



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΕΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΣΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΗΣ
ΡΕΝΙΕΡΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΗΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Βουλγαράκης Απόστολος (Επιβλέπων καθηγητής)

Κουτρούλης Αριστείδης

Γρυλλάκης Εμμανουήλ

Χανιά, Μάιος 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ,στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος « Περιβαλλοντική Μηχανική» της σχολής Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης , νιώθω την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους που βοήθησαν στην πραγματοποίησή της.

Πρώτα θα ήθελα να εκφράσω ένα βαθύ ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βουλγαράκη Απόστολο που μου έδειξε εμπιστοσύνη ώστε να μου αναθέσει το θέμα, με συμβούλευε και με καθοδηγούσε σε κάθε βήμα της διπλωματικής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κουτρούλη Αριστείδη για την πολύτιμη βοήθεια, το χρόνο που διέθεσε και την καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής. Επιπλέον τον ευχαριστώ που διετέλεσε μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Στη συνέχεια θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον κ. Γρυλλάκη Εμμανουήλ, ο οποίος διετέλεσε μέλος της τριμελούς επιτροπής, τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε, για τις επικοινωνιακές τους υποδείξεις και την πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω από τις ευχαριστίες την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τον σύζυγό μου για την στήριξή του και τη συμπαράστασή του καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή έχει επηρεάσει τις κλιματικές συνθήκες του πλανήτη, έτσι μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας μελετά την επίδραση αυτή σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Για το νησί της Κρήτης δεν υπάρχει ξεκάθαρη εικόνα των αλλαγών του κλίματος και τα ερωτήματα που θέλουμε να απαντήσουμε είναι ποια είναι η τάση εμφάνισης ακραίων βροχοπτώσεων, εάν υπάρχει τάση αύξησης στη διάρκεια των ακραίων γεγονότων βροχόπτωσης και του αριθμού ακραίων φαινομένων.

Στην παρούσα διατριβή έγινε μελέτη των τάσεων των ακραίων και μέσων τιμών των βροχοπτώσεων στο νησί της Κρήτης για τη χρονική περίοδο 1973-2011. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα 49 μετεωρολογικών σταθμών από όλο το νησί. Για κάθε σταθμό υπολογίστηκαν οι δείκτες βροχόπτωσης και οι τάσεις τους όπως ορίζονται από την ομάδα εμπειρογνομόνων του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού για Ειδικούς Κλιματικούς Δείκτες (ET-SCI). Οι δείκτες και οι τάσεις τους υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού συστήματος Climpract. Τέλος δημιουργήθηκαν διαγράμματα των δεικτών σε συνάρτηση με το χρόνο για τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς και χάρτες που απεικονίζουν τις τάσεις αυτών των δεικτών σε συνάρτηση με τη σημαντικότητα ανά δεκαετία.

Μελετώντας συνδυαστικά τα αποτελέσματα των γραφημάτων, των μέσων τιμών των τάσεων και των χαρτών οδηγηθήκαμε σε διάφορα συμπεράσματα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση εκτιμήθηκε 813mm, τα ύψη βροχής μειώνονται από βορρά προς το νότο και από δυτικά προς τα ανατολικά. Επίσης βάση των στατιστικά σημαντικών τάσεων φαίνεται να μειώθηκε η μέση ετήσια βροχόπτωση και η διάρκεια των έντονων και ακραίων γεγονότων βροχής ενώ τα ακραία φαινόμενα εμφανίζουν αυξανόμενη ένταση. Επίσης παρατηρήθηκε αύξηση του ύψους βροχής ανά μέρα βροχόπτωσης και του μέγιστου ύψους βροχής για μονοήμερη, τριήμερη και πενθήμερη βροχόπτωση δηλαδή όλο και περισσότερος όγκος βροχής κατακρημνίζεται σε μικρή χρονική περίοδο.

Λόγω της ιδιομορφίας του εδάφους και των επιμέρους κλιματικών τύπων που επικρατούν στο νησί τα παραπάνω συμπεράσματα διαφέρουν για κάποιες περιοχές της Κρήτης. Πιο συγκεκριμένα στους νομούς Χανίων και Ρεθύμνου φαίνεται να μειώθηκε η διάρκεια των έντονων φαινομένων και να αυξήθηκε το ύψος βροχής των ακραίων βροχοπτώσεων, ενώ στο νότιο τμήμα του νομού Ηρακλείου όπου όλοι οι δείκτες που υπολογίστηκαν για τους σταθμούς εκείνης της περιοχής εμφανίζουν πτωτική τάση παρατηρούνται φαινόμενα ξηρασίας.

Τέλος η μέση ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή της Κρήτης, για το διάστημα 1973-2011, εμφάνισε πτωτική τάση στο γενικότερο πλαίσιο της μειούμενης βροχόπτωσης της Ελληνικής περιφέρειας σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ενώ οι τάσεις των ακραίων φαινομένων, αν και τοπικά ανάμεικτες, εμφανίζονται αυξητικές κατά μέσο όρο.

Abstract

Climate change has affected the climatic conditions of the planet, so a large part of the scientific community studies this effect in different parts of the planet. For the island of Crete there is no clear picture of climate changes and the questions we want to answer are what is the trend of extreme rainfall events, if there is an increasing trend in the duration of extreme rainfall events and the number of extreme events.

In this thesis a study was made of the trends of extreme and average values of rainfall on the island of Crete for the time period 1973-2011. For this purpose, the rainfall data of 49 meteorological stations from all over the island were used. For each station, precipitation indices and their trends were calculated as defined by the World Meteorological Organization expert group on Specific Climate Indicators (ET-SCI). Their indices and trends were calculated with the help of Climpack system software. Finally, plots of the indices in relation to time were created for the statistically significant stations and maps illustrating the trends of these indices in relation to the significance per decade.

By studying the results of the graphs, the average values of the trends and the maps in combination, we were led to various conclusions. The average annual rainfall was estimated at 813mm, the rain heights decrease from north to south and from west to east. Also, based on the statistically significant trends, it seems that the average annual rainfall and the duration of intense and extreme rain events have decreased, while the extreme phenomena show increasing intensity. An increase in the amount of rain per day of precipitation and the maximum amount of rain for one-day, three-day and five-day precipitation was also observed, that is, more rainfall precipitates in a short period of time.

Due to the peculiarity of the soil and the individual climate types that prevail on the island, the above conclusions differ for some areas of Crete. More specifically, in the prefectures of Chania and Rethymno, the duration of intense phenomena seems to have decreased and the height of extreme rainfall has increased, while in the southern part of the prefecture of Heraklion, where all the indices that calculated for the stations in that region show a downward trend, drought phenomena are observed .

Finally, the average annual rainfall in the area of Crete showed a downward trend , for the period 1973-2011, which is in agreement with the decreasing rainfall of the Greek region according to the literature, while the trends of extreme phenomena, although locally mixed, appear an average increase.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
Abstract.....	5
Περιεχόμενα εικόνων, γραφημάτων ,πινάκων και χαρτών	8
1 Εισαγωγή	9
1.1 Η ατμόσφαιρα της Γης	9
1.2 Καιρός και Κλίμα	10
1.3 Κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της	11
1.4 Κλίμα και κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα	13
1.5 Φαινόμενο του θερμοκηπίου	14
1.6 Υδρολογικός κύκλος	15
1.7 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	17
1.8 Ακραία Φαινόμενα.....	18
2 Ανασκόπηση Ερευνών	18
3 Σκοπός της Εργασίας	21
4 Θεωρία	21
4.1 Δείκτες βροχόπτωσης	21
4.2 Κλίση	24
4.3 Τιμή p (p-value).....	24
4.4 Λογισμικά συστήματα.....	25
5 Περιοχή μελέτης.....	26
6 Μεθοδολογία	28
6.1 Βροχομετρικά δεδομένα	28
6.2 Επεξεργασία δεδομένων	28
7 Αποτελέσματα	29
7.1 Γραφήματα.....	29
7.1.1 PRCPTOT	29
7.1.2 R10mm	30
7.1.3 R20mm	31
7.1.4 R30mm	32
7.1.5 R95p	33
7.1.6 R95ptot.....	33
7.1.7 Rx1day.....	34
7.1.8 Rx3day.....	35
7.1.9 Rx5day.....	35

7.1.10	SDII	36
7.1.11	CDD	37
7.2	Χάρτες	38
8	Συμπεράσματα	44
	Βιβλιογραφία	46

Περιεχόμενα εικόνων, γραφημάτων ,πινάκων και χαρτών

Εικόνες

Εικόνα 1.1: Μεταβολή θερμοκρασίας και πίεσης συναρτήσει του ύψους	10
Εικόνα 1.2: Κλιματικός κύβος.....	11
Εικόνα 1.3: Καιρός ,κλιματική μεταβλητότητα και κλιματική αλλαγή η διαφοροποίησή τους στο χρόνο.....	13
Εικόνα 1.4: ο κύκλος του νερού	16
Εικόνα 5.1: Χάρτης κλίματος κατά Köppen	27
Εικόνα 5.2: Χρήσεις γης για το νησί της Κρήτης	27
Εικόνα 6.1: Απεικόνιση μετεωρολογικών σταθμών	28

Γραφήματα

Γράφημα 7.1: Συνολικό ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε συνάρτηση με το χρόνο	30
Γράφημα 7.2: Ημέρες βροχόπτωσης >10mm ανά έτος.....	30
Γράφημα 7.3: Ημέρες βροχόπτωσης >20mm ανά έτος.....	32
Γράφημα 7.4: Ημέρες βροχόπτωσης >30mm ανά έτος.....	32
Γράφημα 7.5: Συνολική ετήσια βροχόπτωση για ύψος βροχής >95%	33
Γράφημα 7.6: Συμβολή των ημερών με έντονη βροχόπτωση	34
Γράφημα 7.7: Μέγιστη βροχόπτωση σε 1 ημέρα.....	34
Γράφημα 7.8: Μέγιστη βροχόπτωση 3 ημερών	35
Γράφημα 7.9: Μέγιστη βροχόπτωση 5 ημερών	36
Γράφημα 7.10: Ένταση βροχόπτωσης ανά έτος	36
Γράφημα 7.11: Αριθμός συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή ανά έτος	37

Πίνακες

Πίνακας 4.1: Δείκτες Βροχόπτωσης	22
Πίνακας 7.1: Μέση τιμή των τάσεων με $p<0.05$ για την Κρήτη και την Ελλάδα.....	38

Χάρτες

Χάρτης 7.1 : Μέση ετήσια βροχόπτωση	38
Χάρτης 7.2: Τάση και σημαντικότητα του ετήσιου αθροίσματος βροχόπτωσης ανά δεκαετία	39
Χάρτης 7.3: Η τάση και η σημαντικότητα του αριθμού των ημερών ανά δεκαετία όταν το ύψος βροχής >10mm	40
Χάρτης 7.4: Η τάση και η σημαντικότητα του αριθμού των ημερών ανά δεκαετία όταν το ύψος βροχής >20mm	40
Χάρτης 7.5: Η τάση και η σημαντικότητα του αριθμού των ημερών ανά δεκαετία όταν το ύψος βροχής >30mm	41
Χάρτης 7.6 : Τάση και σημαντικότητα της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης ανά δεκαετία για ύψος βροχής >95%.....	41
Χάρτης 7.7: Τάση και σημαντικότητα της έντασης βροχόπτωσης ανά δεκαετία	42
Χάρτης 7.8: Τάση και σημαντικότητα της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης ανά δεκαετία	42
Χάρτης 7.9: Τάση και σημαντικότητα της μέγιστης 3-ήμερης βροχόπτωσης ανά δεκαετία.....	43
Χάρτης 7.10: Τάση και σημαντικότητα της μέγιστης 5-ήμερης βροχόπτωσης ανά δεκαετία.....	43
Χάρτης 7.11: Τάση και σημαντικότητα των συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή ανά δεκαετία	44

1 Εισαγωγή

Η βροχόπτωση είναι μια από τις βασικές κλιματικές παραμέτρους και σε σύγκριση με τη θερμοκρασία χαρακτηρίζεται με μεγάλη χωρική και χρονική μεταβλητότητα. Η έλλειψη βροχοπτώσεων μπορεί να οδηγήσει σε ξηρασίες, ενώ υπερβολικές βροχοπτώσεις μπορεί να προκαλέσουν πλημμύρες (World Meteorological Organization (WMO), 2023)

1.1 Η ατμόσφαιρα της Γης

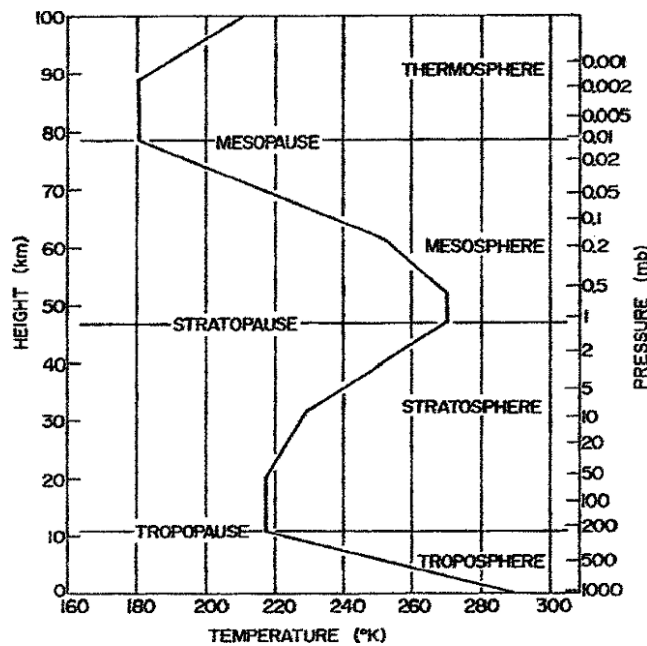
Η ατμόσφαιρα είναι ένας φλοιός αερίων που περιβάλλει τη Γη η οποία συγκρατείται λόγω της βαρύτητας των μορίων και εκτείνεται σε ύψος περίπου 1000km. Καθώς περιστρέφεται η Γη μαζί της περιστρέφεται και η ατμόσφαιρα γι' αυτό και εκτινάσσεται προς τα έξω αυτό το φαινόμενο είναι πιο έντονο στον ισημερινό.

Το μείγμα αερίων που την αποτελούν είναι ο γνωστός αέρας. Ο αέρας αποτελείται κυρίως από άζωτο και οξυγόνο ενώ περιέχει μικρές ποσότητες άλλων αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Είναι αόρατος, άοσμος και άγευστος και είναι απαραίτητος για την επιβίωση των οργανισμών καθώς οι περισσότεροι οργανισμοί δεν επιβιώνουν χωρίς αέρα για πάνω από μερικά λεπτά. Η ατμόσφαιρα παίζει και προστατευτικό ρόλο από την ηλιακή ακτινοβολία (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015), (Στάθης, 2015).

Το 99% της μάζας της ατμόσφαιρας είναι συγκεντρωμένη στα πρώτα 30 km, ενώ μέχρι τα 80 km η αναλογία των αερίων του ξηρού αέρα είναι σταθερή. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της ατμόσφαιρας είναι η θερμοκρασία, πίεση και πυκνότητα. Η ατμόσφαιρα διαιρείται σε 4 στρώματα:

- Τροπόσφαιρα ($0 \leq H \leq 11$ km) : σε αυτό το στρώμα εμφανίζονται τα καιρικά φαινόμενα.
- Στρατόσφαιρα ($11 \leq H \leq 47$ km): εμφανίζει ευστάθεια και λόγω παρουσίας του όζοντος εκεί γίνεται η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας
- Μεσόσφαιρα ($47 \leq H \leq 84.9$ km): πολύ χαμηλές θερμοκρασίες λόγω απουσίας όζοντος, πολύ αραιός αέρας και μικρή ατμοσφαιρική πίεση.
- Θερμόσφαιρα ($84.9 \leq H$ km): τα λίγα μόρια οξυγόνου που υπάρχουν απορροφούν ηλιακή ενέργεια και θερμαίνουν την ατμόσφαιρα.

Ενδιάμεσα των ατμοσφαιρικών στρωμάτων υπάρχουν οι ισόθερμες επιφάνειες τροπόπαυση, στρατόπαυση και μεσόπαυση (Στάθης, 2015). Παρακάτω (εικόνα 1.1) φαίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας και της πίεσης της ατμόσφαιρας ανάλογα με το ύψος. Όπως παρατηρούμε καθώς αυξάνεται το ύψος από την γήινη επιφάνεια στη τροπόσφαιρα μειώνεται η θερμοκρασία, εισερχόμενοι στη στρατόσφαιρα η θερμοκρασία αυξάνεται, στη συνέχεια στη μεσόσφαιρα μειώνεται και πάλι, ενώ στο τελευταίο στρώμα, τη θερμόσφαιρα, η θερμοκρασία αυξάνεται. Όσον αφορά τη πίεση αυτή συνεχώς μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια της Γης, το ίδιο συμβαίνει και με την πυκνότητα της ατμόσφαιρας, δηλαδή καθώς αυξάνεται το υψόμετρο ο αέρας είναι πιο αραιός.



Εικόνα 1.1: Μεταβολή θερμοκρασίας και πίεσης συναρτήσει του ύψους (Kshudiram, 2008)

1.2 Καιρός και Κλίμα

Πολύς κόσμος μπερδεύει το κλίμα μιας περιοχής με τον καιρό και αυτό συμβαίνει διότι και οι δύο έννοιες έχουν σχέση με τις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε μία περιοχή σε συνάρτηση με το χρόνο. Η μεγάλη διαφορά κλίματος και καιρού είναι η διαφορά στις χρονικές περιόδους που αναφέρεται κάθε όρος.

Ο καιρός είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή για ένα μικρό χρονικό διάστημα δηλαδή για ώρες, ημέρες και εβδομάδα. Ο καιρός μιας περιοχής μπορεί να αλλάξει ξαφνικά σε αντίθεση με το κλίμα, το οποίο είναι σταθερό για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα βασικά στοιχεία του καιρού είναι :

1. η θερμοκρασία του αέρα
2. η ατμοσφαιρική πίεση
3. η υγρασία
4. τα νέφη
5. οι κατακρημνίσεις
6. η ορατότητα
7. ο άνεμος

Το κλίμα είναι οι μέσες αναμενόμενες καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή μετά από μακροχρόνιες παρατηρήσεις διάρκειας δεκαετιών. Παρόλο που χρησιμοποιούμε παρόμοιες παραμέτρους και εργαλεία με την πρόβλεψη του καιρού, η πρόβλεψη του κλίματος απαιτεί να λαμβάνουμε υπόψιν τις αλληλεπιδράσεις και τις αλλαγές μεταξύ των συνιστωσών του κλιματικού συστήματος οι οποίες είναι η ατμόσφαιρα, υδρόσφαιρα, κρυόσφαιρα, επιφάνεια της γης, και βιόσφαιρα (Schneider, 1992).

Η ατμόσφαιρα είναι το πιο ασταθές από τα μέρη του κλιματικού συστήματος, τα αέρια που κυρίως την αποτελούν είναι το άζωτο (78,1%) και οξυγόνο (20,9%) τα οποία αλληλοεπιδρούν

περιορισμένα με την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, ενώ δεν αλληλοεπιδρούν με την υπέρυθρη ακτινοβολία της Γης. Επίσης στην ατμόσφαιρα υπάρχουν τα αέρια του θερμοκηπίου όπως CO₂, CH₄ τα οποία αλληλοεπιδρούν με το φως.

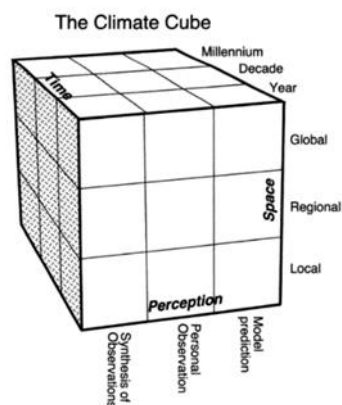
Η υδρόσφαιρα είναι το μέρος της Γης που αποτελείται από νερό σε υγρή μορφή δηλαδή ωκεανοί, λίμνες, ποτάμια κ.α.. Η υδρόσφαιρα επηρεάζει σημαντικά το κλίμα και ειδικά οι ωκεανοί που καταλαμβάνουν το 71% της επιφάνειας της Γης. Οι ωκεανοί αποθηκεύουν ηλιακή ενέργεια και μέσω των ρευμάτων την διακινούν. Επίσης βοηθούν στο να μην αλλάζει γρήγορα το κλίμα μιας περιοχής και λειτουργούν ως πηγές φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος (Baede et al., 2001).

Η κρυόσφαιρα περιλαμβάνει όλο το νερό σε στερεή μορφή που υπάρχει πάνω στη Γη, δηλαδή χιόνι, πάγος κ.α.. Η συνεισφορά της κρυόσφαιρας στο κλίμα είναι σημαντική καθώς η ηλιακή αντανάκλαση πάνω στους πάγους με αποτέλεσμα να βοηθά στη ρύθμιση της θερμοκρασίας και εξισορροπεί το ενεργειακό ισοζύγιο της Γης (*Climate System*, 2017).

Η βιόσφαιρα είναι το μέρος της Γης στην οποία μπορεί να αναπτυχθεί ζωή. Η βιόσφαιρα επηρεάζει τη σύνθεση και τη χημεία της ατμόσφαιρας, οπότε επηρεάζει έμμεσα το κλίμα (Baede et al., 2001).

Η στερεή επιφάνεια της Γης ελέγχει την ενέργεια που παίρνει από τον Ήλιο και με ποιόν τρόπο επιστρέφεται στην ατμόσφαιρα. Επίσης γίνονται ανταλλαγές ενέργειας με όλα τα μέρη του κλίματος (Baede et al., 2001), (*Climate System*, 2017).

Τα μέρη του κλιματικού συστήματος αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους ανταλλάσσοντας ενέργεια, μάζα, θερμότητα και ορμή παρόλο που διαφέρουν μεταξύ τους σε σύνθεση, φυσικές και χημικές ιδιότητες, δομή και συμπεριφορά. (Baede et al., 2001). Στην εικόνα 1.2 φαίνεται πως το κλίμα εξαρτάται από το χώρο, το χρόνο και την αντίληψη.



Εικόνα 1.2: Κλιματικός κύβος (McGuffie & Henderson-Sellers, 2005)

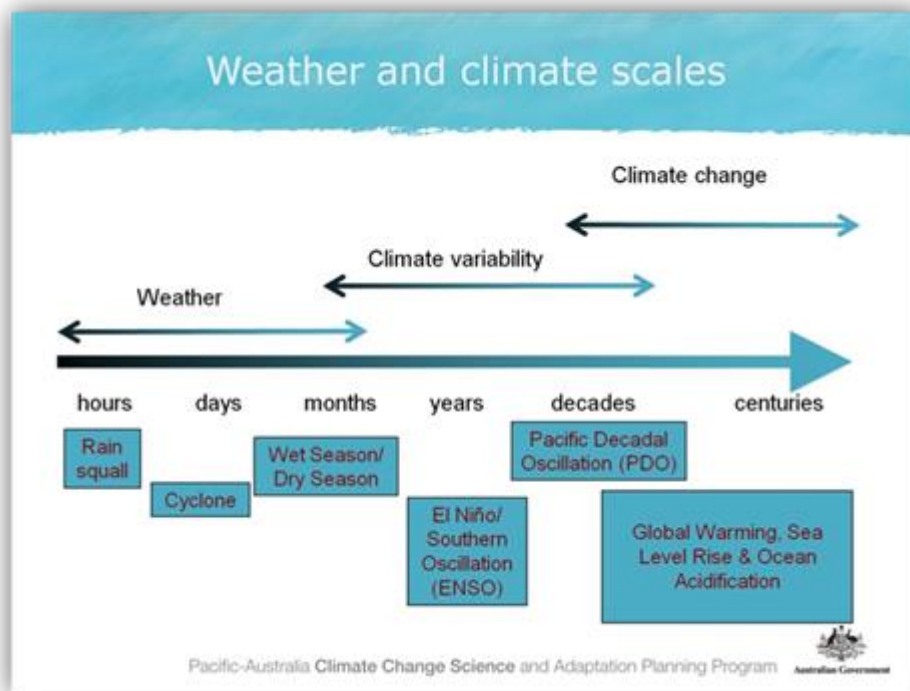
1.3 Κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της

Καταρχήν θα πρέπει να αποσαφηνιστούν οι όροι κλιματική μεταβλητότητα και κλιματική αλλαγή καθώς παρόλο που και οι δύο όροι αφορούν μεταβολές του κλίματος, αυτές οι μεταβολές δεν γίνονται στην ίδια χρονική διάρκεια.

Κλιματική μεταβλητότητα είναι οι χωροχρονικές διακυμάνσεις των μέσων τιμών των παραμέτρων του κλίματος ανεξάρτητα από τα συστήματα καιρού. Υπάρχουν δύο τύποι κλιματικής μεταβλητότητας (Baede et al., 2001):

- α) Εσωτερική: Εξαιτίας εσωτερικών διεργασιών του κλίματος καθώς τα μέρη του κλίματος έχουν πολύ διαφορετικούς χρόνους απόκρισης και μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις οπότε δεν βρίσκονται ποτέ σε ισορροπία και μεταβάλλονται συνεχώς. Τέτοιες διεργασίες είναι για παράδειγμα η Ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού (NAO), Νότια Ταλάντωση (ENSO) El Nino και El Nina, Δεκαετής Ταλάντωση του Ειρηνικού (PDO) (Baede et al., 2001).
- β) Εξωτερική: Είναι εξαναγκαστικοί μηχανισμοί οι οποίοι είναι είτε φυσικοί είτε ανθρωπογενείς. Το κλίμα εξαναγκάζεται σε μεταβολή μέσω αναδράσεων. Τέτοιοι εξαναγκαστικοί μηχανισμοί είναι η μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, εκρήξεις ηφαιστειών και η αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου λόγω ανθρώπινης δραστηριότητας (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015), (Baede et al., 2001).

Ως κλιματική αλλαγή ορίζεται η αλλαγή των μέσων τιμών του κλίματος και ποιο συγκεκριμένα των μετεωρολογικών συνθηκών με σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή και περισσότερων ετών (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015). Η κλιματική αλλαγή μπορεί να προκληθεί από φυσικά αίτια, όπως η ηλιακή δραστηριότητα, μεταβολές στην τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο, ηφαιστειακές εκρήξεις μεγάλης κλίμακας κτλ. Πέρα από τα φυσικά αίτια, τα οποία λαμβάνουν χώρα συνήθως σε πολύ μεγάλες χρονικές κλίμακες, και ο ανθρώπινος παράγοντας δύναται να προκαλέσει εκτεταμένες αλλαγές στο κλιματικό σύστημα του πλανήτη μας, οι οποίες εξελίσσονται στο πλέον σοβαρό περιβαλλοντικό ζήτημα. Συγκεκριμένα σύμφωνα με το UNFCCC το 1992 κλιματική αλλαγή είναι κάθε αλλαγή στη σύνθεση της ατμόσφαιρας η οποία οδηγεί σε μεταβολή της κλιματικής μεταβλητότητας και οφείλεται άμεσα ή έμμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα (UNFCCC, 1992). Στην εικόνα 1.3 φαίνεται η διαφοροποίηση των εννοιών καιρός, κλιματική αλλαγή και κλιματική μεταβλητότητα.



Εικόνα 1.3: Καιρός, κλιματική μεταβλητότητα και κλιματική αλλαγή η διαφοροποίησή τους στο χρόνο.

Ο άνθρωπος από πάντα επηρέαζε το περιβάλλον γύρω του, όμως από την βιομηχανική επανάσταση και έπειτα η επιρροή αυτή επεκτάθηκε σε όλο τον πλανήτη. Με την καύση ορυκτών καυσίμων και βιομάζας παράγονται αέρια του θερμοκηπίου και αερολύματα που επηρεάζουν τη σύνθεση της ατμόσφαιρας. Επίσης με την απελευθέρωση χλωροφθορανθράκων και ενώσεων βρωμίου στην ατμόσφαιρα καταστρέφεται το στρατοσφαιρικό όζον το οποίο απορροφά μεγάλο μέρος της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας (Baede et al., 2001). Επιπλέον οι αλλαγές στις χρήσεις γης εξαιτίας της αστικοποίησης, αποψίλωσης των δασών και της ερημοποίησης μεταβάλλουν τη μορφή και τη σύνθεση του εδάφους και της επιφάνειας της Γης. Σύμφωνα με την τελευταία έκθεση του IPCC η ανθρώπινη δραστηριότητα προκάλεσε αύξηση στη θερμοκρασία του πλανήτη και κατ' επέκταση τη κλιματική αλλαγή η οποία επηρεάζει τον καιρικές συνθήκες και τον υδρολογικό κύκλο. Σε παγκόσμιο επίπεδο έχουν παρατηρηθεί ακραία καιρικά φαινόμενα όπως καύσωνες, ξηρασία και έντονες βροχοπτώσεις.

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα παγκόσμιο πρόβλημα με επιπτώσεις σε τοπική κλίμακα, επομένως επηρεάζει σε διαφορετικό βαθμό τις χώρες και τις περιοχές καθώς και τους διάφορους τομείς. Η συχνότητα και η ένταση των έντονων βροχοπτώσεων έχουν αυξηθεί από τη δεκαετία του 1950 στις περισσότερες χερσαίες περιοχές, ενώ εάν η παγκόσμια θερμοκρασία αυξηθεί κατά 1,5 °C θα παρατηρηθούν πιο συχνά και πιο έντονα φαινόμενα έντονων βροχοπτώσεων και πλημμυρών στην Ευρώπη (IPCC, 2023).

1.4 Κλίμα και κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα

Η Ελλάδα βρίσκεται στη βόρεια εύκρατη ζώνη στην ανατολική μεσόγειο και έχει έκταση 131,957 km² ενώ η ακτογραμμή της εκτείνεται στα 15,000 km (Giannakopoulos et al., 2011). Το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται μεσογειακό με ήπιους και υγρούς χειμώνες, θερμά και

ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο. Στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, μέσα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος. Αυτό οφείλεται στις μεγάλες διαφορές υψομέτρου λόγω των μεγάλων οροσειρών και των εναλλαγών ξηράς και θάλασσας καθώς το 20% της έκτασής της είναι νησιά (Κλιματολογία, 2017).

Για την Ελλάδα στο κοντινό μέλλον (2021-2050) προβλέπεται αύξηση του αριθμού των ημερών χωρίς βροχή, μείωση της βροχής την περίοδο του χειμώνα και αύξησή της το φθινόπωρο, αύξηση της θερμοκρασίας και αύξηση των τριήμερων βροχοπτώσεων (Giannakopoulos et al., 2011). Επίσης προβλέπεται για το διάστημα 2046-2065 αύξηση της θερμοκρασίας που θα φθάσει τους 2,5 βαθμούς Κελσίου, μείωση των βροχοπτώσεων κατά περίπου 12%, αύξηση του ελλείμματος υγρασίας, αύξηση των θερμών ημερών καθώς και του αριθμού συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή (Καρτάλης et al., 2017).

Η κλιματική αλλαγή εκτός από ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα μακροπρόθεσμα επηρεάζει την ανάπτυξη και την οικονομία μιας χώρας. Οι κύριοι πυλώνες της οικονομίας της Ελλάδας είναι ο αγροτικός τομέας και ο τουρισμός και λιγότερο η βιομηχανία, οι οποίοι θα πρέπει να προσαρμοστούν στα νέα περιβαλλοντικά δεδομένα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας με ταυτόχρονη μείωση των βροχοπτώσεων θα έχει σαν επίπτωση την αύξηση του κινδύνου δασικών πυρκαγιών που με τη σειρά τους επηρεάζουν όλους του τομείς. Η μείωση των βροχοπτώσεων θα δημιουργήσει προβλήματα λειψυδρίας και παράλληλα η αύξηση των ακραίων γεγονότων βροχής δημιουργούν πλυμμηρικά φαινόμενα. Επίσης οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με την απουσία πράσινου στις πόλεις και τα υψηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας θα κάνει την ατμόσφαιρα αποπνικτική.

Όσον αφορά τον τουρισμό η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να έχει θετικό και αρνητικό αντίκτυπο. Από τη μία πλευρά ο απειλείται ο χειμερινός τουρισμός στα χιονοδρομικά κέντρα αλλά και ο καλοκαιρινός καθώς οι καύσωνες θα δημιουργούν δυσάρεστη ατμόσφαιρα, όμως από την αντίθετα πλευρά ο καλοκαιρινός τουρισμός μπορεί να παραταθεί σε διάρκεια.

Στον αγροτικό τομέα η αύξηση της θερμοκρασίας, η μείωση των βροχοπτώσεων και η αύξηση των ακραίων γεγονότων βροχής και καύσωνα δημιουργούν πολλαπλά προβλήματα όπως απειλή από φωτιές, καταστροφές και διάβρωση των εδαφών από πλημμύρες, προβλήματα στην άρδευση αλλά και αυξημένη ανάγκη για ποτιστικές καλλιέργειες. Παρόλα αυτά και στον αγροτικό τομέα η αύξηση της θερμοκρασίας θα επηρεάσει θετικά κάποιες καλλιέργειες όπως το αμπέλι.

Τέλος η κλιματική αλλαγή θα αλλάξει και την ενεργειακή ζήτηση. Η ανάγκη για θέρμανση το χειμώνα θα μειωθεί, ενώ θα αυξηθεί η ζήτηση για ψύξη το καλοκαίρι. Ταυτόχρονα η κλιματική αλλαγή θα ευνοήσει την χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας για παράδειγμα η αύξηση των ημερών με ηλιοφάνεια προωθεί τη χρήση ηλιακής ενέργειας (Giannakopoulos et al., 2011), (Καρτάλης et al., 2017).

1.5 Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο που συμβαίνει στην ατμόσφαιρα και η αρχή λειτουργίας του είναι παρόμοια με αυτή του θερμοκηπίου. Ένα

μέρος από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται προς το διάστημα από τα σύννεφα, το χιόνι, το πάγο, τη θάλασσα και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας. Το υπόλοιπο ποσοστό της εισερχόμενης ακτινοβολίας απορροφάτε είτε από την ατμόσφαιρα είτε από την επιφάνεια της Γης και επανεκπέμπεται ως υπέρυθρη ακτινοβολία

Τα αέρια που συμμετέχουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ονομάζονται «αέρια του θερμοκηπίου», είναι διαφανή στην ακτινοβολία μικρού μήκους (κύματος και αδιαφανή στην ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (υπέρυθρη). Τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και το όζον (O_3).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου συμβαίνει φυσικά στην ατμόσφαιρα και παίζει σημαντικό ρόλο στη θέρμανση του πλανήτη. Χωρίς το φαινόμενο του θερμοκηπίου η θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν αρκετά χαμηλότερη με αποτέλεσμα να μην υπήρχε ανάπτυξη της ζωής με τη μορφή που τη γνωρίζουμε σήμερα (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015).

Η ανθρώπινη δραστηριότητα όπως η καύση υδρογονανθράκων και η αποψίλωση των δασών αλλάζουν την σύσταση της ατμόσφαιρας και την επιφάνεια της Γης με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Συνεπώς γίνεται μεταβολή του ισοζυγίου της ακτινοβολίας του συστήματος Γη-ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης.

Η επιφανειακή θέρμανση της Γης επιφέρει μια αλυσιδωτή αντίδραση όπως το λιώσιμο των πάγων με αποτέλεσμα την αύξηση της στάθμης της θάλασσας, γίνεται πιο έντονη η εξάτμιση οπότε αυξάνονται οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα το οποίο με τη σειρά του μπορεί να δημιουργήσει ακραία φαινόμενα βροχής και τέλος υπάρχει κίνδυνος εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών.

Συμπερασματικά το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων παίζει κομβικό ρόλο στη κλιματική αλλαγή.

1.6 Υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος είναι μια σειρά διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Ένα σημαντικό μέρος του υδρολογικού κύκλου αποτελεί και η βροχόπτωση. Το νερό στον υδρολογικό κύκλο εμφανίζεται σε όλες τις φυσικές καταστάσεις στερεή, υγρή και αέρια. Ο υδρολογικός κύκλος αποτελείται από 16 στάδια τα οποία φαίνονται στην εικόνα 1.4:

- Αποθήκευση νερού στη θάλασσα
- Εξάτμιση
- Εξατμοδιαπνοή
- Εξάχνωση
- Αποθήκευση του νερού στην ατμόσφαιρα
- Συμπύκνωση

- Κατακρημνίσματα
- Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνια
- Απορροή από λιώσιμο του χιονιού
- Επιφανειακή απορροή
- Ροή σε υδατορεύματα
- Αποθήκευση γλυκού νερού
- Διήθηση
- Αποθήκευση υπόγειου νερού
- Εκφόρτιση υπόγειου νερού
- Πηγές
- Παγκόσμια κατανομή νερού

Η ένταση και η συχνότητα του κύκλου εξαρτώνται από το κλίμα και τη γεωγραφική θέση της περιοχής.



Εικόνα 1.4: ο κύκλος του νερού (The Water Cycle, 2017)

Με λίγα λόγια το νερό εξατμίζεται από τη θάλασσα, τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος και ανυψώνεται σε μορφή υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Επίσης σε μορφή υδρατμών ανυψώνεται λόγω της εξατμοδιαπνοής και της εξάχνωσης. Καθώς οι υδρατμοί ανεβαίνουν στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας μειώνεται η θερμοκρασία και συμπυκνώνονται και

σχηματίζουν τα σύννεφα. Το νερό που βρίσκεται στα σύννεφα πέφτει με τη μορφή κατακρημνισμάτων, έτσι ένα μέρος του νερού μεταφέρεται από την ατμόσφαιρα στη θάλασσα όπου μέσω της εξάτμισης υδρατμοί ανεβαίνουν και πάλι στην ατμόσφαιρα.

Το νερό που είναι αποθηκευμένο στα σύννεφα πέφτει με τη μορφή κατακρημνισμάτων, όπου ένα μέρος πέφτει απευθείας στους ωκεανούς. Ένα άλλο μέρος των κατακρημνισμάτων πέφτει στην επιφάνεια της γης όπου ένα ποσοστό συγκρατείται στην επιφάνεια, ένα άλλο ποσοστό απορρέει προς τους ποταμούς και το υπόλοιπο διηθείται στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους όπου σχηματίζονται τα υπόγεια νερά και οι πηγές (Σιδηρόπουλος & Τόλικας), (*The Water Cycle*, 2017).

Η αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας επηρεάζει τον υδρολογικό κύκλο και το υδρολογικό ισοζύγιο καθώς εντατικοποιείται η εξάτμιση με αποτέλεσμα να γίνει ανακατανομή των βροχοπτώσεων και να εμφανιστούν πιο συχνά έντονα φαινόμενα. Επιπλέον λιώνουν οι παγετώνες με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και μεταβολή της αλατότητας των ωκεανών, καθώς επίσης η μείωση του πάγου/χιονιού επηρεάζει τη ροή των ποταμών και τα υπόγεια ύδατα (Z. W. Kundzewicz, 2008).

Τέλος η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έχει ως συνέπεια την αύξηση της απορρόφησής του από τους ωκεανούς. Αυτό έχουν σαν αποτέλεσμα τη μείωση του pH των θαλάσσιων υδάτων, κάνοντας τους ωκεανούς πιο όξινους το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει τους θαλάσσιους οργανισμούς (Z. W. Kundzewicz, 2008).

1.7 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Με τον όρο κατακρημνίσεις ή υετός εννοούμε όλες τις μορφές με τις οποίες το νερό φθάνει στη γη (βροχή, χιόνι, χαλάζι κ.λπ.). Ο σχηματισμός γίνεται στα σύννεφα και εξαρτάται από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και τον βαθμό ανατάραξης.

Η βροχή σχηματίζεται όταν τα υδροσταγονίδια που υπάρχουν στα σύννεφα ενωθούν και πέφτουν λόγω του βάρους τους. Ανάλογα το τρόπο ψύξης των αέριων μαζών σχηματίζονται τρία είδη βροχοπτώσεων:

- Μεταφοράς: η επιφάνεια του εδάφους θερμαίνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ανοδικό ρεύμα υδροσταγονιδίων προς τα πάνω, το οποίο όταν συναντά τον ψυχρό αέρα αναπτύσσονται κατακόρυφες κινήσεις στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας της αστάθειας που δημιουργήθηκε και έτσι δημιουργούνται έντονες βροχοπτώσεις και καταιγίδες.
- Υφεσιακές ή κυκλωνικές: ψυχρές, υγρές και ασταθείς αέριες μάζες περνούν πάνω από θερμή επιφάνεια με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ανοδικές κινήσεις λόγω θέρμανσης και στη συνέχεια ανύψωση των υδρατμών και δημιουργία βροχής.
- Ορογραφικές ή αναγλύφου: όταν ο αέρας περιέχει αρκετούς υδρατμούς και αναγκάζεται να φτάσει σε σημείο κορεσμού τότε δημιουργούνται στην προσήνεμη πλευρά του βουνού ραγδαίες και παρατεταμένες βροχές (Δαλέζιος, 2015), (Λαζαρίδης, 2005).

Έχει παρατηρηθεί ότι καθώς αυξάνεται το ύψος αυξάνονται και οι βροχοπτώσεις. Όσον αφορά τη βροχόπτωση τα φυσικά μεγέθη που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι:

- ύψος βροχής: το ύψος σε mm/m² που πέφτει σε μια οριζόντια επιφάνεια.
- χρονική διάρκεια: το χρονικό διάστημα που διήρκεσε η βροχόπτωση
- ραγδαιότητα: η ποσότητα της βροχής που έπεσε σε ένα τόπο σε ένα χρονικό διάστημα.

Τα όργανα μέτρησης είναι τα βροχόμετρα και οι βροχογράφοι, αλλά πλέον με την εξέλιξη της τεχνολογίας η μετρήσεις γίνονται με ραντάρ και δορυφόρους.

Η βροχόπτωση είναι ένα ασυνεχές φαινόμενο καθώς εκδηλώνεται διαφορετικά σε κάθε περιοχή του πλανήτη. Για να μελετηθεί η γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων χαράζονται ισοϋέτιες καμπύλες οι οποίες ενώνουν τα σημεία του πλανήτη που παρουσιάζουν ίσα ύψη ετήσιας βροχόπτωσης. Οι περιοχές με τις υψηλότερες βροχοπτώσεις βρίσκονται στην ζώνη του ισημερινού και στην Νοτιοανατολική Ασία όπου εκδηλώνονται οι μουσώνες. Τα μεσαία γεωγραφικά πλάτη δέχονται μέτριες ποσότητες βροχοπτώσεων, ενώ λίγες πέφτουν στις έρημες περιοχές των υποτροπικών περιοχών και γύρω από τους πόλους (Στάθης, 2015).

Στην Ελλάδα τα μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης παρατηρούνται πάνω από τις ορεινές περιοχές όπως Ήπειρος, Θεσσαλία, Θράκη, ανατολική Μακεδονία και στις δυτικές περιοχές της χώρας όπως νησιά του Ιονίου. Στις περιοχές που βρίσκονται στην ανατολική Πελοπόννησο, την Αττική και στο Σαρωνικό κόλπο σημειώνονται μικρότερες τιμές του ύψους βροχής (Στάθης, 2015).

1.8 Ακραία Φαινόμενα

Ακραία καιρικά φαινόμενα ονομάζονται οι καιρικές συνθήκες των οποίων οι τιμές είναι πολύ μεγαλύτερες ή μικρότερες από τις μέσες τιμές που συνήθως επικρατούν (Baede et al., 2001). Τέτοια φαινόμενα είναι ο καύσωνας, φαινόμενα ψύχους, ξηρασία, έντονες βροχοπτώσεις, ανεμοστρόβιλοι κ.α.. Τα ακραία φαινόμενα δεν συμβαίνουν συχνά και διαφέρουν από τόπο σε τόπο τόσο σε μέγεθος όσο και στο χρόνο (*Extreme Weather*, 2023).

Με την εμφάνιση της κλιματικής αλλαγής τα ακραία καιρικά φαινόμενα εμφανίζονται πιο συχνά, με μεγαλύτερη ένταση και διάρκεια. Αυτά τα γεγονότα επιφέρουν ζημιογόνες επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή, στη γεωργία-κτηνοτροφία, στις υποδομές κ.α..

2 Ανασκόπηση Ερευνών

Ο υδρολογικός κύκλος είναι οι κινήσεις του νερού μεταξύ ατμόσφαιρας, υδρόσφαιρας και λιθόσφαιρας συνεπώς το νερό και το κλίμα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα μεταξύ τους καθώς το ένα επηρεάζει το άλλο. Η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή έχει ξεκινήσει και σύμφωνα με τα κλιματικά μοντέλα τα επόμενα χρόνια θα είναι ακόμα πιο έντονη. Παρατηρείται εντατικοποίηση του κύκλου του νερού, με αυξανόμενους ρυθμούς εξάτμισης άρα και βροχόπτωσης, δηλαδή υπάρχουν περισσότεροι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα, το οποίο οδηγεί σε πιο έντονες βροχοπτώσεις (Z. W. Kundzewicz, 2008). Σε παγκόσμια κλίμακα, η ετήσια μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση έχει αυξηθεί κατά μέσο όρο κατά 5,73 mm τα τελευταία 110

χρόνια (1901-2010) (Asadieh & Krakauer, 2015). Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι η ζώνη έντονων βροχοπτώσεων έχει μετατοπιστεί προς τους πόλους, ενώ υπάρχει αύξηση της ξηρασίας του καλοκαιριού στο εσωτερικό των ηπείρων (Z. W. Kundzewicz, 2008). Σύμφωνα με το IPCC υπάρχουν περισσότερες χερσαίες περιοχές όπου ο αριθμός των έντονων βροχοπτώσεων έχει αυξηθεί από ότι οι περιοχές που έχει μειωθεί και πιο συγκεκριμένα η συχνότητα και η ένταση των έντονων βροχοπτώσεων έχει αυξηθεί στη βόρεια Αμερική και την Ευρώπη (IPCC, 2014).

Σύμφωνα με σύγκριση που έγινε για το παρελθόν (1961–1990) και το μέλλον (2070-2099) προβλέπεται αύξηση των ημερών με έντονη βροχόπτωση καθώς και της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης σχεδόν σε όλη την Ευρώπη και ειδικά στη κεντρική και βόρεια Ευρώπη (Z. Kundzewicz et al., 2006). Επίσης στη κεντρική και βόρεια Ευρώπη παρατηρήθηκε αύξηση της βροχόπτωσης 20mm/10 έτη (Caloiero et al., 2018). Ταυτόχρονα τα ακραία φαινόμενα κατακρημνίσεων στη κεντρική και Βόρεια Ευρώπη εμφανίζουν περιοδικότητα, η οποία εξηγείται από τα τη περιοδικότητα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στο Βόρειο Ατλαντικό κάθε 10-15 έτη (Willems, 2013). Τον 20ο αιώνα στη δυτική και κεντρική Ευρώπη παρατηρήθηκε τάση αύξησης της μέσης βροχόπτωσης και της έντασής της, καθώς και των έντονων φαινομένων για την περίοδο του χειμώνα (Moberg & Jones, 2005). Στη νότια Ευρώπη αν και η συνολική βροχόπτωση δείχνει να μειώνεται και δεν φαίνεται κάποια τάση για τις μονοήμερες και πενθήμερες βροχοπτώσεις, φαίνεται τα καλοκαίρια να είναι πιο υγρά (Van den Besselaar et al., 2013). Σύμφωνα με μια εποχική ανάλυση των ακραίων κατακρημνίσεων (1950-2008) παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συχνότητα και αύξηση των ακραίων κατακρημνίσεων το χειμώνα (Łurikasz, 2017). Επίσης οι ανοδικές τάσεις στη δυτική και κεντρική Ευρώπη είναι διπλάσιες των πτωτικών τάσεων για τη νότια Ευρώπη την άνοιξη. Το καλοκαίρι τα ποσοστά πτώσης και ανόδου στη δυτική και ανατολική Ευρώπη αντίστοιχα είναι παρόμοια. Στη κεντρική Ευρώπη φαίνεται μείωση των ακραίων κατακρημνίσεων για το φθινόπωρο (Łurikasz, 2017).

Στη περιοχή της Μεσογείου παρατηρείται μείωση των ετήσιων κατακρημνίσεων για την περίοδο 1901-2009. Επίσης ο αριθμός των βρόχινων ημερών δείχνει να μειώνεται για την ανατολική Μεσόγειο (Philandras et al., 2011). Η ταλάντωση του βόρειου Ατλαντικού φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά τόσο τα ύψη βροχής όσο και τον αριθμό των βρόχινων ημερών στην Ισπανία, νότια Γαλλία, Ιταλία και Ελλάδα, αυτή η συσχέτιση είναι πιο έντονη την περίοδο Οκτώβρη–Μάρτιο (Philandras et al., 2011). Στην ανατολική Μεσόγειο παρατηρήθηκε μείωση των βροχών -20mm/ 10 έτη αλλά και στη βόρεια Αφρική -16mm/10 έτη (Caloiero et al., 2018b). Σύμφωνα με μελέτη που αφορά τις μελλοντικές τάσεις για της ακραίες βροχοπτώσεις θα υπάρξει αύξηση των ακραίων γεγονότων η οποία ξεκίνησε τις πρώτες δεκαετίες του 21^{ου} αιώνα και θα επηρεάσει ιδιαίτερα τις περιοχές της νότιας Γαλλίας, βόρειας Ιταλίας και τα Βαλκάνια (Tramblay & Somot, 2018). Ταυτόχρονα προβλέπεται μείωση των βροχοπτώσεων στις χώρες της νότιας Μεσογείου, ενώ στα βόρεια παράλια προβλέπεται αύξηση της ημερήσιας βροχόπτωσης (Zittis et al., 2021).

Όσον αφορά την Ελλάδα σε μελέτη που έγινε για το χρονικό διάστημα 1955-2001 βρέθηκε τάση μείωσης τόσο των ετήσιων όσο και των χειμερινών κατακρημνίσεων με χρονιά έναρξης της μείωσης το 1984. Αυτή η παρατήρηση έρχεται σε συμφωνία με τις διάφορες έρευνες που έγιναν για τη περιοχή της Μεσογείου. Επίσης βρέθηκε συσχέτιση του δείκτη Ταλάντωσης του

Βόρειου Ατλαντικού με τις βροχοπτώσεις στην Ελλάδα, ενώ οι δείκτες Ταλάντωσης και Κυκλοφορίας της Μεσογείου εξηγούν σημαντικά τη μεταβλητότητα των ετήσιων και θερινών βροχοπτώσεων αντίστοιχα (Feidas et al., 2007). Εκτός από την μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης έχει παρατηρηθεί μείωση του αριθμού βρόχινων ημερών, ενώ από το 1980 και μετά εμφανίζονται ακραία γεγονότα βροχής καθώς έχει αυξηθεί το ύψος ημερήσιας βροχόπτωσης (P. Nastos & Zerefos, 2010). Τα ακραία γεγονότα βροχής εμφανίζονται στη δυτική, ανατολική και νοτιοανατολική Ελλάδα (P. T. Nastos & Zerefos, 2008a). Παρόλο που οι περισσότερες μελέτες δείχνουν τάση μείωσης των βροχών για την Ελλάδα κάποιες μελέτες δείχνουν ότι η αλλαγή των ετήσιων βροχών δεν είναι γραμμική. Φαίνεται μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης μέχρι το 1950, μετά να αυξάνεται μέχρι το 1980 και στη συνέχεια να μένει σταθερή (Markonis et al., 2017). Σε άλλη μελέτη η ετήσια βροχόπτωσης αυξάνεται για 1950-1960, μετά μειώθηκε μέχρι το 1990 και τέλος αυξάνεται πάλι μέχρι το 2020 (Varlas et al., 2022). Όσον αφορά τα μελλοντικά σενάρια δείχνουν μείωση της βροχόπτωσης μέχρι της τάξεως του 60% (Tolika & Zanis, 2012), (Paparrizos et al., 2016). Σε μια πρόσφατη διπλωματική εξετάστηκαν 9 μοντέλα για δεδομένα βροχόπτωσης και συγκρίθηκαν με τις τιμές των βροχομετρικών σταθμών στον ελλαδικό χώρο και το συμπέρασμα ήταν ότι τα πλεγματικά δεδομένα δεν είναι αξιόπιστα για την περιγραφή των ακραίων γεγονότων βροχής, ενώ τα μοντέλα CHELSA και CERRAL φαίνονται πιο συνεπή στην περιγραφή των βροχοπτώσεων (Para, 2024).

Στη Κρήτη η εποχικότητα των πλημμυρών συμπίπτει με την εποχικότητα των μέγιστων βροχοπτώσεων του Νοεμβρίου και του Δεκεμβρίου, ενώ το 50% της μέγιστης βροχής κατακρημνίζεται από το Νοέμβριο μέχρι τον Ιανουάριο (Koutroulis et al., 2010). Στη δυτική Κρήτη έχει βρεθεί ότι το ύψος βροχής είναι κατά 450mm υψηλότερο απ' ότι στην ανατολική με έντονη συσχέτιση μεταξύ τους (Agou et al., 2019). Σε άλλη μελέτη εντοπίστηκε αύξηση της ετήσιας διακύμανσης της βροχής, ο κύκλος βροχοπτώσεων διαρκεί 8 έτη και συσχέτιση της μεταβλητότητας των βροχοπτώσεων με την Ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού (Varouchakis et al., 2018). Επίσης παρατηρήθηκε μείωση των ημερών βροχής (Varouchakis et al., 2018) ενώ δεν βρέθηκε μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης (Varouchakis et al., 2018), (Agou et al., 2019). Η πλειοψηφία των έντονων γεγονότων βροχής παρατηρήθηκε όταν υπήρχαν κοντά κυκλώνες. Οι κυκλώνες που επηρέασαν περισσότερο την Κρήτη προέρχονται κυρίως βορειοδυτικά με κέντρο βόρεια του νησιού, ενώ την Άνοιξη τα έντονα φαινόμενα προκαλούνται από κυκλώνες με κέντρο νότια της Κρήτης (Iordanidou et al., 2015). Επιπλέον εντοπίστηκε αύξηση της βροχής όταν μειώνεται η πίεσή του, αυξάνεται η ένταση, το βάθος, η ακτίνα και η ταχύτητα διάδοσής του (Iordanidou et al., 2014). Σύμφωνα με τα μελλοντικά σενάρια για το σύνολο του νησιού της Κρήτης προβλέπεται μείωση τόσο της ετήσιας βροχόπτωσης όσο και της συχνότητας των ακραίων γεγονότων βροχής (Tsanis et al., 2011), (Taroğlu et al., 2019). Όμως στη βορειοδυτική Κρήτη και ειδικά στο Βόρειο κομμάτι των Χανίων προβλέπεται αύξηση των γεγονότων βροχής με αυξανόμενη δριμύτητα (Taroğlu et al., 2019). Επιπλέον υπάρχουν ενδείξεις ότι η μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση το φθινόπωρο θα αυξηθεί, όπως επίσης και η εμφάνιση γεγονότων έντονων βροχοπτώσεων (Tsanis et al., 2011).

3 Σκοπός της Εργασίας

Τα τελευταία χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής αντικείμενο πολλών επιστημονικών μελετών είναι η χρονική και χωρική ανάλυση διαφόρων παραγόντων του κλίματος σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Ειδικότερα στην τελευταία έκθεση του IPCC υποστηρίζεται ότι θα αυξηθούν τα φαινόμενα ακραίων γεγονότων βροχής για την Ευρώπη (Lee, 2023), ενώ στην Ελλάδα κάνουν την εμφάνισή τους στα δυτικά, ανατολικά και νοτιοδυτικά της χώρας (P. T. Nastos & Zerefos, 2008b). Για το νησί της Κρήτης δεν έχει βρεθεί κάποια ξεκάθαρη τάση τόσο των μέσων όσο και των ακραίων βροχοπτώσεων.

Στην παρούσα διατριβή γίνεται χωροχρονική ανάλυση των τάσεων των ακραίων και μέσων βροχοπτώσεων στο νησί της Κρήτης που βρίσκεται στο νότιο-ανατολικό άκρο της Ευρώπης και συγκεκριμένα στη βορειοανατολική Μεσόγειο για το κοντινό παρελθόν δηλαδή κατά την περίοδο 1973-2011.

Τα ερωτήματα που κληθήκαμε να απαντήσουμε είναι ποια είναι τάση εμφάνισης ακραίων τιμών βροχόπτωσης, εάν εμφανίζεται τάση αύξησης στη διάρκεια των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης και του αριθμού ακραίων φαινομένων ανά χρονιά και τέλος οι τάσεις που εμφανίζει η Κρήτη εάν ακολουθούν τις αντίστοιχες τάσεις του Ελλαδικού χώρου. Γι' αυτό το σκοπό υπολογίστηκαν ορισμένοι κλιματικοί δείκτες βροχόπτωσης της Ομάδας Εμπειρογνώμωνων του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού για Ειδικούς Κλιματικούς Δείκτες (ET-SCI) και οι τάσεις αυτών των δεικτών.

4 Θεωρία

4.1 Δείκτες βροχόπτωσης

Στη συγκεκριμένη εργασία υπολογίστηκαν 14 δείκτες ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης για κάθε έτος για το χρονικό διάστημα 1973-2010, οι οποίοι φαίνονται στον πίνακα 4.1. Στη συνέχεια γίνεται αναλυτική περιγραφή των δεικτών βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν.

Σύμβολο	Ορισμός	Μονάδα Μέτρησης
SDII	Δείκτης έντασης βροχόπτωσης	mm/day
R10mm	Αριθμός ημερών όταν βροχή ≥ 10 mm (έντονη βροχόπτωση)	days
R20mm	Αριθμός ημερών όταν βροχή ≥ 20 mm (πολύ έντονη βροχόπτωση)	days
R30mm	Αριθμός ημερών όταν βροχή ≥ 30 mm (ακραία βροχόπτωση)	days
R95p	Το ετήσιο άθροισμα της βροχόπτωσης όταν η βροχόπτωση ήταν μεγαλύτερη από το 95% των ημερήσιων ποσών	mm

R99p	Το ετήσιο άθροισμα της βροχόπτωσης όταν η βροχόπτωση ήταν μεγαλύτερη από το 99% των ημερήσιων ποσών	mm
Rx1day	Μέγιστη βροχόπτωση σε 1 ημέρα	mm
Rx3day	Μέγιστη βροχόπτωση 3 ημερών	mm
Rx5day	Μέγιστη βροχόπτωση 5 ημερών	mm
PRCPTOT	Άθροισμα βροχόπτωσης για μια περίοδο	mm
R95pTOT	Συμβολή του R95p στην συνολική ετήσια βροχόπτωση (συμβολή των ημερών με έντονη βροχόπτωση)	%
R99pTOT	Συμβολή του R99p στην συνολική ετήσια βροχόπτωση (συμβολή των ημερών με πολύ έντονη βροχόπτωση)	%
CDD	Περισσότερες συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή	days
CWD	Περισσότερες συνεχόμενες ημέρες με βροχή	days

Πίνακας 4.1: Δείκτες Βροχόπτωσης (Alexander & Herold, 2016) .

- **Δείκτης έντασης βροχόπτωσης (SDII)**

Έστω RR_{wj} η ημερήσια βροχόπτωση σε μια περίοδο j ($RR \geq 1\text{mm}$)

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (4.1)$$

,όπου W : αριθμός υγρών ημερών σε μια περίοδο j .

- **Αριθμός ημερών όταν ύψος βροχής $\geq 10\text{ mm}$ (R10mm)**

Έστω RR_{ij} η ημερήσια βροχόπτωση για μια μέρα i σε μία περίοδο j . Μετράμε τον αριθμό των ημερών όπου το ύψος βροχής $RR_{ij} \geq 10\text{ mm}$.

- **Αριθμός ημερών όταν ύψος βροχής $\geq 20\text{ mm}$ (R20mm)**

Έστω RR_{ij} η ημερήσια βροχόπτωση για μια μέρα i σε μία περίοδο j . Μετράμε τον αριθμό των ημερών όπου το ύψος βροχής $RR_{ij} \geq 20\text{ mm}$.

- **Αριθμός ημερών όταν ύψος βροχής $\geq 30\text{ mm}$ (R30mm)**

Έστω RR_{ij} η ημερήσια βροχόπτωση για μια μέρα i σε μία περίοδο j . Μετράμε τον αριθμό των ημερών όπου το ύψος βροχής $RR_{ij} \geq 30\text{ mm}$.

-

- **Ετήσιο άθροισμα της βροχόπτωσης όταν η βροχόπτωση ήταν μεγαλύτερη από το 95% των ημερήσιων ποσών (R95p)**

Έστω RR_{wj} η ημερήσια βροχόπτωση μιας μέρας με βροχή w σε μια περίοδο j ($RR \geq 1\text{mm}$ και RR_{wn95} είναι το 95ο εκατοστημόριο της βροχόπτωσης των ημερών με βροχή της περιόδου αναφοράς τότε

$$R95p = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad (4.2)$$

,όπου $RR_{wj} > RR_{wn95}$.

- **Ετήσιο άθροισμα της βροχόπτωσης όταν η βροχόπτωση ήταν μεγαλύτερη από το 99% των ημερήσιων ποσών (R99p)**

Έστω RR_{wj} η ημερήσια βροχόπτωση μιας μέρας με βροχή w σε μια περίοδο j ($RR \geq 1\text{mm}$ και RR_{wn99} είναι το 99ο εκατοστημόριο της βροχόπτωσης των ημερών με βροχή της περιόδου αναφοράς τότε

$$R99p = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad (4.3)$$

,όπου $RR_{wj} > RR_{wn99}$.

- **Μέγιστη βροχόπτωση σε 1 ημέρα (Rx1day)**

Έστω RR_{ij} το ύψος της ημερήσιας βροχόπτωσης σε μία μέρα i για μια περίοδο j , τότε

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij}) \quad (4.4)$$

- **Μέγιστη βροχόπτωση 3 ημερών (Rx3day)**

Έστω RR_{kj} το ύψος της βροχόπτωσης σε διάστημα 3 ημερών k για μια περίοδο j , τότε

$$Rx3day_j = \max(RR_{kj}) \quad (4.5)$$

- **Μέγιστη βροχόπτωση 5 ημερών (Rx5day)**

Έστω RR_{kj} το ύψος της βροχόπτωσης σε διάστημα 5 ημερών k για μια περίοδο j , τότε

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj}) \quad (4.6)$$

- **Άθροισμα βροχόπτωσης για μια περίοδο (PRCPTOT)**

Έστω RR_{ij} το ύψος της ημερήσιας βροχόπτωσης σε μία μέρα i σε μια περίοδο j , τότε

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (4.7)$$

- **Συμβολή του R95p στην συνολική ετήσια βροχόπτωση (R95pTOT)**

$$R95pTOT = \frac{100 \times R95p}{PRCPTOT} \quad (4.8)$$

- Συμβολή του R99p στην συνολική ετήσια βροχόπτωση (R99pTOT)

$$R99pTOT = \frac{100 \times R99p}{PRCPTOT} \quad (4.9)$$

- Περισσότερες συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή (CDD)

Έστω RR_{ij} το ύψος της ημερήσιας βροχόπτωσης σε μία μέρα *i* για μια περίοδο *j*, τότε. Μετράμε τον μέγιστο αριθμό ημερών όπου το ύψος βροχής RR_{ij} < 1 mm.

- Περισσότερες συνεχόμενες ημέρες με βροχή (CWD)

Έστω RR_{ij} η ημερήσια βροχόπτωση για μια μέρα *i* σε μία περίοδο *j*. Μετράμε τον μέγιστο αριθμό ημερών όπου το ύψος βροχής RR_{ij} ≥ 1 mm (Climdex Indices).

4.2 Κλίση

Για τον υπολογισμό της κλίσης μια γραμμικής τάσης χρησιμοποιήθηκε η μη παραμετρική μέθοδος Sen. Έστω η γραμμική χρονική εξίσωση

$$f(t) = Q \cdot t + B \quad (4.10)$$

όπου *Q*: η κλίση και *B*: σταθερά.

Για να γίνει εκτίμηση της κλίσης *Q* πρώτα υπολογίζονται οι κλίσεις όλων των ζευγών δεδομένων της χρονοσειράς.

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad j > k \quad (4.11)$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \dots N$$

Εάν υπάρχουν *n* τιμές *x_j* στη χρονοσειρά, τότε ο αριθμός των κλίσεων *Q_i* που υπολογίζονται είναι *N* = *n*(*n*-1)/2. Η κλίση είναι η μέση τιμή των *N* κλίσεων *Q_i*. Οι *N* τιμές των κλίσεων *Q_i* παρατάσσονται κατά αύξοντα αριθμό οπότε η κλίση *Q* υπολογίζεται (Agbo et al., n.d.), (Alhaji et al., 2018).

$$Q = \begin{cases} Q_{[(N+1)/2]}, & N \text{ περιττός} \\ 1/2 Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}, & N \text{ άρτιος} \end{cases} \quad (4.12)$$

Ο υπολογισμός της κλίσης *Q* μιας χρονοσειράς χρησιμεύει στον εντοπισμό της τάσης. Εάν η κλίση είναι θετική τότε η χρονοσειρά εμφανίζει αυξητική τάση, όταν η κλίση είναι αρνητική εμφανίζεται πτωτική τάση, ενώ η μηδενική κλίση σημαίνει ότι δεν εμφανίζεται τάση στη χρονοσειρά (Atta-ur-Rahman & Dawood, 2017).

4.3 Τιμή p (p-value)

Η τιμή *p* εισήχθη πρώτα από τον Ronald Fisher το 1925 και αντιπροσωπεύει την πιθανότητα να παρατηρήσουμε ένα αποτέλεσμα ίσο ή πιο ακραίο από αυτό που παρατηρήθηκε, υποθέτοντας ότι η μηδενική υπόθεση της μη επίδρασης είναι αληθής (Biau et al., 2010),

δηλαδή μας δείχνει την ισχύ των αποδεικτικών στοιχείων έναντι της μηδενικής υπόθεσης (Dahiru, 2008).

Αρχικά θεωρούμε οι συγκρινόμενες υποθέσεις είναι ισοδύναμες. Η παρατηρούμενη διαφορά(d_0) προς το σφάλμα της διαφοράς(SED) μας δίνει μια κρίσιμη αναλογία.

$$Z_0 = \frac{d_0}{SED} \quad (4.13)$$

Όταν αναφερόμαστε σε μια στατιστική κατανομή κρίσιμη αναλογία αντιστοιχεί σε μια τιμή πιθανότητας, την τιμή p . Εάν το p -value είναι μικρότερο του διαστήματος εμπιστοσύνης (α) τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και η εναλλακτική υπόθεση θεωρείται σημαντική (Feinstein, 1998).

Αφού το p -value είναι πιθανότητα μπορεί να πάρει τιμές από 0 ως 1. Ο Fisher έθεσε ένα όριο για την τιμή p όπου p -value <0.05 , δηλαδή η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται όταν $p < 0.05$ καθώς έχουμε ένα «στατιστικά σημαντικό» αποτέλεσμα και δεν απορρίπτεται όταν $p > 0.05$.

4.4 Λογισμικά συστήματα

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ορισμένα λογισμικά συστήματα τα οποία βοήθησαν στην επεξεργασία των χρονοσειρών, στον υπολογισμό των δεικτών και των τάσεων και στην δημιουργία χαρτών.

A. Λογισμικό Climpack

Το λογισμικό Climpack είναι ένα πακέτο λογισμικού για τον υπολογισμό κλιματικών δεικτών που σχετίζονται με τους τομείς της υγείας, της γεωργίας και του νερού. Αναπτύχθηκε από την Ομάδα Εμπειρογνομών του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού για Ειδικούς Κλιματικούς Δείκτες (ET-SCI) για να βοηθήσει την ερευνητική κοινότητα να ανιχνεύουν ακραίες αλλαγές στο κλίμα.

Για να υπολογιστούν οι δείκτες χρειάζεται να εισαχθούν στο λογισμικό δεδομένα ημερήσιας θερμοκρασίας και βροχόπτωσης. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να είναι είτε δεδομένα καιρού από μετεωρολογικό σταθμό είτε ένα ολόκληρο αρχείο πλέγματος NetCDF, όπως τα αποτελέσματα από ένα κλιματικό μοντέλο (Alexander & Herold, 2016).

Το λογισμικό είναι διαθέσιμο σε δύο εκδόσεις, η μία είναι διαδικτυακή και η άλλη μπορεί να εγκατασταθεί και να χρησιμοποιηθεί στον υπολογιστή. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η διαδικτυακή έκδοση, οπότε τα κλιματικά δεδομένα εισήχθησαν στη πλατφόρμα με σύνδεσμο (Climpack, 2012).

B. Λογισμικό Υδρογνώμων

Το σύστημα Υδρογνώμων είναι ένα σύστημα επεξεργασίας χρονοσειρών, αναπτύσσεται εντός του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.). Οι σημαντικότερες λειτουργίες που επιτελεί το σύστημα είναι οι ακόλουθες:

- Μετατροπή χρονοσειρών σε σταθερό χρονικό βήμα
- Εξαγωγή χρονοσειρών μεγαλύτερου χρονικού βήματος (συνάθροιση)
- Τυπικοί έλεγχοι συνέπειας όπως ακραίων τιμών και χρονικής συνέπειας

- Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ χρονοσειρών, πολλαπλή παλινδρόμηση, οργανική συσχέτιση και αυτοσυσχέτιση
 - Υδατικά ισοζύγια: αδρομερές μοντέλο βροχής – απορροής (Ζυγός)
 - Συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών με χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης, δυνατότητα εισαγωγή τυχαίου όρου για διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών. Επέκταση χρονοσειρών
 - Γραμμικές πράξεις μεταξύ χρονοσειρών
 - Κατάρτιση καμπυλών στάθμης – παροχής με στατιστικές μεθόδους και καμπυλών επέκτασης με χρησιμοποίηση υδραυλικών εξισώσεων
 - Εξαγωγή χρονοσειρών παροχών από χρονοσειρές στάθμης, καθώς και χρονοσειρών όγκου και επιφανείας από χρονοσειρές στάθμης ταμιευτήρων
 - Υπολογισμός εξάτμισης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής με αναλυτικές ή ημιεμπειρικές μεθόδους
 - Επέκταση δειγμάτων εξατμοδιαπνοής
 - Εύρεση στατιστικών χαρακτηριστικών δείγματος χρονοσειράς, προσαρμογή στατιστικών παραμέτρων, στατιστικές προγνώσεις, στατιστικοί έλεγχοι και εύρεση διαστημάτων εμπιστοσύνης (Πυθία)
 - Ανάλυση χρονοσειρών εξαιρετικών βροχοπτώσεων - κατάρτιση ομβρίων καμπυλών με συνεπείς μεθοδολογίες (Όμβρος).
- (Κοζάνης & Μαρκόνης, 2009)

C. Λογισμικό ArcGIS

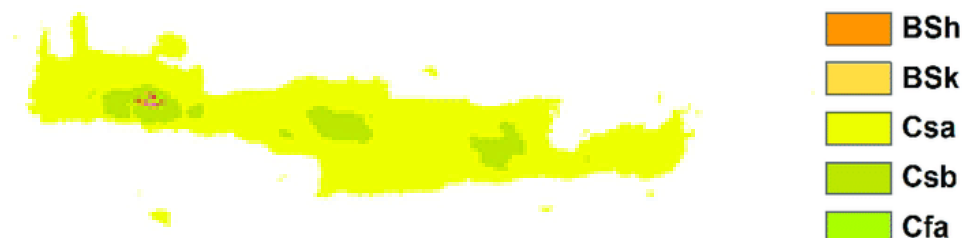
Το ArcGIS είναι ένα λογισμικό στον τομέα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών που αναπτύχθηκε από την Esri. Μέσο του συγκεκριμένου λογισμικού μπορεί κάποιος να εξερευνήσει, να οπτικοποιήσει και να αναλύσει γεωγραφικά δεδομένα. Επίσης μπορεί να δημιουργήσει 2D και 3D χάρτες (Desktop GIS Software: Mapping Analytics).

5 Περιοχή μελέτης

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης το νησί της Κρήτης. Η Κρήτη βρίσκεται στο νοτιοανατολικό μέρος της Ευρώπης και είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας. Έχει έκταση 8.258,61 Km². Βρίσκεται μεταξύ των συντεταγμένων 34°,50'-35°,40' Βόρειο πλάτος και 23°,30'-26°,20' Ανατολικό μήκος και χωρίζεται σε τέσσερις νομούς Χανίων, Ρεθύμνου, Ηρακλείου και Λασιθίου (Αλεξούλη-Λειβαδίτη et al., 1989).

Η Κρήτη είναι ένα ορεινό νησί όπου κυριαρχούν ψηλά βουνά στο δυτικό και κεντρικό τμήμα του νησιού, ενώ χαμηλότερα βουνά βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα του νησιού, τα Λευκά Όρη στα δυτικά, το όρος Ίδη στο κέντρο, τα Αστερούσια στο νότιο Ηράκλειο και η Δίκη στα ανατολικά (Kotroni et al., 2001).

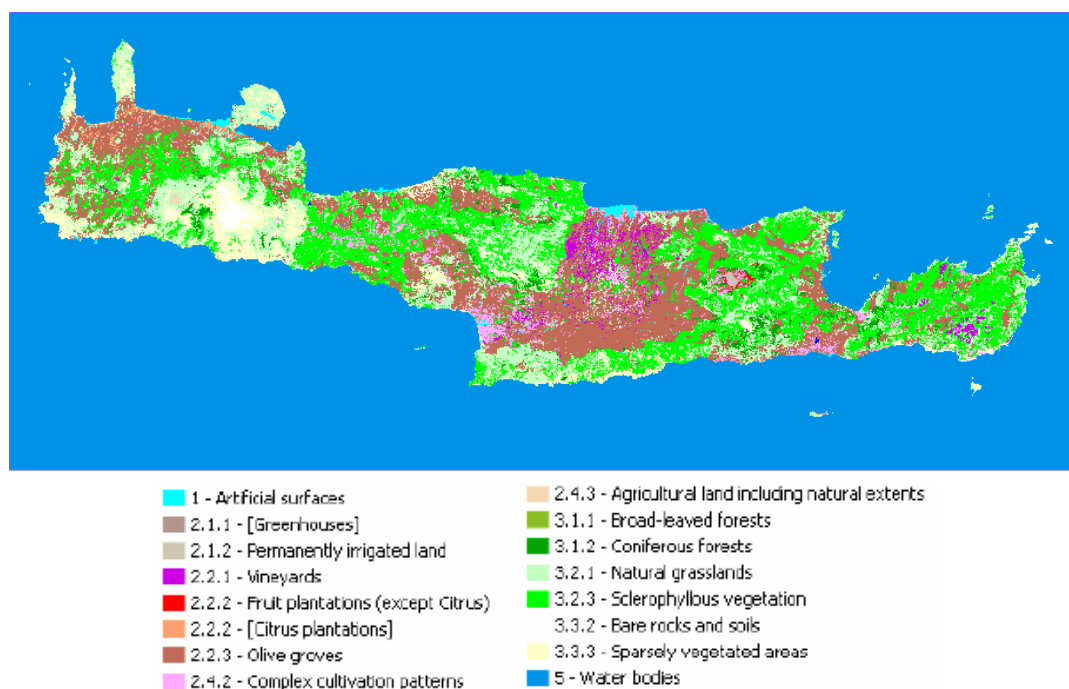
Το κλίμα της Κρήτης είναι τυπικό μεσογειακό με δροσερούς χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 18,5 °C στη δυτική πλευρά έως 20 °C στα νότια του νησιού (Baltas, 2013). Ο χειμώνας ξεκινά το Νοέμβριο και η άνοιξη έχει μικρή διάρκεια καθώς το Μάρτιο έχει κρύο καιρό ενώ το Μάιο πολύ ζεστό (Donta et al., 2005). Στον παρακάτω χάρτη (εικόνα 5.1) φαίνεται το κλίμα κατά Köppen για το νησί της Κρήτης.



Εικόνα 5.1: Χάρτης κλίματος κατά Köppen (Papaioannou et al., 2021)

Λόγο του ανάγλυφού της οι βροχές εμφανίζουν έντονη μεταβλητότητα. Οι βροχοπτώσεις είναι περισσότερες στα δυτικά του νησιού από ότι στα ανατολικά με τα μεγαλύτερα ύψη να σημειώνονται στο νομό Χανίων. Επίσης το ύψος βροχής αυξάνεται με την αύξηση του υψομέτρου (Donta et al., 2005). Περίπου 40 % των ετήσιων βροχοπτώσεων που σημειώνονται τους χειμερινούς μήνες ενώ το καλοκαίρι σημειώνονται ελάχιστες βροχοπτώσεις (Koutroulis et al., 2012).

Το μεγαλύτερο μέρος του νησιού καλύπτεται από λιβάδια και θάμνους και μόνιμες καλλιέργειες όπως ελιές, αμπέλια και εσπεριδοειδή. Σημαντικό μέρος της γης καλύπτεται από ετερογενείς γεωργικές εκτάσεις ή χωράφια ανάμεικτα με φυσική βλάστηση και ένα μικρό ποσοστό από θερμοκήπια, καλλιεργήσιμες εκτάσεις (αρδευόμενες ή μη) και βοσκοτόπια (Panagos et al., 2014) όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2: Χρήσεις γης για το νησί της Κρήτης (Karydas et al., 2002)

6 Μεθοδολογία

6.1 Βροχομετρικά δεδομένα

Τα δεδομένα βροχής που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τις εξής δημόσιες υπηρεσίες:

- α) Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων (ΥΕΒ)
- β) Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ)
- γ) Ινστιτούτο Ελιάς Υποτροπικών Φυτών και Αμπέλου (ΙΕΛΥΑ)
- δ) Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.)

Η περίοδος διαθεσιμότητας δεδομένων ήταν 01/09/1973 – 31/08/2015, ενώ ο αριθμός των μετεωρολογικών σταθμών ανέρχεται σε 70, οι οποίοι είναι κατανεμημένοι σε όλο το νησί της Κρήτης.

6.2 Επεξεργασία δεδομένων

Τα δεδομένα των σταθμών ήταν αποθηκευμένα σε αρχείο excel και παρατηρήθηκε ότι από το 2011 και μετά δεν υπήρχαν δεδομένα στους περισσότερους σταθμούς. Συνεπώς αποφασίστηκε η περίοδος μελέτης να περιοριστεί στο διάστημα 01/09/1973 – 31/12/2011.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε για κάθε σταθμό αρχείο της μορφής Hydrognotion time series και με τη βοήθεια του των φίλτρων του λογισμικού Υδρογνόμων αφαιρέθηκαν από τις χρονοσειρές των σταθμών οι κενές μετρήσεις.

Κατόπιν οι χρονοσειρές εισήχθησαν στο excel όπου έγινε έλεγχος πληρότητας δεδομένων έτσι ώστε να απορριφθούν οι σταθμοί των οποίων η έλλειψη δεδομένων είναι μεγαλύτερη του 10%. Μέσο αυτής της διαδικασίας έγιναν δεκτοί 49 σταθμοί, οι οποίοι φαίνονται στον παρακάτω γεωμορφολογικό χάρτη (εικόνα 6.1).



Εικόνα 6.1: Απεικόνιση μετεωρολογικών σταθμών (Google Earth)

Για να εισαχθούν τα δεδομένα των σταθμών στο λογισμικό climract δημιουργήθηκαν αρχεία κειμένου με κατάληξη .csv για κάθε σταθμό. Το αρχείο για να είναι αποδεκτό από το σύστημα έπρεπε να πληροί συγκεκριμένες προϋποθέσεις, οι οποίες είναι:

1. Πρέπει να είναι αρχείο κειμένου ASCII.
2. Πρέπει να αποτελούνται μόνο από τις ακόλουθες έξι στήλες: Έτος, Μήνας, Ημέρα, PR, TX, TN. Το έτος, ο μήνας και η ημέρα πρέπει να είναι ακέραιοι.

3. Οι μονάδες PR είναι σε χιλιοστά και οι μονάδες TX/TN είναι βαθμοί Κελσίου.
4. Θα πρέπει να υπάρχει ξεχωριστή σειρά για κάθε ημέρα στο αρχείο.
5. Τυχόν δεδομένα που λείπουν πρέπει να κωδικοποιούνται ως -99.9 και να μην αφήνονται κενά.
6. Οι ημέρες πρέπει να είναι με χρονολογική σειρά.
7. Επιτρέπονται ημέρες που λείπουν, οι αντίστοιχες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης θα θεωρηθούν ότι λείπουν (δηλαδή -99,9).
8. Τα δεδομένα πρέπει να είναι οριοθετημένα με στηλοθέτη ή κόμμα.
9. Τα δεκαδικά μέρη πρέπει να υποδηλώνονται με τον χαρακτήρα τελείας και όχι με κόμμα (Alexander & Herold, 2016).

Στη συνέχεια εισήχθησαν τα αρχεία κειμένου στη διαδικτυακή πλατφόρμα του climract, στην οποία έπρεπε να δηλωθεί το όνομα και οι συντεταγμένες του κάθε σταθμού, καθώς επίσης και η περίοδος διάρκειας των δεδομένων. Το λογισμικό αρχικά εκτελεί ποιοτικό έλεγχο των δεδομένων και στη συνέχεια υπολογίζει τους δείκτες, τις τάσεις των δεικτών και φτιάχνει διαγράμματα των δεικτών.

Τέλος σε ένα αρχείο excel φτιάχτηκε ένας πίνακας όπου για κάθε σταθμό εμφανίζεται η τάση και το p-value κάθε δείκτη, το οποίο εισάχθηκε στο λογισμικό ArcGIS και δημιουργήθηκαν κατάλληλοι χάρτες χρωματικής απεικόνισης των τάσεων των δεικτών σε συνάρτηση του p-value ανά δεκαετία.

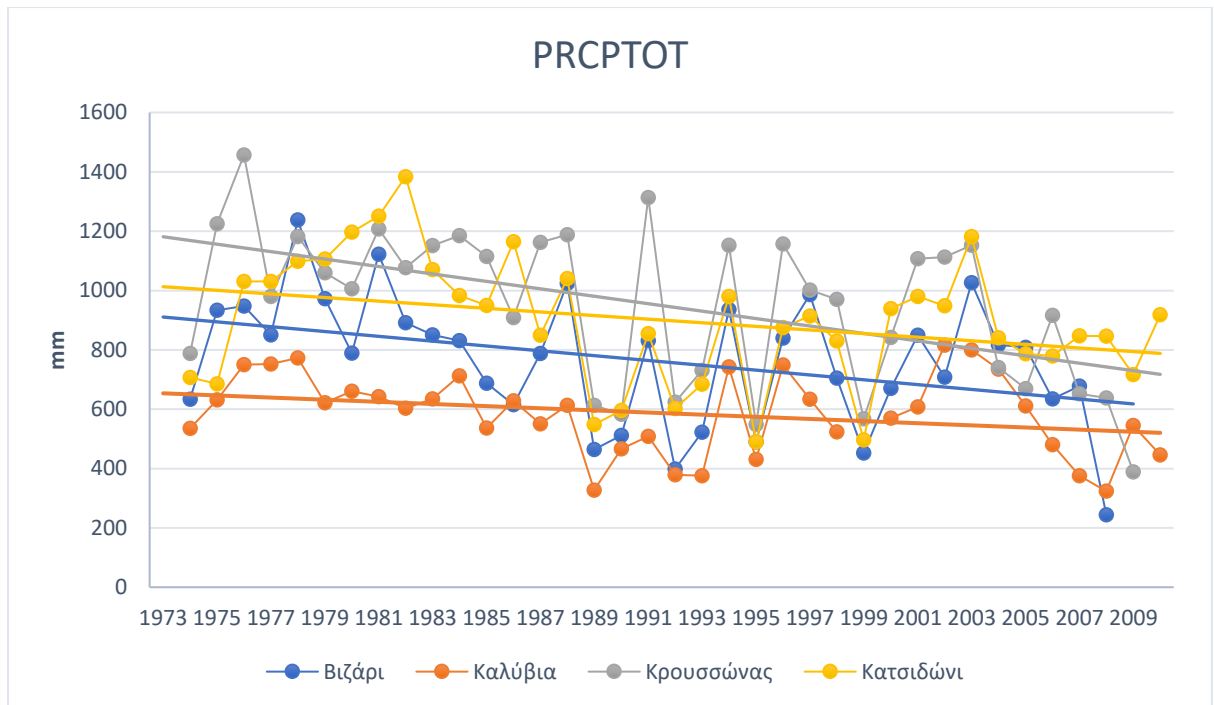
7 Αποτελέσματα

7.1 Γραφήματα

Τα πρώτα αποτελέσματα που παρουσιάζονται είναι οι γραφικές παραστάσεις που δημιουργήθηκαν στο λογισμικό climract. Οι γραφικές παραστάσεις απεικονίζουν καθένα από τους 14 δείκτες βροχόπτωσης σε συνάρτηση με το χρόνο σε ετήσιο βήμα για κάθε σταθμό. Στη παρούσα εργασία εμφανίζονται μόνο τα γραφήματα των οποίων η τιμή σημαντικότητας είναι $p < 0.05$, άρα τα ευρήματα είναι στατιστικά σημαντικά.

7.1.1 PRCPTOT

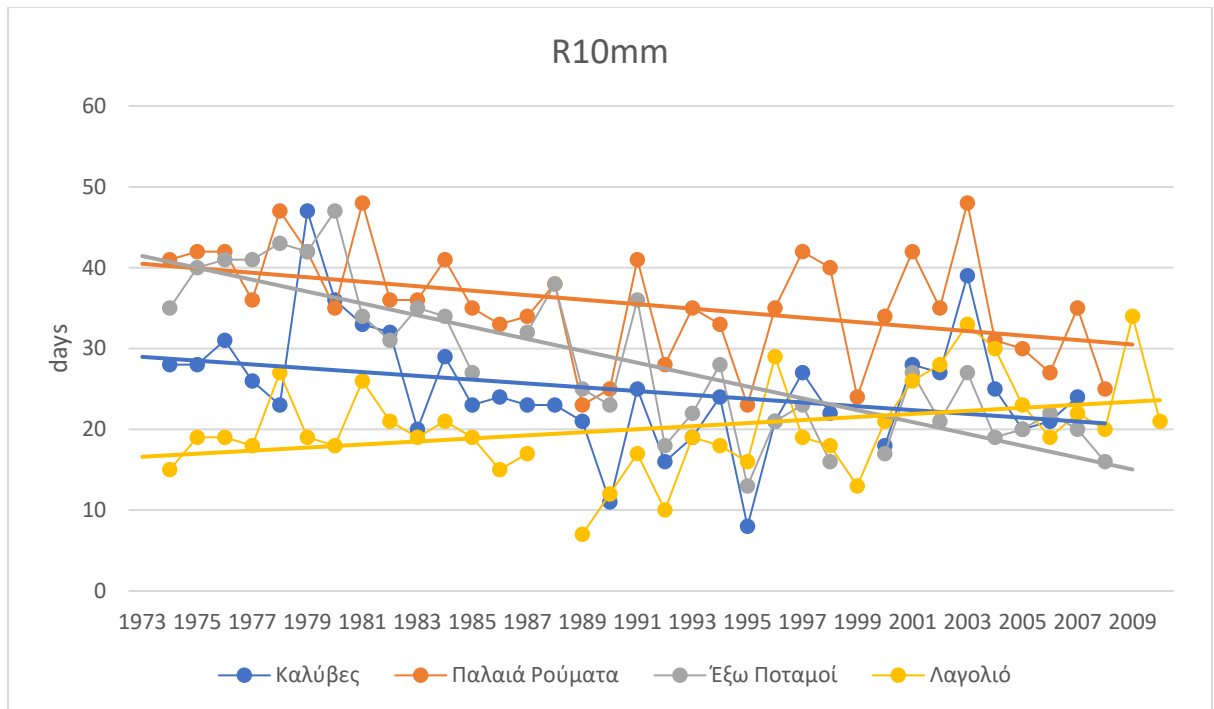
Το παρακάτω γράφημα 7.1 αναφέρεται στο συνολικό ετήσιο άθροισμα βροχόπτωσης ανά έτος. Στο σταθμό Καλύβια παρατηρείτε αρνητική κλίση -4.507 άρα και αρνητική τάση, αντίστοιχα στο σταθμό Κρουσσώνα παρατηρείται πιο έντονη αρνητική κλίση (-11.138) άρα και τάση σε σχέση με το προηγούμενο γράφημα αλλά και πολύ μικρό p-value που σημαίνει ένα στατιστικά σημαντικό εύρημα σε επίπεδο εμπιστοσύνης μεγαλύτερο του 95%. Παρόμοια αποτελέσματα με τους προηγούμενους σταθμούς φαίνονται στους σταθμούς Βιζάρι (-8.326) και Κατσιδώνι (-6.725) αντίστοιχα.



Γράφημα 7.1: Συνολικό ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε συνάρτηση με το χρόνο

7.1.2 R10mm

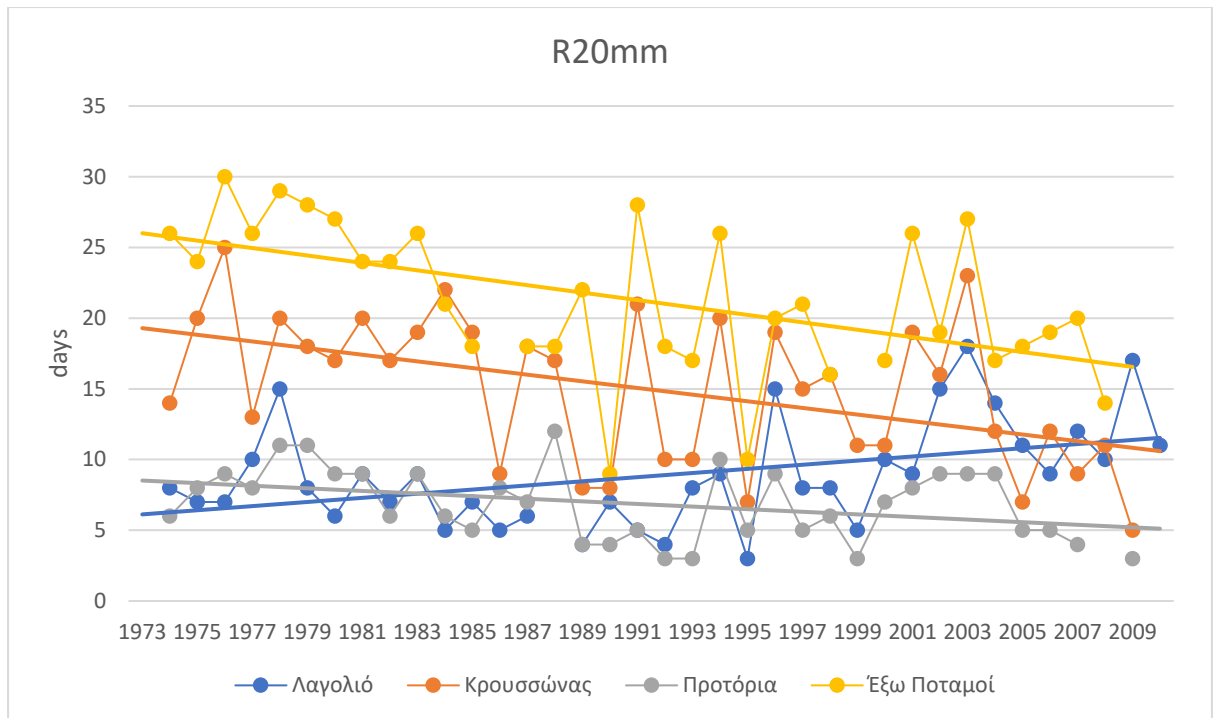
Το επόμενο γράφημα 7.2 παρουσιάζει τον αριθμό ημερών ανά έτος κατά τις οποίες το ύψος βροχόπτωσης ήταν μεγαλύτερο των 10 mm. Στο γράφημα φαίνεται η αρνητική κλίση (-0.226) άρα και τάση μείωσης των ημερών με ύψος βροχής >10mm του σταθμού Καλύβες. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούμε στα γραφήματα που αφορούν τους σταθμούς Παλαιά Ρούματα και Έξω Ποταμοί αντίστοιχα. Στο σταθμό Λαγολιό παρατηρείται θετική κλίση 0.133 άρα και αυξητική τάση των ημερών με ύψος βροχής >10mm.



Γράφημα 7.2: Ημέρες βροχόπτωσης >10mm ανά έτος

7.1.3 R20mm

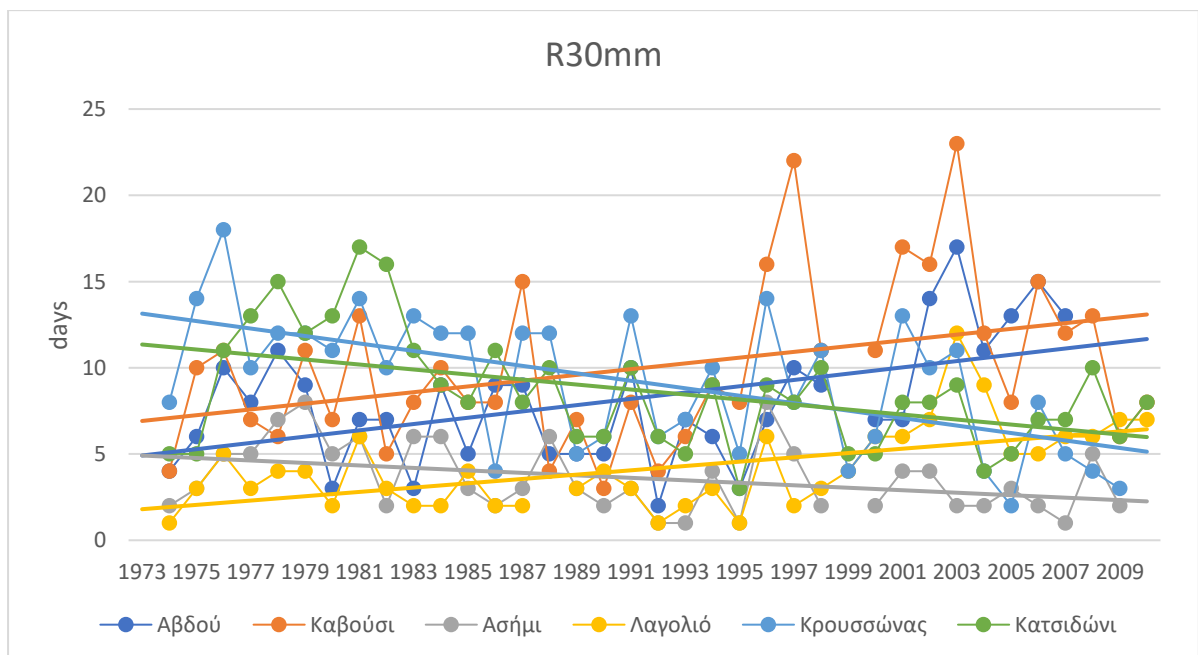
Στο γράφημα 7.3 απεικονίζεται ο αριθμός ημερών που το ύψος βροχής είναι >20mm ανά έτος. Στο σταθμό Λαγολιό και παρατηρείται θετική κλίση 0.125 άρα και τάση αύξησης του αριθμού των ημερών με ύψος βροχής >20mm. Αντίθετα στο σταθμό Κρουσώνα βλέπουμε αρνητική κλίση -0.246 που σημαίνει ότι ο αριθμός των ημερών με ύψος βροχής >20mm έχει τάση μείωσης. Όμοια αποτελέσματα με τον προηγούμενο σταθμό εμφανίζουν και οι υπόλοιποι που αφορούν τους σταθμούς Προτόρια και Έξω Ποταμοί με κλίσεις -0.091 και -0.27 αντίστοιχα.



Γράφημα 7.3: Ημέρες βροχόπτωσης >20mm ανά έτος

7.1.4 R30mm

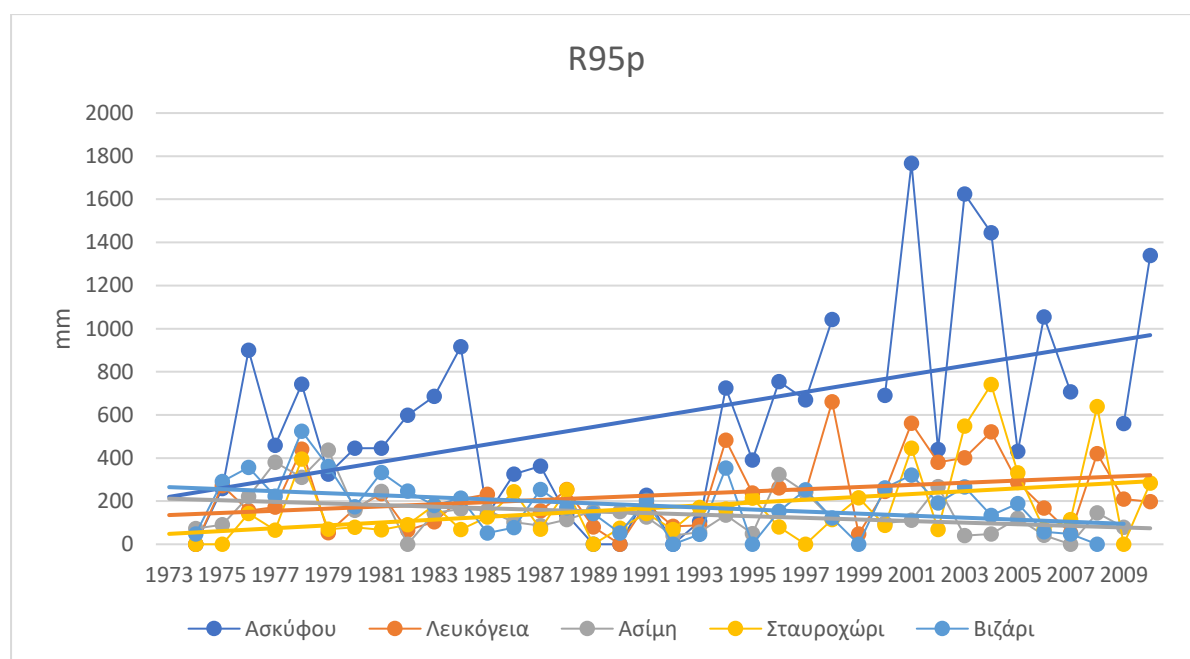
Στην επόμενη γραφική παράσταση (γράφημα 7.4) εμφανίζονται τα αποτελέσματα για τον αριθμό των ημερών που το ύψος βροχής είναι μεγαλύτερο των 30mm. Στο σταθμό Καβούσι παρατηρείται θετική κλίση 0.156 συνεπώς και αυξητική τάση των ημερών με ύψος βροχής είναι μεγαλύτερο των 30mm. Όμοια αποτελέσματα εμφανίζονται και στα διαγράμματα που αφορούν τους σταθμούς Λαγολιό (0.118) και Αβδού (0.17). Αντίθετα οι κλίσεις των σταθμών Κρουσσών, Ασήμι και Κατσιδώνι είναι αρνητικές (-0.211, -0.059, -0.158 αντίστοιχα) άρα υπάρχει τάση μείωσης των ημερών με ύψος βροχής >30mm.



Γράφημα 7.4: Ημέρες βροχόπτωσης >30mm ανά έτος

7.1.5 R95p

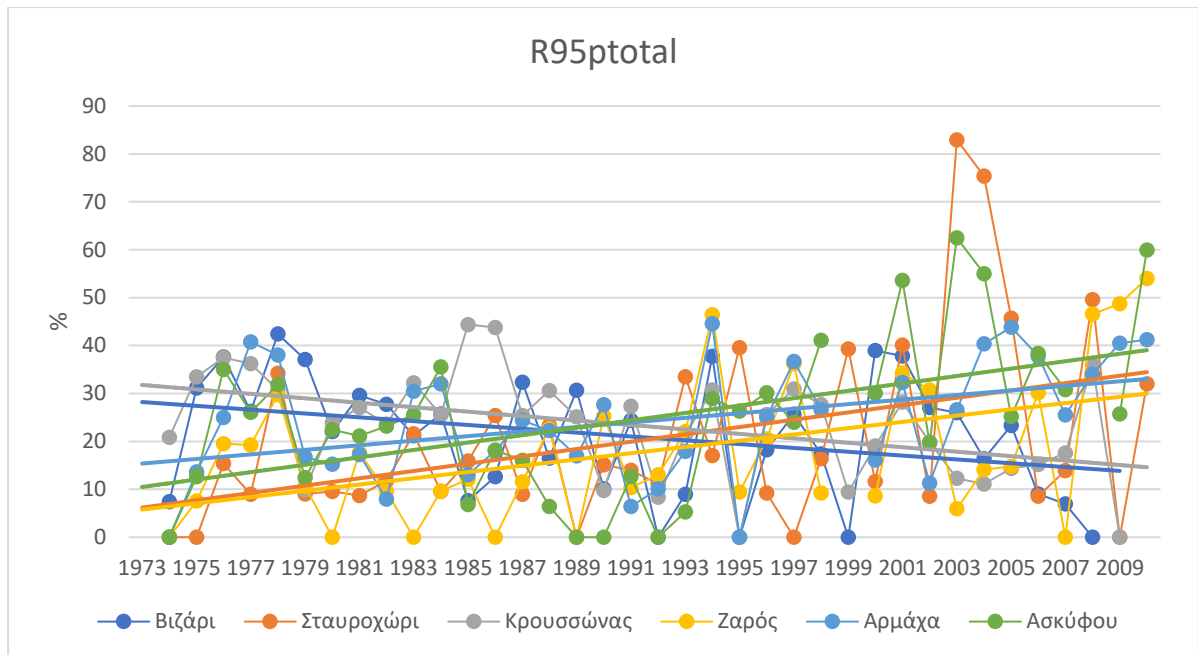
Η επόμενη γραφική παράσταση (γράφημα 7.5) αφορά το δείκτη R95p δηλαδή το ετήσιο άθροισμα της βροχόπτωσης όταν η βροχόπτωση ήταν μεγαλύτερη από το 95% των ημερήσιων ποσών. Η κλίση του σταθμού Ασκύφου είναι θετική 17.143, συνεπώς και τάση αύξησης της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης για ύψος βροχής >95%. Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζουν και τα γραφήματα των σταθμών Λευκόγεια, Φοινικιά και Σταυροχώρι με κλίσεις 4.437, 5.93 και 4.059 αντίστοιχα. Ενώ στο σταθμό Βιζάρι η κλίση είναι αρνητική -4.994, δηλαδή υπάρχει τάση μείωσης της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης για ύψος βροχής >95%. Όμοια αποτελέσματα με το σταθμό Βιζάρι εμφανίζει και ο σταθμός Ασήμι με κλίση -3.229.



Γράφημα 7.5: Συνολική ετήσια βροχόπτωση για ύψος βροχής >95%

7.1.6 R95ptot

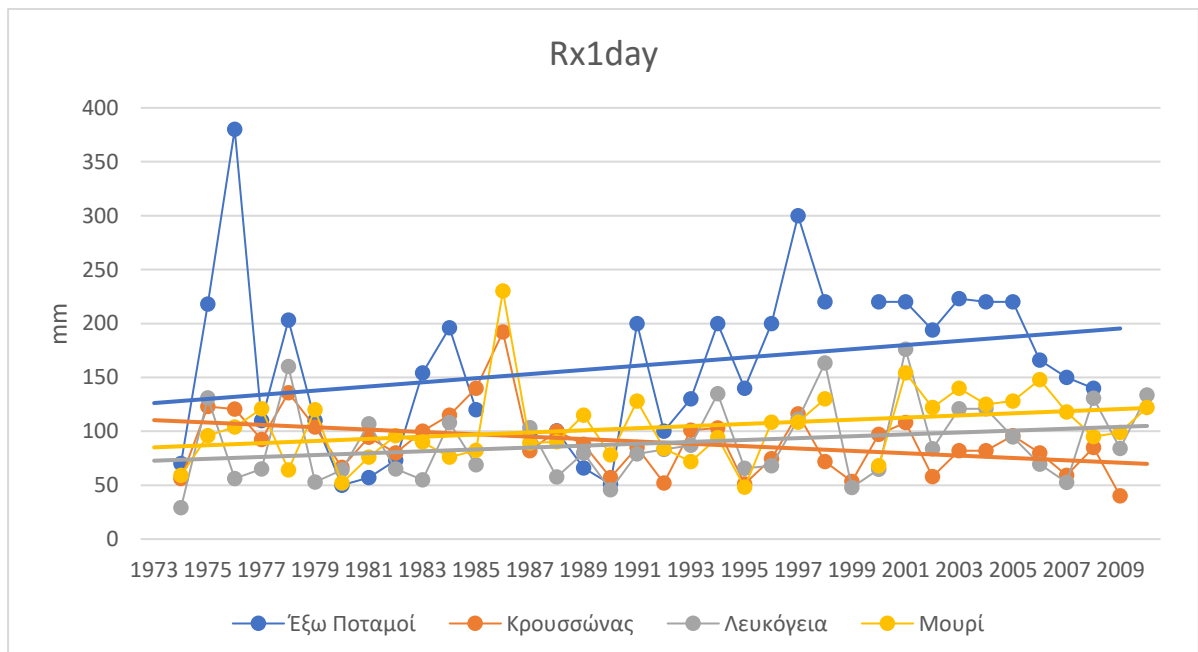
Το επόμενο γράφημα 7.6 αφορά τον δείκτη για τη συμβολή στην συνολική βροχόπτωση των ημερών με έντονη βροχή. Στο σταθμό Ασκύφου η κλίση του διαγράμματος είναι θετική 0.684, το οποίο σημαίνει ότι εμφανίζεται τάση αύξησης της συμβολής στην συνολική βροχόπτωση των ημερών με έντονη βροχή. Όμοια αποτελέσματα εμφανίζουν και οι σταθμοί Ζαρός, Αρμάχα και Σταυροχώρι με κλίσεις 0.591, 0.548, 0.519 αντίστοιχα. Η αρνητική κλίση -0.491 του σταθμού Βιζάρι δείχνει τάση μείωσης της συμβολής στην συνολική βροχόπτωση των ημερών με έντονη βροχή. Επίσης παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζονται για το σταθμό Κρουσσώνα με κλίση -0.5.



Γράφημα 7.6: Συμβολή των ημερών με έντονη βροχόπτωση

7.1.7 Rx1day

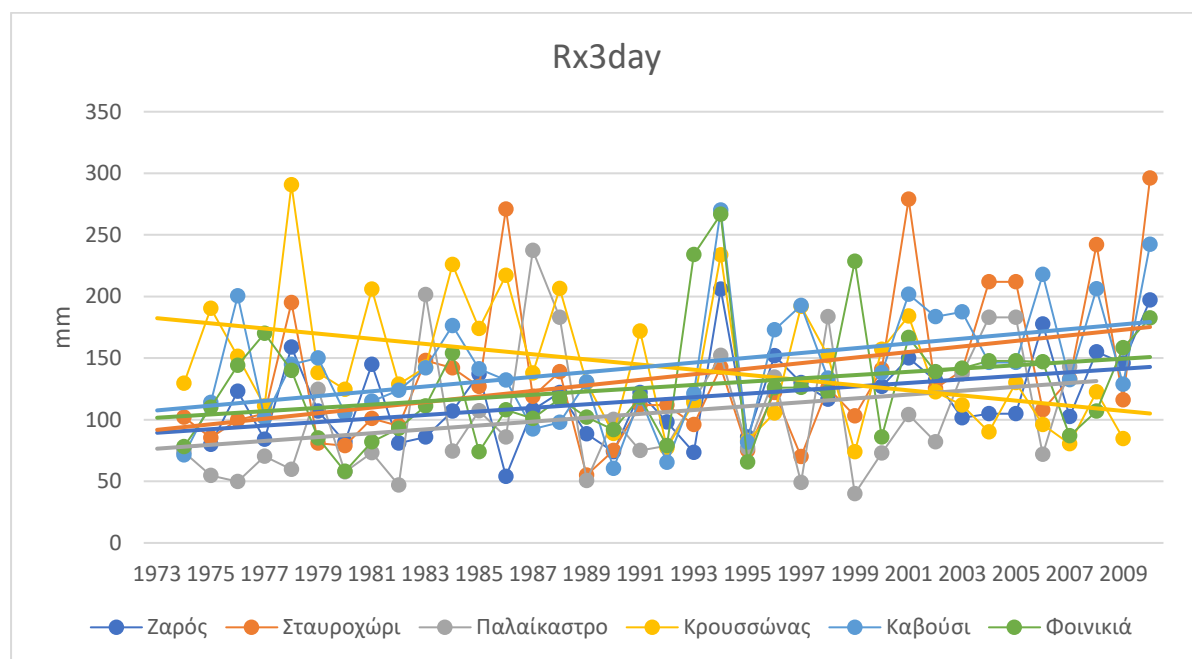
Το παρακάτω γράφημα 7.7 αφορά τον δείκτη της μέγιστης βροχόπτωσης σε 1 ημέρα. Η κλίση του σταθμού Μουρί είναι θετική με τιμή 1.184, το οποίο σημαίνει τάση αύξησης του ύψους βροχόπτωσης σε μια ημέρα. Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζονται και στους σταθμούς Λευκόγεια, Σταυροχώρι και Έξω Ποταμοί με κλίσεις 0.99, 1.118 και 2.222 αντίστοιχα. Αντίθετα ο σταθμός Κρουσσώνας εμφανίζει αρνητική κλίση -1.016, δηλαδή τάση μείωσης του ύψους βροχόπτωσης σε μια ημέρα.



Γράφημα 7.7: Μέγιστη βροχόπτωση σε 1 ημέρα

7.1.8 Rx3day

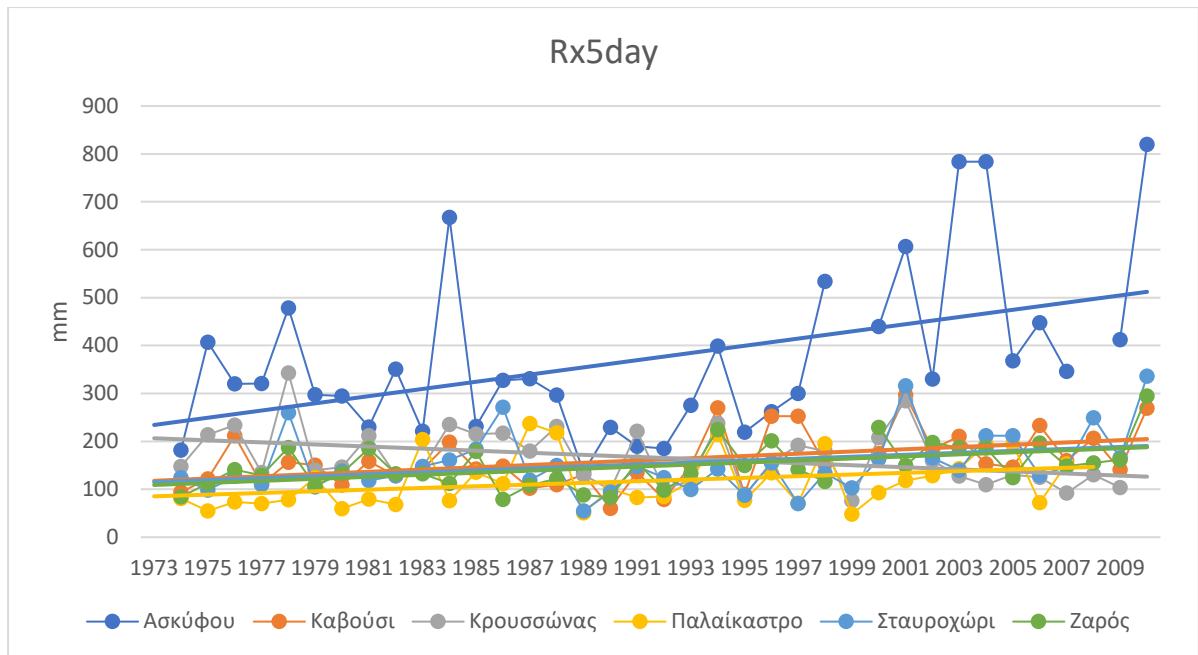
Η επόμενη γραφική παράσταση (γράφημα 7.8) δείχνει τη μέγιστη τριήμερη βροχόπτωση ανά χρονιά. Ο σταθμός Καβούσι έχει θετική κλίση 1.9, συνεπώς αυξητική τάση του ύψους βροχής των τριήμερων βροχοπτώσεων. Όμοια αποτελέσματα εμφανίζουν και οι σταθμοί Ζαρός, Φοινικιά, Παλαίκαстро και Σταυροχώρι με κλίσεις 1.333, 1.744, 1.573, 1.492 αντίστοιχα. Αντίθετα με τους προηγούμενους σταθμούς, ο σταθμός Κρουσσώνας εμφανίζει αρνητική κλίση -1.93, το οποίο σημαίνει τάση μείωσης του ύψους βροχής των τριήμερων βροχοπτώσεων.



Γράφημα 7.8: Μέγιστη βροχόπτωση 3 ημερών

7.1.9 Rx5day

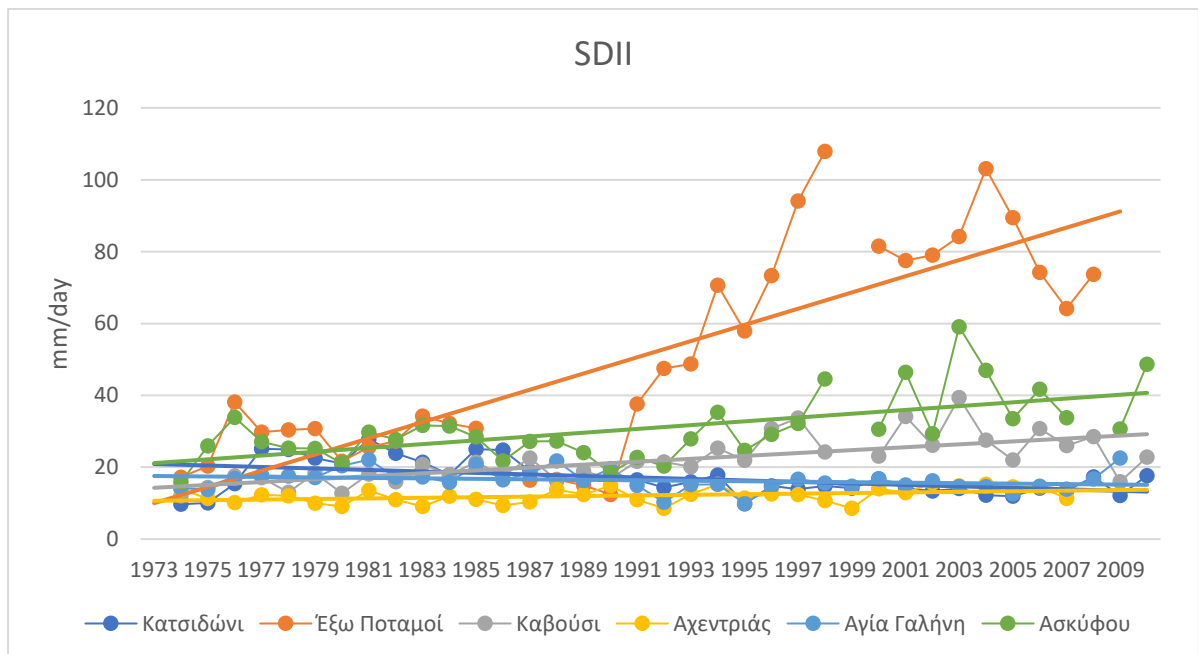
Στο παρακάτω διάγραμμα 7.9 απεικονίζεται η μέγιστη βροχόπτωση 5 ημερών ανά χρονιά. Η γραφική παράσταση του σταθμού Ασκύφου έχει θετική κλίση 5.227, συνεπώς εμφανίζει αυξητική τάση του ύψους βροχής πενθήμερης βροχόπτωσης. Όμοια αποτελέσματα εμφανίζουν οι σταθμοί Καβούσι, Ζαρός, Σταυροχώρι και Παλαίκαстро με κλίσεις 1.907, 1.744, 1.528, 1.863 αντίστοιχα. Ενώ ο σταθμός Κρουσσώνας εμφανίζει αρνητική κλίση -2.006, το οποίο σημαίνει τάση μείωσης του ύψους βροχής πενθήμερης βροχόπτωσης.



Γράφημα 7.9: Μέγιστη βροχόπτωση 5 ημερών

7.1.10 SDII

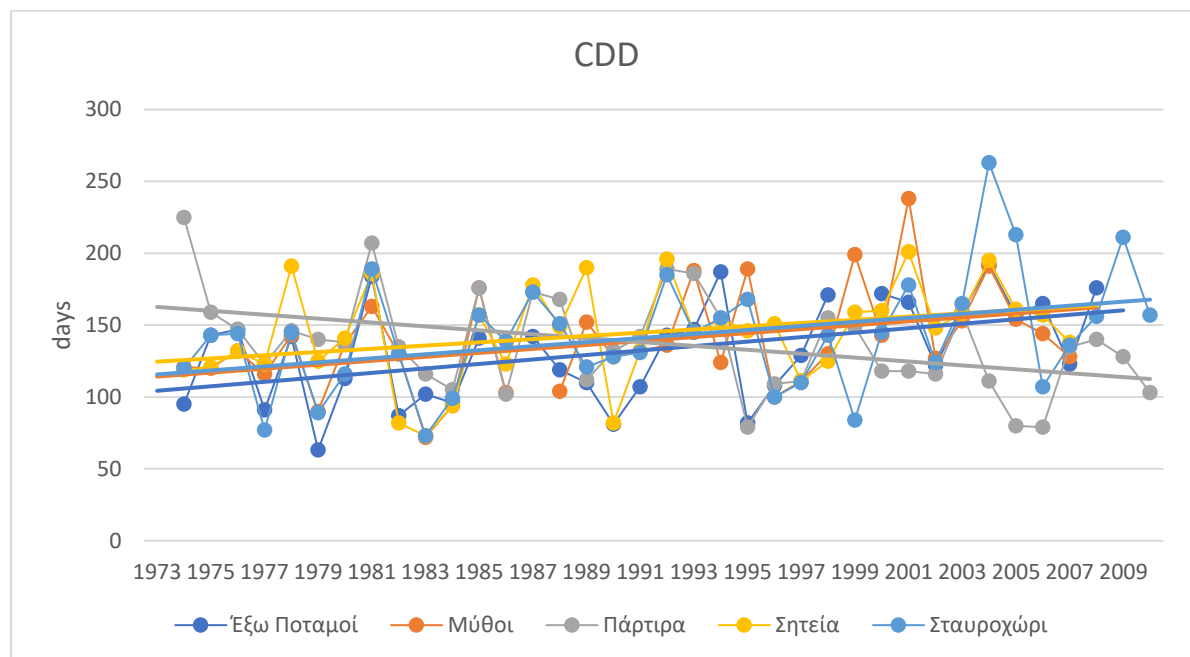
Στη συνέχεια φαίνεται η γραφική παράσταση 7.10 για τον δείκτη της έντασης βροχόπτωσης ανά έτος. Στο σταθμό Ασκήφου η κλίση είναι θετική 0.425, οπότε εμφανίζει ανοδική τάση η ένταση της βροχής. Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζουν και οι σταθμοί Καβούσι, Αχεντριάς και Έξω Ποταμοί με κλίσεις 0.414, 0.276 και 2.097 αντίστοιχα. Αντίθετα ο σταθμός Αγία Γαλήνη έχει αρνητική κλίση -0.085, συνεπώς πτωτική τάση της έντασης βροχόπτωσης. Όμοια και ο σταθμός Κατσιδώνι με κλίση -0.255.



Γράφημα 7.10: Ένταση βροχόπτωσης ανά έτος

7.1.11 CDD

Το επόμενο γράφημα 7,11 αφορά τον δείκτη για τις συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή. Στο σταθμό Πάρτιρα η κλίση του διαγράμματος είναι αρνητική -1.373, το οποίο σημαίνει ότι εμφανίζεται τάση μείωσης των συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή. Στο σταθμό Σητεία η θετική κλίση 1.036 δείχνει τάση αύξησης των συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή. Επίσης παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζονται για το σταθμό Σταυροχώρι με κλίση 1.282, Μύθοι με κλίση 1.17 και Έξω Ποταμοί με κλίση 1.489.



Γράφημα 7.11: Αριθμός συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή ανά έτος

Προκειμένου να γίνει μια συνολική εκτίμηση των τάσεων για το σύνολο του νησιού υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των τάσεων των δεικτών, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 7.1. Σύμφωνα με τον πίνακα 7.1 εμφανίζεται τάση μείωσης της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης καθώς επίσης και του αριθμού των ημερών με έντονη, πολύ έντονη και ακραία βροχόπτωση. Οι δείκτες $r95p$, $r95total$, $rx1day$, $rx3day$, $rx5day$ και $sdii$ μας δείχνουν τις τάσεις των ακραίων φαινομένων βροχής και όπως παρατηρούμε έχουν θετική κλίση συνεπώς και τάση αύξησης. Τάση αύξησης εμφανίζει και ο δείκτης συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή που είναι δείκτης ξηρασίας.

Σε μία αντίστοιχη διπλωματική εργασία του (Ευαγγέλου, 2023) υπολογίστηκαν οι τάσεις των κλιματικών δεικτών για το σύνολο της Ελλάδας, οπότε συγκρίνοντας τα αποτελέσματά μας παρατηρούμε ότι από τους 9 κοινούς δείκτες που υπολογίστηκαν οι 5 δείκτες εμφανίζουν παρόμοια αποτελέσματα ως προς την θετικότητα και αρνητικότητα των τάσεων δηλαδή $PRCPTOT$ και $R10mm$ εμφανίζουν πτωτική τάση τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Κρήτη, οι δείκτες $SDII$, CDD , CWD εμφανίζουν τάση αύξησης για την Ελλάδα και την Κρήτη. Αντίθετα οι δείκτες $R20mm$ και $R30mm$ εμφανίζουν πτωτική τάση για την

Κρήτη και αυξητική τάση για την Ελλάδα, ενώ οι δείκτες Rx1day και Rx5day εμφανίζουν αυξητική τάση για την Κρήτη και πτωτική για την Ελλάδα.

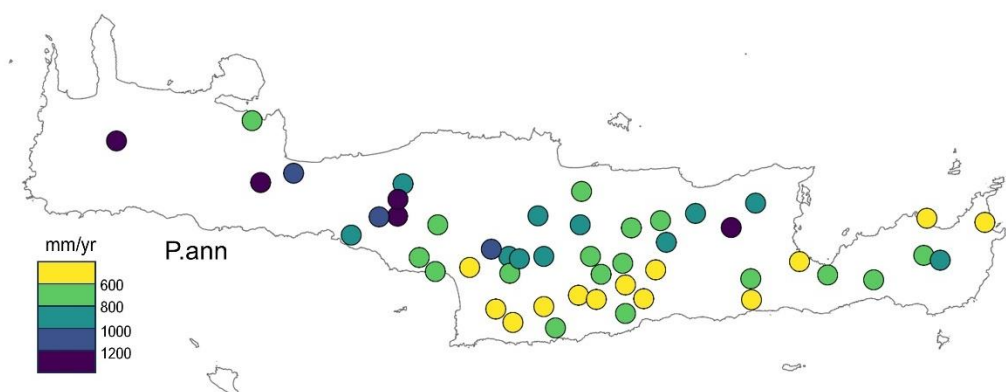
	Κρήτη	Ελλάδα (Ευαγγέλου, 2023)
prcptot	-7.756	-4.32
r10mm	-0.28	-0.79
r20mm	-0.1205	0.62
r30mm	-0.00589	0.42
r95p	4.2872	
r95ptot	0.418182	
r99p	-0.04586	
rx1day	1.33125	-3.3
rx3day	1.398714	
rx5day	1.7615	-1.59
sdii	0.27375	0.34
cdd	0.7585	1.84
cwd	0.004778	0.56

Πίνακας 7.1: Μέση τιμή των τάσεων με $p < 0.05$ για την Κρήτη και την Ελλάδα

7.2 Χάρτες

Στο δεύτερο μέρος των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται οι χάρτες που δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS. Κάθε χάρτης απεικονίζει την τάση και το p-value κάθε σταθμού για ένα δείκτη. Τα ψυχρά χρώματα (μπλε, μοβ) υποδεικνύουν ανοδική τάση, ενώ τα θερμά (κίτρινο, κόκκινο) πτωτική τάση. Επίσης όσο πιο έντονο το χρώμα τόσο μεγαλύτερη στατιστική σημασία έχει η τάση και τα πιο έντονα χρώματα έχουν $p\text{-value} \leq 0.05$. Συνολικά δημιουργήθηκαν 11 χάρτες.

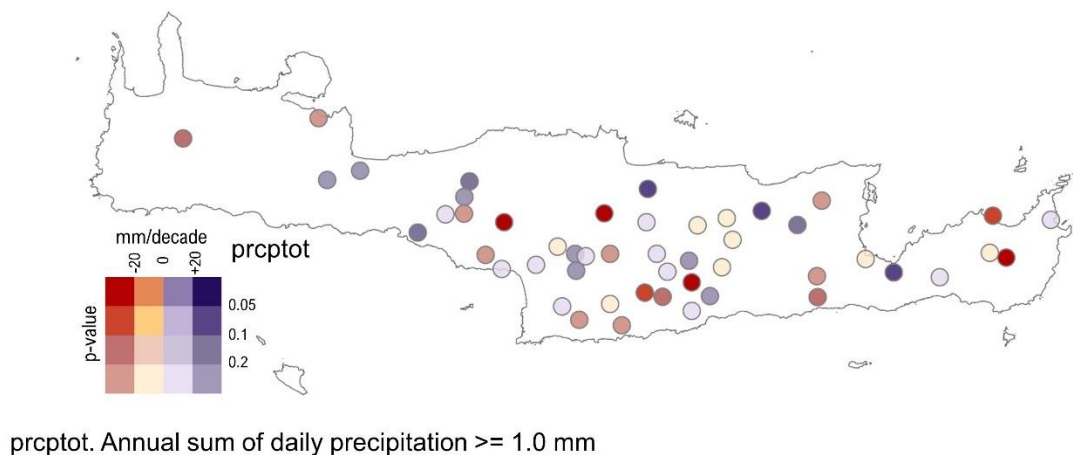
Ο πρώτος χάρτης (Χάρτης 7.1) αφορά τη μέση ετήσια βροχόπτωση. Παρατηρούμαι ότι στη δυτική Κρήτη επικρατούν μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης ετησίως σε σχέση με την ανατολική, καθώς επίσης και στο βόρειο τμήμα της σε σχέση με το νότιο. Το συγκεκριμένο είναι πιθανόν αποτέλεσμα των κυκλωνικών συστημάτων που επηρεάζουν την Κρήτη και δημιουργούν ορειγραφικές βροχοπτώσεις.



P.ann. Mean annual precipitation

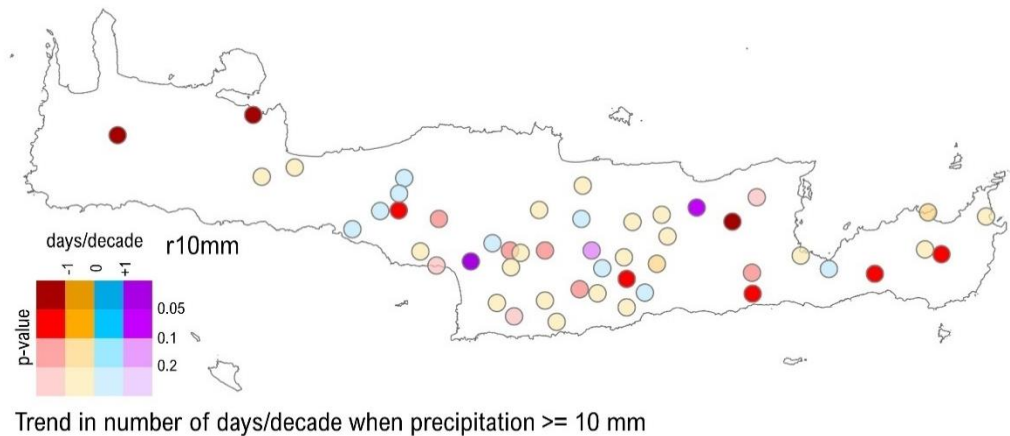
Χάρτης 7.1 : Μέση ετήσια βροχόπτωση

Στο χάρτη 7.2 φαίνεται η τάση και η σημαντικότητα του ετήσιου αθροίσματος βροχόπτωσης ανά δεκαετία. Ο αριθμός των σταθμών με αυξητική τάση είναι περίπου ίσως με αυτών με πτωτική τάση συνεπώς σαν σύνολο δεν παρατηρείτε κάποια μεταβολή όπως βρέθηκε και από τους (Agou et al., 2019) και (Varouchakis et al., 2018), όμως παρατηρείται ότι ανά περιοχές είναι συγκεντρωμένοι μεταξύ τους οι σταθμοί τόσο με αυξητική όσο και με πτωτική τάση. Ειδικότερα οι σταθμοί με τάση αύξησης της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης φαίνεται να βρίσκονται στα κεντρικά και δυτικά του νομού Ρεθύμνου, στα νοτιοδυτικά και ανατολικά του νομού Ηρακλείου. Οι σταθμοί με πτωτικοί τάση είναι συγκεντρωμένοι στο νοτιοανατολικό Ρέθυμνο, νότιο Ηράκλειο, δυτικό και ανατολικό Λασιθί. Εάν λάβουμε υπόψιν τους στατιστικά σημαντικούς σταθμούς, εμφανίζουν όλοι πτωτική τάση δηλαδή μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης το οποίο συμπίπτει με τα ευρήματα άλλων ερευνών για τη Κρήτη (Tsanis et al., 2011), (Taroğlu et al., 2019).



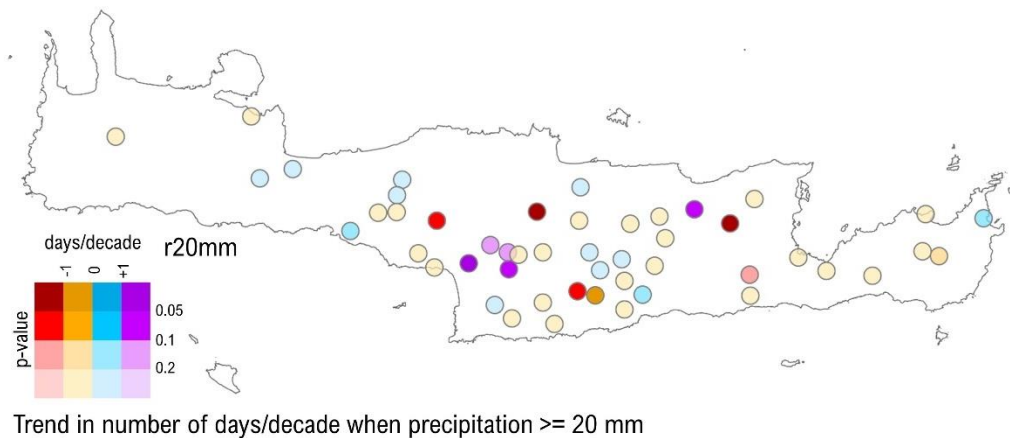
Χάρτης 7.2: Τάση και σημαντικότητα του ετήσιου αθροίσματος βροχόπτωσης ανά δεκαετία

Ο χάρτης 7.3 αφορά τη τάση και τη σημαντικότητα του αριθμού των ημερών ανά δεκαετία όταν το ύψος βροχής $>10\text{mm}$. Η πλειοψηφία των σταθμών δείχνουν τάση μείωσης των ημερών με $pp>10\text{mm}$ ανά δεκαετία. Τρεις κοντινοί σταθμοί στη περιοχή του Ρεθύμνου που βρίσκονται σε πιο μεγάλο υψόμετρο $>350\text{m}$ και είναι στους πρόποδες του Ψηλορείτη εμφανίζουν τάση αύξησης των ημερών με $pp>10\text{mm}$ ανά δεκαετία, αυτό πιθανόν να οφείλεται στην αύξηση της βροχής με το υψόμετρο (Agou et al., 2019). Με βάση τη σημαντικότητα δύο σταθμοί των Χανίων εμφανίζουν τάση μείωσης.



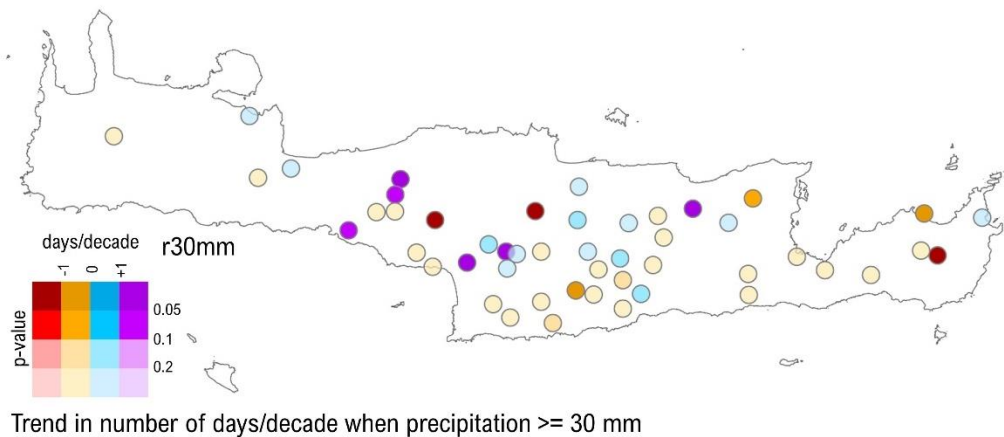
Χάρτης 7.3: Η τάση και η σημαντικότητα του αριθμού των ημερών ανά δεκαετία όταν το ύψος βροχής $>10mm$

Στον επόμενο χάρτη 7.4 απεικονίζεται η τάση και η σημαντικότητα του αριθμού των ημερών ανά δεκαετία όταν το ύψος βροχής $>20mm$. Όπως και στον προηγούμενο χάρτη η πλειοψηφία των σταθμών εμφανίζει τάση μείωσης του αριθμού των ημερών όταν το ύψος βροχής $>20mm$. Ειδικότερα στο νομό Λασιθίου όπου όλοι σταθμοί εκτός από έναν εμφανίζουν πτωτική τάση, καθώς επίσης το ίδιο παρατηρείται στο νοτιότερο μέρος του νομού Ηρακλείου, όπου έχουμε και έναν στατιστικά σημαντικό σταθμό με την ίδια τάση. Στους νότιους πρόποδες του Ψηλορείτη μερικοί κοντινοί σταθμοί εμφανίζουν αυξητική τάση εκ των οποίων υπάρχουν δύο με $p < 0.05$, ενώ στους ανατολικούς και δυτικούς εμφανίζουν τάση μείωσης.



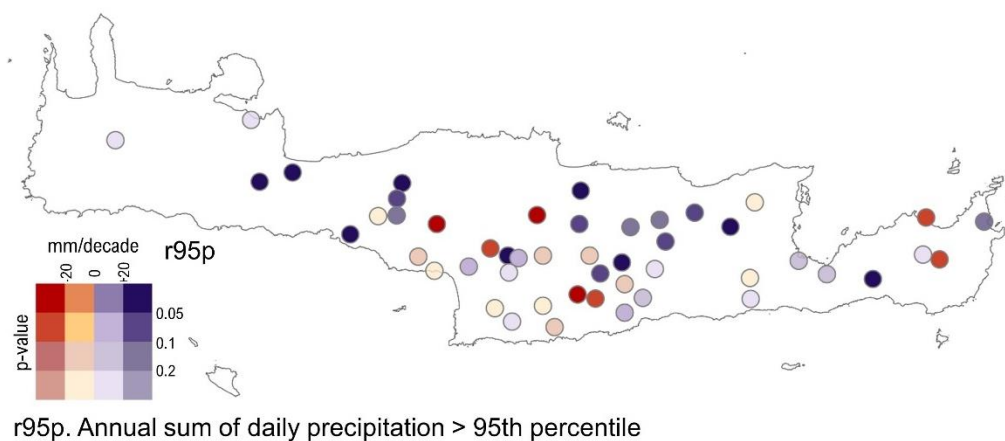
Χάρτης 7.4: Η τάση και η σημαντικότητα του αριθμού των ημερών ανά δεκαετία όταν το ύψος βροχής $>20mm$

Όμοια αποτελέσματα με τον προηγούμενο χάρτη εμφανίζει και ο χάρτης 7.5 οποίος απεικονίζει τη τάση και τη σημαντικότητα του αριθμού των ημερών ανά δεκαετία όταν το ύψος βροχής $>30mm$. Συνδυαστικά με τους δύο προηγούμενους χάρτες παρατηρείται τάση μείωσης του αριθμού ημερών με έντονη, πολύ έντονη και ακραία βροχόπτωση στο σύνολο του νησιού με μικρές εξαιρέσεις όπως στους πρόποδες του Ψηλορείτη το οποίο μάλλον οφείλεται στο ορεινό κλίμα που επικρατεί λόγω υψομέτρου.



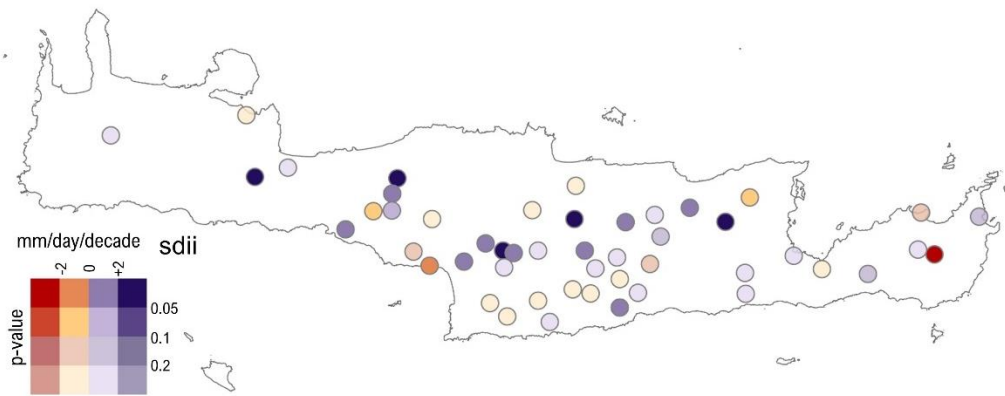
Χάρτης 7.5: Η τάση και η σημαντικότητα του αριθμού των ημερών ανά δεκαετία όταν το ύψος βροχής >30 mm

Ο χάρτης 7.6 αφορά τη τάση και σημαντικότητα της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης ανά δεκαετία όταν η βροχόπτωση ήταν μεγαλύτερη από το 95% των ημερήσιων ποσών. Εύκολα παρατηρεί κάποιος ότι οι περισσότεροι σταθμοί εμφανίζουν αυξητική τάση. Πιο συγκεκριμένα οι σταθμοί των νομών Χανίων και Ρεθύμνου εμφανίζουν όλοι (εκτός από τρεις σταθμούς) αυξητική τάση εκ των οποίων 4 έχουν $p < 0.05$. Οι σταθμοί με αντίθετα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι είναι συγκεντρωμένοι στα κεντρικά και νότια του νησιού. Ο δείκτης R95p είναι ένας από τους δείκτες που μας δείχνουν τα ακραία φαινόμενα βροχής, συνεπώς φαίνεται ότι αυξήθηκαν οι συνολικές ακραίες ετήσιες βροχές στο νησί με εξαίρεση τα κεντρικά και νότια.



Χάρτης 7.6 :Τάση και σημαντικότητα της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης ανά δεκαετία για ύψος βροχής $>95\%$

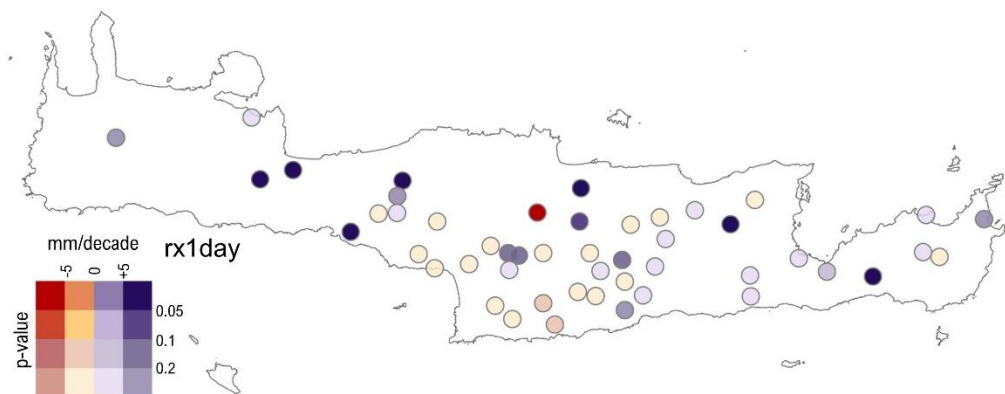
Παρακάτω φαίνεται ο χάρτης 7.7 ο οποίος δείχνει τη μέση βροχόπτωση των βρόχινων ημερών ανά δεκαετία. Ο αριθμός των σταθμών με αυξητική τάση είναι μεγαλύτερος από αυτών με μειωτική. Επίσης φαίνεται ότι οι σταθμοί με αυξητική τάση είναι ομοιόμορφα σε όλο το νησί. Μία εξαίρεση παρατηρείται στο νοτιότερο μέρος του νομού Ηρακλείου όπου είναι μαζεμένοι σταθμοί με τάση μείωσης της έντασης της βροχόπτωσης. Σύμφωνα με αυτό τον δείκτη αντιλαμβανόμαστε ότι σε όλο σχεδόν το νησί αυξήθηκαν τα ύψη βροχής ανά ημέρα βροχής. Το αντίθετο παρατηρείτε στο νότιο Ηράκλειο.



sdii. Annual total precipitation divided by the number of wet days (when total precipitation ≥ 1.0 mm) (μέση βροχόπτωση [mm/day] βρόχινων ημερών)

Χάρτης 7.7: Τάση και σημαντικότητα της έντασης βροχόπτωσης ανά δεκαετία

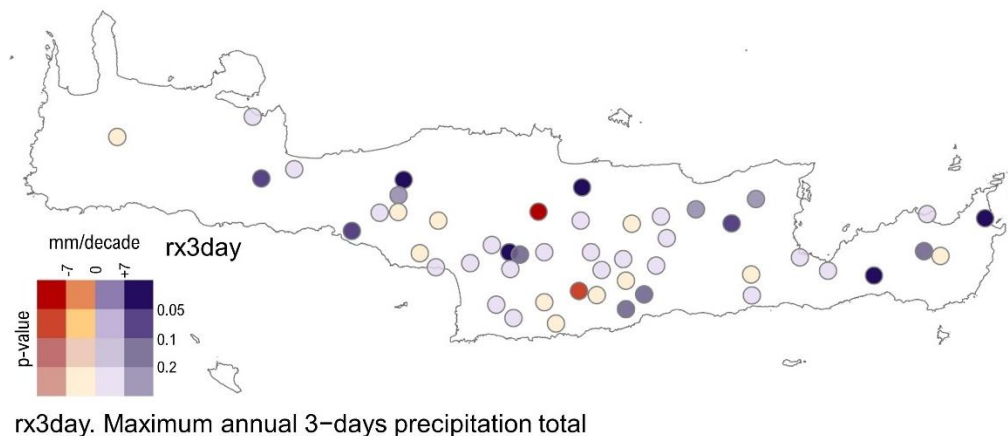
Στον επόμενο χάρτη 7.8 φαίνεται η τάση της μέγιστης βροχόπτωσης σε μια μέρα. Οι σταθμοί με τάση αύξησης είναι λίγοι παραπάνω από τους σταθμούς με τάση μείωσης, όμως οι περισσότεροι σταθμοί με μειωτική τάση παρατηρούμαι ότι είναι συγκεντρωμένοι στα κεντρικά και νότια του νησιού. Με βάση τη σημαντικότητα μόνο ένας σταθμός έχει πτωτική τάση στο κέντρο του νομού Ηρακλείου, ενώ οι στατιστικά σημαντικοί σταθμοί με αυξητική τάση βρίσκονται διάσπαρτοι στο νησί.



rx1day. Maximum annual 1-day precipitation total

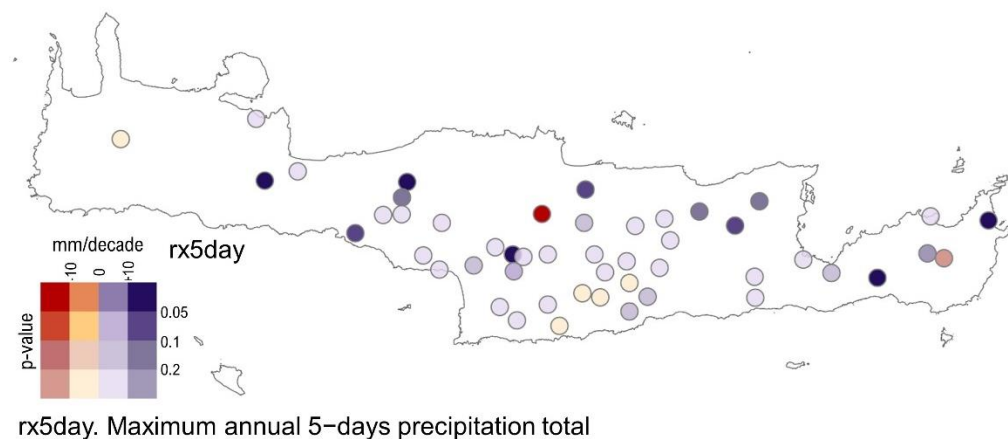
Χάρτης 7.8: Τάση και σημαντικότητα της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης ανά δεκαετία

Ο χάρτης 7.9 παρουσιάζει την τάση της μέγιστης τριήμερης βροχόπτωσης ανά δεκαετία. Οι περισσότεροι σταθμοί του νησιού εμφανίζουν τάση αύξησης της μέγιστης 3-ήμερης βροχόπτωσης. Οι σταθμοί με τάση μείωσης είναι συγκεντρωμένοι στο νοτιοανατολικό μέρος του νομού Ηρακλείου και νοτιοδυτικά του νομού Ρεθύμνου.



Χάρτης 7.9: Τάση και σημαντικότητα της μέγιστης 3-ήμερης βροχόπτωσης ανά δεκαετία

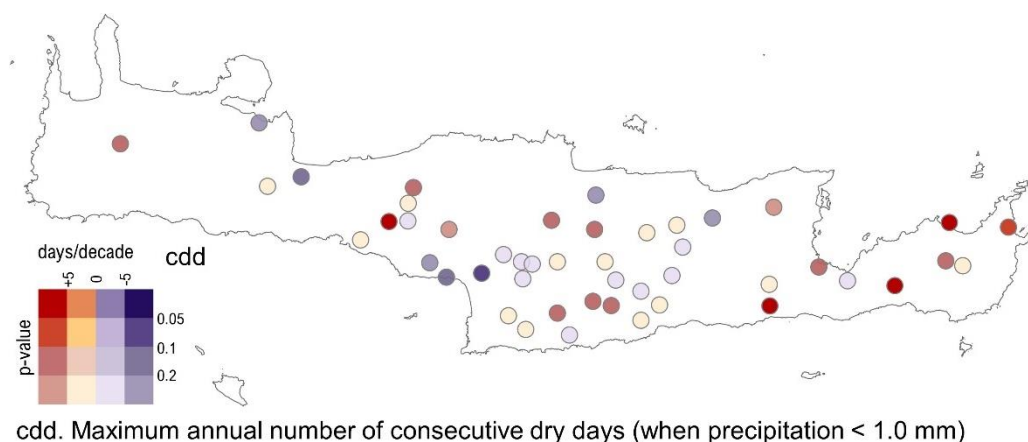
Παρόμοια αποτελέσματα με το χάρτη 7.9 παρατηρούμαι και στο χάρτη 7.10 που αφορά τη τάση και σημαντικότητα της μέγιστης 5-ήμερης βροχόπτωσης ανά δεκαετία. Η μόνη διαφορά μεταξύ των χαρτών είναι ότι στο χάρτη 7.10 δεν παρατηρείται τάση μείωσης αλλά μόνο τάση αύξησης στο νομό Ρεθύμνου. Αν αναλογιστούμε και τους τρεις χάρτες που αφορούν τις μέγιστες μονοήμερες, τριήμερες και πενθήμερες βροχοπτώσεις αντιλαμβανόμαστε ότι αυτές αυξάνονται σε όλο το νησί της Κρήτης εκτός του νότιου Ηρακλείου.



Χάρτης 7.10: Τάση και σημαντικότητα της μέγιστης 5-ήμερης βροχόπτωσης ανά δεκαετία

Ο τελευταίος χάρτης 7.11 που δημιουργήθηκε αφορά τη τάση και σημαντικότητα των συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή ανά δεκαετία. Παρατηρούμαι ότι οι περισσότεροι σταθμοί του νησιού εμφανίζουν τάση αύξησης των συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή, ειδικότερα αυτό το φαινόμενο παρατηρείται στο νομό Λασιθίου. Οι σταθμοί με τάση μείωσης είναι συγκεντρωμένοι στο κέντρο του νομού Ηρακλείου και στο νοτιοδυτικό τμήμα του νομού Ρεθύμνου. Αυτός ο δείκτης είναι ένας δείκτης που αφορά την ξηρασία καθώς μας δείχνει τον μέγιστο αριθμό συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή ετησίως και από ότι παρατηρούμε αυξήθηκε σε όλη την Κρήτη το οποίο μπορεί να σημαίνει ότι παρατηρήθηκαν φαινόμενα ξηρασίας σε διάφορες περιοχές του νησιού. Επίσης συνήθως

το καλοκαίρι παρατηρούνται οι περισσότερες συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή συνεπώς θα μπορούσαμε να πούμε ότι μειώθηκαν οι καλοκαιρινές βροχοπτώσεις και ότι το καλοκαίρι έχει μεγαλώσει σαν εποχή.



Χάρτης 7.11: Τάση και σημαντικότητα των συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή ανά δεκαετία

8 Συμπεράσματα

Στη παρούσα διπλωματική εργασία έγινε ανάλυση τάσεων των δεικτών μέσων και ακραίων βροχοπτώσεων για τη περίοδο 1973-2011 στο νησί της Κρήτης. Στόχος ήταν η ανάλυση της συμπεριφοράς εμφάνισης των μέσων και ακραίων γεγονότων βροχής στο χώρο και το χρόνο. Μελετώντας τους χάρτες που δημιουργήθηκαν και τις τάσεις των δεικτών που υπολογίστηκαν προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα για την εξέλιξη τόσο της βροχόπτωσης όσο και των ακραίων φαινομένων βροχής για το κοντινό παρελθόν για το νησί της Κρήτης.

Για αρχή υπολογίστηκε ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση για το νησί είναι περίπου 813mm το οποίο συμφωνεί με τη βιβλιογραφία (Grillakis et al., 2020). Επιπλέον μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο μεγαλύτερος όγκος βροχής κατακρημνίζεται στους νομούς Χανίων, Ρεθύμνου και στο βόρειο τμήμα του Ηρακλείου, δηλαδή στο βόρειο τμήμα του νησιού. Επίσης από δυτικά προς ανατολικά παρατηρείται αυξανόμενη μέση βροχόπτωση. Αυτό είναι ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα, αφού όπως είδαμε στη βιβλιογραφία (Iordanidou et al., 2015) οι κυκλώνες που επηρεάζουν την Κρήτη έρχονται από τα βορειοδυτικά του νησιού. Επιπλέον τα συστήματα βροχής που έρχονται με τους βόρειους ανέμους σε συνδυασμό με την ορογραφία της Κρήτης έχουν σαν αποτέλεσμα οι βροχοπτώσεις να εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο και δυτικό τμήμα του νησιού καθώς δημιουργούνται βροχές αναγλύφου στη προσήνεμη πλευρά των βουνών της Κρήτης.

Συγκρίνοντας των αριθμό των σταθμών με θετική και αρνητική κλίση δεν φαίνεται να αυξάνεται η συνολική ετήσια βροχόπτωση το οποίο συμπίπτει με τους (Varouchakis et al., 2018) και (Agou et al., 2019), παρόλα αυτά σε κάποιες περιοχές φαίνεται να αυξάνεται όπως στο δυτικό νομό Ρεθύμνου και στο νοτιοανατολικό νομό Ηρακλείου. Αντίθετα στα νότια του νομού Ηρακλείου παρατηρούμε ότι μειώνεται. Παρόλα αυτά με βάση τη σημαντικότητα των αποτελεσμάτων υποδεικνύεται μείωση της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης, κάτι που επιβεβαιώνει τις παρατηρήσεις για την ετήσια μελλοντική βροχόπτωση από τους (Taroglou et al., 2019), (Tsanis et al., 2011).

Επίσης εμφανίζεται μείωση του αριθμού των ημερών με έντονη, πολύ έντονη αλλά και ακραία βροχόπτωση, το οποίο σημαίνει ότι μειώνεται η διάρκεια των έντονων και ακραίων γεγονότων βροχής χωρίς να σημαίνει ότι μειώνεται και ο όγκος βροχής αυτών των επεισοδίων αλλά αντίθετα μπορεί η βροχή να πέφτει με μεγαλύτερη ραγδαιότητα. Ενώ στους νομούς Χανίων και Ρεθύμνου παρατηρήθηκε αύξηση της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης για ύψος βροχής >95%, στο νότιο τμήμα του νομού Ηρακλείου παρατηρήθηκε μείωση. Συνεπώς αν και φαίνεται να μην αυξάνεται η ετήσια βροχόπτωση τα ακραία φαινόμενα εμφανίζουν αυξανόμενη ένταση το οποίο έρχεται σε συμφωνία με τις προβλέψεις (IPCC, 2023) και τα ευρήματα των (Tsanis et al., 2011).

Επιπλέον αυξήθηκαν και οι μέγιστες συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή ειδικά στο νομό Λασιθίου, δηλαδή η περίοδος ξηρασίας που στην Κρήτη που λαμβάνει χώρα τη περίοδο καλοκαιριού πιθανόν να μεγάλωσε με αποτέλεσμα να παρατείνεται η εποχή του καλοκαιριού.

Παρατηρήθηκε αύξηση τόσο του ύψους βροχής ανά μέρα βροχόπτωσης όσο και του μέγιστου ύψους βροχής για μονοήμερη, τριήμερη και πενθήμερη βροχόπτωση εκτός από το νότιο μέρος του νομού Ηρακλείου το οποίο εμφανίζει τάση μείωσης. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όλο και περισσότερος όγκος βροχής κατακρημνίζεται σε μικρή χρονική περίοδο.

Συμπερασματικά η κλιματική αλλαγή έχει επηρεάσει και το νησί της Κρήτης, καθώς παρατηρούνται όλο και πιο συχνά ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης. Στη δυτική Κρήτη (νομοί Χανίων και Ρεθύμνου) παρόλο που ο συνολικός ετήσιος υετός δεν δείχνει να αυξάνεται φαίνεται να μειώνεται η διάρκεια των έντονων φαινομένων και να αυξάνεται το ύψος βροχής των ακραίων βροχοπτώσεων δηλαδή υψηλά ύψη βροχόπτωσης κατακρημνίζονται σε όλο και λιγότερες μέρες. Συνεπώς υπάρχει συμφωνία με τη βιβλιογραφία που προβλέπει την εμφάνιση πιο συχνών και μεγαλύτερων εντάσεων γεγονότων βροχής καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία που συνεπάγεται αύξηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να προκαλούνται πλυμμηρικά φαινόμενα όλο και πιο συχνά, τα οποία έχουν επιπτώσεις στο περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία των πληγέντων περιοχών.

Στον αντίποδα βρίσκεται το νότιο τμήμα του νομού Ηρακλείου όπου όλοι οι δείκτες που υπολογίστηκαν για τους σταθμούς εκείνης της περιοχής εμφανίζουν πτωτική τάση. Συνεπώς παρατηρούνται φαινόμενα ξηρασίας και λειψυδρίας, τα οποία επίσης θα επηρεάσουν την περιοχή, στην οποία υπάρχουν καλλιέργειες με θερμοκήπια.

Όσον αφορά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μας με τις τάσεις που εμφανίζει η Ελλάδα φαίνεται να ακολουθείται η τάση μείωσης των συνολικών βροχοπτώσεων, η αύξηση των εντάσεων της και η αύξηση των περιόδων ξηρασίας, ενώ οι τάσεις των ακραίων δεικτών βροχόπτωσης δεν ακολουθούν τις αντίστοιχες τάσεις της Ελλάδας. Πιθανή εξήγηση είναι το μικροκλίμα της Κρήτης και η μορφολογία του εδάφους.

Θα είχε πολύ ενδιαφέρον να γίνει η μελέτη των δεικτών ξεχωριστά για κάθε εποχή καθώς ίσως δινόταν μια πιο ξεκάθαρη εικόνα. Επίσης θα βοηθούσε τους φορείς της περιφέρειας της Κρήτης η μελέτη των δεικτών για τα διάφορα μελλοντικά κλιματικά σενάρια σύμφωνα με το IPCC, αφού θα μπορούσαν να καταστρώσουν σχέδια δράσεων και παρεμβάσεων.

Βιβλιογραφία

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agbo, E. P., Ekpo, C. M., & Edet, C. O. *Trend Analysis of Meteorological Parameters, Tropospheric Refractivity, Equivalent Potential Temperature for a Pseudo-adiabatic Process and Field Strength Variability, Using Mann-Kendall Trend Test and Sen's Estimate.*
- Agou, V. D., Varouchakis, E. A., & Hristopulos, D. T. (2019). Geostatistical analysis of precipitation in the island of Crete (Greece) based on a sparse monitoring network. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(6). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7462-8>
- Alexander, L., & Herold, N. (2016). *WORLD CLIMATE PROGRAMME WORLD CLIMATE SERVICES PROGRAMME ClimPACT2 Indices and software A document prepared on behalf of The Commission for Climatology (CCI) Expert Team on Sector-Specific Climate Indices (ET-SCI).* <http://www.r-project.org/>
- Alhaji, U. U., Yusuf, A. S., Edet, C. O., Oche, C. O., & Agbo, E. P. (2018). Trend Analysis of Temperature in Gombe State Using Mann Kendall Trend Test. *Journal of Scientific Research and Reports*, 20(3), 1–9. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2018/42029>
- Asadieh, B., & Krakauer, N. Y. (2015). Global trends in extreme precipitation: Climate models versus observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(2), 877–891. <https://doi.org/10.5194/hess-19-877-2015>
- Atta-ur-Rahman, & Dawood, M. (2017). Spatio-statistical analysis of temperature fluctuation using Mann–Kendall and Sen's slope approach. *Climate Dynamics*, 48(3–4), 783–797. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3110-y>
- Baede, A., Ahlonsou, E., Ding, Y., & Schimel, D. (2001). *The Climate System: an Overview.*
- Baltas, E. (2013). *Water resources management on the island of Crete: Lessons learnt.* <http://minoancrete.com/chamaizi>
- Biau, D. J., Jolles, B. M., & Porcher, R. (2010). P value and the theory of hypothesis testing: An explanation for new researchers. In *Clinical Orthopaedics and Related Research* (Vol. 468, Issue 3, pp. 885–892). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-1164-4>
- Caloiero, T., Caloiero, P., & Frustaci, F. (2018a). Long-term precipitation trend analysis in Europe and in the Mediterranean basin. *Water and Environment Journal*, 32(3), 433–445. <https://doi.org/10.1111/wej.12346>
- Caloiero, T., Caloiero, P., & Frustaci, F. (2018b). Long-term precipitation trend analysis in Europe and in the Mediterranean basin. *Water and Environment Journal*, 32(3), 433–445. <https://doi.org/10.1111/wej.12346>
- Climate System.* (2017). <https://energyeducation.ca>
- Climdex Indices.* Retrieved August 30, 2023, from <https://www.climdex.org>
- Climpact.* (2012). <https://ccrc-extremes.shinyapps.io/climpact/>
- Dahiru, T. (2008). *P – VALUE, A TRUE TEST OF STATISTICAL SIGNIFICANCE A CAUTIONARY NOTE.*

- Desktop GIS Software: Mapping Analytics. Retrieved September 22, 2023, from <https://www.esri.com/en-us/arcgis>
- Donta, A. A., Lange, M. A., & Herrmann, A. (2005). *Water on Mediterranean Islands: Current conditions and prospects for sustainable management*.
- Extreme Weather. (2023). <https://wmo.int>
- Feidas, H., Nouloupoulou, C., Makrogiannis, T., & Bora-Senta, E. (2007). Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955–2001. *Theoretical and Applied Climatology*, 87(1–4), 155–177. <https://doi.org/10.1007/s00704-006-0200-5>
- Feinstein, A. R. (1998). P-Values and Confidence Intervals: Two Sides of the Same Unsatisfactory Coin. In *J Clin Epidemiol* (Vol. 51, Issue 4).
- Giannakopoulos, C., Kostopoulou, E., Varotsos, K. V., Tziotziou, K., & Plitharas, A. (2011). An integrated assessment of climate change impacts for Greece in the near future. *Regional Environmental Change*, 11(4), 829–843. <https://doi.org/10.1007/s10113-011-0219-8>
- Grillakis, M. G., Polykretis, C., & Alexakis, D. D. (2020). Past and projected climate change impacts on rainfall erosivity: Advancing our knowledge for the eastern Mediterranean island of Crete. *Catena*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104625>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate change 2014 : synthesis report : longer report*.
- Iordanidou, V., Koutroulis, A. G., & Tsanis, I. K. (2014). EastMed cyclones affecting Crete Mediterranean depression characteristics related to precipitation occurrence in Crete, Greece EastMed cyclones affecting Crete EastMed cyclones affecting Crete. *Hazards Earth Syst. Sci. Discuss*, 2, 6107–6139. <https://doi.org/10.5194/nhessd-2-6107-2014>
- Iordanidou, V., Koutroulis, A. G., & Tsanis, I. K. (2015). Mediterranean cyclone characteristics related to precipitation occurrence in Crete, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(8), 1807–1819. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1807-2015>
- Karydas, C. G., Gitas, I. Z., Parcharidis, I. A., & Adediran, A. O. (2002). *Creation of a Land Cover map of Crete using SPOT satellite data* (Vol. 6). th Congress of the Hellenic Geographical Society.
- Kotroni, V., Lagouvardos, K., & Lalas, D. (2001). The effect of the island of Crete on the Etesian winds over the Aegean Sea. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 127(576), 1917–1937. <https://doi.org/10.1002/qj.49712757604>
- Koutroulis, A. G., Grillakis, M. G., Tsanis, I. K., Kotroni, V., & Lagouvardos, K. (2012). Lightning activity, rainfall and flash flooding-occasional or interrelated events? A case study in the island of Crete. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(4), 881–891. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-881-2012>
- Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K., & Daliakopoulos, I. N. (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology*, 394(1–2), 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.025>
- Kshudiram, S. (2008). *The Earth's Atmosphere*. Springer.

- Kundzewicz, Z., Radziejewski, M., & Pinskiar, I. (2006). *Precipitation extremes in the changing climate of Europe*. www.int-res.com
- Kundzewicz, Z. W. (2008). Climate change impacts on the hydrological cycle. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 8(2–4), 195–203. <https://doi.org/10.2478/v10104-009-0015-y>
- Lee, H. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report (AR6). In *Diriba Korecha Dadi*. Panmao Zhai.
- Łupikasza, E. B. (2017). Seasonal patterns and consistency of extreme precipitation trends in Europe, December 1950 to February 2008. *Climate Research*, 72(3), 217–237. <https://doi.org/10.3354/cr01467>
- Markonis, Y., Batelis, S. C., Dimakos, Y., Moschou, E., & Koutsoyiannis, D. (2017). Temporal and spatial variability of rainfall over Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(1–2), 217–232. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1878-7>
- McGuffie, K., & Henderson-Sellers, A. (2005). *A climate modelling primer*. J. Wiley.
- Moberg, A., & Jones, P. D. (2005). Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901–99. *International Journal of Climatology*, 25(9), 1149–1171. <https://doi.org/10.1002/joc.1163>
- Nastos, P. T., & Zerefos, C. S. (2008a). Decadal changes in extreme daily precipitation in Greece. In *Adv. Geosci* (Vol. 16). www.adv-geosci.net/16/55/2008/
- Nastos, P. T., & Zerefos, C. S. (2008b). Decadal changes in extreme daily precipitation in Greece. In *Adv. Geosci* (Vol. 16). www.adv-geosci.net/16/55/2008/
- Nastos, P., & Zerefos, C. (2010). Climate Change and precipitation in Greece. *Hellenic Journal of Geosciences*, 45, 185–192.
- Panagos, P., Christos, K., Cristiano, B., & Ioannis, G. (2014). Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: An application of the G2 model in crete focusing on agricultural land uses. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 27(PARTB), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.09.012>
- Papa, K.-M. (2024). *Evaluation of gridded precipitation datasets over Greece*.
- Papaoiannou, G., Vasiliades, L., Loukas, A., Alamanos, A., Efstratiadis, A., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., & Kossieris, P. (2021). A flood inundation modeling approach for urban and rural areas in lake and large-scale river basins. *Water (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/w13091264>
- Paparrizos, S., Maris, F., & Matzarakis, A. (2016). Integrated analysis of present and future responses of precipitation over selected Greek areas with different climate conditions. *Atmospheric Research*, 169, 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.10.004>
- Philandras, C. M., Nastos, P. T., Kapsomenakis, J., Douvis, K. C., Tselioudis, G., & Zerefos, C. S. (2011). Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(12), 3235–3250. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-3235-2011>
- Schneider, S. (1992). Introduction to climate modeling. In K. Trenberth (Ed.), *Climate System Modeling*.

- Tapoglou, E., Vozinaki, A. E., & Tsanis, I. (2019). Climate change impact on the frequency of hydrometeorological extremes in the island of Crete. *Water (Switzerland)*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/w11030587>
- The Water Cycle*. (2017). <https://www.usgs.gov>
- Tolika, C. K., & Zanis, P. (2012). REGIONAL CLIMATE CHANGE SCENARIOS FOR GREECE: FUTURE TEMPERATURE AND PRECIPITATION PROJECTIONS FROM ENSEMBLES OF RCMs. In *Global NEST Journal* (Vol. 14). <http://ensembles-eu.metoffice.com>
- Tramblay, Y., & Somot, S. (2018). Future evolution of extreme precipitation in the Mediterranean. *Climatic Change*, 151(2), 289–302. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2300-5>
- Tsanis, I. K., Koutroulis, A. G., Daliakopoulos, I. N., & Jacob, D. (2011). Severe climate-induced water shortage and extremes in Crete. In *Climatic Change* (Vol. 106, Issue 4, pp. 667–677). <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0048-2>
- UNFCCC. (1992). *UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE*.
- Van den Besselaar, E. J. M., Klein Tank, A. M. G., & Buishand, T. A. (2013). Trends in European precipitation extremes over 1951-2010. *International Journal of Climatology*, 33(12), 2682–2689. <https://doi.org/10.1002/joc.3619>
- Varlas, G., Stefanidis, K., Papaioannou, G., Panagopoulos, Y., Pytharoulis, I., Katsafados, P., Papadopoulos, A., & Dimitriou, E. (2022). Unravelling Precipitation Trends in Greece since 1950s Using ERA5 Climate Reanalysis Data. *Climate*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/cli10020012>
- Varouchakis, E. A., Corzo, G. A., Karatzas, G. P., & Kotsopoulou, A. (2018). Spatio-temporal analysis of annual rainfall in Crete, Greece. *Acta Geophysica*, 66(3), 319–328. <https://doi.org/10.1007/s11600-018-0128-z>
- Willems, P. (2013). Multidecadal oscillatory behaviour of rainfall extremes in Europe. *Climatic Change*, 120(4), 931–944. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0837-x>
- World Meteorological Organization (WMO). (2023). *State of the Climate in Europe 2022*.
- Zittis, G., Bruggeman, A., & Lelieveld, J. (2021). Revisiting future extreme precipitation trends in the Mediterranean. *Weather and Climate Extremes*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100380>

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλεξούλη-Λειβαδίτη, Α., Λειβαδίτη, Γ., & Μιχαλοπούλου, Ι. (1989). *Ποσοτική γεωμορφολογική μελέτη του υδρογραφικού δικτύου της κρητης*.
- Δαλέζιος, Ν. (2015). *ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ: Ανάλυση και Προσομοίωση*. www.kallipos.gr
- Ευαγγέλου, Π. (2023). *Συμπλήρωση χρονοσειρών με αξιοποίηση δεδομένων επανανάλυσης για τη διερεύνηση αλλαγών της βροχόπτωσης στον Ελλαδικό χώρο*.
- Καρτάλης, Κ., Κοκκώσης, Χ., Οικονόμου, Δ., Σανταμούρης, Μ., Αγαθαγγελίδης, Η., & Πολύδωρος, Α. (2017). *Οι Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ανάπτυξη*.
- Κατσαφάδος, Π., & Μαυροματίδης, Η. (2015). *Εισαγωγή στη Φυσική της Ατμόσφαιρας και την Κλιματική Αλλαγή*. www.kallipos.gr

Κλιματολογία. (2017). <http://www.emy.gr>

Κοζάνης, Σ., & Μαρκόνης, Ι. (2009). *Υδρογνώμων έκδοση 4 Οδηγός χρήστη (user manual)*.
<http://www.itia.ntua.gr/>

Λαζαρίδης, Μ. (2005). *ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ* (1η). ΤΖΙΟΛΑ.

Σιδηρόπουλος, Ε., & Τόλικας, Δ. *ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ (ΣΙΔΗΡΟΠΟΥΛΟΣ-ΤΟΛΙΚΑΣ)*.

Στάθης, Δ. (2015). *Μαθήματα Δασικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*. www.kallipos.gr