily precipitation > 95th percentile

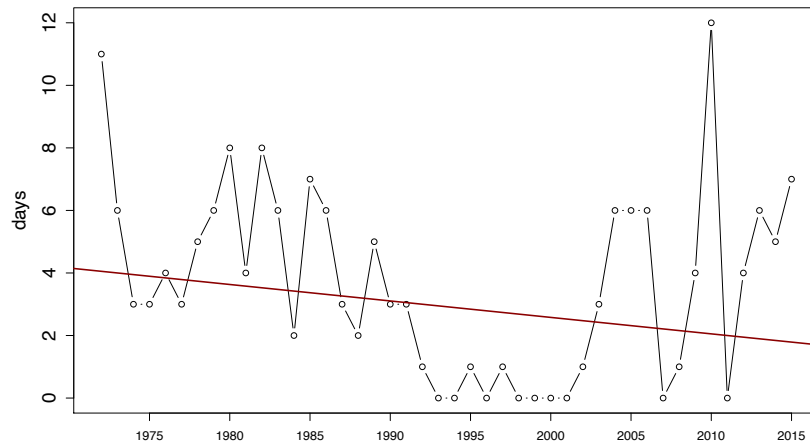


Sen's slope = -1.807 lower bound = -5.716 , upper bound = 1.331 , p-value = 0.345

Climpact v 3.1.3

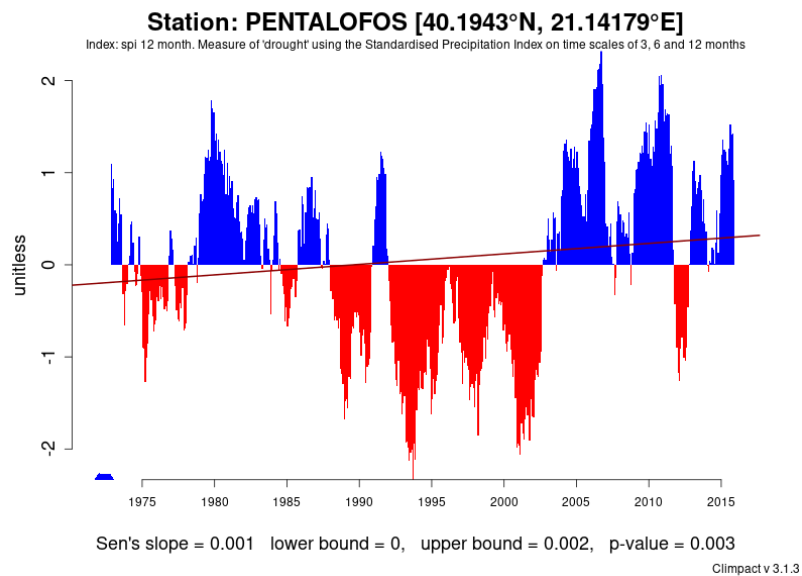
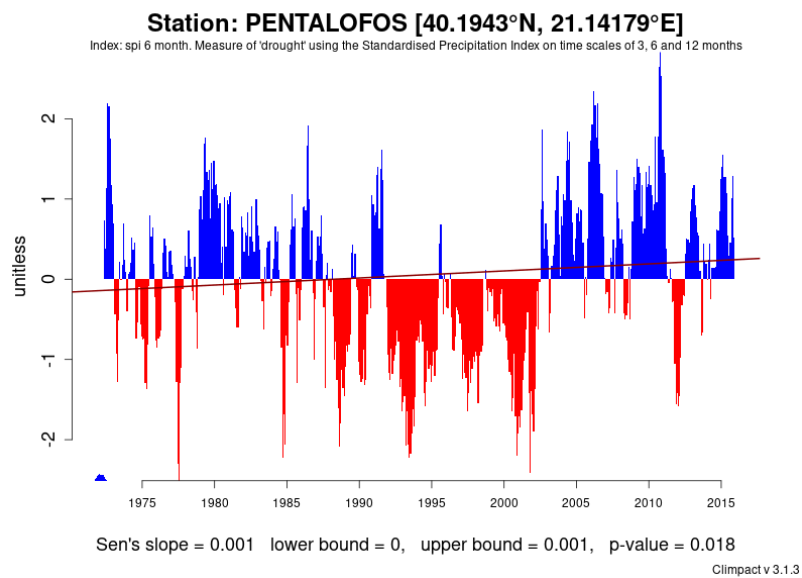
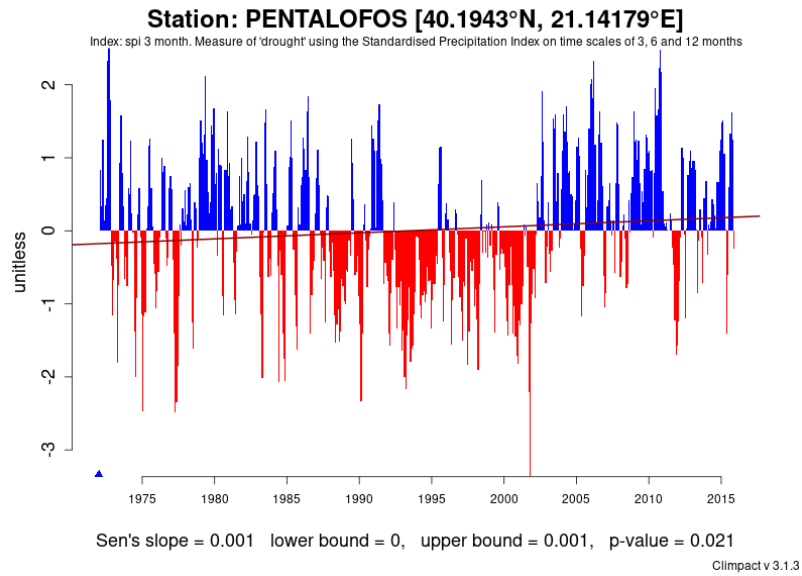
Station: PENTALOFOS [40.1943°N, 21.14179°E]

Index: r30mm. Number of days when precipitation ≥ 30



Sen's slope = -0.053 lower bound = -0.125 , upper bound = 0 , p-value = 0.14

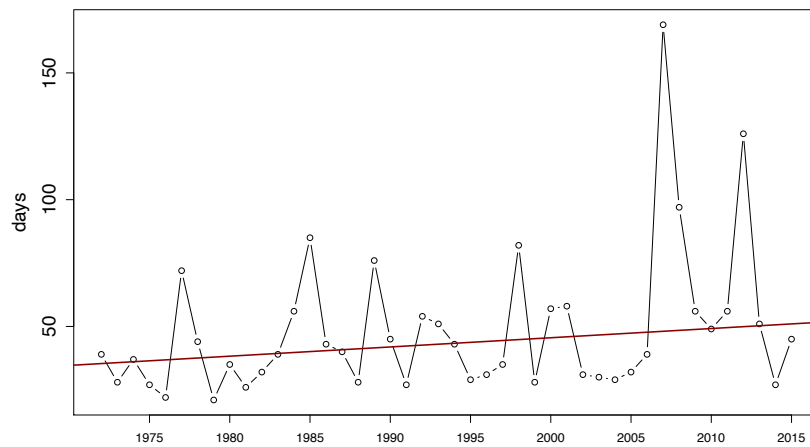
Climpact v 3.1.3



Σταθμός ΕΛΑΣΣΩΝΑ (Θεσσαλία)

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

Index: cdd. Maximum annual number of consecutive dry days (when precipitation < 1.0 mm)

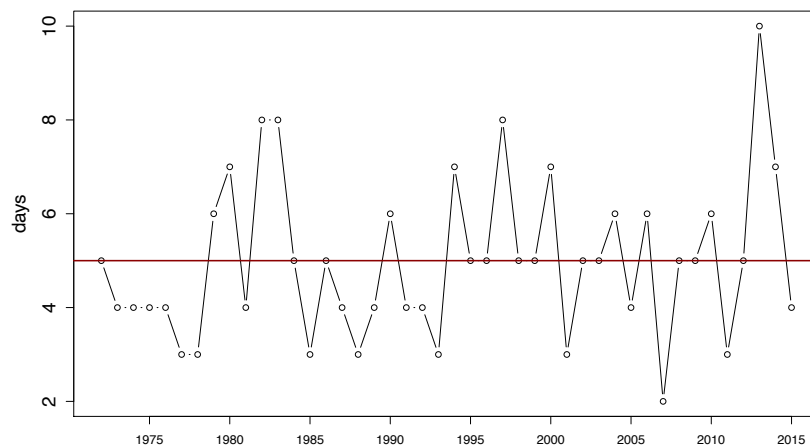


Sen's slope = 0.364 lower bound = 0, upper bound = 0.793, p-value = 0.041

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

Index: cwd. Maximum annual number of consecutive wet days (when precipitation \geq 1.0 mm)

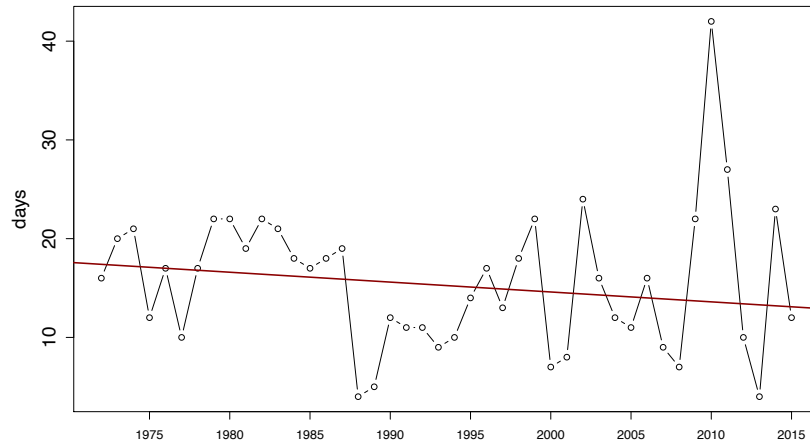


Sen's slope = 0 lower bound = 0, upper bound = 0.056, p-value = 0.222

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

Index: r10mm. Annual number of days when precipitation ≥ 10 mm

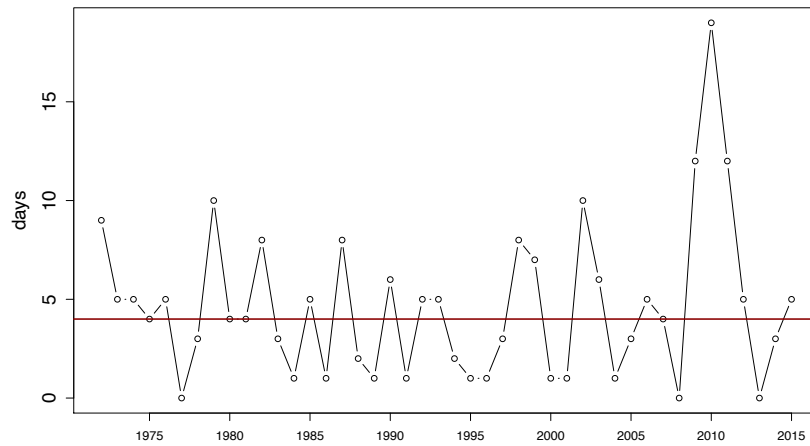


Sen's slope = -0.1 lower bound = -0.263 , upper bound = 0.077 , p-value = 0.292

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

Index: r20mm. Annual number of days when precipitation ≥ 20 mm

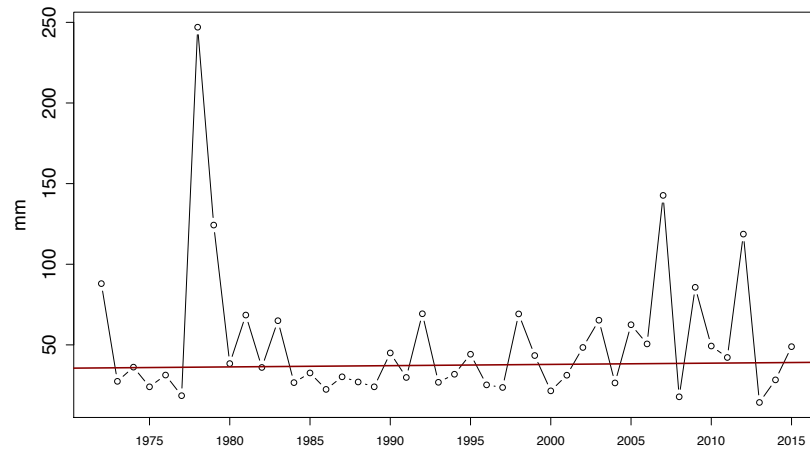


Sen's slope = 0 lower bound = -0.091 , upper bound = 0.071 , p-value = 0.878

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

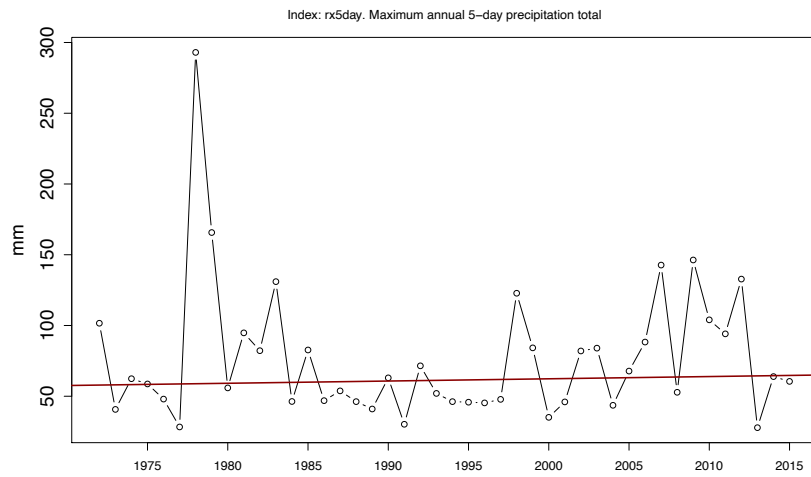
Index: rx1day. Maximum annual 1-day precipitation total



Sen's slope = 0.078 lower bound = -0.408 , upper bound = 0.614 , p-value = 0.808

Climpact v 3.1.3

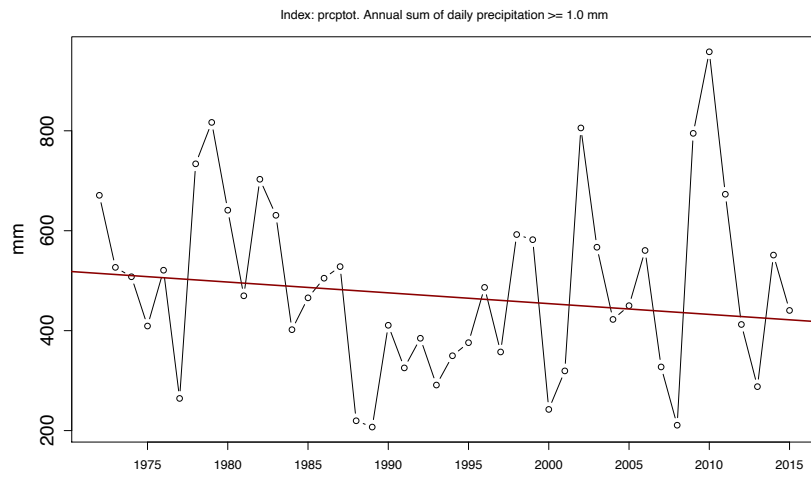
Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]



Sen's slope = 0.158 lower bound = -0.562, upper bound = 0.962, p-value = 0.671

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

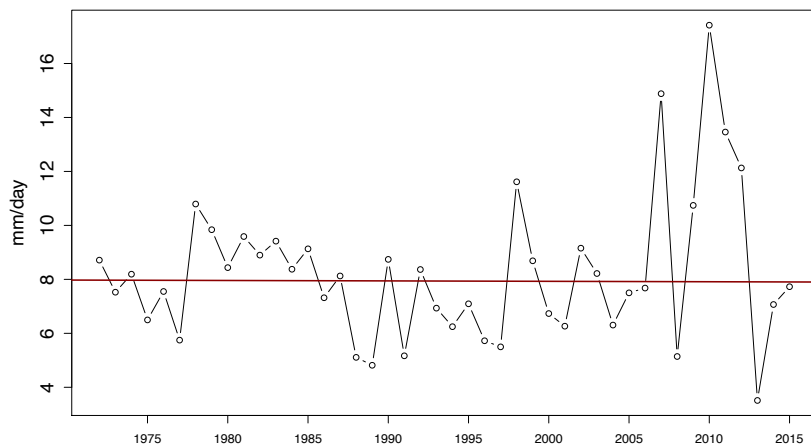


Sen's slope = -2.158 lower bound = -6.286, upper bound = 2.775, p-value = 0.413

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

Index: sdii. Annual total precipitation divided by the number of wet days (when total precipitation ≥ 1.0 mm)

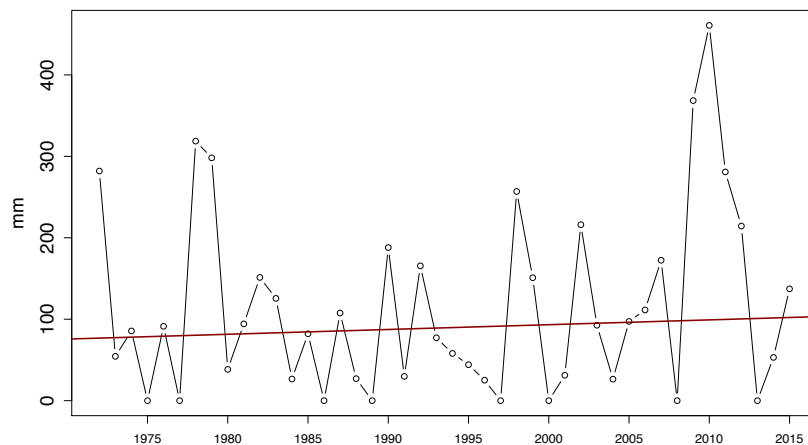


Sen's slope = -0.002 lower bound = -0.06, upper bound = 0.069, p-value = 0.911

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

Index: r95p. Annual sum of daily precipitation > 95th percentile

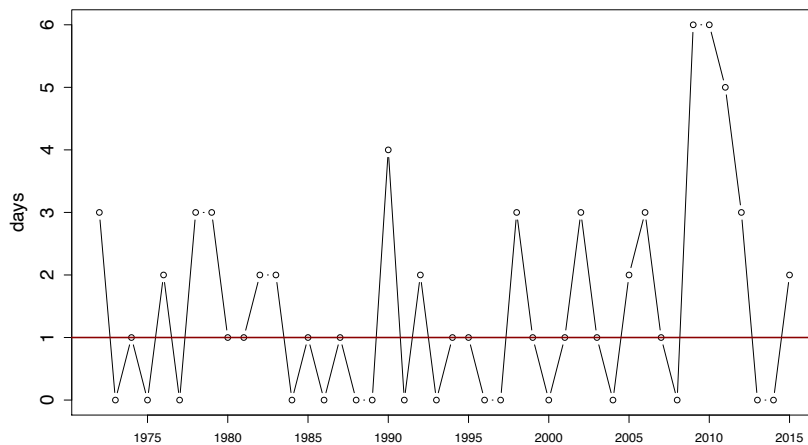


Sen's slope = 0.589 lower bound = -1.38, upper bound = 3.412, p-value = 0.509

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

Index: r30mm. Number of days when precipitation >= 30

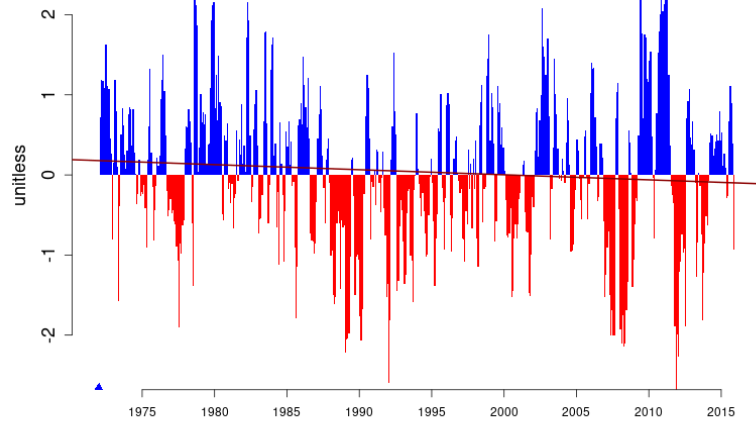


Sen's slope = 0 lower bound = 0, upper bound = 0.042, p-value = 0.443

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

Index: spi 3 month. Measure of 'drought' using the Standardised Precipitation Index on time scales of 3, 6 and 12 months

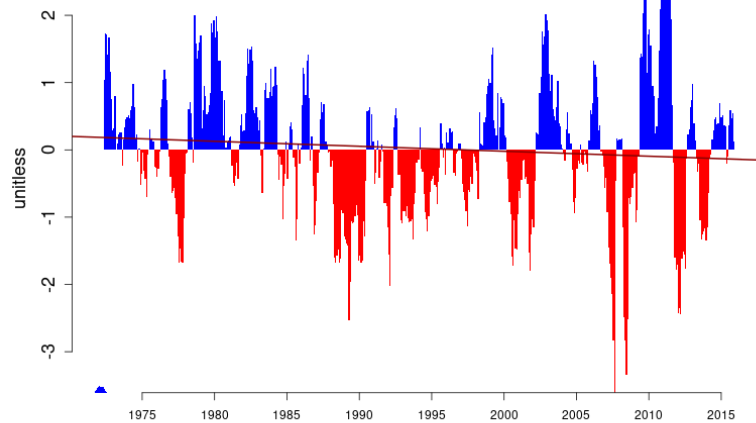


Sen's slope = -0.001 lower bound = -0.001, upper bound = 0, p-value = 0.066

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

Index: spi 6 month. Measure of 'drought' using the Standardised Precipitation Index on time scales of 3, 6 and 12 months

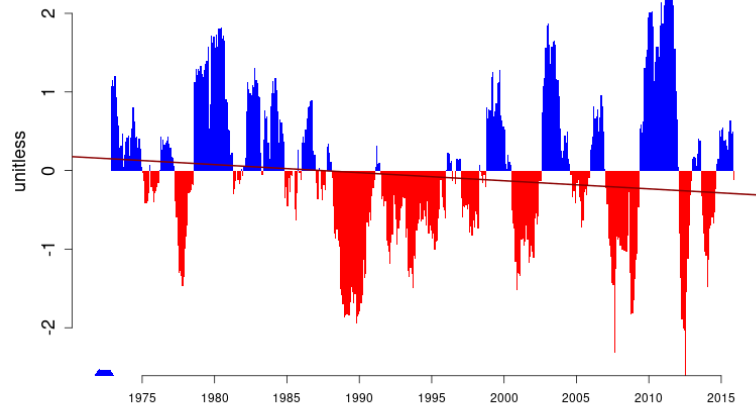


Sen's slope = -0.001 lower bound = -0.001, upper bound = 0, p-value = 0.032

Climpact v 3.1.3

Station: ELASONA [39.88816°N, 22.19085°E]

Index: spi 12 month. Measure of 'drought' using the Standardised Precipitation Index on time scales of 3, 6 and 12 months

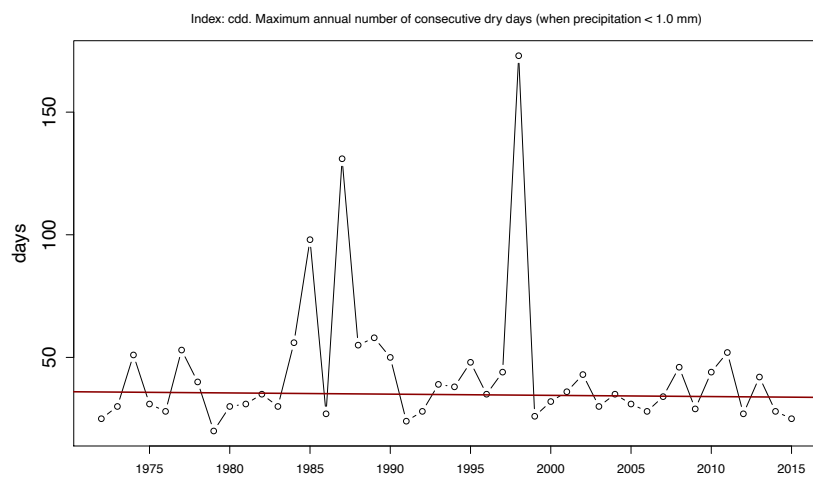


Sen's slope = -0.001 lower bound = -0.001, upper bound = 0, p-value = 0.007

Climpact v 3.1.3

Σταθμός ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ (Θεσσαλία)

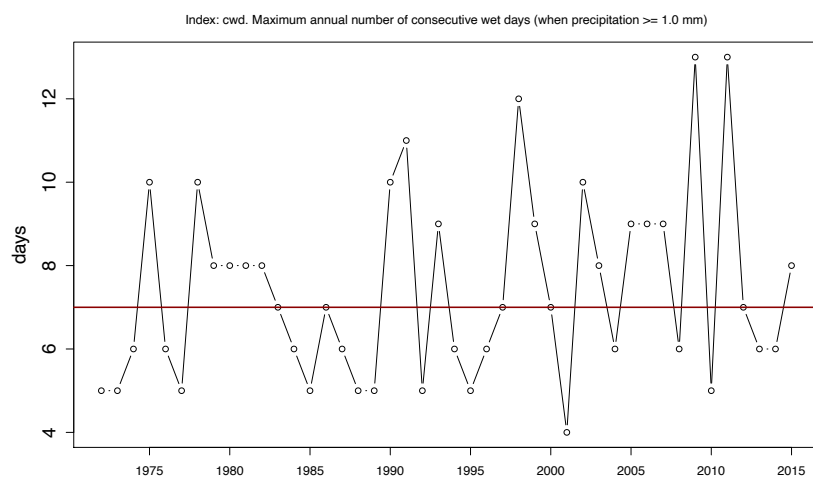
Station: LOUTROPIGI [39.11708°N, 22.04425°E]



Sen's slope = -0.049 lower bound = -0.333, upper bound = 0.229, p-value = 0.7

Climpact v 3.1.3

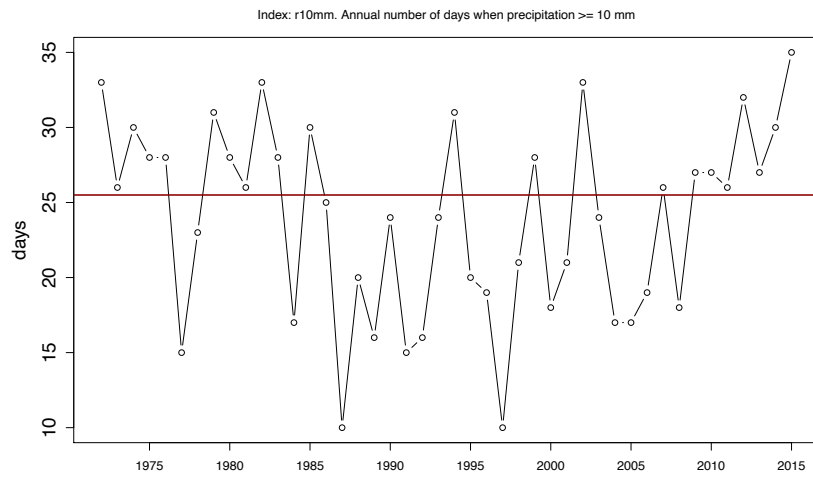
Station: LOUTROPIGI [39.11708°N, 22.04425°E]



Sen's slope = 0 lower bound = 0, upper bound = 0.077, p-value = 0.242

Climpact v 3.1.3

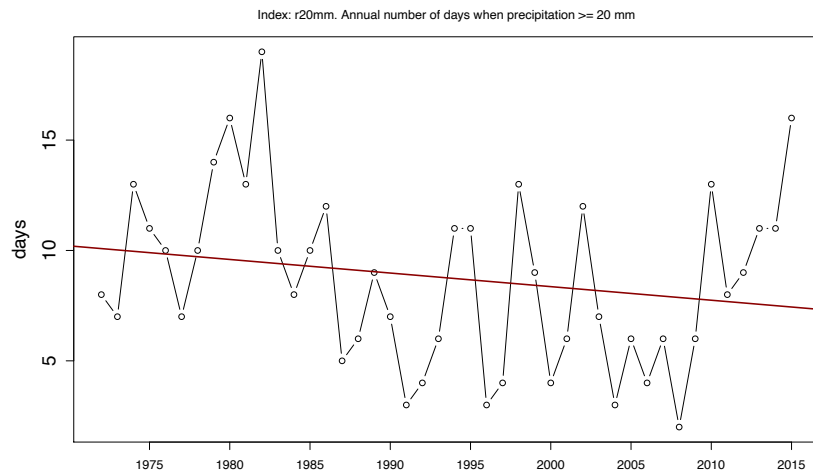
Station: LOUTROPIGI [39.11708°N, 22.04425°E]



Sen's slope = 0 lower bound = -0.2, upper bound = 0.15, p-value = 0.887

Climpact v 3.1.3

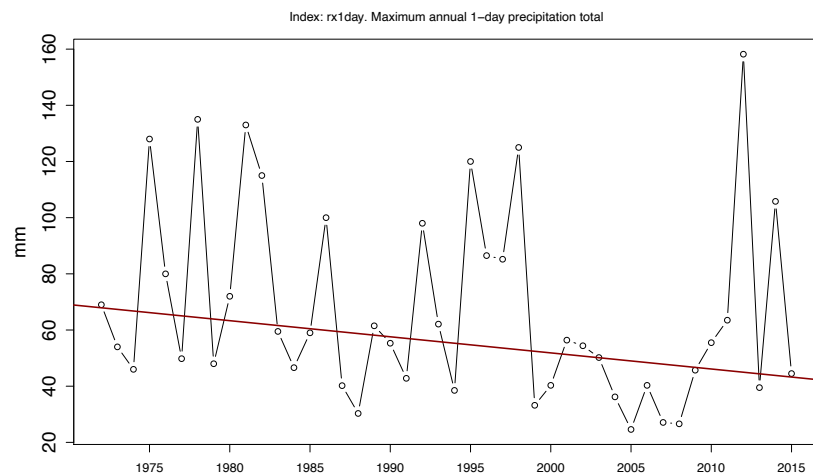
Station: LOUTROPIGI [39.11708°N, 22.04425°E]



Sen's slope = -0.062 lower bound = -0.167, upper bound = 0, p-value = 0.17

Climpact v 3.1.3

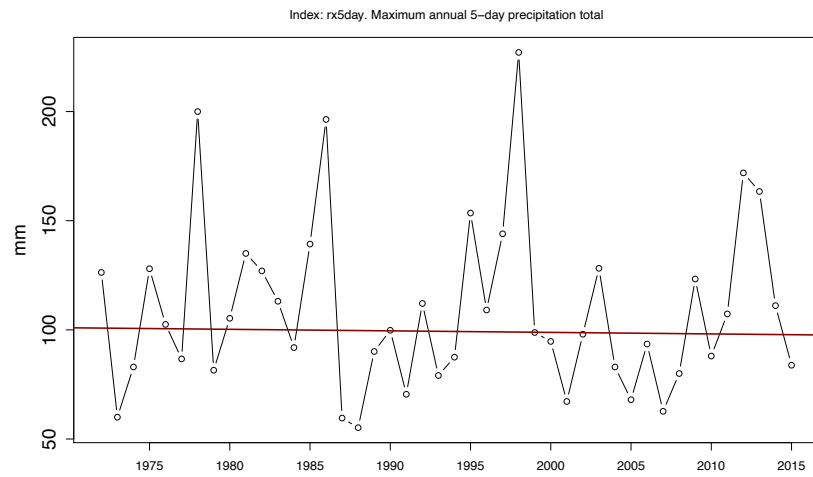
Station: LOUTROPIGI [39.11708°N, 22.04425°E]



Sen's slope = -0.573 lower bound = -1.178, upper bound = 0, p-value = 0.052

Climpact v 3.1.3

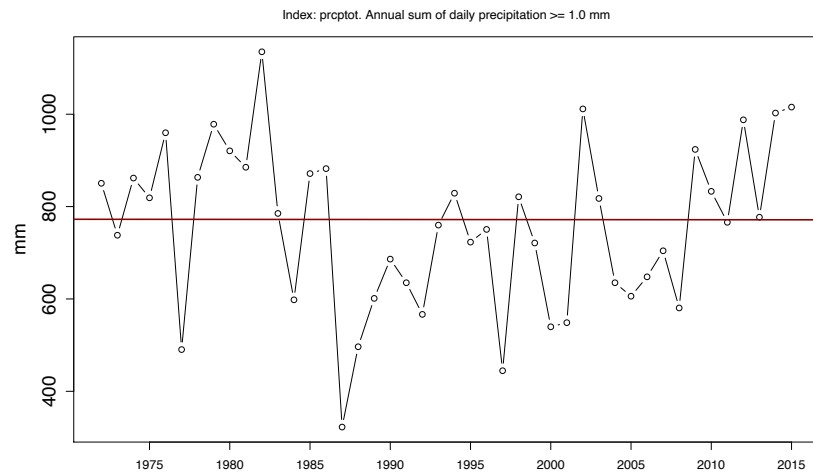
Station: LOUTROPIGI [39.11708°N, 22.04425°E]



Sen's slope = -0.07 lower bound = -0.904 , upper bound = 0.833 , p-value = 0.936

Climpact v 3.1.3

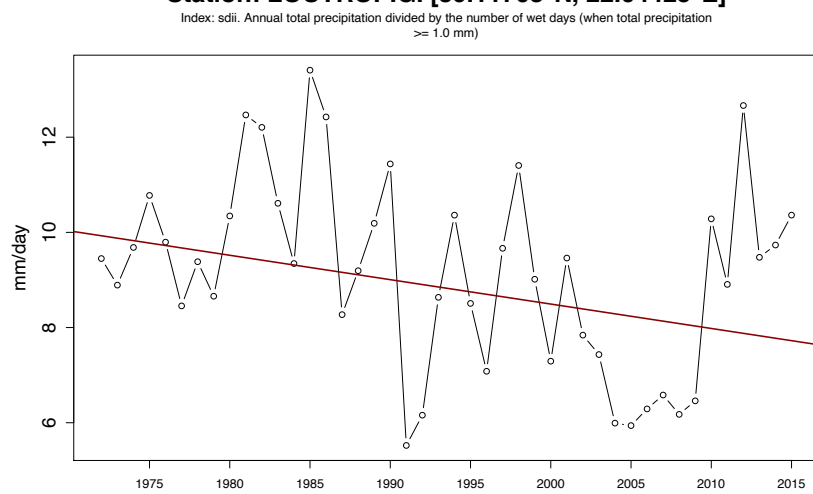
Station: LOUTROPIGI [39.11708°N, 22.04425°E]



Sen's slope = -0.025 lower bound = -4.69 , upper bound = 4.333 , p-value = 1

Climpact v 3.1.3

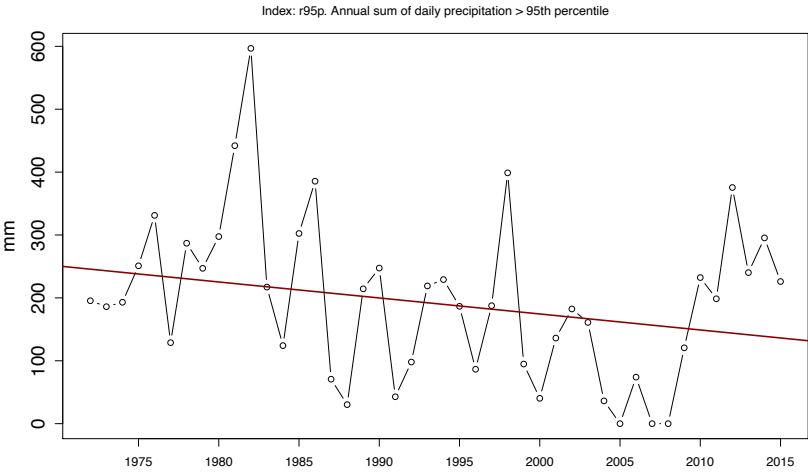
Station: LOUTROPIGI [39.11708°N, 22.04425°E]



Sen's slope = -0.051 lower bound = -0.097 , upper bound = 0.003 , p-value = 0.084

Climpact v 3.1.3

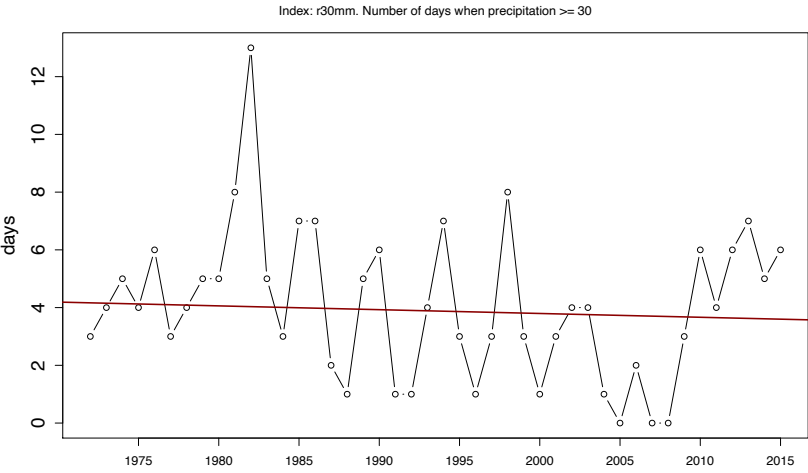
Station: LOUTROPIGI [39.11708°N, 22.04425°E]



Sen's slope = -2.544 lower bound = -5.723 , upper bound = 0.236 , p-value = 0.082

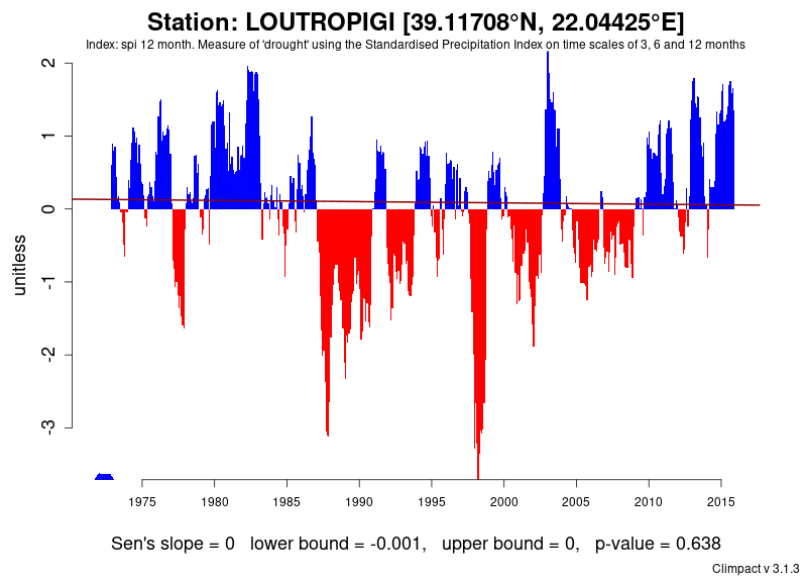
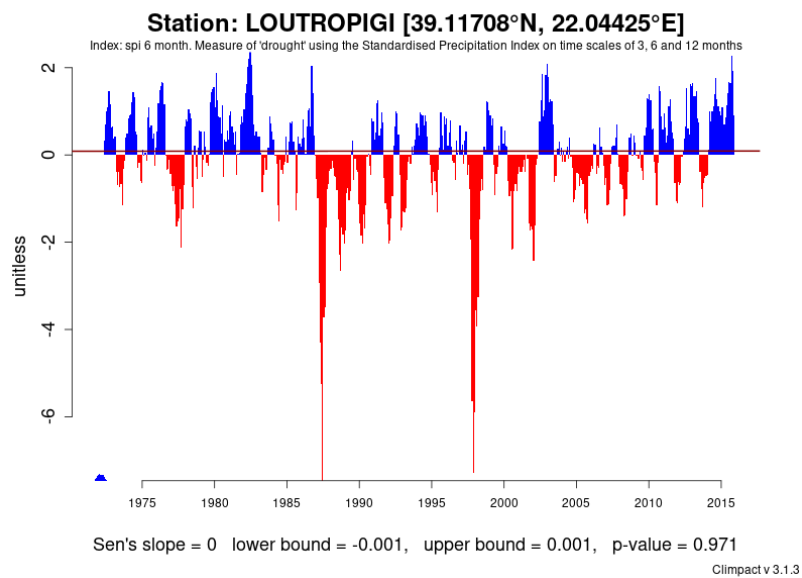
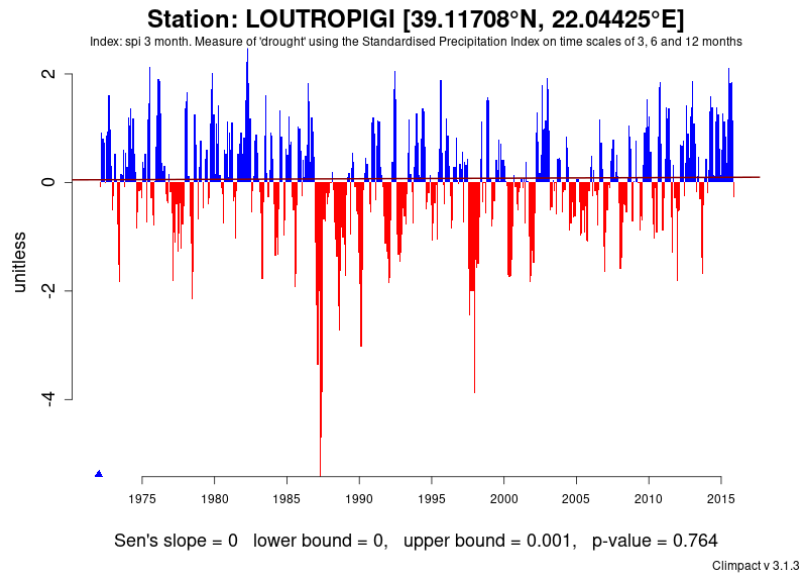
Climpact v 3.1.3

Station: LOUTROPIGI [39.11708°N, 22.04425°E]



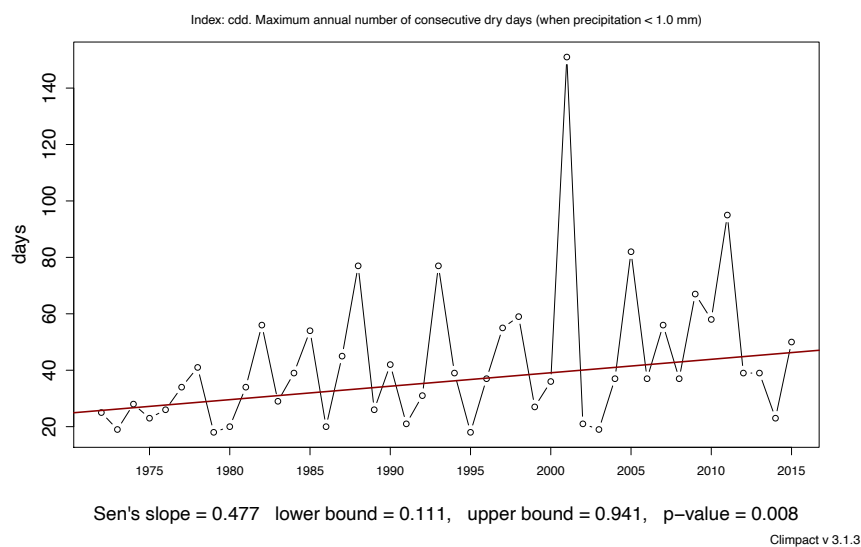
Sen's slope = -0.013 lower bound = -0.091 , upper bound = 0 , p-value = 0.312

Climpact v 3.1.3

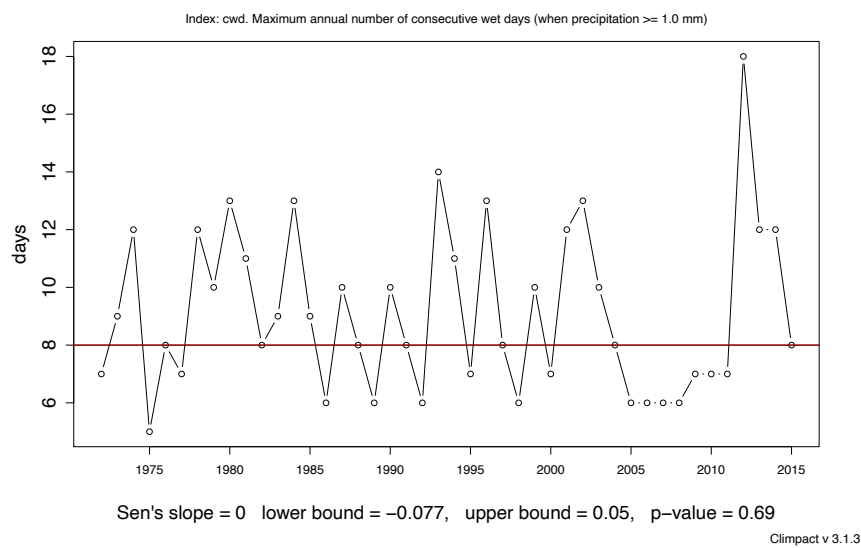


Σταθμός ΠΥΡΑ (Δυτική Στερεά Ελλάδα)

Station: PYRA [38.74262°N, 22.27196°E]

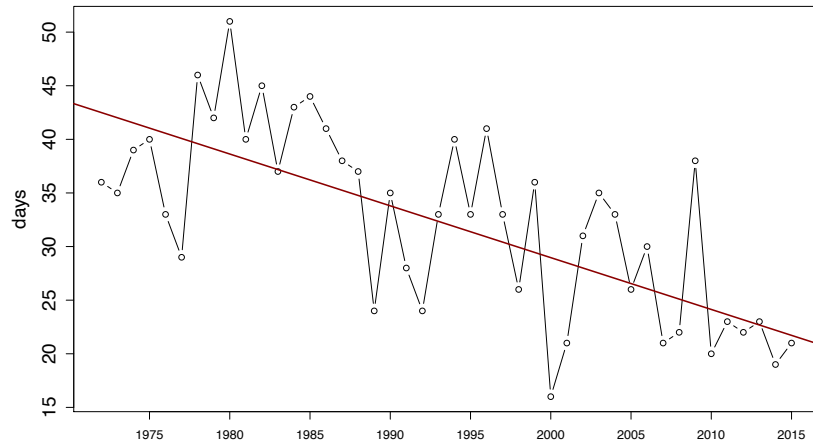


Station: PYRA [38.74262°N, 22.27196°E]



Station: PYRA [38.74262°N, 22.27196°E]

Index: r10mm. Annual number of days when precipitation ≥ 10 mm

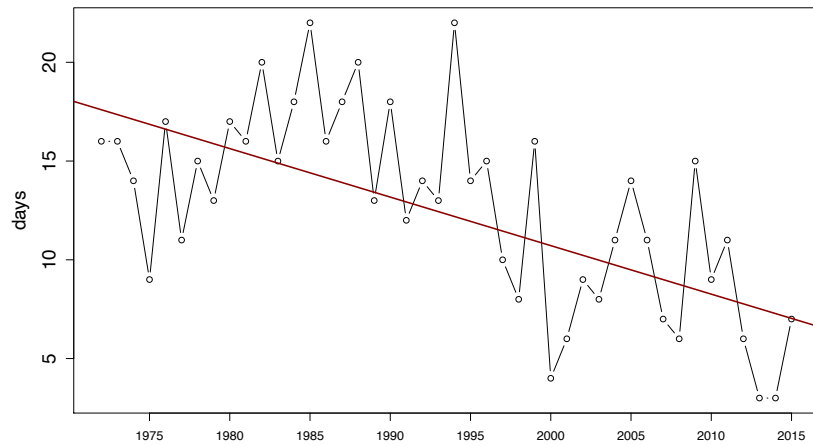


Sen's slope = -0.483 lower bound = -0.657 , upper bound = -0.3 , p-value = 0

Climpact v 3.1.3

Station: PYRA [38.74262°N, 22.27196°E]

Index: r20mm. Annual number of days when precipitation ≥ 20 mm

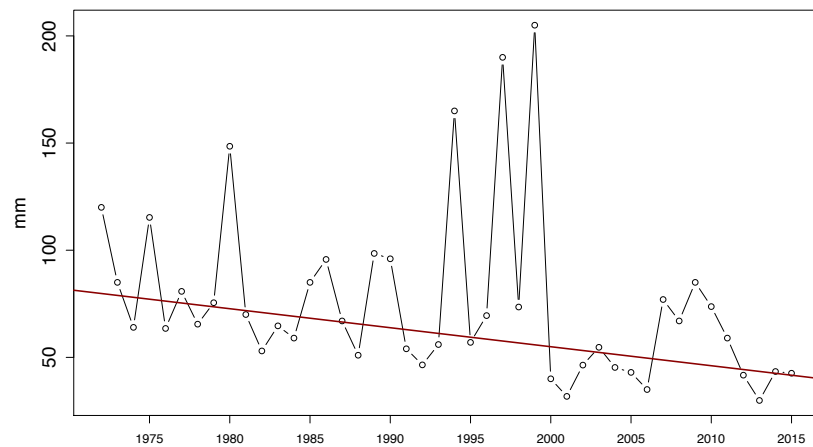


Sen's slope = -0.246 lower bound = -0.344 , upper bound = -0.143 , p-value = 0

Climpact v 3.1.3

Station: PYRA [38.74262°N, 22.27196°E]

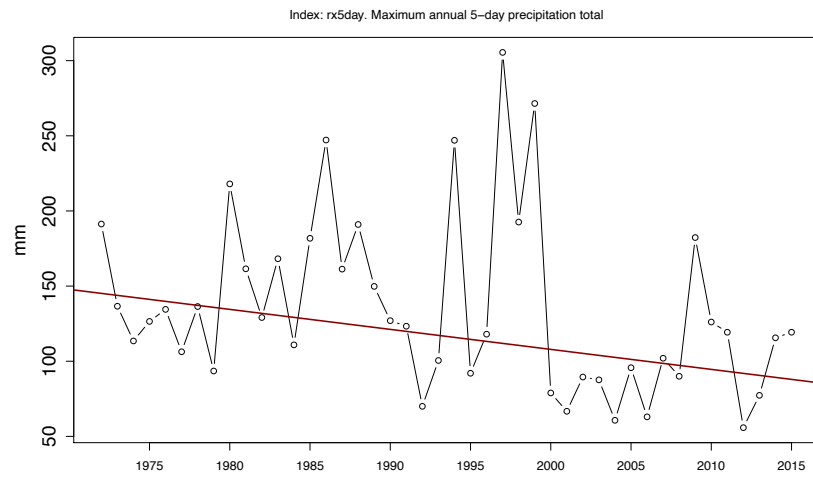
Index: rx1day. Maximum annual 1-day precipitation total



Sen's slope = -0.887 lower bound = -1.373 , upper bound = -0.367 , p-value = 0.002

Climpact v 3.1.3

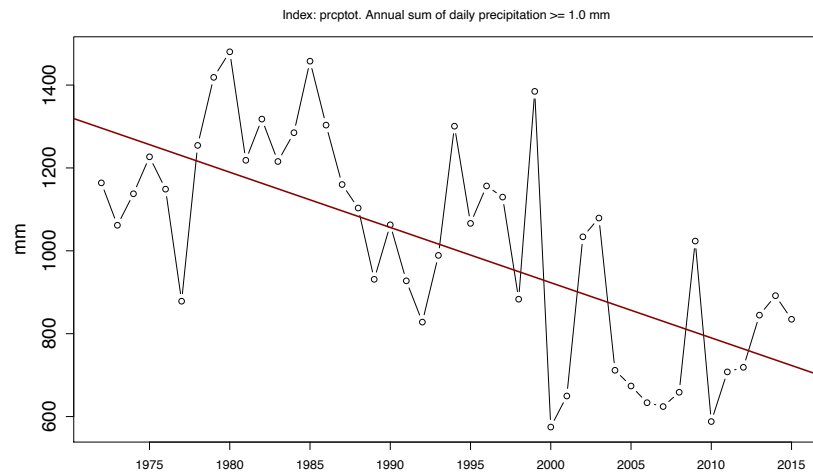
Station: PYRA [38.74262°N, 22.27196°E]



Sen's slope = -1.331 lower bound = -2.371 , upper bound = -0.322 , p-value = 0.011

Climpact v 3.1.3

Station: PYRA [38.74262°N, 22.27196°E]

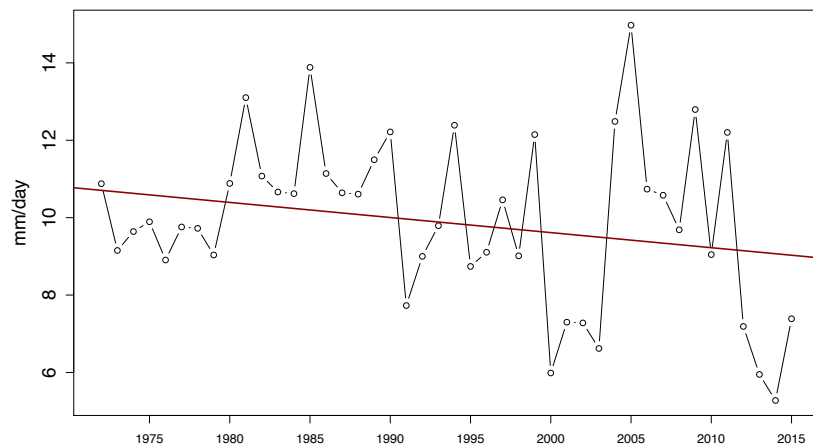


Sen's slope = -13.324 lower bound = -18.074 , upper bound = -8.216 , p-value = 0

Climpact v 3.1.3

Station: PYRA [38.74262°N, 22.27196°E]

Index: sdii. Annual total precipitation divided by the number of wet days (when total precipitation ≥ 1.0 mm)

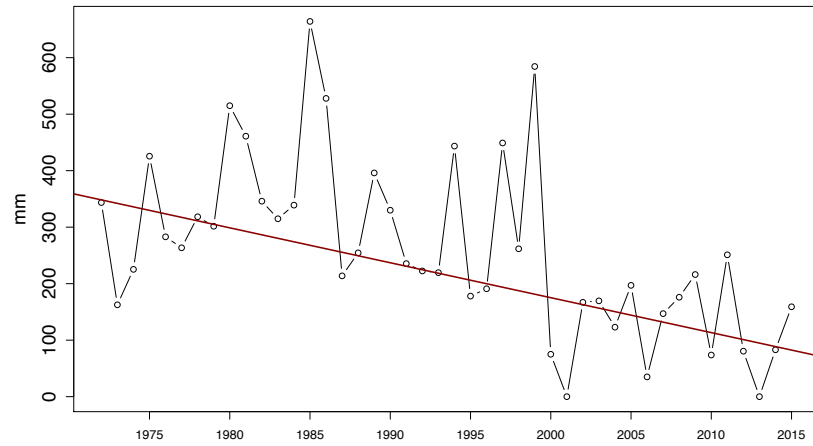


Sen's slope = -0.039 lower bound = -0.095 , upper bound = 0.012, p-value = 0.142

Climpact v 3.1.3

Station: PYRA [38.74262°N, 22.27196°E]

Index: r95p. Annual sum of daily precipitation > 95th percentile

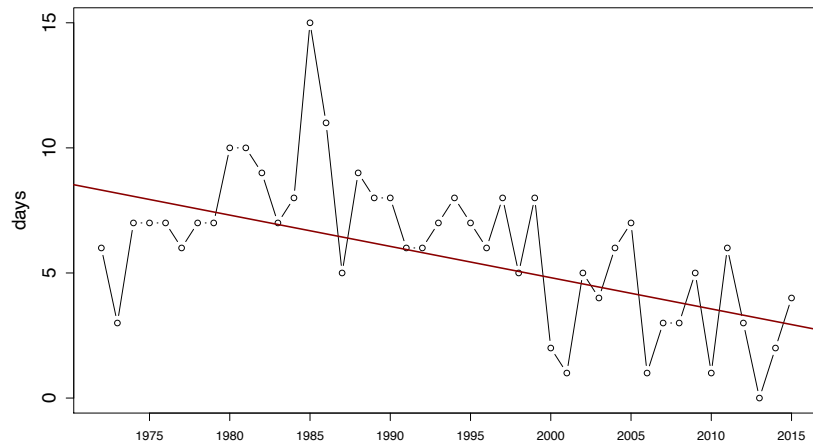


Sen's slope = -6.182 lower bound = -8.773 , upper bound = -3.816 , $p\text{-value} = 0$

Climpact v 3.1.3

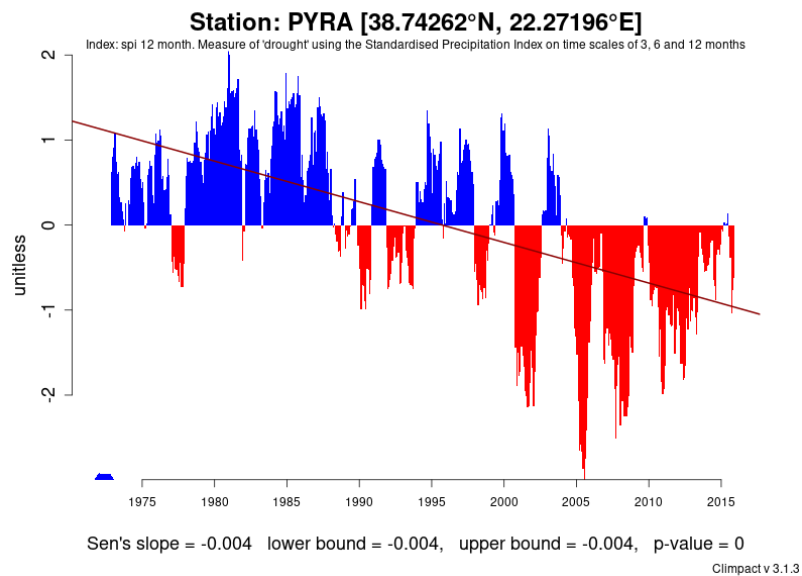
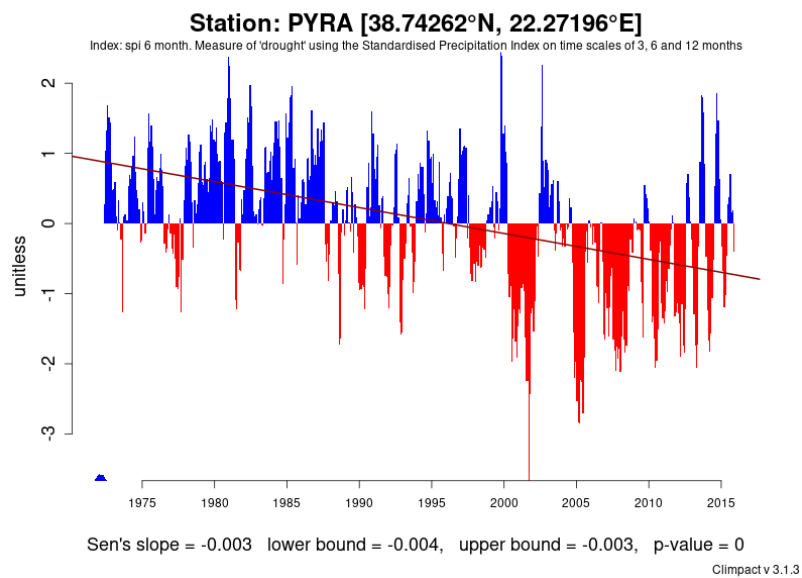
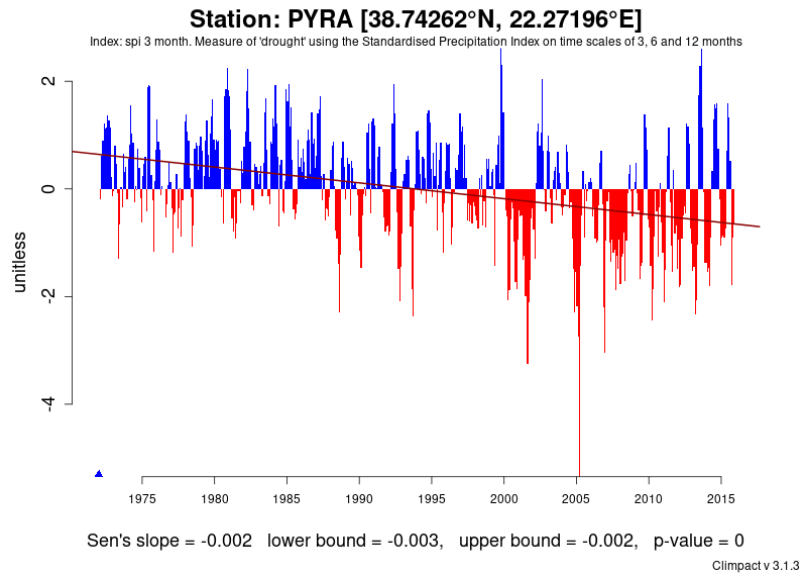
Station: PYRA [38.74262°N, 22.27196°E]

Index: r30mm. Number of days when precipitation ≥ 30



Sen's slope = -0.125 lower bound = -0.188 , upper bound = -0.065 , $p\text{-value} = 0$

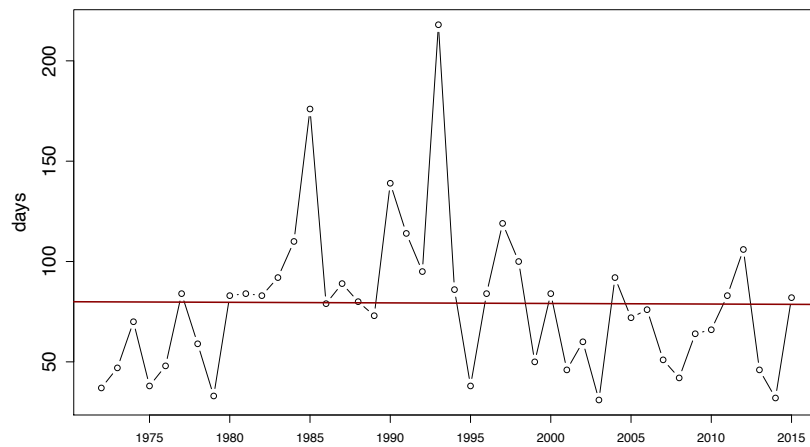
Climpact v 3.1.3



Σταθμός ΚΑΛΛΙΘΕΑ (Ανατολική Στερεά Ελλάδα)

Station: KALITHEA [38.30838°N, 23.44317°E]

Index: cdd. Maximum annual number of consecutive dry days (when precipitation < 1.0 mm)

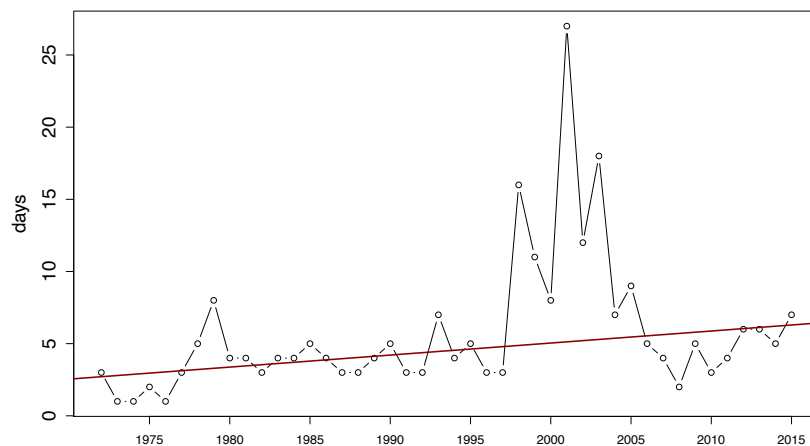


Sen's slope = -0.029 lower bound = -0.762, upper bound = 0.68, p-value = 0.863

Climpact v 3.1.3

Station: KALITHEA [38.30838°N, 23.44317°E]

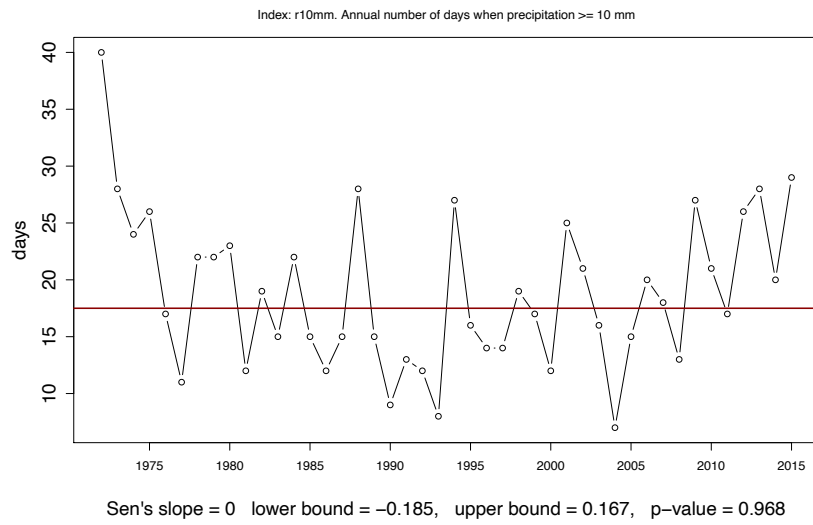
Index: cwd. Maximum annual number of consecutive wet days (when precipitation \geq 1.0 mm)



Sen's slope = 0.083 lower bound = 0.029, upper bound = 0.143, p-value = 0.001

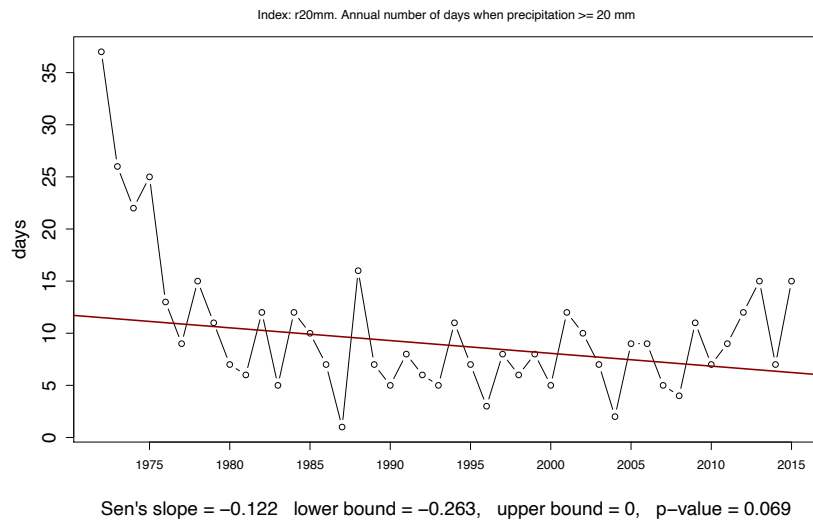
Climpact v 3.1.3

Station: KALITHEA [38.30838°N, 23.44317°E]



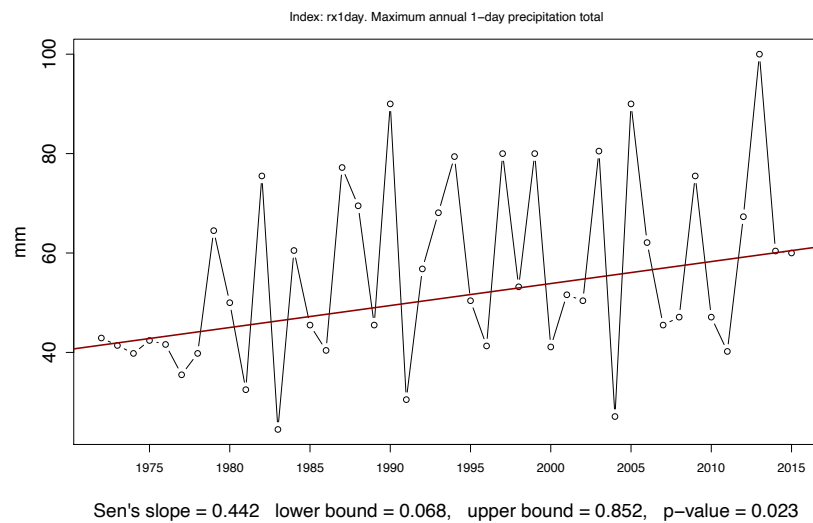
Climpact v 3.1.3

Station: KALITHEA [38.30838°N, 23.44317°E]



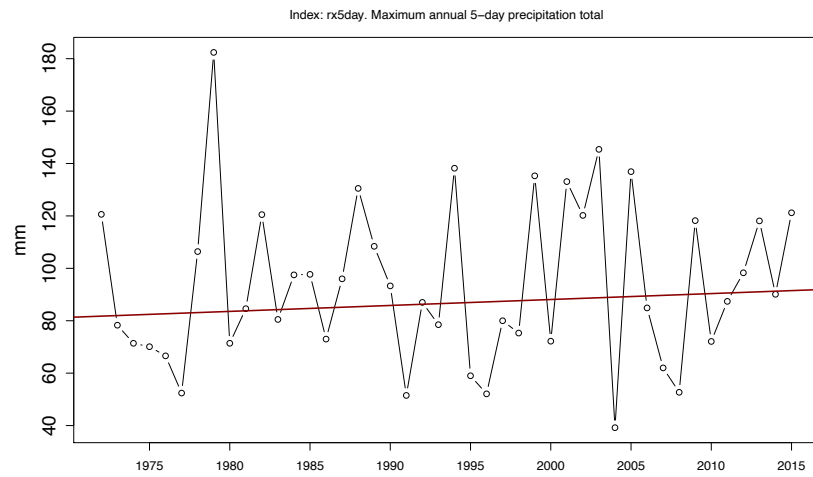
Climpact v 3.1.3

Station: KALITHEA [38.30838°N, 23.44317°E]



Climpact v 3.1.3

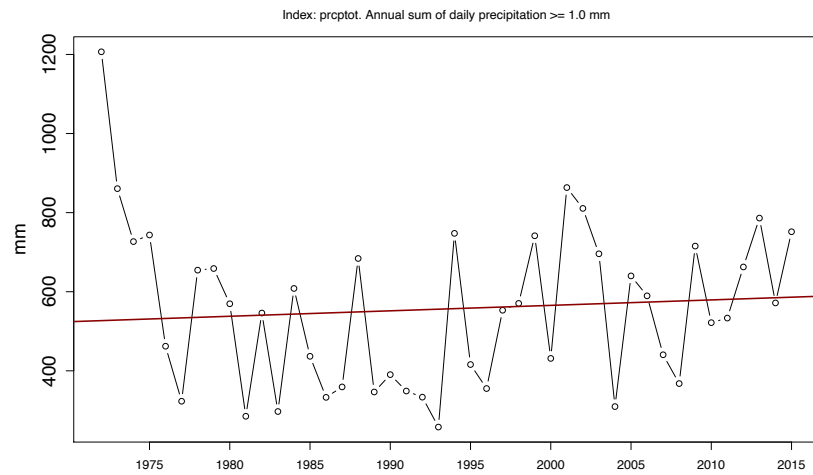
Station: KALITHEA [38.30838°N, 23.44317°E]



Sen's slope = 0.227 lower bound = -0.558, upper bound = 0.908, p-value = 0.466

Climpact v 3.1.3

Station: KALITHEA [38.30838°N, 23.44317°E]

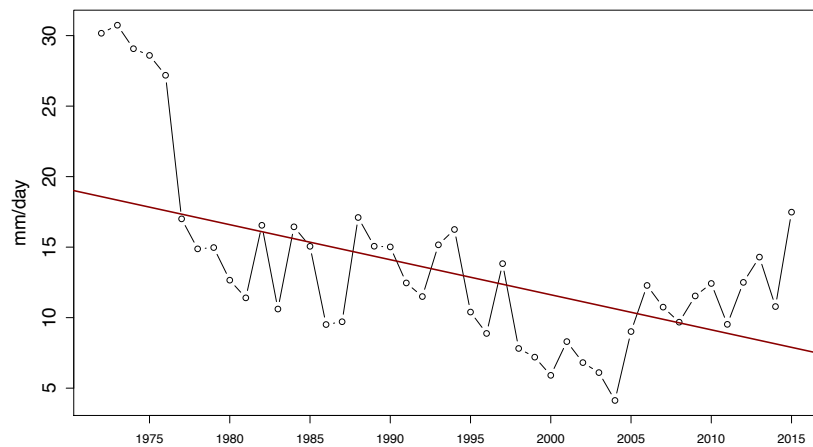


Sen's slope = 1.378 lower bound = -4.058, upper bound = 6.27, p-value = 0.511

Climpact v 3.1.3

Station: KALITHEA [38.30838°N, 23.44317°E]

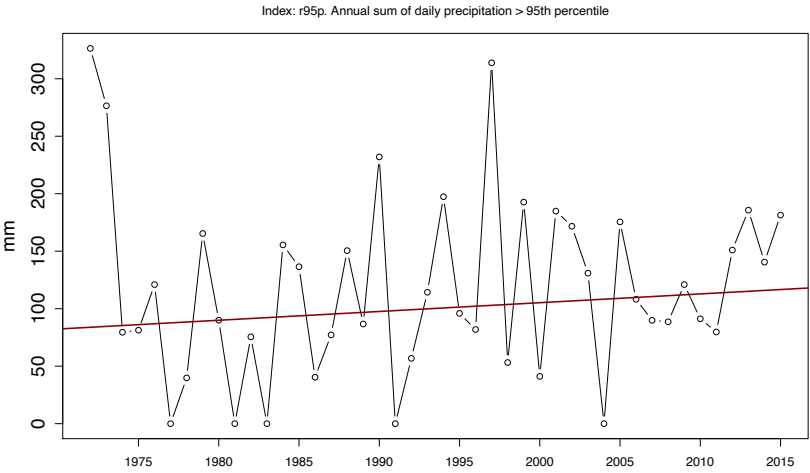
Index: sdii. Annual total precipitation divided by the number of wet days (when total precipitation ≥ 1.0 mm)



Sen's slope = -0.249 lower bound = -0.422, upper bound = -0.14, p-value = 0

Climpact v 3.1.3

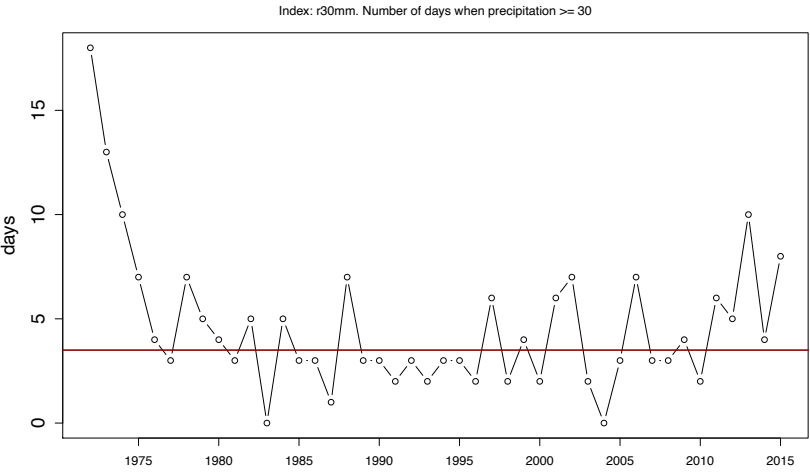
Station: KALITHEA [38.30838°N, 23.44317°E]



Sen's slope = 0.764 lower bound = -1.006, upper bound = 2.556, p-value = 0.265

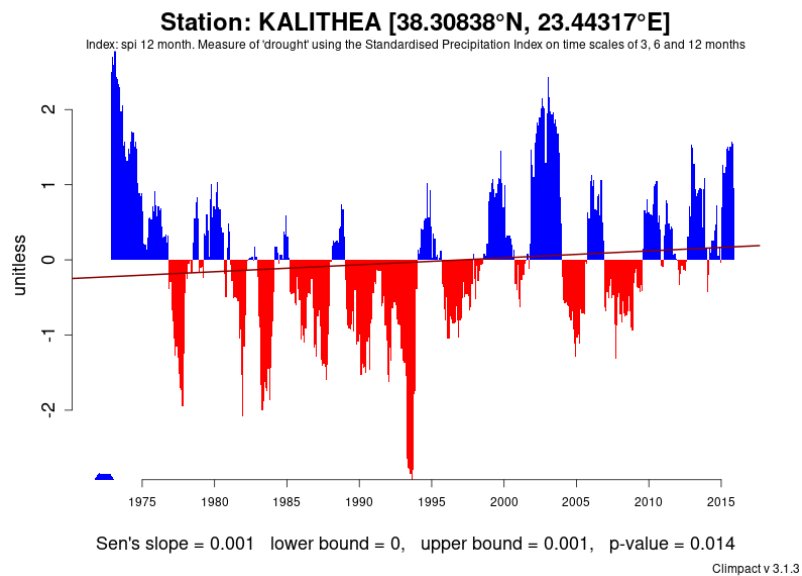
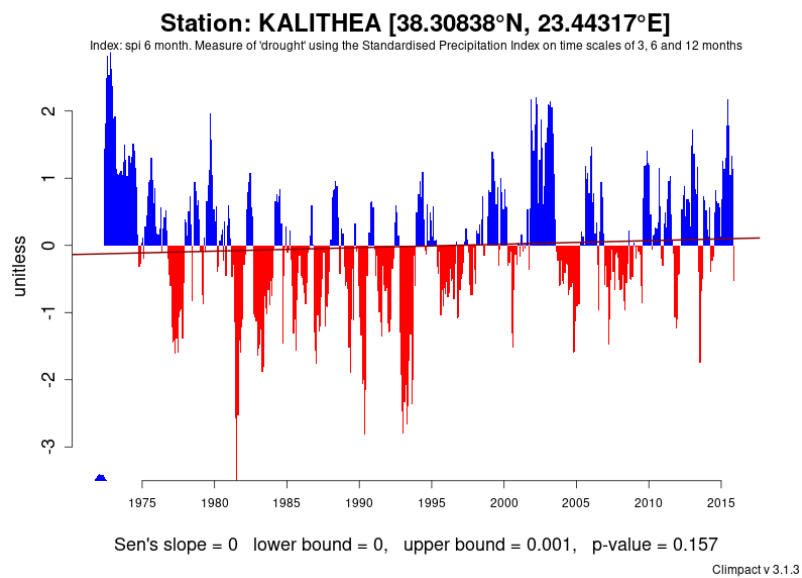
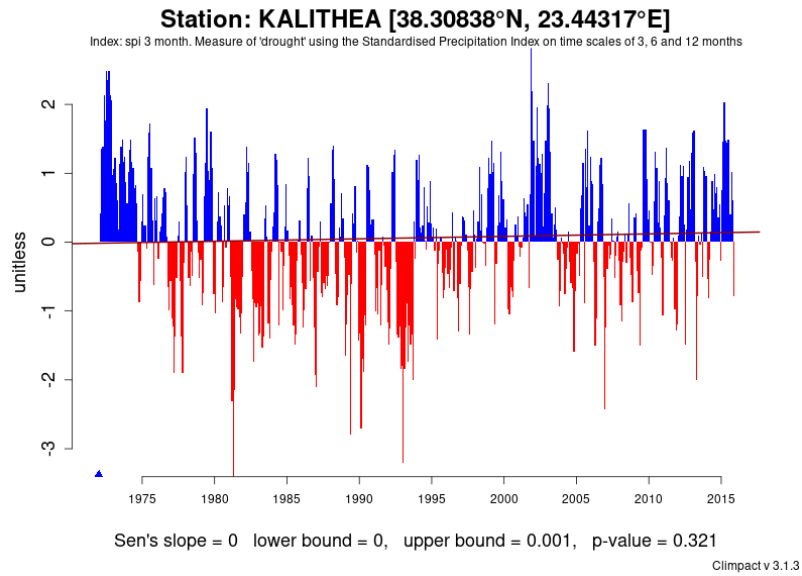
Climpact v 3.1.3

Station: KALITHEA [38.30838°N, 23.44317°E]



Sen's slope = 0 lower bound = -0.091, upper bound = 0, p-value = 0.339

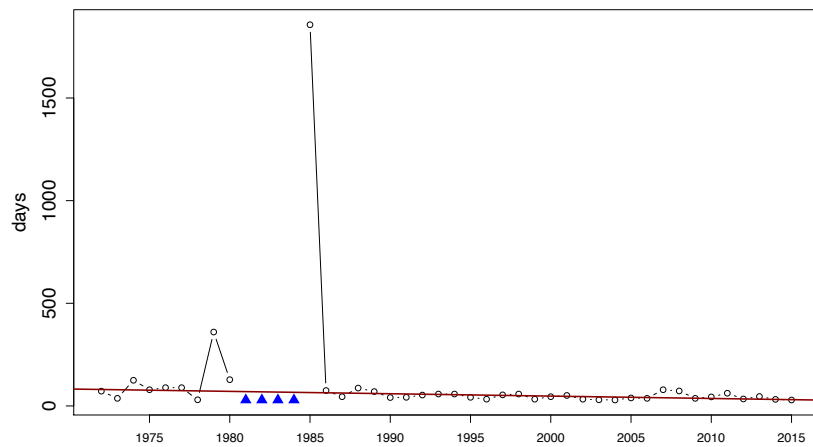
Climpact v 3.1.3



Σταθμός ΜΠΟΥΖΙ (Βόρεια Πελοπόννησος)

Station: MPOUZI [37.89761°N, 22.46984°E]

Index: cdd. Maximum annual number of consecutive dry days (when precipitation < 1.0 mm)

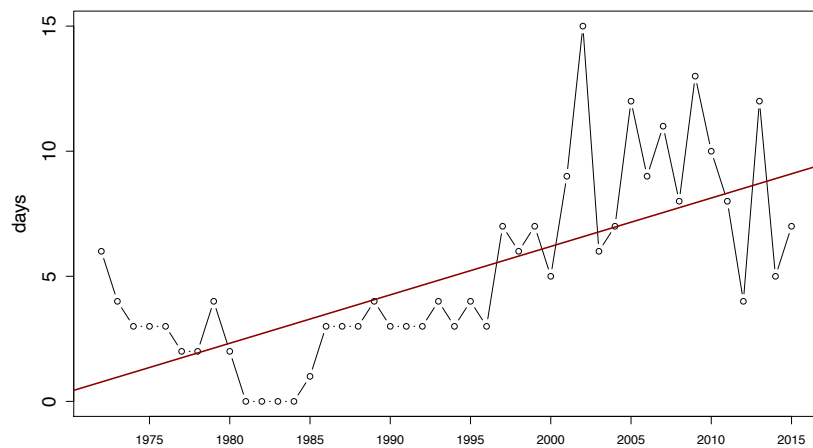


Sen's slope = -1.153 lower bound = -1.667, upper bound = -0.5, p-value = 0.001

Climpact v 3.1.3

Station: MPOUZI [37.89761°N, 22.46984°E]

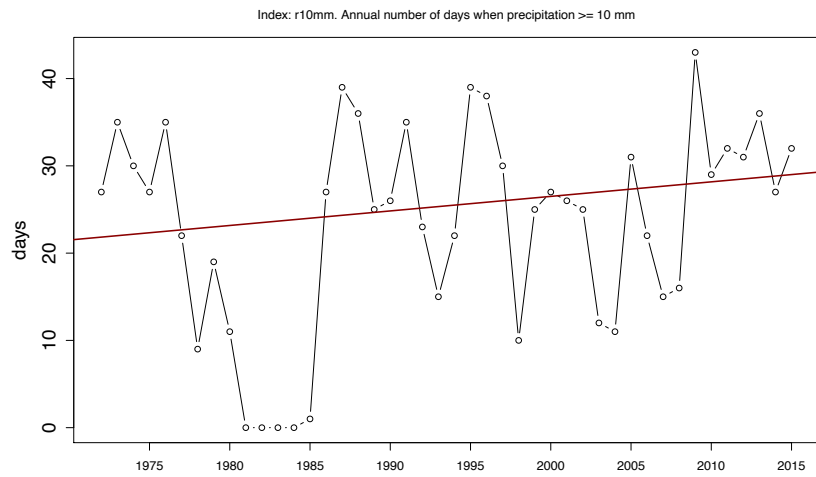
Index: cwd. Maximum annual number of consecutive wet days (when precipitation ≥ 1.0 mm)



Sen's slope = 0.194 lower bound = 0.115, upper bound = 0.267, p-value = 0

Climpact v 3.1.3

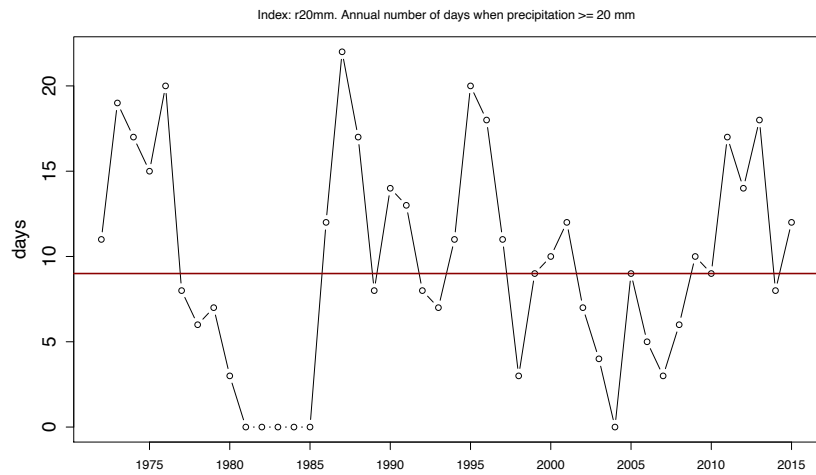
Station: MPOUZI [37.89761°N, 22.46984°E]



Sen's slope = 0.167 lower bound = -0.075 , upper bound = 0.471, p-value = 0.168

Climpact v 3.1.3

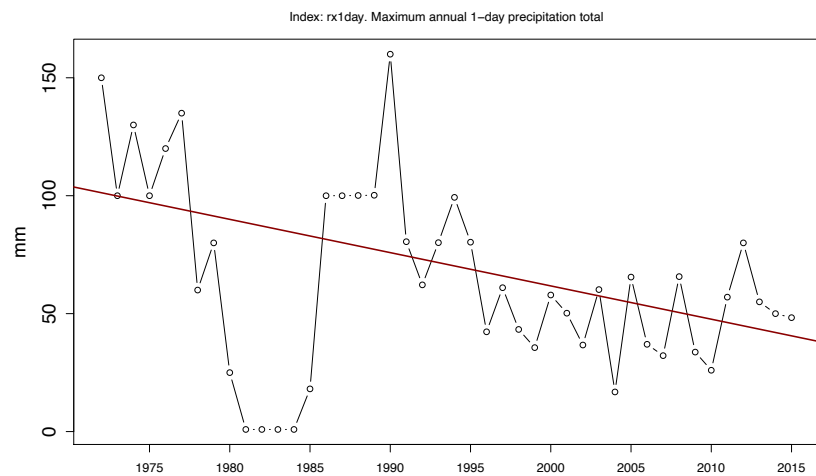
Station: MPOUZI [37.89761°N, 22.46984°E]



Sen's slope = 0 lower bound = -0.182 , upper bound = 0.162, p-value = 0.927

Climpact v 3.1.3

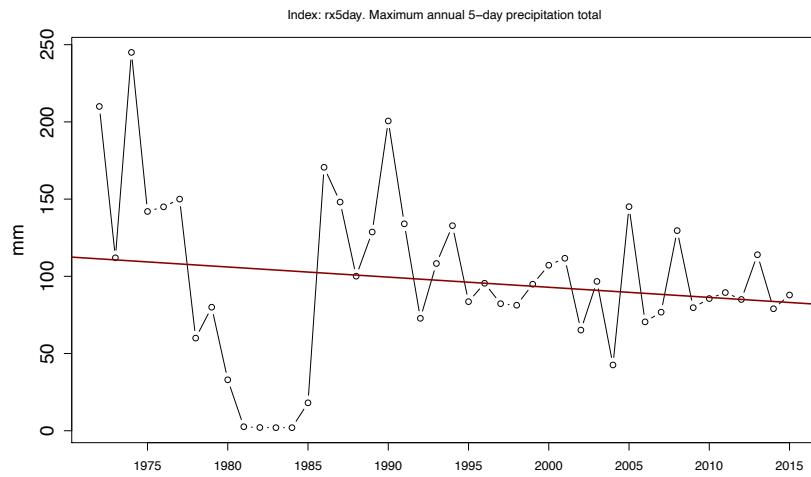
Station: MPOUZI [37.89761°N, 22.46984°E]



Sen's slope = -1.411 lower bound = -2.222 , upper bound = -0.278 , p-value = 0.01

Climpact v 3.1.3

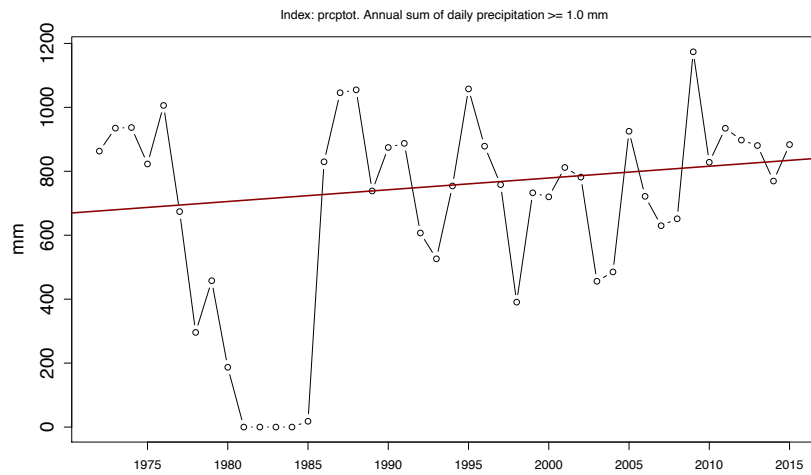
Station: MPOUZI [37.89761°N, 22.46984°E]



Sen's slope = -0.657 lower bound = -1.921 , upper bound = 0.528 , p-value = 0.257

Climpact v 3.1.3

Station: MPOUZI [37.89761°N, 22.46984°E]

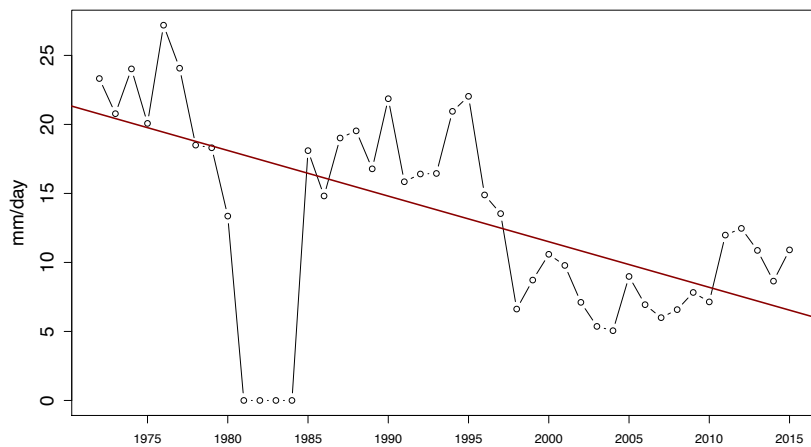


Sen's slope = 3.679 lower bound = -2.457 , upper bound = 12.26 , p-value = 0.221

Climpact v 3.1.3

Station: MPOUZI [37.89761°N, 22.46984°E]

Index: sdii. Annual total precipitation divided by the number of wet days (when total precipitation ≥ 1.0 mm)

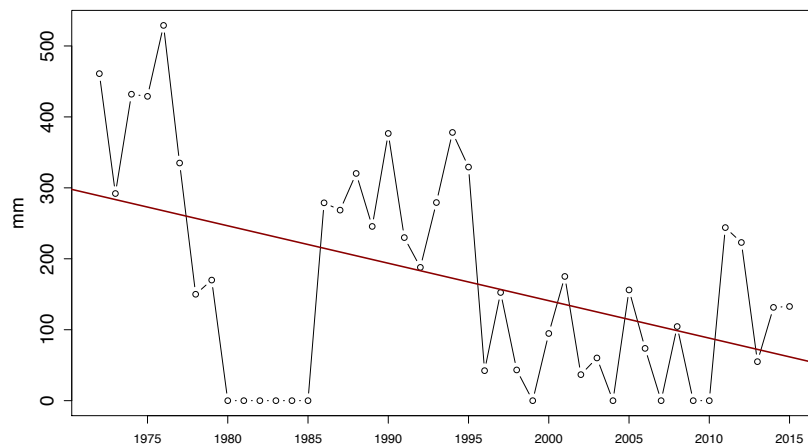


Sen's slope = -0.331 lower bound = -0.458 , upper bound = -0.206 , p-value = 0

Climpact v 3.1.3

Station: MPOUZI [37.89761°N, 22.46984°E]

Index: r95p. Annual sum of daily precipitation > 95th percentile

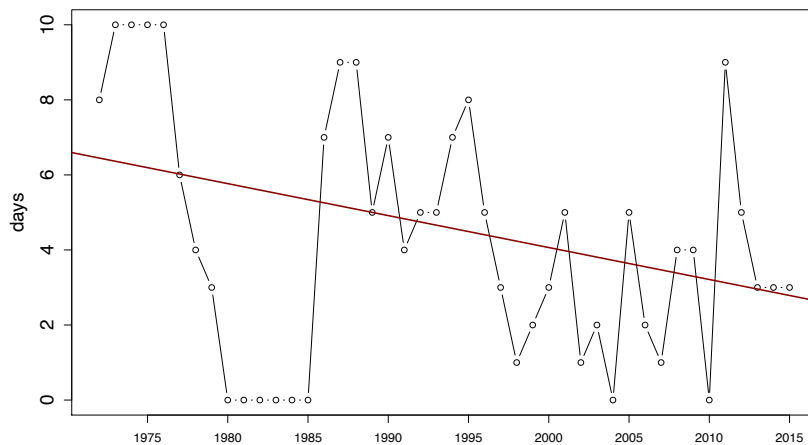


Sen's slope = -5.279 lower bound = -9.48 , upper bound = 0 , p-value = 0.014

Climpact v 3.1.3

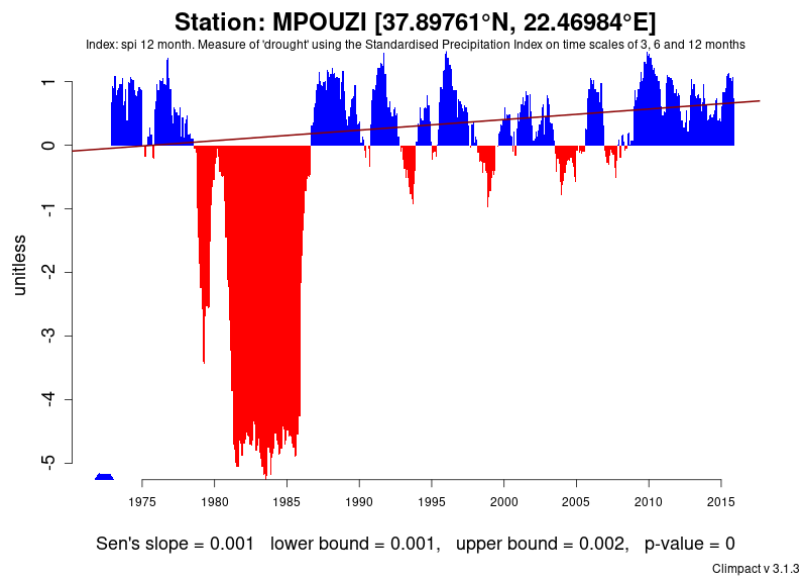
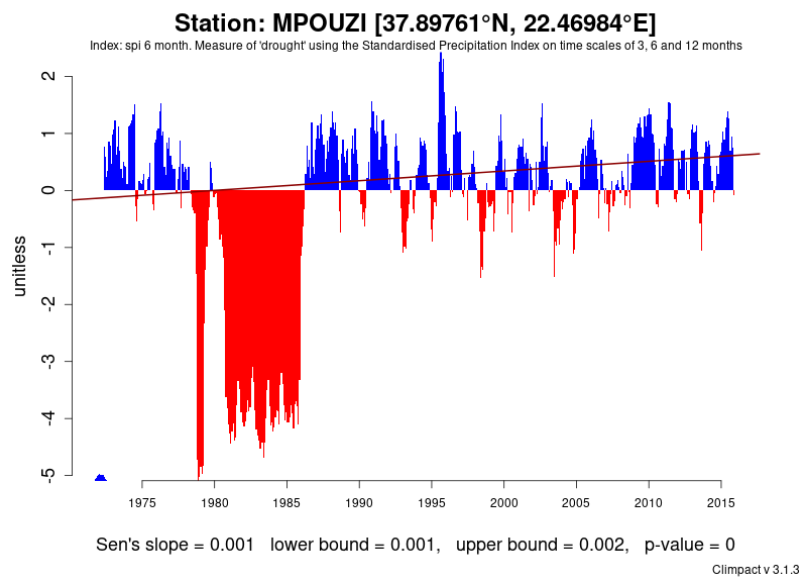
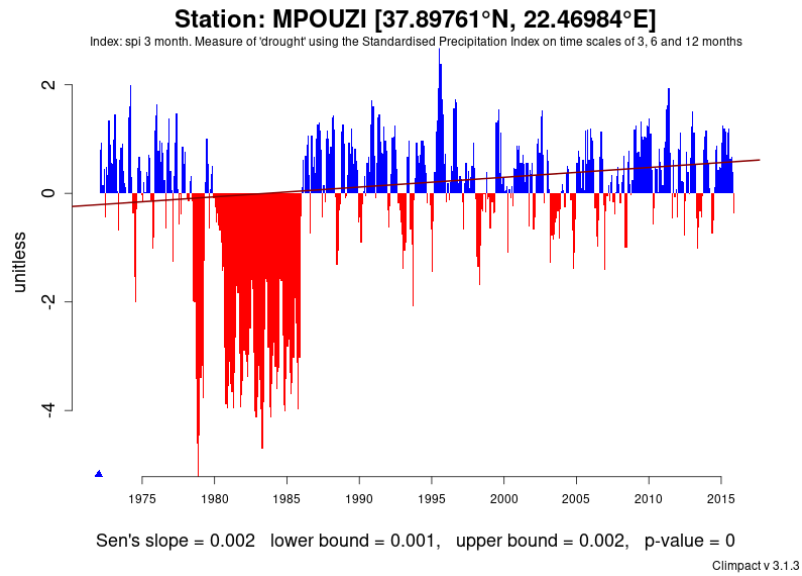
Station: MPOUZI [37.89761°N, 22.46984°E]

Index: r30mm. Number of days when precipitation ≥ 30



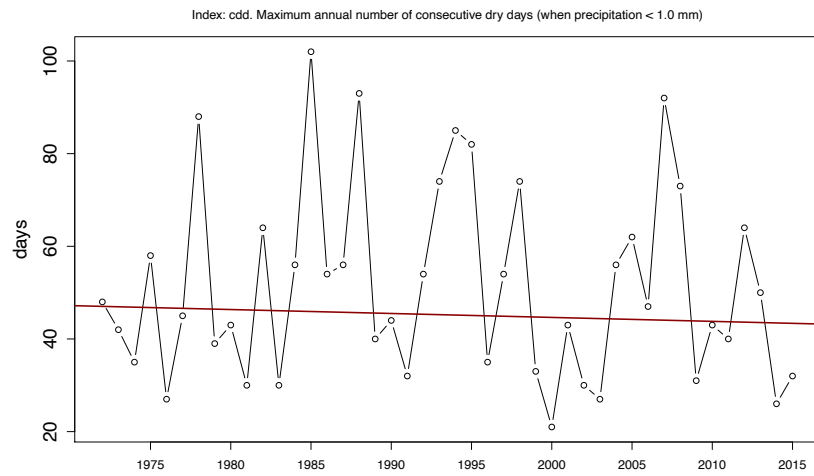
Sen's slope = -0.085 lower bound = -0.175 , upper bound = 0 , p-value = 0.046

Climpact v 3.1.3



Σταθμός ΤΡΟΠΑΙΑ (Δυτική Πελοπόννησος)

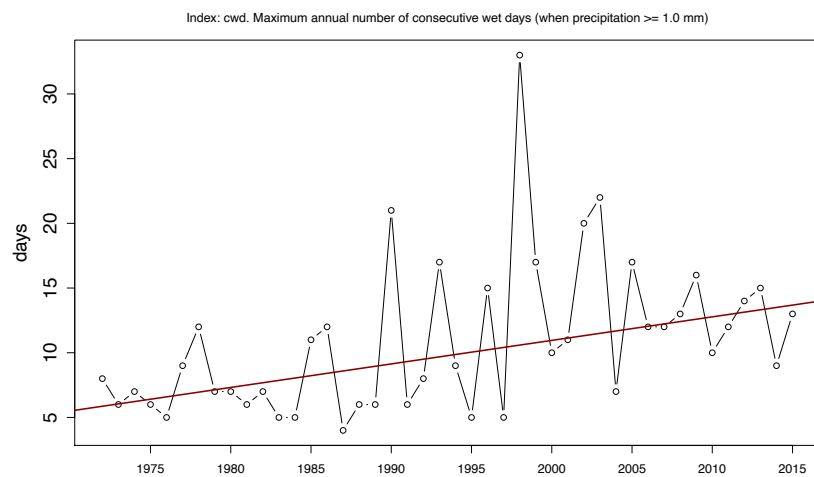
Station: TROPAIA [37.73155°N, 21.95937°E]



Sen's slope = -0.085 lower bound = -0.529 , upper bound = 0.375 , p-value = 0.649

Climpact v 3.1.3

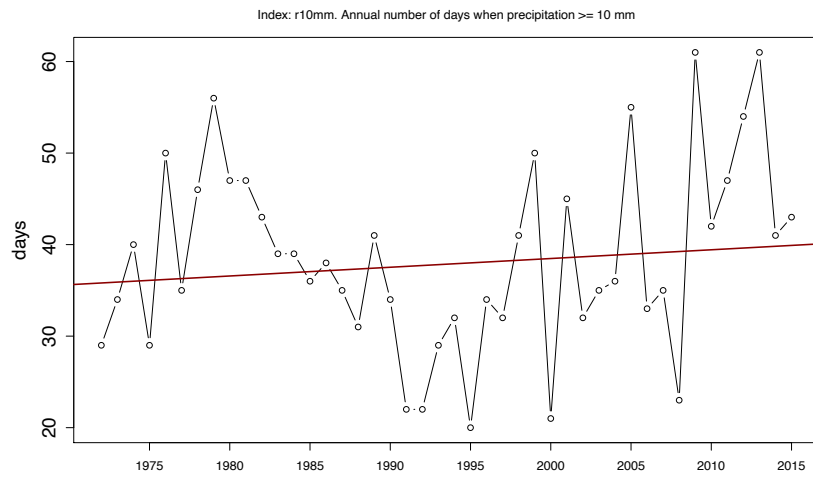
Station: TROPAIA [37.73155°N, 21.95937°E]



Sen's slope = 0.182 lower bound = 0.077 , upper bound = 0.269 , p-value = 0.001

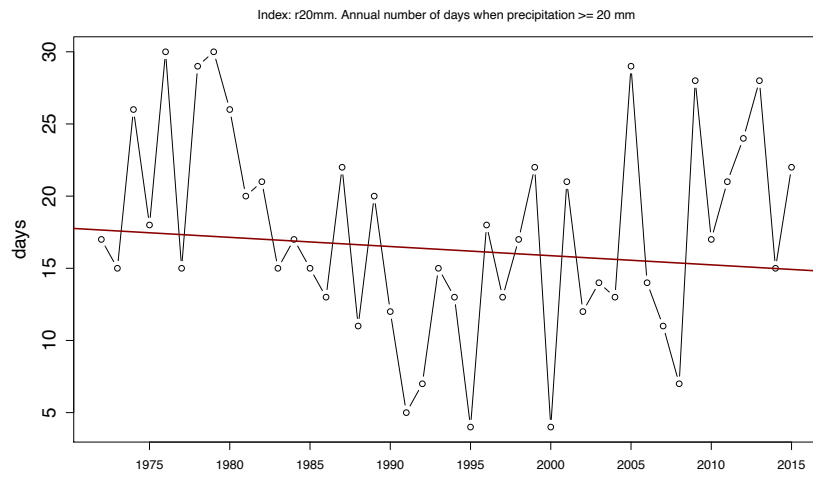
Climpact v 3.1.3

Station: TROPAIA [37.73155°N, 21.95937°E]



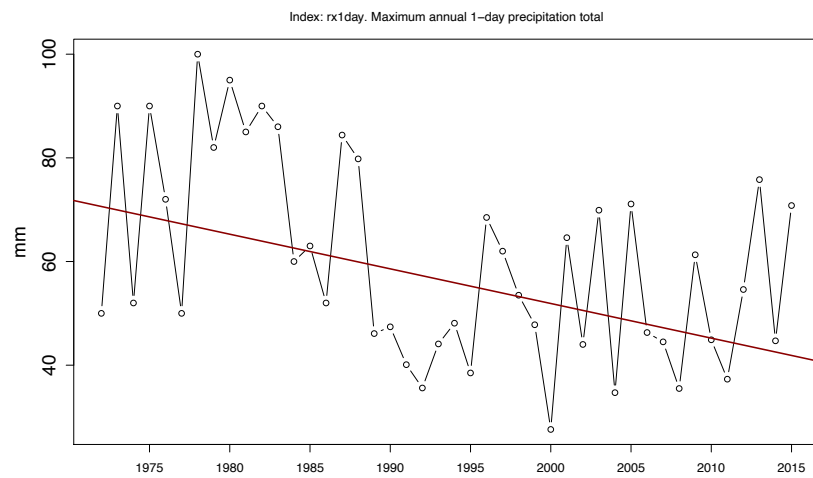
Climpact v 3.1.3

Station: TROPAIA [37.73155°N, 21.95937°E]



Climpact v 3.1.3

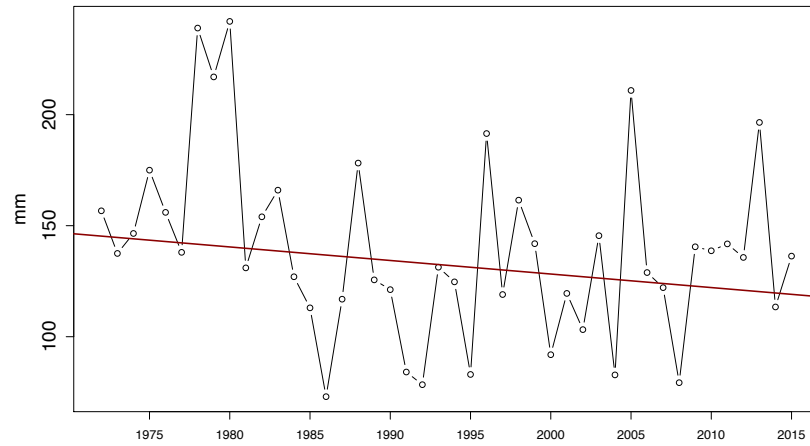
Station: TROPAIA [37.73155°N, 21.95937°E]



Climpact v 3.1.3

Station: TROPAIA [37.73155°N, 21.95937°E]

Index: rx5day. Maximum annual 5-day precipitation total

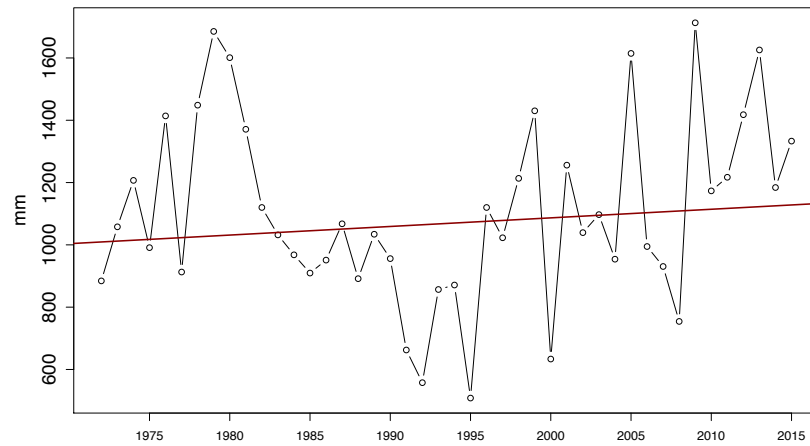


Sen's slope = -0.61 lower bound = -1.6 , upper bound = 0.169 , p-value = 0.103

Climpact v 3.1.3

Station: TROPAIA [37.73155°N, 21.95937°E]

Index: prcptot. Annual sum of daily precipitation ≥ 1.0 mm

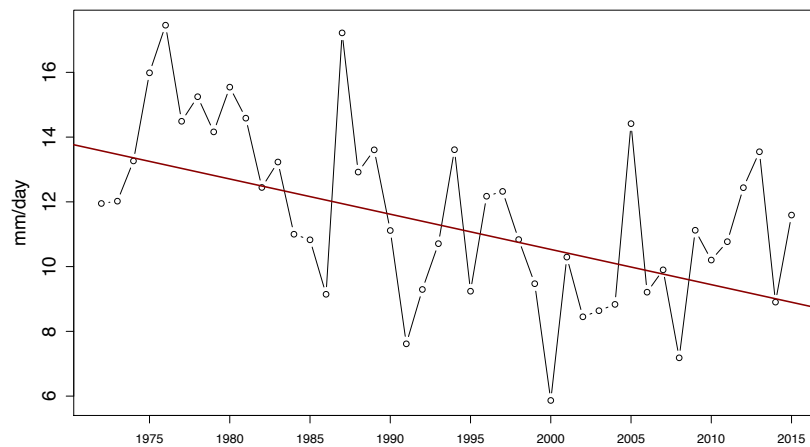


Sen's slope = 2.762 lower bound = -5.221 , upper bound = 9.258 , p-value = 0.442

Climpact v 3.1.3

Station: TROPAIA [37.73155°N, 21.95937°E]

Index: sdii. Annual total precipitation divided by the number of wet days (when total precipitation ≥ 1.0 mm)

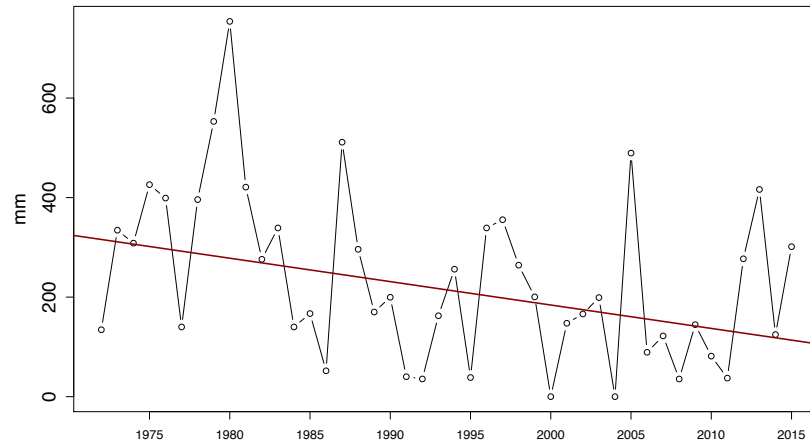


Sen's slope = -0.109 lower bound = -0.171 , upper bound = -0.05 , p-value = 0.001

Climpact v 3.1.3

Station: TROPAIA [37.73155°N, 21.95937°E]

Index: r95p. Annual sum of daily precipitation > 95th percentile

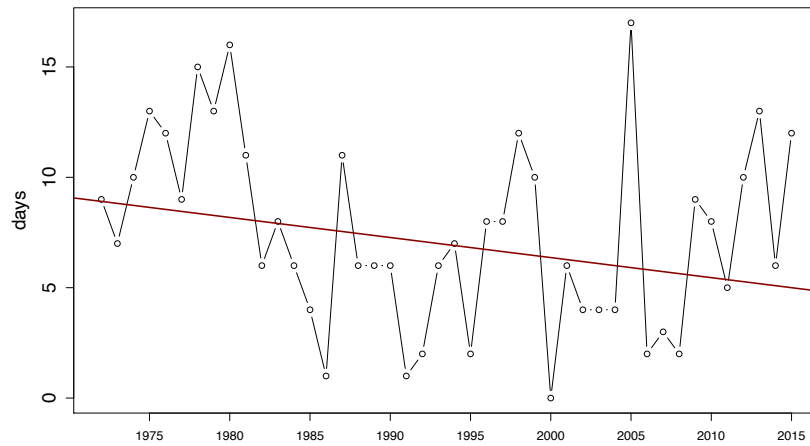


Sen's slope = -4.703 lower bound = -8.75 , upper bound = -0.788 , p-value = 0.014

Climpact v 3.1.3

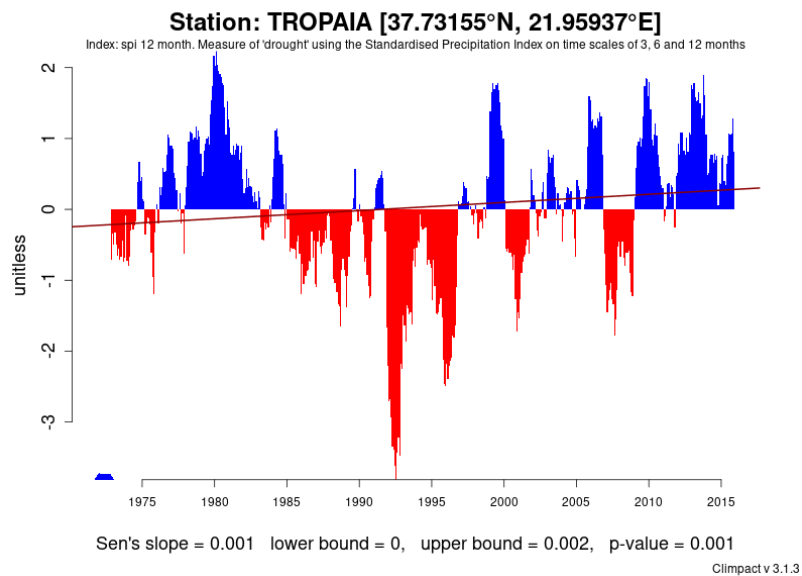
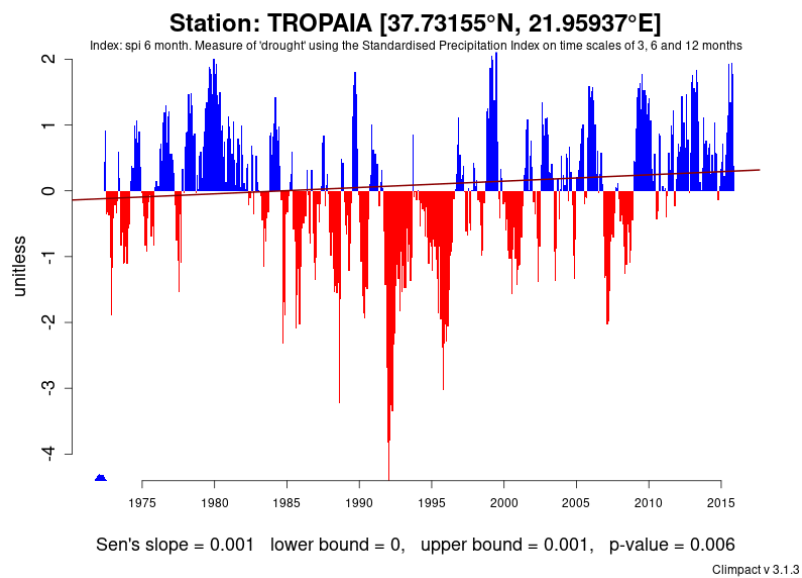
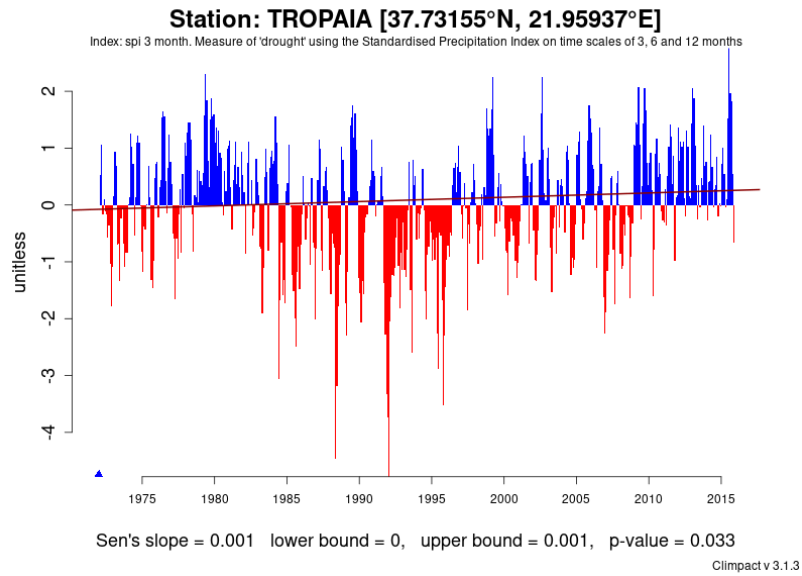
Station: TROPAIA [37.73155°N, 21.95937°E]

Index: r30mm. Number of days when precipitation ≥ 30



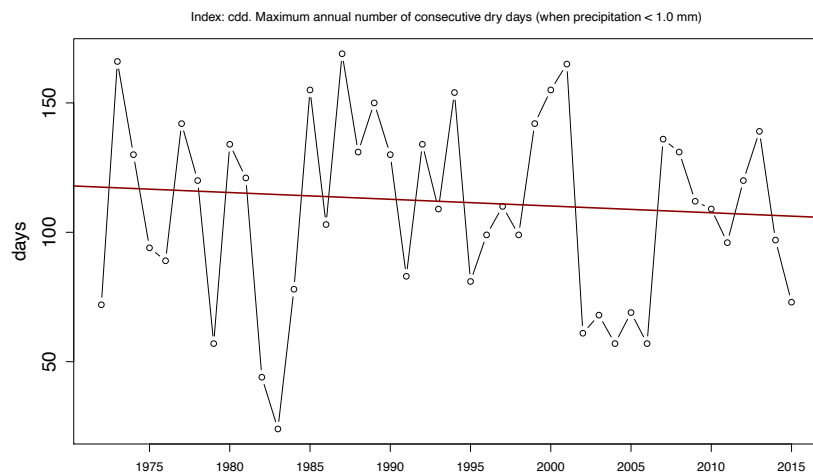
Sen's slope = -0.091 lower bound = -0.194 , upper bound = 0 , p-value = 0.132

Climpact v 3.1.3



Σταθμός ΚΑΝΔΑΝΟΣ (Κρήτη)

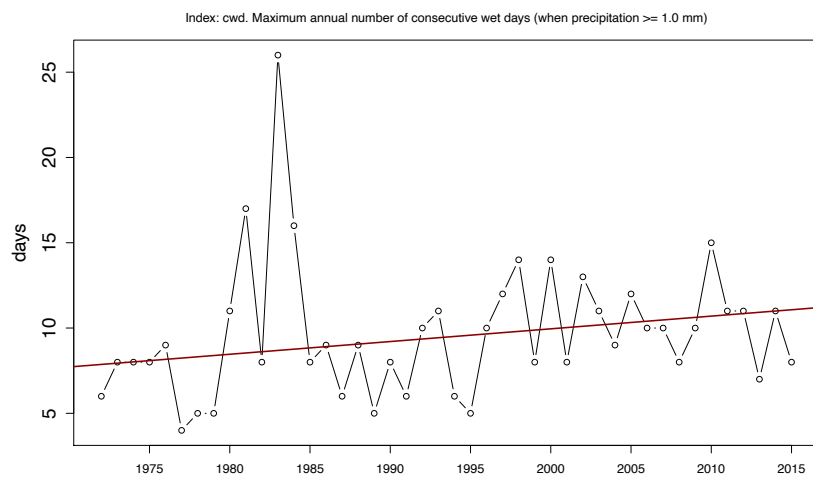
Station: KANDANOS [35.33133°N, 23.74697°E]



Sen's slope = -0.261 lower bound = -1.194 , upper bound = 0.654 , p-value = 0.642

Climpact v 3.1.3

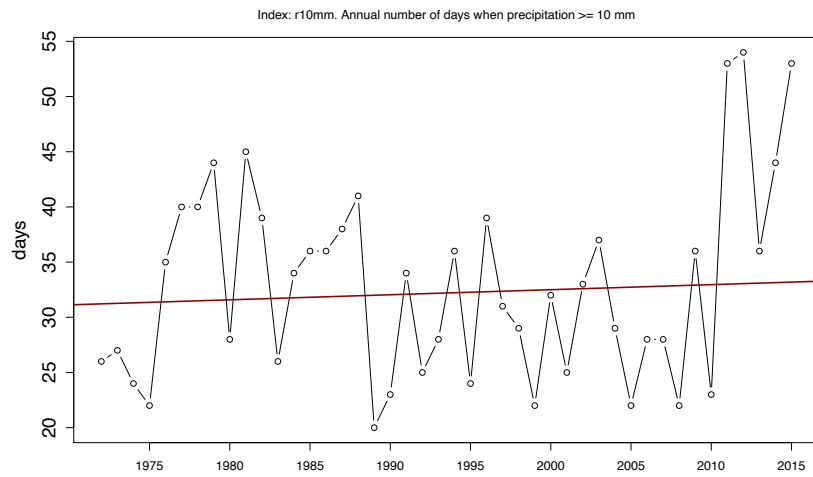
Station: KANDANOS [35.33133°N, 23.74697°E]



Sen's slope = 0.075 lower bound = 0 , upper bound = 0.143 , p-value = 0.038

Climpact v 3.1.3

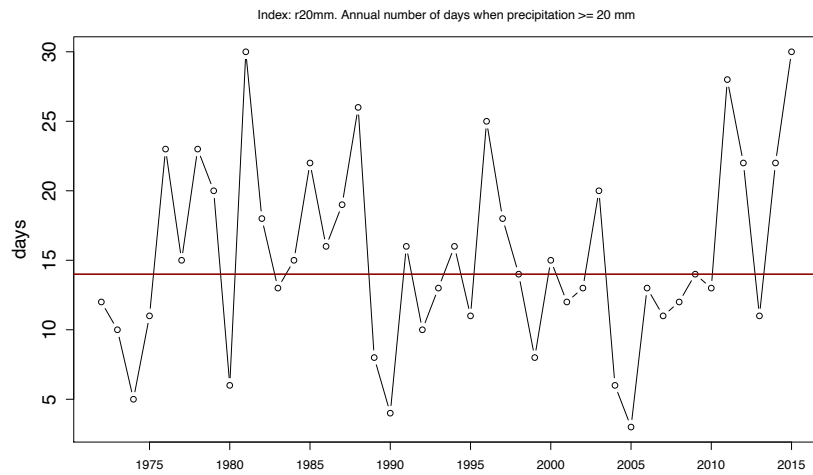
Station: KANDANOS [35.33133°N, 23.74697°E]



Sen's slope = 0.046 lower bound = -0.167, upper bound = 0.304, p-value = 0.648

Climpact v 3.1.3

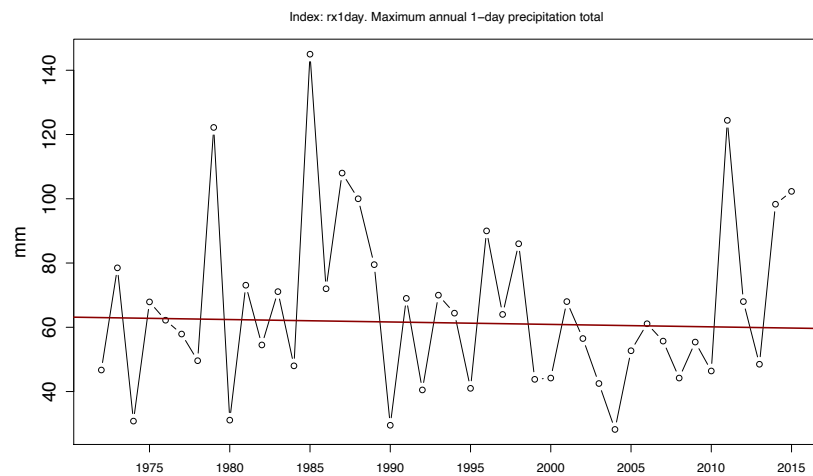
Station: KANDANOS [35.33133°N, 23.74697°E]



Sen's slope = 0 lower bound = -0.158, upper bound = 0.214, p-value = 0.816

Climpact v 3.1.3

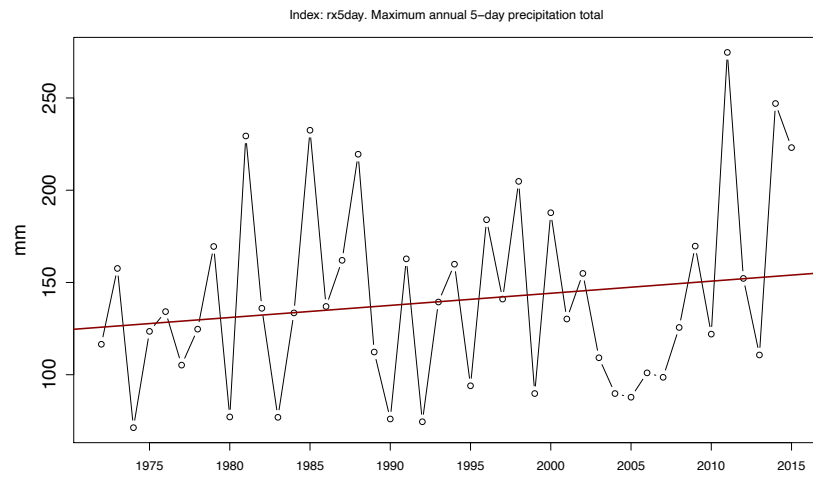
Station: KANDANOS [35.33133°N, 23.74697°E]



Sen's slope = -0.076 lower bound = -0.632, upper bound = 0.557, p-value = 0.848

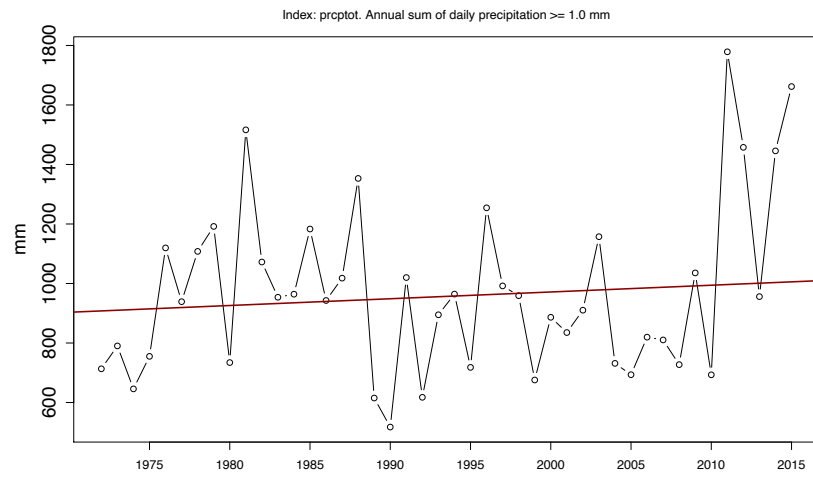
Climpact v 3.1.3

Station: KANDANOS [35.33133°N, 23.74697°E]



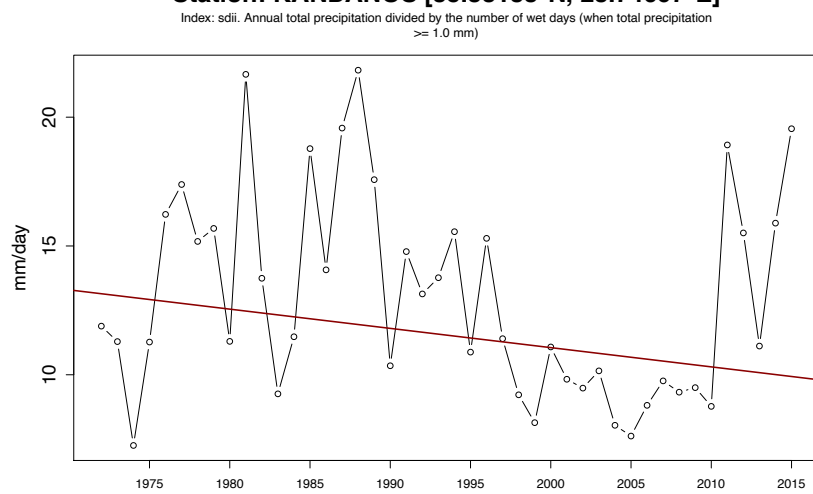
Climpact v 3.1.3

Station: KANDANOS [35.33133°N, 23.74697°E]



Climpact v 3.1.3

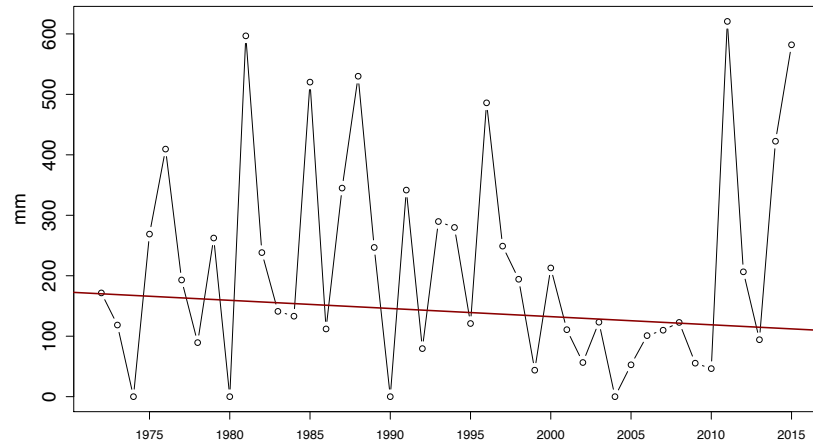
Station: KANDANOS [35.33133°N, 23.74697°E]



Climpact v 3.1.3

Station: KANDANOS [35.33133°N, 23.74697°E]

Index: r95p. Annual sum of daily precipitation > 95th percentile

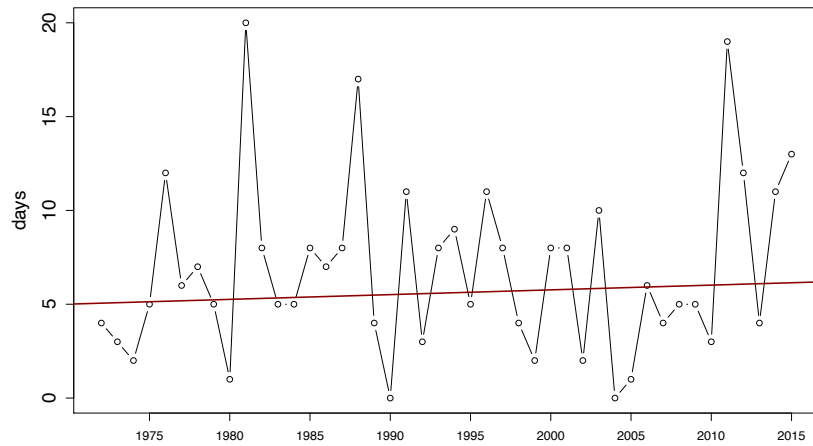


Sen's slope = -1.35 lower bound = -5.1 , upper bound = 2.415 , p-value = 0.448

Climpact v 3.1.3

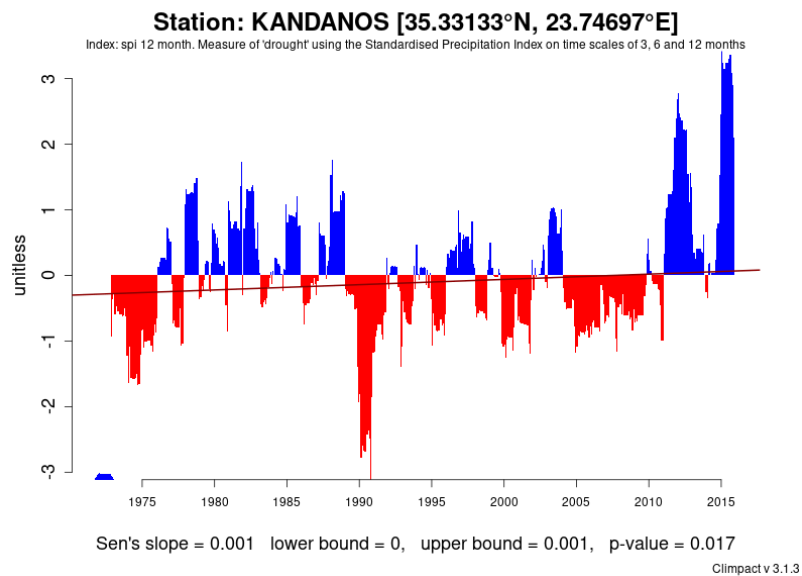
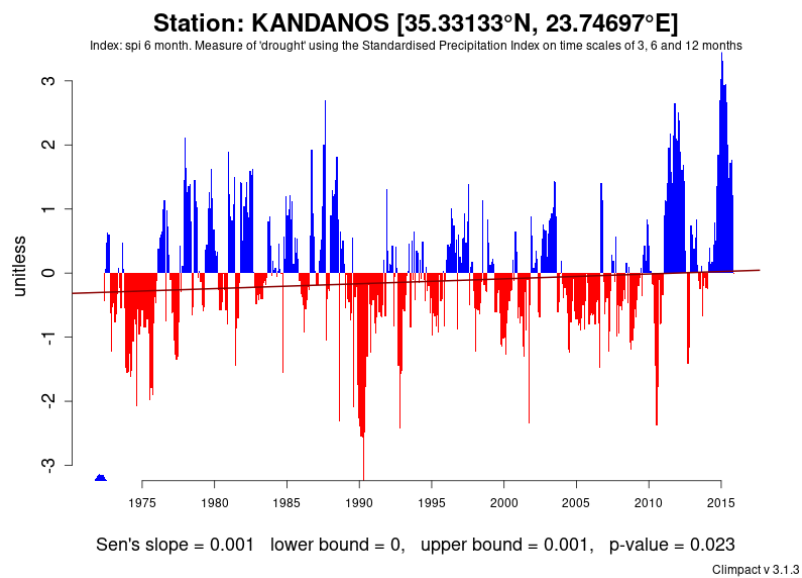
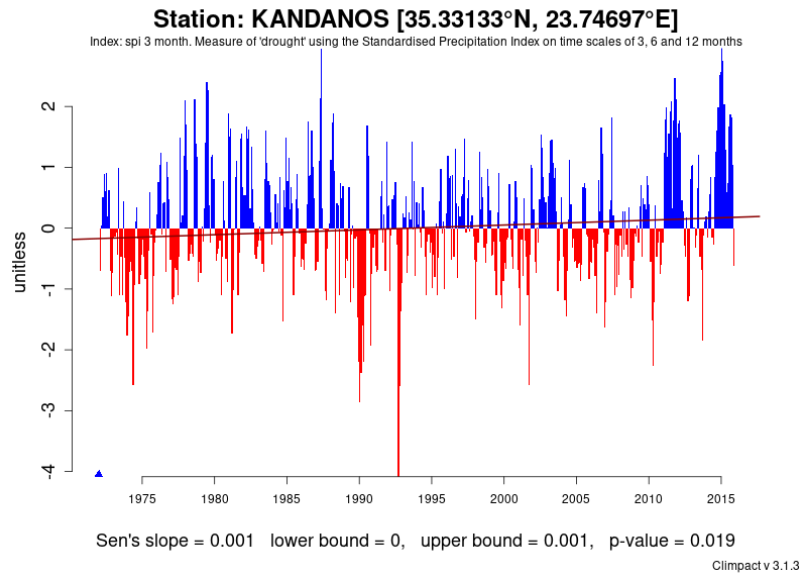
Station: KANDANOS [35.33133°N, 23.74697°E]

Index: r30mm. Number of days when precipitation ≥ 30



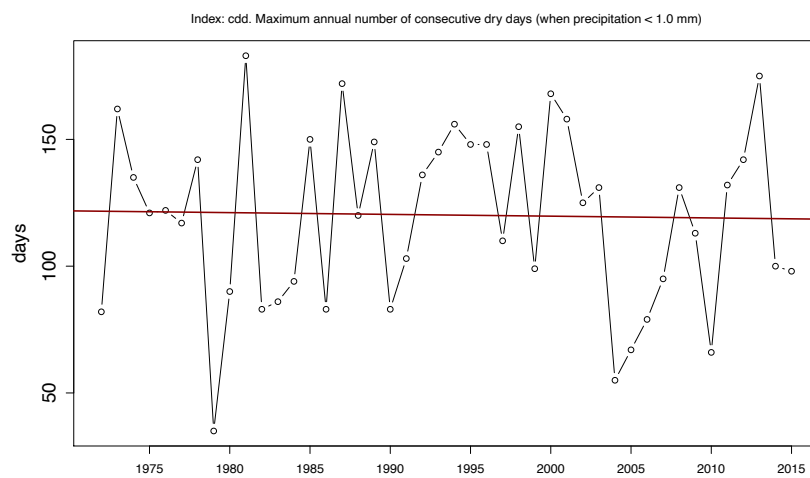
Sen's slope = 0.025 lower bound = -0.065 , upper bound = 0.143 , p-value = 0.495

Climpact v 3.1.3



Σταθμός ΑΝΩ ΑΡΧΑΝΕΣ (Κρήτη)

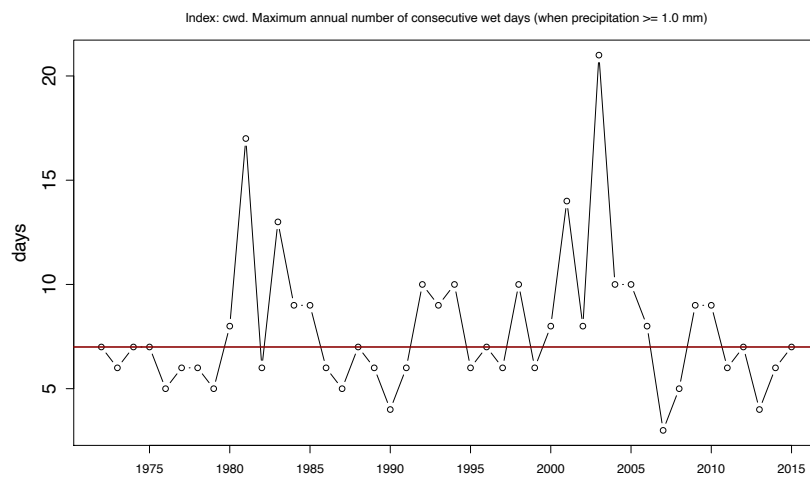
Station: ANO ARXANES [35.23747°N, 25.16082°E]



Sen's slope = -0.07 lower bound = -0.933 , upper bound = 0.893 , p-value = 0.944

Climpact v 3.1.3

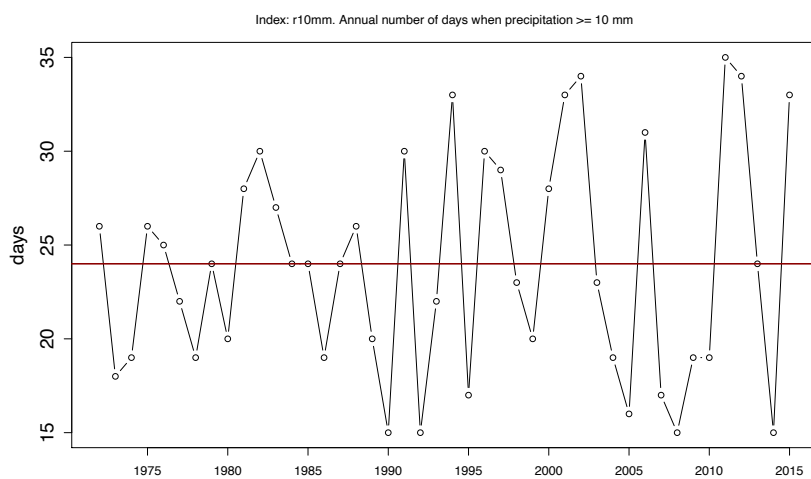
Station: ANO ARXANES [35.23747°N, 25.16082°E]



Sen's slope = 0 lower bound = -0.032 , upper bound = 0.061 , p-value = 0.629

Climpact v 3.1.3

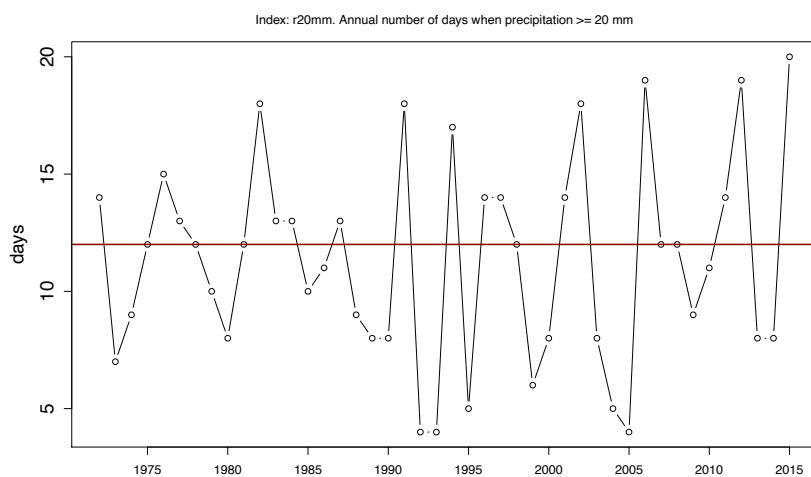
Station: ANO ARXANES [35.23747°N, 25.16082°E]



Sen's slope = 0 lower bound = -0.13 , upper bound = 0.2 , p-value = 0.738

Climpact v 3.1.3

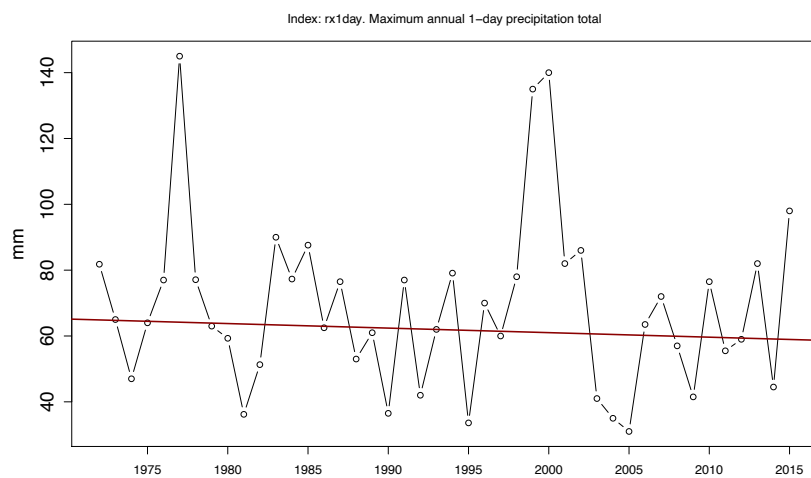
Station: ANO ARXANES [35.23747°N, 25.16082°E]



Sen's slope = 0 lower bound = -0.105 , upper bound = 0.111 , p-value = 1

Climpact v 3.1.3

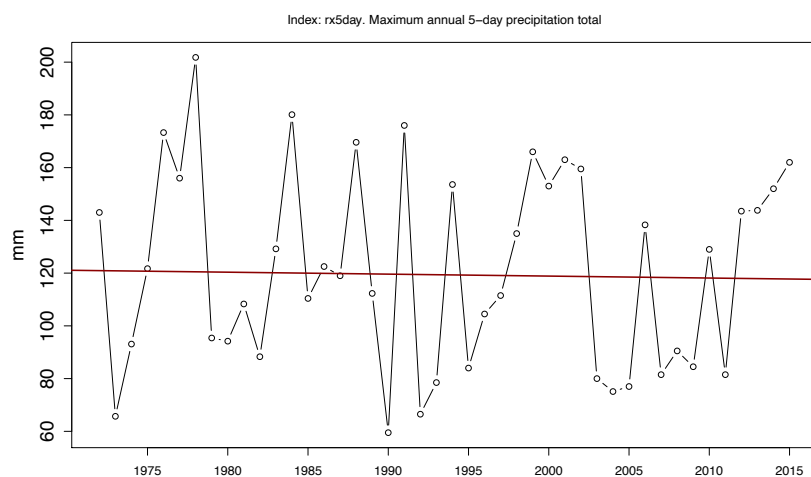
Station: ANO ARXANES [35.23747°N, 25.16082°E]



Sen's slope = -0.138 lower bound = -0.656 , upper bound = 0.333 , p-value = 0.504

Climpact v 3.1.3

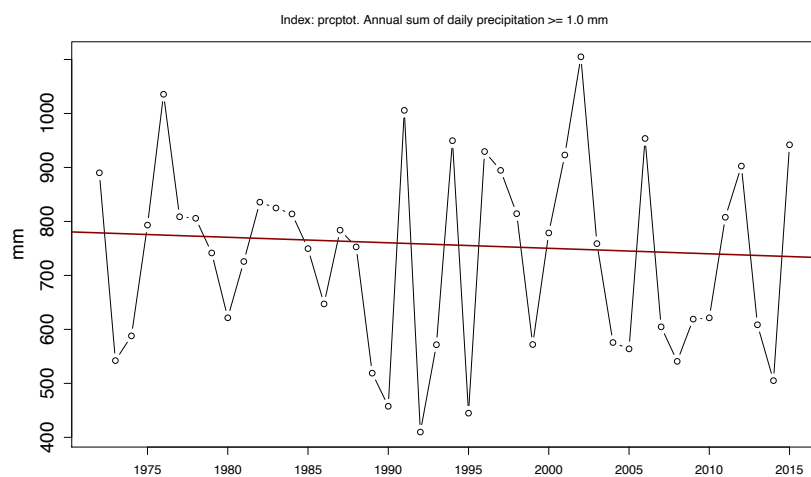
Station: ANO ARXANES [35.23747°N, 25.16082°E]



Sen's slope = -0.074 lower bound = -1.006 , upper bound = 1.042 , p-value = 0.952

Climpact v 3.1.3

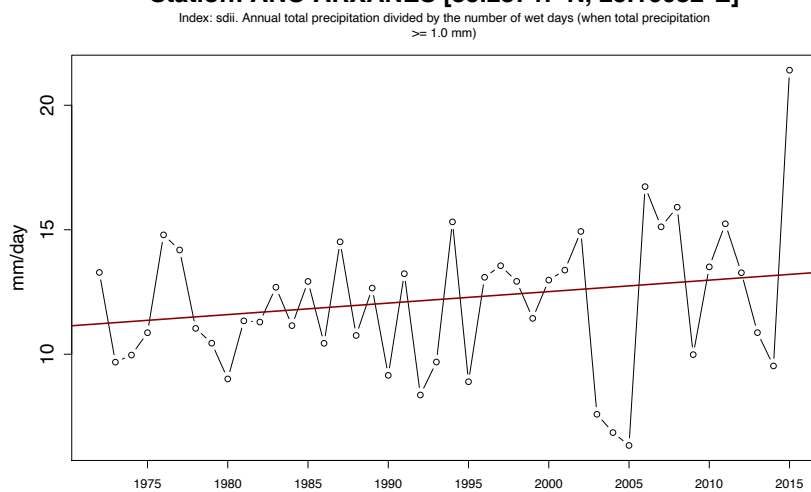
Station: ANO ARXANES [35.23747°N, 25.16082°E]



Sen's slope = -1.02 lower bound = -6.371 , upper bound = 3.221 , p-value = 0.664

Climpact v 3.1.3

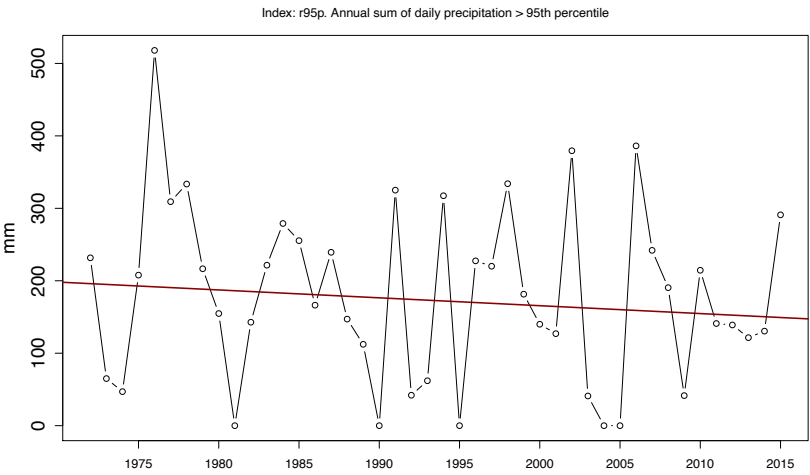
Station: ANO ARXANES [35.23747°N, 25.16082°E]



Sen's slope = 0.046 lower bound = -0.026 , upper bound = 0.121 , p-value = 0.166

Climpact v 3.1.3

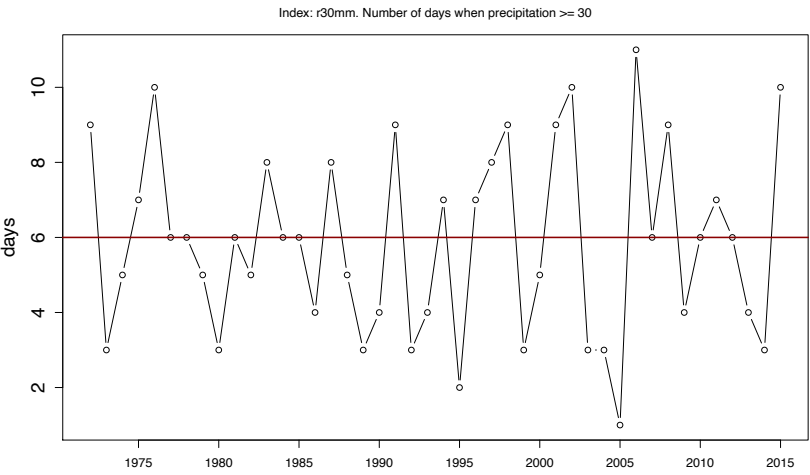
Station: ANO ARXANES [35.23747°N, 25.16082°E]



Sen's slope = -1.087 lower bound = -4.671 , upper bound = 1.482 , p-value = 0.307

Climpact v 3.1.3

Station: ANO ARXANES [35.23747°N, 25.16082°E]



Sen's slope = 0 lower bound = -0.071 , upper bound = 0.062 , p-value = 0.959

Climpact v 3.1.3

