



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

**ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΟΛΙΑΝΝΑ ΑΚΟΥΜΙΑΝΑΚΗ**

ΧΑΝΙΑ, ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2019

" 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. "



Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

**ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΡΗΤΗΣ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΟΛΙΑΝΝΑ ΑΚΟΥΜΙΑΝΑΚΗ**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής Καρατζάς Γεώργιος (Επιβλέπων)

Αν. Καθηγητής Παρανυχιανάκης Νικόλαος

Δρ. Βαρουχάκης Εμμανουήλ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους και όσες συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος και επιβλέποντα της παρούσας εργασίας κ. Καρατζά Γεώργιο, για την ανάθεση της εργασίας, την πολύτιμη βοήθειά του και τις γνώσεις που μου μετέδωσε μέσω της διδασκαλίας του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Δρ. Βαρουχάκη Εμμανουήλ για την καθοδήγηση και για τις πολύτιμες συμβουλές του, την κατανόηση, την άμεση ανταπόκριση και την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια την διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και στον κ. Τριχάκη Ιωάννη, για την βοήθεια του σε απορίες και αδιέξοδα που αντιμετώπισα.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ τους προαναφερθέντες αλλά και τον κ. Παρανυχιανάκη Νικόλαο για την συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου για την οικονομική και ηθική υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση, τις συμβουλές και τη ψυχολογική υποστήριξη που μου προσέφεραν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια στατιστική ανάλυση και μελέτη της χωρο-χρονικής μεταβολής των βροχοπτώσεων στη νήσο Κρήτη. Αρχικά, πραγματοποιείται μια εκτενής περιγραφή της περιοχής μελέτης, όπου αναλύονται τα γεωγραφικά, μορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της Κρήτης. Περιγράφονται επίσης, τα βασικά χαρακτηριστικά του κλίματος, το γεωλογικό της υπόβαθρο και γίνεται αναφορά στις κύριες χρήσεις γης και ύδατος, καθώς επίσης στα επιφανειακά ύδατα και τις υδρολογικές λεκάνες του νησιού.

Σε επόμενο κεφάλαιο, ακολουθεί παρουσίαση της βάσης των βροχομετρικών δεδομένων, όπου απαριθμούνται πενήντα οκτώ βροχομετρικοί σταθμοί διάσπαρτοι στους τέσσερις νομούς της Κρήτης για τα έτη 1974 - 2018. Τα βροχομετρικά δεδομένα συλλέχθηκαν από κάθε έναν σταθμό ξεχωριστά και αναλύθηκαν με τη χρήση του λογιστικού φύλλου Excel, καθώς επίσης και με τη χρήση της εφαρμογής λογισμικού «Υδρογνώμων», ώστε να υπάρχει μια ολοκληρωμένη βάση, άμεσης πρόσβασης στα συγκεντρωτικά δεδομένα του κάθε βροχομετρικού σταθμού. Συνεχίζοντας, ακολουθεί η στατιστική επεξεργασία της βροχόπτωσης, όπου μέσω περιγραφικής στατιστικής, εξετάζεται η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθενται διαγράμματα με την μέση ετήσια συνολική βροχόπτωση για τους τέσσερις νομούς της Κρήτης, για την Ανατολική και Δυτική Κρήτη, καθώς και για το σύνολο όλων των σταθμών, δηλαδή για την νήσο Κρήτη και εξετάζονται οι μεταξύ τους συσχετίσεις. Επίσης, έγινε σύγκριση της μεταβολής της βροχόπτωσης των σταθμών της Κρήτης με κλιματικούς δείκτες π.χ. Mediterranean Oscillation Index (MOI), ο οποίος ορίζεται ως κανονικοποιημένη διαφορά πίεσης, μεταξύ Αλγερίου και Κάιρο για το χρονικό διάστημα που υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα (1973-2017), με σκοπό να εξεταστεί η μεταξύ τους συσχέτιση.

Μέσω γραφημάτων προσαρμογής της κατανομής Gumbel, προσδιορίζονται οι περίοδοι επαναφοράς της βροχόπτωσης αλλά και το ύψος βροχής που αναμένεται και έπειτα με τη χρήση του λογισμικού Matlab, εντοπίζονται τα σημαντικά έτη καθώς και τα έτη με τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις για κάθε μια περίπτωση που μελετάμε. Επίσης, πραγματοποιείται στατιστικός έλεγχος υποθέσεων για τα βροχομετρικά δεδομένα, όπου εφαρμόζεται ο έλεγχος T-test και ο μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall. Συνεχίζοντας, μέσω της διαδικασίας ομαδοποίησης δεδομένων, εφαρμόζεται μια νέα μέθοδος βασιζόμενη στην τεχνολογία των νευρωνικών δικτύων, η μέθοδος των «χαρτών αυτό-οργάνωσης», όπου δίνονται αποτελέσματα χωροπληθών χαρτών, καθώς ταξινομούνται και χαρτογραφούνται τα δεδομένα με βάση την ομοιογένειά τους. Στα πλαίσια της ομαδοποίησης των δεδομένων, πραγματοποιείται ακόμα χαρτογράφηση της χωρικής μεταβολής της βροχόπτωσης για τα έτη 2010-2018, με τη μέθοδο Kriging και χρήση εκθετικού βαριογράμματος, η οποία πραγματοποιήθηκε με κώδικα σε περιβάλλον R.

Τέλος, αφού παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα, που αφορούν τη χωρο-χρονική κατανομή της βροχόπτωσης σε ολόκληρη την έκταση του νησιού. Πιο συγκεκριμένα προκύπτουν τα εξής σημαντικά συμπεράσματα:

Η Δυτική Κρήτη, εμφανίζει μεγαλύτερο ύψος βροχής από την Ανατολική και η βροχή αυξάνει με το ανάγλυφο. Επίσης η μεγαλύτερη συσχέτιση ως προς τη βροχόπτωση εντοπίζεται μεταξύ των νομών Ρεθύμνου και Ηρακλείου, ενώ η χαμηλότερη μεταξύ των νομών Χανίων και Λασιθίου. Για το σύνολο των σταθμών της νήσου Κρήτης, εκτιμάται ότι κατά τη διάρκεια των υδρολογικών ετών 1974-2019, το ύψος της βροχόπτωσης ακολούθησε φθίνουσα τάση, της τάξεως των 0.91 mm/yr, ενώ ο μέσος όρος της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης, ανέρχεται σε 788.83 mm κατακρημνισμάτων. Η υψηλότερη βροχόπτωση παρατηρείται στον σταθμό Ασκύφου των Χανίων, ενώ η χαμηλότερη παρατηρείται στο λιμάνι του Ηρακλείου. Τέλος, εντοπίστηκε ότι για τη πλειοψηφία των νομών, το 2019 είναι το έτος με τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις και ακραίες τιμές στη βροχόπτωση.

ABSTRACT

This thesis performs a space and time statistical analysis and assessment of the rainfall data on the island of Crete, Grece. Initially, an extensive description of the study area is carried out, which analyzes the geographical, morphological and hydrological characteristics of Crete island. The main features of the climate, its geological background is also described and reference is made to the main uses of land and water, as well as to the surface waters and hydrological basins of the island.

In the following chapter, the database of the rainfall data is presented, listing fifty-eight rainfall stations scattered in the four prefectures of Crete, for the years 1974-2018. The rainfall data were collected from each station separately and analyzed through Excel spreadsheets, as well as through the Hydrognomon software to provide a complete database for direct data analysis at each station. The descriptive statistical analysis of precipitation is following, using mainly plots, to examine the temporal distribution of rainfall. More specifically, charts are presented with the average annual total rainfall for the four prefectures of Crete, for Eastern and Western Crete. Correlation analysis was applied between the four prefectures to examine their relationship on rainfall variability. Also, the rainfall of Crete stations was compared with the Mediterranean Oscillation Index (MOI), which is defined as the normalized pressure difference, between Algiers and Cairo for the period of available data (1973 - 2017), in order to examine any correlations.

Gumbel allocation charts identify the return periods of rainfall and the expected amount of rainfall and then with the use of Matlab software, significant years are identified, as well as the years with the highest fluctuation for each case studied. Statistical hypothesis for rainfall data is also performed, where t-test and non-parametric Mann-Kendall test are applied. Finally, through the data clustering process, a new method based on neural network technology, the Self-Organizing Maps (SOM) method, is applied, where results of spatial maps are obtained, as the data are sorted and mapped based on their homogeneity. Within the data clustering, the spatial variation of rainfall over the years 2010-2018 is also mapped using the Kriging method and an exponential variogram, which was coded in R environment.

Finally, after presenting the results of the methods used, the main conclusions regarding the spatial distribution of rainfall over the whole island are mentioned. More specifically, the following important conclusions are drawn:

In Western Crete, there is more rainfall than the East and the rainfall increases with the altitude. Also, the highest correlation in rainfall variations identified between Rethymnon and Heraklion, while the lowest between Chania and Lasithi. For all the stations on the island of Crete, it is estimated that during the hydrological years 1974-2019, the amount of precipitation followed a downward trend of 0.91 mm/yr, while the average of the total annual precipitation on the island of Crete, is up to 788.83 mm. The highest rainfall is observed at Askifou station in Chania, while the lowest is observed at Heraklion port station. Finally, it was found, that for most of the prefectures, 2019 is the year with the highest fluctuations and extreme values in rainfall.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|-----------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ | 12 |
| 1.1. Γεωγραφικά χαρακτηριστικά Κρήτης | 12 |
| 1.2. Μορφολογικά χαρακτηριστικά Κρήτης..... | 12 |
| 1.3. Γεωλογικό υπόβαθρο Κρήτης | 14 |
| 1.4. Το κλίμα της Κρήτης..... | 15 |
| 1.5. Υδρολογικά χαρακτηριστικά | 16 |
| 1.5.1. Θερμοκρασία | 16 |
| 1.5.2. Εξάτμιση..... | 17 |
| 1.5.3. Υγρασία | 17 |
| 1.5.4. Βροχόπτωση | 18 |
| 1.5.5. Άνεμοι | 19 |
| 1.5.6. Ηλιοφάνεια - Νέφωση – Ομίχλη..... | 19 |
| 1.6. Χρήσεις γης..... | 20 |
| 1.7. Κύριες χρήσεις ύδατος..... | 21 |
| 1.8. Επιφανειακά ύδατα..... | 22 |
| 1.9. Υδρολογικές λεκάνες Κρήτης..... | 23 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΣΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ | 24 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ | 29 |
| 3.1. Στατιστική Μέθοδος | 29 |
| 3.2. Συντελεστής Συσχέτισης..... | 30 |
| 3.3. Θεωρία Κατανομών | 31 |
| 3.4. Στατιστικός Έλεγχος Υποθέσεων (Statistical Hypothesis Testing) | 41 |
| 3.4.1. Στατιστικός Έλεγχος t-test..... | 42 |
| 3.4.2. Έλεγχος Mann – Kendall (Mann – Kendall Test)..... | 43 |
| 3.5. Σημαντικά Έτη (Significant Years) | 44 |
| 3.6. Θεματική Χαρτογραφία (Thematic Cartography) | 45 |
| 3.6.1. Ομαδοποίηση Δεδομένων (Data Clustering)..... | 46 |
| 3.6.2. Χάρτες Αυτό-οργάνωσης (Self Organizing Maps – SOM)..... | 50 |
| 3.7. Ανάλυση Υδρολογικής Πληροφορίας – Υδρογνώμων (Hydrognomon)..... | 52 |

| | |
|--|-----------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ..... | 54 |
| 4.1. Αποτελέσματα μέσω του λογιστικού φύλλου Excel..... | 54 |
| 4.2. Αποτελέσματα μέσω του λογισμικού αλγορίθμων Matlab..... | 56 |
| 4.2.1. Αποτελέσματα Ελέγχου Υποθέσεων | 61 |
| 4.2.2. Αποτελέσματα Χαρτών Αυτό-οργάνωσης..... | 64 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 67 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 71 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ | 75 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. – Γραφήματα βροχοπτώσεων..... | 76 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. – Γραφήματα κατανομών μεθόδου Gumbel | 80 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ. – Γραφήματα σημαντικών ετών..... | 84 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. – Κώδικας μεθόδου Kriging σε περιβάλλον R | 87 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|----|
| Πίνακας 1.1. Ανάγκες νερού ανά χρήση στο Υ.Δ. Κρήτης (EL13) | 21 |
| Πίνακας 2.1. Συνοπτικός πίνακας βροχομετρικών σταθμών Κρήτης ανά νομό. Περιλαμβάνει το υψόμετρο των σταθμών και το μέσο όρο των ετησίων βροχομετρικών δεδομένων (από το 1974 έως το 2018) | 25 |
| Πίνακας 2.2. Μέσος όρος βροχόπτωσης των έξι σταθμών που βρίσκονται στο υψηλότερο υψόμετρο και των έξι σταθμών που βρίσκονται στο χαμηλότερο υψόμετρο | 26 |
| Πίνακας 2.3. Βροχομετρικοί σταθμοί του meteo ανά νομό | 27 |
| Πίνακας 2.4. Βροχομετρικοί σταθμοί της Περιφέρειας Κρήτης ανά νομό | 27 |
| Πίνακας 2.5. Βροχομετρικοί σταθμοί και υδρολογικά έτη από το 1974 (πηγή : Πολυτεχνείο Κρήτης). | 28 |
| Πίνακας 3.1. Διακριτές κατανομές | 39 |
| Πίνακας 3.2. Συνεχής κατανομές | 39 |
| Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα συσχέτισης βροχόπτωσης κάθε νομού της Κρήτης | 54 |
| Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα της Matlab για T-test | 61 |
| Πίνακας 4.3. Αποτελέσματα της Matlab ελέγχου Mann-Kendall για $p\text{-value}=0.01$ | 62 |
| Πίνακας 4.4. Αποτελέσματα της Matlab ελέγχου Mann-Kendall για $p\text{-value}=0.05$ | 63 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|----|
| Γράφημα 4.1. Χωρικός μέσος όρος των συνολικών ετήσιων βροχοπτώσεων στην Κρήτη, την ανατολική Κρήτη και την δυτική Κρήτη | 57 |
| Γράφημα 4.2. Περιοδόγραμμα της νήσου Κρήτης | 57 |
| Γράφημα 4.3. Περιοδόγραμμα της δυτικής Κρήτης | 57 |
| Γράφημα 4.4. Περιοδόγραμμα της ανατολικής Κρήτης | 58 |
| Γράφημα 4.5. Περιοδόγραμμα του νομού Χανίων | 58 |
| Γράφημα 4.6. Περιοδόγραμμα του νομού Ρεθύμνης | 58 |
| Γράφημα 4.7. Περιοδόγραμμα του νομού Ηρακλείου | 58 |
| Γράφημα 4.8. Περιοδόγραμμα του νομού Λασιθίου | 58 |
| Γράφημα 4.9. Σημαντικό έτος της νήσου Κρήτης | 59 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1.1. Γεωφυσικός χάρτης Κρήτης (πηγή : Πανεπιστήμιο Κρήτης) | 12 |
| Εικόνα 1.2. Χάρτης τοπογραφικού ανάγλυφου Κρήτης (Περιγραφή Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL13)) | 13 |
| Εικόνα 1.3. Γεωλογικός χάρτης Κρήτης (School of Environmental, Education and Development, University of Manchester, 2015) | 15 |
| Εικόνα 1.4. Κατανομή χρήσεων γης στο Υ.Δ. Κρήτης..... | 20 |
| Εικόνα 1.5. Χάρτης χρήσεων γης στο Υ.Δ. Κρήτης (EL13) | 21 |
| Εικόνα 1.6. Κατανομή αναγκών ανά χρήση για το Υ.Δ. Κρήτης (EL13) | 22 |
| Εικόνα 1.7. Χάρτης κινδύνου μόλυνσης των υπογείων υδάτων της νήσου Κρήτης .. | 23 |
| Εικόνα 2.1. Χάρτης απεικόνισης των μετεωρολογικών σταθών της μελέτης (με τα τετράγωνα σημειώνονται οι σταθμοί του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και με κύκλους σημειώνονται οι σταθμοί της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης) (Πηγή: meteo.gr)..... | 24 |
| Εικόνα 3.1. Στιγμιότυπο συνάθροισης χρονοσειρών (time series aggregation), μέσω της εφαρμογής Υδρογνώμων | 53 |
| Εικόνα 4.1. Χάρτης αυτό-οργάνωσης της νήσου Κρήτης, όπου απεικονίζονται οι αποστάσεις των γειτονικών νευρώνων, για συνδυασμό διαστάσεων (12,4)..... | 64 |
| Εικόνα 4.2. Χάρτης αυτό-οργάνωσης της νήσου Κρήτης, όπου απεικονίζεται ο αριθμός διανυσμάτων εισόδου που κατατάσσονται σε κάθε νευρώνα, για συνδυασμό διαστάσεων (12,4)..... | 64 |
| Εικόνα 4.3. Χάρτης αυτό-οργάνωσης της νήσου Κρήτης, όπου απεικονίζονται τα δεδομένα εισόδου σε σχέση με τις θέσεις βάρους, για συνδυασμό διαστάσεων (12,4) | 65 |
| Εικόνα 4.4. Χάρτης αυτό-οργάνωσης της νήσου Κρήτης, για τα βάρη από τα διανύσματα εισόδου, για συνδυασμό διαστάσεων (12,4)..... | 65 |
| Εικόνα 4.5. Χωρική μεταβολή βροχόπτωσης μεθόδου Kriging, με χρήση εκθετικού βαριογράμματος (από κώδικα σε περιβάλλον R..... | 66 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1. Γεωγραφικά χαρακτηριστικά Κρήτης

Το Γεωγραφικό Διαμέρισμα (ΓΔ) της Κρήτης, αποτελεί το μεγαλύτερο και πολυπληθέστερο νησί της Ελλάδος καθώς και το πέμπτο σε έκταση μεγαλύτερο της Μεσογείου. Βρίσκεται στο νοτιοανατολικό σημείο της λεκάνης της Μεσογείου και στο νότιο άκρο του Αιγαίου Πελάγους, όπου οι ήπειροι της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής συναντιούνται. Παράλληλα βρέχεται βόρεια από το Κρητικό Πέλαγος και νότια από το Λιβυκό Πέλαγος. Έχει συνολική έκταση 8.336 τετραγωνικά χιλιόμετρα και καλύπτει το 6,3 % της συνολικής έκτασης της χώρας. Εκτείνεται σε μήκος 260 χιλιομέτρων περίπου και έχει πλάτος που κυμαίνεται από τα 60 έως τα 12 χιλιόμετρα στο στενότερο σημείο της, τον Ισθμό της Ιεράπετρας. Το μέσο υψόμετρο του νησιού είναι στα 460 μέτρα, οι ακτές του έχουν μήκος που φτάνει τα 1.065 χιλιόμετρα περίπου, ενώ ο συνολικός πληθυσμός του είναι περίπου 600.000 άνθρωποι.

Η Κρήτη, σύμφωνα με τον Ν. 1739/1987 περί διαχείρισης υδατικών πόρων, αποτελεί ένα από τα δεκατέσσερα Υδατικά Διαμερίσματα, στα οποία έχει διαιρεθεί ο ελληνικός χώρος. Περιβάλλεται επίσης από πλήθος μικρών νησιών όπως η Γαύδος, Γαυδοπούλα, Χρυσή, Κουφονήσι, Ντία, Διονυσάδες, Σπιναλόγκα και Παξιμάδι, εκ των οποίων τα περισσότερα είναι ακατοίκητα [1]. Αποτελείται από τέσσερις Περιφερειακές Ενότητες (νομούς), οι οποίες από δυτικά προς ανατολικά είναι οι Π.Ε. Χανίων, η οποία καταλαμβάνει το 28,5 % της έκτασης του διαμερίσματος και ακολουθούν οι Π.Ε. Ρεθύμνης (17,9 %), Ηρακλείου (31,7 %) και Λασιθίου (21,9 %).



Εικόνα 1.1. Γεωφυσικός χάρτης Κρήτης (πηγή : Πανεπιστήμιο Κρήτης)

1.2. Μορφολογικά χαρακτηριστικά Κρήτης

Η μορφολογία της Κρήτης χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τριών βασικών ζωνών: τη ζώνη με υψόμετρο 400 m και άνω (υψηλή ή ορεινή), τη ζώνη από 200-400 (μέση) και τη ζώνη που αφορά περιοχές που εκτείνονται από την επιφάνεια της θάλασσας έως τα 200 m υψόμετρο (χαμηλή). Οι δύο πρώτες ζώνες καταλαμβάνουν σχεδόν τα 3/5 της νήσου και αποτελούν μια συνεχή οροσειρά από τα δυτικά προς τα ανατολικά, διακοπτόμενη από μικρές κοιλάδες και φαράγγια. Αυτή η οροσειρά έχει έξι κορυφές που ξεπερνούν τα 2.000 m.

Το νησί διαθέτει έντονο ανάγλυφο και το μεγαλύτερο τμήμα του είναι ορεινό (περίπου τα 3/4 της επιφάνειάς του). Η κατανομή του σε κατηγορίες έχει ως εξής : 33% πεδινό, 26 % ημιορεινό και 41 % ορεινό. Τα τέσσερα μεγάλα ορεινά συγκροτήματα της Κρητικής οροσειράς είναι δυτικά τα Λευκά Όρη ή Μαδάρες, με ψηλότερη κορυφή τις Πάχνες, στα 2.454 μέτρα. Στο κεντρικό μέρος της εκτείνεται ο Ψηλορείτης ή Ίδη, που είναι και το ψηλότερο ορεινό συγκρότημα του νησιού, με ψηλότερη κορυφή τον Τίμιο Σταυρό στα 2.456 μέτρα. Ανατολικά του Ψηλορείτη βρίσκεται η Δίκτη ή Λασιθιώτικα βουνά με υψόμετρο 2.148 μέτρα, ενώ, τέλος, ακόμη πιο ανατολικά βρίσκονται τα Όρη της Θρυπτής ή Όρη της Σητείας, με υψόμετρο 1.476 μέτρα. Προς τα δυτικά και νότια οι υπώρειες των ορέων είναι απότομες και φθάνουν με μεγάλη κλίση προς τη θάλασσα, ενώ προς τα βόρεια του νησιού το ανάγλυφο είναι πιο ήπιο και λοφώδες (πεδιάδες Χανίων, Ρεθύμνου και Μαλίων). Η μεγαλύτερη πεδιάδα του νησιού, η πεδιάδα της Μεσσαράς, βρίσκεται στο νότιο-κεντρικό τμήμα του, ενώ στο νότιο ανατολικό αναπτύσσεται η πεδιάδα της Ιεράπετρας. Υπάρχουν, τέλος αρκετά οροπέδια τα κυριότερα των οποίων είναι του Λασιθίου και του Ομαλού (Περιφέρεια Κρήτης, 2001).



Εικόνα 1.2. Χάρτης τοπογραφικού ανάγλυφου Κρήτης (Περιγραφή Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL13))

Εκείνο που συνιστά ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του κρητικού περιβάλλοντος είναι η μεγάλη ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών. Η Κρήτη περιλαμβάνει 5.200 σπηλαιο και καρστικούς σχηματισμούς, 100 φαράγγια τα οποία ξεκινούν από ορεινούς όγκους και καταλήγουν στην θάλασσα και 25 οροπέδια.

Λόγω του μικρού πλάτους της, η Κρήτη δε χαρακτηρίζεται από τα μεγάλα της ποτάμια. Τα περισσότερα από αυτά είναι εποχικά και το καλοκαίρι είναι τελείως ξηρά. Τα μεγαλύτερα ποτάμια του νησιού, είναι ο Γεροπόταμος και ο Αναποδιάρης στην περιοχή της Μεσσαράς, ο Τυφλός και ο Κολένης στην πεδιάδα των Χανίων και οι Κοιλιάρης, Μέγας Ποταμός και Κουρταλιώτης. Σχετικά με τις λίμνες του νησιού, οι περισσότερες χαρακτηρίζονται ως νερόλακκοι που διατηρούν εποχικά νερό. Μόνο μια λίμνη διαθέτει ουσιαστικά η Κρήτη, την λίμνη Κουρνά στην περιοχή του Αποκόρωνα.

Τέλος, σημαντικές αλλαγές έχουν υποστεί τόσο το ύψος των ακτών της Κρήτης, όσο και η στάθμη της θάλασσας. Είναι γνωστό ότι οι δυτικές ακτές του νησιού υπέστησαν έντονη ανύψωση, ως αποτέλεσμα τεκτονικής δράσης, που τοποθετείται χρονολογικά στον 5^ο αιώνα μ.Χ. Υπολογίζεται ότι στα αρχαία λιμάνια της Φαλάσαρνας και της Κισάμου (σημερινό Καστέλλι) η ακτή ανυψώθηκε κατά 6 περίπου μέτρα, ενώ τα αρχαία λιμάνια της ΝΔ Κρήτης έως και 8 μέτρα περίπου.

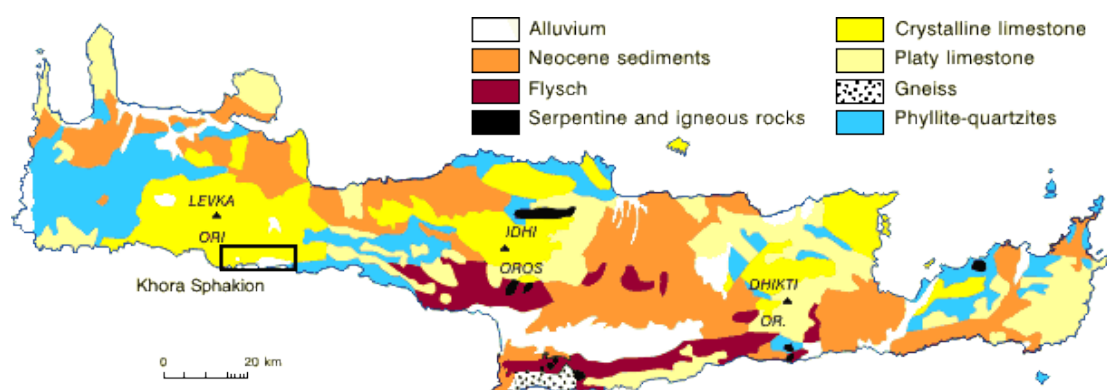
1.3. Γεωλογικό υπόβαθρο Κρήτης

Η γεωλογία της Κρήτης μπορεί να περιγραφεί από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων, που περιλαμβάνει την ημιμεταμορφωμένη ενότητα των πλακωδών ασβεστόλιθων και τους υποκείμενους ασβεστόλιθους, δολομίτες, με παρεμβολές σχιστόλιθων, από ένα αλλόχθονο σύστημα εωθημένο πάνω στο αυτόχθονο και από τα νεότερα ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς. [2] Το συνολικό πάχος των πετρωμάτων αυτών αγγίζει τα 6,5 χιλιόμετρα. Από γεωτεκτονική άποψη, η Κρήτη βρίσκεται στο κέντρο του Ελληνικού Τόξου και ταυτόχρονα στο νότιο κλάδο του Αλπικού Ορογενούς και πιο συγκεκριμένα εκεί που ο Β.ΒΔ – Ν.ΝΑ διεύθυνσης γενικός άξονας της πτύχωσης κάμπτεται, με αποτέλεσμα η Κρήτη να αποτελεί τη γεωτεκτονική μετάβαση από τις Ελληνίδες στις Ταυρίδες Οροσειρές. Σημαντικό κομμάτι της τεκτονικής της Κρήτης οφείλεται στο θέμα των επωθήσεων και ειδικότερα της επώθησης του ετερόχθονου συστήματος επί του αυτόχθονου που συνέβη κατά το Κάτω έως Μέσο Μειόκαινο. Οι επωθήσεις αυτές οδήγησαν σε αλλοιώσεις της τεκτονικής του αυτόχθονου συστήματος του προαπλικού και του αλπικού κύκλου και του ετερόχθονου συστήματος. Οι κινήσεις αυτές δημιούργησαν πλήθος από λεπιώσεις και συντέλεσαν στον κατακερματισμό πολλών πετρωμάτων. Οι Μειοκαινικές αποθέσεις αποτελούνται κυρίως από μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, μαργαϊκούς ψαμμίτες και κροκαλοπαγή (Περιφέρεια Κρήτης, 2013).

Η μεγάλη ποικιλία στη διακίνηση του επιφανειακού και του υπόγειου νερού οφείλεται στο έντονο ανάγλυφο του Υδατικού Διαμερίσματος σε συνδυασμό με τη μεγάλη ποσότητα ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, τη έκταση του νησιού και την πολύπλοκη γεωλογική δομή του. Εκτιμάται ότι περίπου 20% των υπογείων υδάτινων πόρων του νησιού σχετίζεται με τους νεογενή-τεταρτογενή σχηματισμούς του υδροφόρου ορίζοντα, ενώ το υπόλοιπο 80% αντιπροσωπεύει το δυναμικό των υπογείων υδάτων των καρστικών σχηματισμών. Οι καρστικοί υδροφορείς καταλαμβάνουν έκταση 3.200 τετραγωνικών χιλιομέτρων, δηλαδή καλύπτουν το 39% της συνολικής έκτασης του νησιού και χαρακτηρίζονται από αμελητέα απορροή και υψηλή διείσδυση. Εκτιμάται ότι 40 έως 55% της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης διεισδύει στο έδαφος σε από αυτούς τους σχηματισμούς, δημιουργώντας ένα ανανεώσιμο ετήσιο δυναμικό των υπογείων υδάτων περίπου 1,25 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα καταλαμβάνουν έκταση 3.000 τετραγωνικών μέτρων, δηλαδή το 36% της συνολικής έκτασης του νησιού και χαρακτηρίζονται από ένα πλούσιο δίκτυο ρευμάτων αγγίζοντας ετήσιο δυναμικό υπόγειων υδάτων περίπου 0,25 εκατομμύρια κυβικά μέτρα (Donta et al., 2006).

Οι υδρολογικές λεκάνες της Κρήτης εκτείνονται σε περιοχή της τάξης των 600 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Οι μεγαλύτερες υδρολογικές λεκάνες του νησιού βρίσκονται στο νότιο τμήμα της στην περιοχή της Μεσσαράς και είναι η λεκάνη του

Γεροπόταμου και η λεκάνη του Αναποδάρη. Οι δύο αυτές λεκάνες αναπτύσσονται κυρίως από νεογενείς και σύγχρονες αποθέσεις. Η συνολική επιφανειακή απορροή που διακινείται ετησίως ανέρχεται σε $500 \cdot 10^6$ κυβικά μέτρα ανά έτος περίπου. Η απορροή αυτή αποτελείται από τα πηγαία νερά που εκφορτίζονται εντός των αντίστοιχων λεκανών απορροής και από την καθεαυτή επιφανειακή απορροή (Περιφέρεια Κρήτης, 2013).



Εικόνα 1.3. Γεωλογικός Χάρτης Κρήτης (School of Environment, Education and Development, University of Manchester, 2015).

1.4. Το κλίμα της Κρήτης

Ο τύπος κλίματος της Κρήτης, είναι μεταβατικός ενδιάμεσος τύπος μεταξύ χερσαίου Μεσογειακού και του ερημοειδούς Μεσογειακού, στο οποίο υπάγεται κυρίως η νοτιοανατολική Κρήτη. Σύμφωνα με τα συνοπτικά για τον Ελληνικό χώρο κλιματολογικά χαρακτηριστικά η περιοχή καλύπτει ένα ευρύ φάσμα βιοκλιματικών ορόφων με σημαντικές διακυμάνσεις από ανατολικά προς τα δυτικά και από τα πεδινά προς τα ορεινά.[3] Οι χειμώνες είναι βροχεροί και συνήθως ήπιοι και τα καλοκαίρια ζεστά και ξηρά. Το κλίμα θεωρείται προνομιούχο λόγω της ηπιότητας του και των διαφόρων μεταβολών του και αυτό οφείλεται στην κεντρική θέση του νησιού στην ανατολική Μεσόγειο.

Ο χειμώνας, που συνήθως ξεκινά από τα μέσα Δεκεμβρίου, είναι ήπιος με ψυχρότερους μήνες τον Ιανουάριο και το Φεβρουάριο. Η πεδινή Κρήτη είναι από τις θερμότερες περιοχές της Ελλάδας και ιδιαίτερα το ανατολικό και νοτιοανατολικό της τμήμα, με μακρά ηλιοφάνεια κατά τους μήνες Οκτώβριο μέχρι Απρίλιο, το οποίο αποτελεί ένα μεταβατικό τύπο μεταξύ του τυπικού μεσογειακού και του ερημικού των ακτών της βόρειας Αφρικής. Το γεγονός αυτό αποτυπώνεται και στη βλάστηση της περιοχής που μοιάζει σε πολλά σημεία με αυτή της βόρειας Αφρικής (π.χ. το φοινικόδασος του Βάι).

Το καλοκαίρι, λόγω της θαλάσσιας αύρας και των ετήσιων ανέμων είναι σχετικά δροσερό και διαρκεί από τον Ιούνιο μέχρι τον Σεπτέμβριο. Θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Η νέφωση είναι γενικά μικρή και μειώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Οι βροχές αυξάνονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από τα παράλια προς την ηπειρωτική χώρα.

Στον νομό Χανίων, το κλίμα είναι ανάλογο του ανάγλυφού του, με τις περισσότερες βροχοπτώσεις στην Κρήτη, διότι τα υγρά ρεύματα, που προέρχονται από το Ιόνιο, αιχμαλωτίζονται από τα Λευκά Όρη. Σε αυτό και στην ασβεστολιθική σύσταση του εδάφους, οφείλονται οι πολλές πηγές του νομού. Στη χαμηλή ζώνη, το κλίμα είναι εξαιρετικά ήπιο, αλλά γίνεται δριμύ στα ορεινά. [4]

Στον νομό Ρεθύμνης, το κλίμα είναι ήπιο στις παράκτιες περιοχές, ενώ στις ορεινές περιοχές και κυρίως στον Ψηλορείτη γίνεται δριμύ. Οι βροχές, όπως συμβαίνει και στην υπόλοιπη Κρήτη, είναι περισσότερες στα νότια παράλια. [5]

Στον νομό Ηρακλείου, το κλίμα παρουσιάζει σχετικά μεγάλες διαφορές μεταξύ των βορείων παραλιών, του κεντρικού ορεινού συγκροτήματος και των νοτίων παραλιών. Τα παράκτια τμήματα έχουν πολύ εύκρατο κλίμα, με ετήσιο θερμομετρικό εύρος περίπου 13 °C. Στην πόλη του Ηρακλείου, η μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (Ιανουαρίου) είναι 12,4 °C, του θερμότερου (Ιουλίου) 25,8 °C και η απόλυτα ελάχιστη έχει φτάσει μόνο τους 0,1 °C, που δείχνει ότι το φαινόμενο του παγετού είναι σπάνιο. Φυσικά στα νότια παράλια, οι θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες, όπου δεν φτάνει η επίδραση μελεμιών. Στα ορεινά συγκροτήματα, σε περιοχές δηλαδή με μεγάλο υψόμετρο, η θερμοκρασία τον χειμώνα, φτάνει κάποτε πολλούς βαθμούς υπό το μηδέν. Από άποψη υγρασίας, το κλίμα της περιοχής μπορεί να θεωρηθεί ξηρό με μέση σχετική ετήσια 65-67,5 βαθμοί. [6]

Στον νομό Λασιθίου, το κλίμα είναι εύκρατο και ορεινού τύπου στις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο. Οι βροχές είναι λιγότερες από την υπόλοιπη Κρήτη, η νέφωση μεγαλύτερη και οι άνεμοι περισσότεροι, με αποτέλεσμα η περιοχή να είναι από τις πιο ανεμώδεις της χώρας. [7]

1.5. Υδρολογικά χαρακτηριστικά

Η θέση της Κρήτης στη μέση της Μεσογείου, η γεωγραφική της τοποθέτηση με το μεγάλο της άξονα στη διεύθυνση ανατολής-δύσης και η ύπαρξη των ψηλών οροσειρών καθορίζουν και το ύψος των νερών που δέχεται ετησίως. Τα καιρικά συστήματα που επηρεάζουν το χώρο της Ελλάδας κινούνται ως γνωστό από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά μεταφέροντας υγρασία από το Ιόνιο πέλαγος. [8]

1.5.1. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία στο νησί της Κρήτης παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση από τον βορρά προς τον νότο και από τη δύση προς την ανατολή. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 18,5 °C στο δυτικό τμήμα έως και 20 °C στο νότιο (Ιεράπετρα), με το ανατολικό και νότιο τμήμα του νησιού να είναι θερμότερο συγκριτικά με το δυτικό. Το ετήσιο εύρος έχει τιμές από 14°C έως 15°C. [9]. Κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, η θερμοκρασία αυξάνεται όσο μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος, ενώ τη διάρκεια της ζεστής περιόδου αυξάνεται από την ακτή προς την ενδοχώρα και ιδιαίτερα στις πεδιάδες.

Η άνοιξη ξεκινά από τα τέλη του Μάρτη και διαρκεί ως το Μάιο, με μέση θερμοκρασία να κυμαίνεται από 14-24 °C. Το καλοκαίρι αρχίζει από τον Ιούνιο και διαρκεί μέχρι τέλη Σεπτεμβρίου με πιο ζεστούς μήνες τον Ιούλιο και Αύγουστο και

μέση θερμοκρασία 25,5 °C. Τη περίοδο αυτή πνέουν μελέμια (βόρειοι άνεμοι), όπου μετριάζουν τις υψηλές θερμοκρασίες.

Το φθινόπωρο διαρκεί από τον Οκτώβρη έως τα τέλη του Δεκέμβρη, όπου χαρακτηρίζεται από συχνές βροχές και μέση θερμοκρασία 20,1 °C τον μήνα Οκτώβρη, 17,9 °C τον Νοέμβρη και 14,6 °C τον Δεκέμβρη. Ο χειμώνας ξεκινά από τα τέλη του Δεκέμβρη έως και τα τέλη του Μάρτη, με μέση θερμοκρασία 12,7 °C τον Ιανουάριο, 12,2 °C τον Φεβρουάριο και 14 °C τον Μάρτιο.

Η πεδινή ζώνη της Κρήτης αποτελεί κλιματικά μια μετάβαση από το μεσογειακό προς το ημιερημικό κλίμα. Χαρακτηρίζεται από μικρό ύψος βροχοπτώσεων, ήπιο χειμώνα και ξηρή περίοδο μεγάλης διάρκειας. Το θέρος, λόγω της θαλάσσιας αύρας και των ετήσιων ανέμων είναι σχετικά δροσερό. Στην περιοχή αυτή δεν παρατηρείται ποτέ παγετός και η θερμοκρασία σπάνια πέφτει κάτω από 0°C. Οι θερμοκρασιακές αποκλίσεις είναι ήπιες.

Η ορεινή ζώνη της Κρήτης εμφανίζει μεγαλύτερες θερμοκρασιακές αποκλίσεις, με μέση ετήσια θερμοκρασία 2-3 °C χαμηλότερη από την πεδινή ζώνη. Η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (Ιούλιος) είναι στα επίπεδα της μέσης θερμοκρασίας του θερμότερου μήνα των πεδινών σταθμών, η μέση όμως θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (Φεβρουάριος) είναι περί τους 3 °C χαμηλότερη (Περιφέρεια Κρήτης, 2001).

1.5.2. Εξάτμιση

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι υψηλότερες θερμοκρασίες στην Κρήτη σημειώνονται μεταξύ Ιουλίου και Αυγούστου, ενώ οι χαμηλότερες μεταξύ Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου. Η εξάτμιση όπως παρατηρείται, ακολουθεί το ίδιο μοτίβο με τη θερμοκρασία. Έτσι και οι υψηλότερες τιμές εξάτμισης στην Κρήτη σημειώνονται τον Ιούλιο, ενώ οι χαμηλότερες τιμές, τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο.

1.5.3. Υγρασία

Η σχετική υγρασία προσδιορίζει πόσο κοντά στο σημείο κορεσμού σε υδρατμούς βρίσκεται ο ατμοσφαιρικός αέρας. Με άλλα λόγια, είναι ο λόγος των υδρατμών στον αέρα προς την μέγιστη απαιτούμενη ποσότητα υδρατμών για να κορεστεί. Σχετική υγρασία 0% σημαίνει πλήρη έλλειψη υδρατμών και 100% κορεσμένη ατμόσφαιρα σε υδρατμούς. Τα μεγαλύτερα ποσοστά σχετικής υγρασίας, της τάξης του 70% απαντώνται σε ορεινές περιοχές της Κρήτης, ενώ ποσοστά κάτω από 64% παρατηρούνται σε κάποιες παραθαλάσσιες περιοχές της Κρήτης. **[10]**

Οι ξηρότεροι μήνες του χρόνου είναι ο Ιούνιος για την βόρεια Κρήτη και ο Ιούλιος για την νότια Κρήτη με μέση σχετική υγρασία στο νομό Χανίων να είναι 48,9 % και στο νομό Ηρακλείου 59,88 %. Ο πιο υγρός μήνας είναι ο Δεκέμβριος, με μέση σχετική υγρασία στο σταθμό Χανίων 72% και στο νομό Ηρακλείου 67%. Στη βόρεια Κρήτη η μέση σχετική υγρασία μειώνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Τη μεγαλύτερη διακύμανση παρουσιάζει η σχετική υγρασία των νοτίων σταθμών (27%) και την μικρότερη ο σταθμός του Ηρακλείου με μόλις 12%.

1.5.4. Βροχόπτωση

Σύμφωνα με στοιχεία της μελέτης «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πότων Κρήτης (2013)», η μέση ετήσια βροχόπτωση (περιόδου επαναφοράς 2 ετών), στο Υ.Δ. ανέρχεται σε 927 mm που αντιστοιχεί σε 7,69 δις. κυβικά μέτρα κατακρημνισμάτων σε ετήσια βάση (όπου περίπου το 67% της ποσότητας αυτής χάνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής, το 10% χάνεται ως απορροή προς τη θάλασσα και μόνο ένα 28% οδηγείται για επαναφόρτιση των υπογείων υδάτων). Πιο συγκεκριμένα, η βροχόπτωση κυμαίνεται μεταξύ 300 έως 700 χιλιοστών στις χαμηλές περιοχές και στις περιοχές κατά μήκος της ακτής, μεταξύ 700 έως και 1000 χιλιοστών στις πεδιάδες της ηπειρωτικής χώρας και φτάνει έως τα 2000 χιλιοστά στις ορεινές περιοχές.

Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι στην ανατολική Κρήτη κατά 22% μικρότερη σε σχέση με τη Δυτική. Η Κρήτη γενικώς, παρουσιάζει σημαντική ανισοκατανομή του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης, τόσο γεωγραφικά (με αύξηση από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από νότια προς βόρεια), όσο και φυσιογραφικά (από πεδινές προς ορεινές περιοχές), εμφανίζοντας από τις μεγαλύτερες βροχοβαθμίδες (αύξηση της βροχόπτωσης με το υψόμετρο) της Ελλάδας (61 mm/100m).

Η μέση μηνιαία βροχόπτωση είναι μέγιστη τον Δεκέμβριο ή τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, οι οποίοι είναι σχεδόν άνομβροι σε ολόκληρη την πεδινή Κρήτη. Το 25% περίπου της ετήσιας βροχόπτωσης συμβαίνει στους περισσότερους σταθμούς της Κρήτης στη διάρκεια του βροχερότερου μήνα. Αντίστοιχα, ο μηνιαίος αριθμός ημερών βροχής κυμαίνεται μεταξύ 15 ημερών περίπου κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο και 0,3 ημέρες τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ο αριθμός των ημερών βροχής δεν διαφέρει σημαντικά μεταξύ των ορεινών και πεδινών σταθμών. Στους ορεινούς μάλιστα σταθμούς, ο αριθμός ημερών βροχής εμφανίζεται ίσος ή και μικρότερος του αριθμού ημερών βροχής στους πεδινούς σταθμούς, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες. Ο μέσος αριθμός ημερών βροχής στην Κρήτη ανέρχεται περίπου σε 90 ημέρες (25% του έτους). (Περιφέρεια Κρήτης, 2001).

Η μικρότερη μέση υπερετήσια βροχόπτωση καταγράφεται στον σταθμό της Ιεράπετρας (440mm), ενώ στους ορεινούς σταθμούς οι τιμές της βροχόπτωσης διαφοροποιούνται σημαντικά. Τα μεγαλύτερα μέσα ετήσια ύψη βροχής παρατηρούνται στα Ανώγεια και στο Τζερμιάδο.

Τέλος, σημαντικό είναι να αναφερθεί, ότι ο Φεβρουάριος του 2019, ήταν από τους πιο βροχερούς μήνες των τελευταίων ετών στην Κρήτη. Η κακοκαιρία «Ωκεανίδα», έφερε εξαιρετικά μεγάλα ύψη βροχής, που προκάλεσαν ανθρώπινες απώλειες, εκτεταμένα πλημμυρικά φαινόμενα αλλά και υλικές καταστροφικές συνέπειες. Στα Χανιά (στον μετεωρολογικό σταθμό Ασκούφου Χανίων), σημειώθηκε πανευρωπαϊκό ρεκόρ βροχόπτωσης για τον μήνα Φεβρουάριο με σύνολο βροχής 1225 mm, ενώ μόνο σε διάστημα τριών ημερών, έπεσε το 41% της μέσης ετήσιας βροχής. Το προηγούμενο ρεκόρ μηνιαίου υετού σε κατοικημένη περιοχή ανήκε στο Γκρεντάλεν της Νορβηγίας με 1190 mm, ρεκόρ που κρατούσε από το 1989. [11]

1.5.5. Άνεμοι

Από τα ανεμολογικά στοιχεία που επεξεργάστηκε η Περιφέρεια Κρήτης εκ της ΕΜΥ, είναι ετήσια σε Beaufort και τομείς 45 ° και από αυτά προκύπτει ότι :

- Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους επικρατούν κυρίως βόρειοι και βορειοδυτικοί άνεμοι. Η νηνεμία καλύπτει το ποσοστό της τάξης του 20% στους πεδινούς σταθμούς της ανατολικής Κρήτης. Στους ορεινούς σταθμούς το ποσοστό είναι μεγαλύτερο και ανέρχεται σε 30% περίπου.
- Η ένταση των ανέμων παρουσιάζει μεγαλύτερη διακύμανση στους σταθμούς της ανατολικής Κρήτης από τους σταθμούς της δυτικής Κρήτης. Η μέγιστη μηνιαία ένταση ανέμων εμφανίζεται στην Σητεία και την Ιεράπετρα τον Ιούλιο (5,82 και 6,84 m/s αντίστοιχα). Στους σταθμούς της δυτικής Κρήτης η μέγιστη (μέση μηνιαία) ένταση ανέμων εμφανίζεται κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο, σημαντικά χαμηλότερη ανερχόμενη σε 4 m/s περίπου.
- Ο συνολικός (μέσος) αριθμός ημερών με ένταση μεγαλύτερη από 6B (ισχυρός άνεμος) παρουσιάζει πολύ μεγάλη διακύμανση κυμαινόμενος από 30 έως 80 ημέρες, όπου είναι μεγαλύτερος στους ορεινούς από ότι στους παραλιακούς σταθμούς.
- Αντίστοιχα, ο μέσος αριθμός ημερών με ένταση μεγαλύτερη από 8B (ορμητικός άνεμος) είναι πολύ μικρός και κυμαίνεται από λίγες ημέρες στους πεδινούς παραλιακούς σταθμούς (2,5 ημέρες στο Ηράκλειο) μέχρι λιγότερο από 1 ημέρα στους ορεινούς σταθμούς (0,9 ημέρες στον σταθμό Τζερμιάδο) (Περιφέρεια Κρήτης, 2001).

1.5.6. Ηλιοφάνεια - Νέφωση – Ομίχλη

Η ηλιοφάνεια είναι ιδιαίτερα υψηλή σε ολόκληρη την Κρήτη. Ο μέσος ετήσιος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας στην βόρεια Κρήτη ανέρχεται σε 2.700 περίπου. Στη νότια Κρήτη ο μέσος ετήσιος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας είναι κατά 10% τουλάχιστον υψηλότερος, ανερχόμενος σε 3000 περίπου ώρες. Ο αριθμός ωρών ηλιοφάνειας της Ιεράπετρας είναι ο μεγαλύτερος της Ελλάδας (3.068 ώρες).

Η μέση νέφωση κυμαίνεται μεταξύ περίπου 5/8 (όγδοα) τον Ιανουάριο και 0,6 - 1/8 (όγδοο) τον Ιούλιο. Ο μέσος αριθμός αίθριων ημερών (νέφωση μεταξύ 0 - 1,5/8 (όγδοα)) κυμαίνεται μεταξύ 3,0 περίπου τον Ιανουάριο και 28 ημερών τον Ιούλιο στις πεδινές περιοχές. Στις ορεινές περιοχές ο αριθμός των αίθριων ημερών κατά τους θερινούς μήνες είναι κατά 30% μικρότερος.

Φαινόμενο το οποίο παρατηρείται επίσης κατά τη διάρκεια του χρόνου, είναι και η μεταφορά Αφρικανικής σκόνης προς την Κρήτη. Η σκόνη αυτή γίνεται αντιληπτή οπτικά (θολότητα στην ατμόσφαιρα), ενώ με τη συνοδεία βροχής αφήνει το κοκκινωπό αποτύπωμα της σε όλες τις επιφάνειες. Η εισπνεύσιμη μορφή της είναι σε χαμηλά και όχι ανησυχητικά επίπεδα. Η περίοδος που ευνοείται η μεταφορά της σκόνης είναι από τον Μάρτιο μέχρι και τον Αύγουστο ενώ πιο σπάνιες μεταφορές πραγματοποιούνται στη διάρκεια του φθινοπώρου.

Η ομίχλη (όπως και ο παγετός) είναι φαινόμενα, επίσης εξαιρετικά σπάνια στην Κρήτη. Ο μέσος συνολικός αριθμός ημερών ομίχλης είναι ίσος με λιγότερο από 1 ημέρα (0,9 ημέρες στο Ηράκλειο και 0,4 ημέρες στη Σητεία) για τους πεδινούς σταθμούς και περίπου 15 για τους ορεινούς (16 ημέρες στον σταθμό Τζερμιάδο).

Αντίθετα, συχνότερη είναι η εμφάνιση υδροσταγόνων πάνω στις επιφάνειες του εδάφους, δηλαδή η δρόσος (dew). Ο μέσος συνολικός αριθμός ημερών δρόσου ανέρχεται στο Ηράκλειο σε 45,2 ημέρες ενώ στους ορεινούς σταθμούς με μεγαλύτερο αριθμό ημερών ομίχλης, ο αριθμός ημερών δρόσου είναι μικρότερος ανερχόμενος στο σταθμό Τζερμιάδο σε 23,3 ημέρες (Περιφέρεια Κρήτης, 2001).

1.6. Χρήσεις γης

Το Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης, είναι σε μικρό ποσοστό δασώδες (3% της συνολικής έκτασης), ενώ σημαντικό είναι το ποσοστό του που καλύπτεται από καλλιέργειες, (27% της συνολικής έκτασης) και γεωργική γη/βοσκοτόπους (67% της συνολικής έκτασης). Οι αστικές περιοχές καλύπτουν μόλις το 1% της συνολικής έκτασης και τα επιφανειακά ύδατα το 2% του συνόλου.



Εικόνα 1.4. Κατανομή χρήσεων γης στο Υ.Δ. Κρήτης.

Στον παρακάτω χάρτη (1.5) περιγράφονται χωρικά και κατηγοριοποιούνται οι χρήσεις γης σε τέσσερις κλάσεις : αγροτικές περιοχές, δάση και ημι-φυσικές περιοχές, τεχνητές επιφάνειες και υδατικά συστήματα. Οι συγκεκριμένες περιοχές δύναται να αποτελέσουν σημειακές ή διάχυτες περιβαλλοντικές πιέσεις σε επιφανειακά ή και υπόγεια ύδατα.



Εικόνα 1.5. Χάρτης χρήσεων γης στο Υ.Δ. Κρήτης (EL13) (Corine Land Cover, 2012)

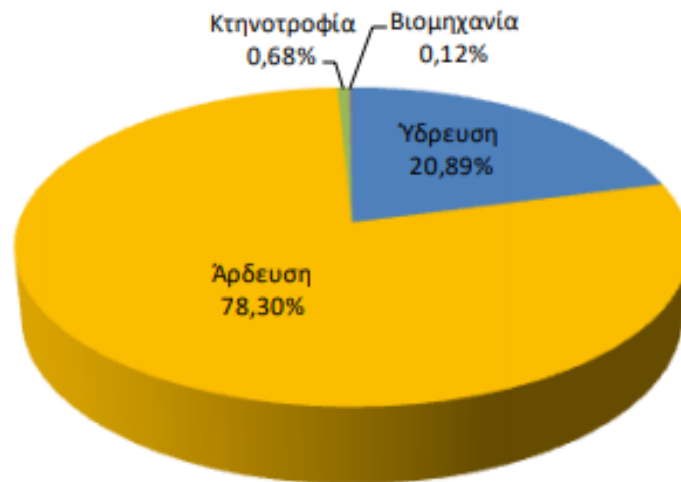
1.7. Κύριες χρήσεις ύδατος

Η Κρήτη, σαν νησιωτική περιοχή (σε αντίθεση με τις ηπειρωτικές περιοχές όπου υπάρχουν μεγάλα ποτάμια), επωφελείται μόνο από τα νερά που φτάνουν σε αυτήν με τη μορφή κατακρημνισμάτων (βροχή, χαλάζι, χιόνι). Η γεωγραφική της όμως θέση (νοτιότερο άκρο της Ευρώπης) και το γεωφυσικό της περιβάλλον, δεν ευνοούν τη συγκέντρωση μεγάλου όγκου νερού. Εξάλλου, η γεωγραφική της τοποθέτηση στη διεύθυνση ανατολής-δύσης, καθώς και η ύπαρξη ψηλών οροσειρών καθορίζουν και το ύψος των νερών που δέχεται ετησίως. Το συνολικό Υδατικό δυναμικό που δύναται να αξιοποιηθεί ανέρχεται σε 857 εκατομμύρια κυβικά περίπου (δεν περιλαμβάνονται οι τρεις μεγάλες υφάλμυρες καρστικές πηγές της Κρήτης), από τα οποία πάνω από το 60% δεν χρησιμοποιείται (χειμερινές παροχές πηγών και επιφανειακή απορροή). Αυτά, αποτελούν νερά καλής ποιότητας που είναι δυνατόν ο άνθρωπος να εκμεταλλευτεί με διάφορους τρόπους (γεωτρήσεις, φράγματα, υδρομαστεύσεις κ.α.).

Στον ακόλουθο πίνακα (1.1) και στη σχετική εικόνα (1.6), παρουσιάζονται οι συνολικές απολήψεις νερού για την ικανοποίηση των χρήσεων ύδρευσης, άρδευσης, κτηνοτροφίας και βιομηχανίας, στο Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης. Από τα στοιχεία αυτά καθίσταται εμφανές ότι το μέγιστο μέρος των απολήψεων αφορά την άρδευση που ανέρχεται στο 78% των συνολικών απολήψεων και ακολουθεί η ύδρευση που φτάνει στο 21%. Οι απολήψεις που αφορούν την κτηνοτροφία και τη βιομηχανία κατέχουν μικρό ποσοστό στο σύνολο των απολήψεων και είναι περίπου μοιρασμένες έχοντας αντίστοιχα το 0,7% και 0,1%. **[12]**

| Υδρευση (10^6 m^3) | Άρδευση (10^6 m^3) | Κτηνοτροφία (10^6 m^3) | Βιομηχανία (10^6 m^3) |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 127,65 | 478,39 | 4,16 | 0,75 |

Πίνακας 1.1. Ανάγκες νερού ανά χρήση στο Υ.Δ. Κρήτης (EL13)

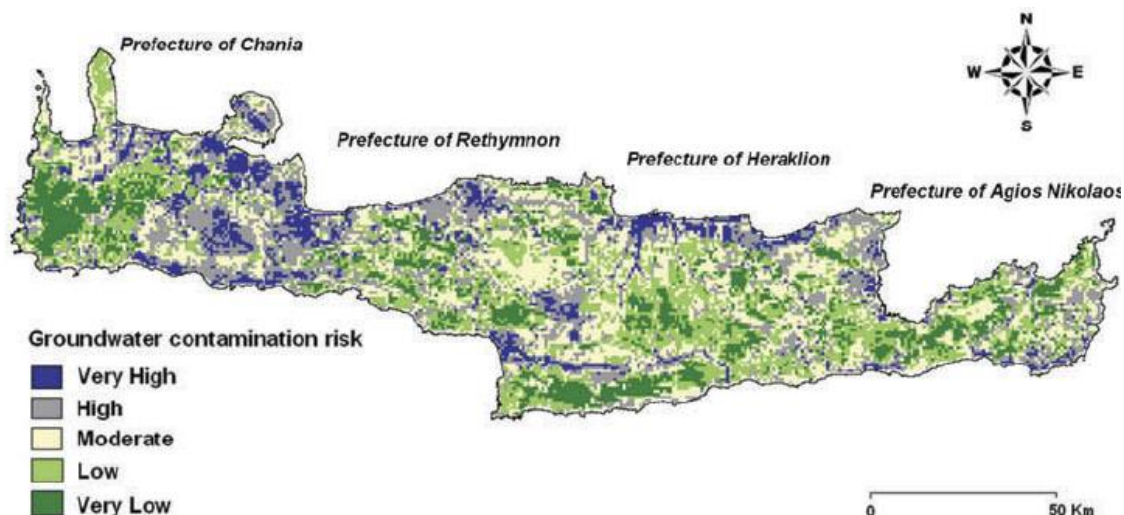


Εικόνα 1.6 Κατανομή αναγκών ανά χρήση για το Υ.Δ. Κρήτης (EL13)

1.8. Επιφανειακά ύδατα

Στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης εμφανίζονται λίγα ποτάμια μόνιμης ροής, λίγα εφήμερης ροής με πολύ μικρή περίοδο επιφανειακής ροής (3 μήνες περίπου), ενώ τα περισσότερα ποτάμια είναι χείμαρροι περιοδικής ροής. Σε αυτούς διακρίνονται δύο κατηγορίες : αυτοί των οποίων η επιφανειακή ροή διαρκεί 8 – 9 μήνες την υγρή περίοδο του χρόνου και διατηρούν τέλματα στην κοίτη τους την ξηρή καλοκαιρινή περίοδο και αυτοί των οποίων η επιφανειακή ροή διαρκεί 6 – 8 μήνες την υγρή περίοδο του χρόνου, αλλά δεν διατηρούν τέλματα στην κοίτη τους την ξηρή καλοκαιρινή περίοδο. Η συμβολή των επιφανειακών υδάτων στους υδάτινους πόρους της Κρήτης είναι περίπου 40%. Η πραγματική συμβολή της είναι περίπου 13%, που σημαίνει ότι σχεδόν το σύνολο της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιείται στην Κρήτη προέρχεται από υπόγειες πηγές.

Στην Κρήτη συγκεκριμένα υπάρχουν 25 ρεύματα, 11 στο νομό Ηρακλείου, 5 στο νομό Χανίων, 3 στο νομό Ρεθύμνου και 6 στο νομό Λασιθίου. Η συνολική μέση ετήσια απορροή εκτιμάται ότι είναι της τάξης του 0,857 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το ρεύμα με τη μεγαλύτερη απορροή είναι του Αλμυρού, που βρίσκεται κοντά στο Ηράκλειο, με μέση ετήσια απορροή της τάξης των 236 κυβικών χιλιοστών. Το ρεύμα με την υψηλότερη μέση ετήσια απορροή στο νομό Ρεθύμνου είναι ο Πλατύς, με μέση ετήσια απορροή της τάξης των 50 κυβικών χιλιοστών, στο νομό Χανίων Σεμπρωνίτης με μέση ετήσια απορροή της τάξης των 14,9 κυβικών χιλιοστών και στο νομό Λασιθίου οι Καταβόθρες με μέση ετήσια απορροή 16,6 κυβικά χιλιοστά.



Εικόνα 1.7. Χάρτης κινδύνου μόλυνσης των υπογείων υδάτων της νήσου Κρήτης [13]

1.9. Υδρολογικές λεκάνες Κρήτης

Το ισχυρό ανάγλυφο του υδατικού διαμερίσματος, οι μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, η έκταση του νησιού και η πολύπλοκη γεωλογική δομή του δημιουργούν ποικιλία στη διακίνηση του νερού, τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου. Αποτέλεσμα αυτών είναι η ανάπτυξη πολλών μικρών υδρολογικών λεκανών, που η έκτασή τους δεν ξεπερνά τα 600km². Το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, χειμαρρώδους χαρακτήρα, παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση των παροχών του. Λίγα είναι τα ρέματα που διατηρούν ροή σε όλη τη διάρκεια του χρόνου (Γεροπόταμος, Πλατανιάς Χανίων και Κουρταλιώτης Ρεθύμνης), και τροφοδοτούνται κυρίως από πηγαία νερά.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΥΠΓΕ, οι συνολικές απορροές των ρεμάτων στα οποία πραγματοποιούνται μετρήσεις ανέρχονται σε 300 hm³ ετησίως. Εκτιμάται ότι η ποσότητα που διακινούν τα υπόλοιπα ρέματα προς τη θάλασσα είναι 1.300 hm³.

Οι δύο μεγαλύτερες υδρολογικές λεκάνες του νησιού, του Γεροπόταμου και του Αναποδάρη, έκτασης 552 και 537 km² αντίστοιχα, βρίσκονται στο νότιο τμήμα του νησιού, στην περιοχή της Μεσσαράς. Οι δύο λεκάνες αναπτύσσονται κατά κύριο λόγο σε νεογενείς και σύγχρονες αποθέσεις. Εξαιτίας των εκτεταμένων καλλιεργειών του πεδινού τμήματος και των υψηλών θερμοκρασιών που συναντώνται, εκτιμάται ότι οι δύο λεκάνες έχουν μικρή απορροή, ίση με το 15 – 20 % των βροχοπτώσεων, που σημαίνει 60 – 75 hm³ ετησίως για το Γεροπόταμο και 55 – 70 hm³ ετησίως για το Αναποδάρη. [9]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΣΗ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η συλλογή δεδομένων για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, διεξήχθη από διάφορες πηγές (meteo, Περιφέρεια Κρήτης), με σκοπό τη δημιουργία μιας κοινής βάσης δεδομένων, που να δείχνει την χωρο-χρονική μεταβολή της βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν από όλους τους σταθμούς, για κάθε έναν ξεχωριστά, τα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα για την χρονική περίοδο από την οποία ξεκίνησε η λειτουργία του καθένα, μέχρι το υδρολογικό έτος 2018. Τα δεδομένα αυτά ύστερα συγκεντρώθηκαν στο λογιστικό φύλλο Excel από όπου και πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία, καθώς και να καταλήξουν σε μορφή τέτοια, που να εφικτή η χρήση τους για τις υπόλοιπες μεθόδους που πραγματοποιήθηκαν και αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Επίσης, μέσω της εφαρμογής λογισμικού «Υδρογνώμων», συγκεντρώθηκαν τα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών ώστε να υπάρχει μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων, η οποία θα είναι διαθέσιμη και για μετέπειτα χρήση και επεξεργασία. Πρόκειται για μια ολοκληρωμένη εφαρμογή πρόσβασης και ανάλυσης της βάσης υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων καθώς και επεξεργασίας χρονοσειρών, η οποία στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για εξαγωγή χρονοσειρών μεγαλύτερου χρονικού βήματος (συνάθροιση), από όπου και προέκυψαν τα μηνιαία βροχομετρικά δεδομένα από τα ημερήσια και στη συνέχεια τα ετήσια από τα μηνιαία. Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εκτενή στατιστική επεξεργασία.

Συνολικά στην Κρήτη υπάρχουν πενήντα οκτώ (58) σταθμοί, από τους οποίους οι σαράντα επτά (47) δίνονται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ), ενώ οι έντεκα (11), δίνονται από την Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης (ΕΔΚ), όπως φαίνεται και στην εικόνα (2.1). Από τους σταθμούς αυτούς :

- στο νομό Χανίων, βρίσκονται είκοσι (20) σταθμοί, όπου οι δεκαεννιά (19) δίνονται από το ΕΑΑ, ενώ ο ένας (1) από την ΑΔΚ
- στο νομό Ρεθύμνου, βρίσκονται εννιά (9) σταθμοί, όπου οι επτά (7) δίνονται από το ΕΑΑ, ενώ οι δύο (2) δίνονται από την ΑΔΚ
- στο νομό Ηρακλείου, βρίσκονται δεκαεννιά (19) σταθμοί, όπου οι δεκατρείς (13) δίνονται από το ΕΑΑ, ενώ οι έξι (6) δίνονται από την ΑΔΚ
- στο νομό Λασιθίου, βρίσκονται δέκα (10) σταθμοί, όπου οι οκτώ (8) δίνονται από το ΕΑΑ, ενώ οι δύο (2) δίνονται από την ΑΔΚ.



Εικόνα 2.1. Χάρτης απεικόνισης των μετεωρολογικών σταθμών της μελέτης (με τα τετράγωνα σημειώνονται οι σταθμοί του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και με κύκλους σημειώνονται οι σταθμοί της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης). Πηγή: meteo.gr [14]

Οι βροχομετρικοί σταθμοί ανά Νομό παρουσιάζονται στον πίνακα (2.1) που ακολουθεί :

| A/A | Σταθμός | Υψόμετρο σταθμού (m) | Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm) | A/A | Σταθμός | Υψόμετρο σταθμού (m) | Μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm) |
|-----------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------------|
| ΝΟΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ | | | | ΝΟΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ | | | |
| 1 | Φαλάσσαρνα | 10 | 541.43 | 29 | Δ. Ηράκλειο | 85 | 462.48 |
| 2 | Έλος | 520 | 962.15 | 30 | Λιμάνι Ηρακλείου | 10 | 316.40 |
| 3 | Παλαιόχωρα | 5 | 495.05 | 31 | Α. Ηράκλειο | 35 | 466.00 |
| 4 | Κάνδαρος | 430 | 887.43 | 32 | Ηράκλειο – Κνωσός | 115 | 486.27 |
| 5 | Σαμαριά | 1250 | 1521.18 | 33 | Σταυράκια | 245 | 510.27 |
| 6 | Φαράγγι Σαμαριάς | 349 | 1176.20 | 34 | Γόρτυνα | 185 | 600.89 |
| 7 | Σφακιά | 770 | 604.08 | 35 | Μοίρες | 54 | 424.13 |
| 8 | Σέμπρωνας | 640 | 1134.27 | 36 | Πλώρα | 132 | — |
| 9 | Ζυμβραγού | 296 | 1057.15 | 37 | Λέντας | 15 | 333.40 |
| 10 | Κολυμπάρι | 40 | 753.40 | 38 | Βαγιωνιά | 196 | 529.82 |
| 11 | Πλατανιάς | 12 | 509.93 | 39 | Μεταξοχώρι | 418 | 730.31 |
| 12 | Σταλός | 93 | — | 40 | Πυράθι | 311 | 515.60 |
| 13 | Χανιά - κέντρο | 7 | 601.65 | 41 | Πεζά | 305 | — |
| 14 | Χανιά – Ακρωτήρι | 137 | 568.48 | 42 | Τυμπάκι | 60 | 431.04 |
| 15 | Άγιοι Πάντες | 148 | 729.13 | 43 | Βασιλικά Ανώγεια | 233 | 319.47 |
| 16 | Βρύσες | 58 | 842.93 | 44 | Πύργος | 280 | 353.37 |
| 17 | Ασκήφου | 715 | 2015.23 | 45 | Ρουσσοχώρια | 382 | 342.97 |
| 18 | Ασή Γωνιά | 1380 | 1350.40 | 46 | Ποταμιές | 308 | 619.65 |
| 19 | Αλικιανός | 95 | 806.26 | 47 | Βιάννος | 546 | 397.30 |
| 20 | Ταυρωνίτης | 290 | 664.54 | ΝΟΜΟΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ | | | |
| ΝΟΜΟΣ ΡΕΘΥΜΝΗΣ | | | | 48 | Τζεργιάδο | 820 | 939.75 |
| 21 | Ρέθυμνο | 39 | 502.90 | 49 | Ποτάμοι | 865 | — |
| 22 | Ρέθυμνο – πόλη | 50 | 382.00 | 50 | Νεάπολη | 265 | 800.51 |
| 23 | Φράγμα ποταμών | 240 | 961.54 | 51 | Φινοκαλιά | 250 | 326.80 |
| 24 | Σπήλι | 405 | 1048.69 | 52 | Άγιος Νικόλαος | 30 | 411.98 |
| 25 | Πλακιάς | 5 | 604.93 | 53 | Ιεράπετρα | 5 | 368.34 |
| 26 | Φουρφουράς | 471 | 923.40 | 54 | Σητεία | 30 | 457.81 |
| 27 | Ανώγεια (ΕΑΑ) | 801 | 1029.23 | 55 | Άγιος Στέφανος | 404 | 691.00 |
| 28 | Δοξαρό | 240 | 728.63 | 56 | Ζήρος | 582 | 385.30 |
| | | | | 57 | Μονή Τοπλού | 220 | — |

Πίνακας 2.1. Συνοπτικός πίνακας βροχομετρικών σταθμών Κρήτης ανά νομό. Περιλαμβάνει το υψόμετρο των σταθμών και το μέσο όρο των ετησίων βροχομετρικών δεδομένων (από το 1974 έως το 2018).

Τα υψόμετρα στα οποία είναι τοποθετημένοι οι σταθμοί, κυμαίνονται από 5 μέτρα (m), το ελάχιστο, έως 1380 μέτρα (m), το μέγιστο. Οι σταθμοί αυτοί δεν έχουν ενιαία χρονολογική αρχή καταγραφής δεδομένων, ούτε το ίδιο χρονολογικό τέλος καταγραφής, καθώς αρκετοί από αυτούς λειτούργησαν για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Παρότι η παλαιότερη χρονολογία για την οποία έχουμε δεδομένα είναι το 1974, η στατιστική ανάλυση δεν ξεκινάει από τότε. Παρόλα αυτά λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα από τότε και ύστερα, ώστε να υπάρχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη διακύμανση της βροχόπτωσης σε βάθος χρόνων. Η χρονική περίοδος μελέτης αφορά την περίοδο από το 2006 και ύστερα.

| Σταθμός | Υψόμετρο (m) | Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) | Σταθμός | Υψόμετρο (m) | Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) |
|-------------------|--------------|-----------------------------|-------------------|--------------|-----------------------------|
| Ασή Γωνιά | 1380 | 1350.40 | Λιμάνι Ηρακλείου | 10 | 316.40 |
| Σαμαριά | 1250 | 1521.18 | Φαλάσσαρνα | 10 | 541.43 |
| Τζερμιάδο | 820 | 939.75 | Χανιά-κέντρο | 7 | 601.65 |
| Ανώγεια | 801 | 1029.23 | Παλαιόχωρα | 5 | 495.05 |
| Σφακιά | 770 | 604.08 | Ιεράπετρα | 5 | 368.34 |
| Ασκούφου | 715 | 2015.23 | Πλακιάς | 5 | 604.93 |
| Μέσος όρος | | 1243.31 | Μέσος όρος | | 487.97 |

Πίνακας 2.2. Μέσος όρος βροχόπτωσης των έξι σταθμών που βρίσκονται στο υψηλότερο υψόμετρο και των έξι σταθμών που βρίσκονται στο χαμηλότερο υψόμετρο.

Στον παραπάνω πίνακα (2.2) παρατίθενται οι έξι βροχομετρικοί σταθμοί με το υψηλότερο υψόμετρο και οι έξι σταθμοί με το χαμηλότερο, καθώς επίσης και το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, όπου στη πρώτη περίπτωση είναι 1243.31 χιλιοστά (mm), ενώ στην δεύτερη περίπτωση 487.97 χιλιοστά (mm). Φαίνεται άρα, ότι η υψομετρική διαφορά μεταξύ των σταθμών οδηγεί σε τελείως διαφορετικά βροχομετρικά δεδομένα για την ίδια χρονική περίοδο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ετήσια βροχόπτωση σε σταθμούς που βρίσκονται σε υψηλό υψόμετρο, είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτήν σε χαμηλό υψόμετρο.

Οι βροχομετρικοί σταθμοί που μας δίνονται από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών / meteo, καθώς και τα υδρολογικά έτη για τα οποία έχουμε διαθέσιμα δεδομένα, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (2.3), ανά νομό και με χρονολογική σειρά. Οι σταθμοί για τους οποίους δεν παρουσιάζονται υδρολογικά έτη, είναι αυτοί των οποίων τα δεδομένα δεν αρκούν για να συμπληρώσουν υδρολογικό έτος έως και το 2018.

| Σταθμός | Υδρολογικά έτη | Σταθμός | Υδρολογικά έτη |
|-----------------------|----------------|------------------------|----------------|
| Νομός Χανίων | | Νομός Ηρακλείου | |
| Χανιά | 2007-2018 | Ηράκλειο- Κνωσός | 2007-2018 |
| Παλαιόχωρα | 2007-2018 | Λιμάνι Ηρακλείου | 2009-2018 |
| Βρύσες | 2008-2018 | Μεταξοχώρι | 2009-2018 |
| Σαμαριά | 2009-2018 | Μοίρες | 2010-2018 |
| Φαλάσαρνα | 2011-2018 | Λέντας | 2012-2018 |
| Χανιά κέντρο | 2011-2018 | Δ. Ηράκλειο | 2014-2018 |
| Αλικιανός | 2013-2018 | Πυράθι | 2015-2018 |
| Σφακιά | 2014-2018 | Βαγιωνιά | 2015-2018 |
| Φαράγγι Σαμαριάς | 2014-2018 | Σταυράκια | 2015-2018 |
| Ασκούφου | 2015-2018 | Α. Ηράκλειο | 2017-2018 |
| Έλος | 2015-2018 | Γόρτυνα | - |
| Σέμπρωνας | 2016-2018 | Πεζά | - |
| Πλατανιάς | 2016-2018 | Πλώρα | - |
| Άγιοι Πάντες | 2016-2018 | | |
| Κάνδανος | 2017-2018 | Νομός Λασιθίου | |
| Κολυμπάρι | 2017-2018 | Τζερμιάδο | 2007-2018 |
| Ασή Γωνιά | 2018 | Ιεράπετρα | 2009-2018 |
| Σταλός | - | Άγιος Νικόλαος | 2010-2018 |
| Ζυμβραγού | - | Σητεία | 2011-2018 |
| Νομός Ρεθύμνης | | Φινοκαλιά | 2015-2018 |
| Ρέθυμνο | 2008-2018 | Νεάπολη | - |
| Σπήλι | 2008-2018 | Ποταμοί | - |
| Ανώγεια | 2009-2018 | Μονή Τοπλού | - |
| Φράγμα Ποταμών | 2009-2018 | | |
| Φουρφουράς | 2011-2018 | | |
| Πλακιάς | 2013-2018 | | |
| Ρέθυμνο πόλη | 2018 | | |

Πίνακας 2.3. Βροχομετρικοί σταθμοί του meteo ανά νομό

Οι βροχομετρικοί σταθμοί ανά νομό, των οποίων τα δεδομένα διατέθηκαν από την Περιφέρεια Κρήτης, καθώς και τα υδρολογικά έτη για τα οποία έχουμε διαθέσιμα δεδομένα, παρατίθενται με χρονολογική σειρά στον πίνακα (2.3).

| Σταθμός | Υδρολογικά έτη | Σταθμός | Υδρολογικά έτη |
|-----------------------|---------------------|------------------------|----------------|
| Νομός Χανίων | | Νομός Ηρακλείου | |
| Ταυρωνίτης | 2009-2010,2016-2018 | Πύργος | 2016-2018 |
| Νομός Ρεθύμνης | | Βασιλικά Ανώγεια | 2016-2018 |
| Δοξαρό | 2016-2018 | Τυμπάκι | 2016-2018 |
| Ανώγεια | 2016-2018 | Ρουσσοχώρια | 2016-2018 |
| Νομός Λασιθίου | | Βιάννος | 2016-2018 |
| Άγιος Στέφανος | 2016-2018 | Ποταμιές | 2016-2018 |
| Ζήρος | 2016-2018 | | |

Πίνακας 2.4. Βροχομετρικοί σταθμοί της Περιφέρειας Κρήτης ανά νομό

Από τους παραπάνω πίνακες, γίνεται αντιληπτό ότι ο βροχομετρικός σταθμός των Ανωγείων είναι κοινός στα δεδομένα από το μετεο και από την Περιφέρεια Κρήτης. Για τα περεταίρω αποτελέσματα θεωρούμε ως πιο έμπιστα τα δεδομένα του μετεο, που αφορούν κυρίως υδρολογικά έτη από το 2009 και έπειτα, οπότε και κρατάμε αυτά για τον σταθμό των Ανωγείων. Οπότε συνολικά μελετήθηκαν πενήντα επτά (57) σταθμοί.

Ο πίνακας (2.4) που ακολουθεί, παραθέτει τους σταθμούς και τα υδρολογικά έτη για τα οποία υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από το 1974 και ύστερα, τα οποία μας έχουν δοθεί από το Πολυτεχνείο Κρήτης. Αυτά τα αποτελέσματα, λαμβάνονται υπόψη μόνο για τη διεξαγωγή αποτελεσμάτων ως προς τη διακύμανση της βροχόπτωσης και τα σχετικά διαγράμματα, αλλά όπως αναφέρθηκε και παραπάνω δεν χρησιμοποιούνται στην στατιστική ανάλυση.

| Σταθμός | Υδρολογικά έτη | Σταθμός | Υδρολογικά έτη |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------|----------------|
| Νομός Χανίων | | Νομός Ηρακλείου | |
| Αλικιανός | 1974-1977 | Βαγιονιά | 1974-2010 |
| Ασκούφου | 1974-2011 | Γόρτυνα | 1974-1981 |
| Ζυμβραγού | 1974-1977 | Ηράκλειο- Κνωσός | 1976-2006 |
| Κάνδανος | 1974-1977,2002-2004,2007-2010 | Μεταξοχώρι | 1974-2008 |
| Ταυρωνίτης | 1974-1977,2009-2010 | Τυμπάκι | 1975-1979 |
| Νομός Ρεθύμνης | | Νομός Λασιθίου | |
| Ανώγεια | 1974-1993,1998-2001 | Νεάπολη | 1974-2011 |
| Σπήλι | 1974-2007 | Σητεία | 1974-2008 |

Πίνακας 2.5. Βροχομετρικοί σταθμοί και υδρολογικά έτη από το 1974 (πηγή : Πολυτεχνείο Κρήτης).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1. Στατιστική Μέθοδος

Η στατιστική (statistic), είναι μια μεθοδική μαθηματική, παλαιότερα τεχνική και σήμερα επιστήμη, που επιχειρεί να εξαγάγει έγκυρη γνώση χρησιμοποιώντας εμπειρικά δεδομένα παρατήρησης ή και πειράματος. Κύριο αντικείμενο έρευνας και μελέτης της Στατιστικής είναι η συλλογή, ταξινόμηση, επεξεργασία, παρουσίαση, ανάλυση και ερμηνεία διαφόρων δεδομένων με απώτερο στόχο την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για λήψη ορθών αποφάσεων. Πρόκειται για σημαντική επιστήμη της οποίας οι εφαρμογές έχουν ευρύτατο πεδίο στη διοικητική, τις επιχειρήσεις, καθώς και στις θετικές και συμπεριφορικές ή κοινωνικές επιστήμες. [15]

Γενικά ο όρος Στατιστική φέρεται με διττή σημασία, αφενός υποδηλώνοντας μαθηματικές μεθόδους χειρισμού δεδομένων που λήφθηκαν με απαρίθμηση ή μέτρηση και αφετέρου αυτά τα ίδια τα δεδομένα που έχουν υποστεί αυτούς τους χειρισμούς. Η Στατιστική έρευνα βασίζεται στη χρήση της στατιστικής θεωρίας, ενός κλάδου των εφαρμοσμένων μαθηματικών. Η τυχαιότητα και η απροσδιοριστία ορίζονται στα πλαίσια της θεωρίας πιθανοτήτων. Η πρακτική της στατιστικής περιλαμβάνει την σχεδίαση, συλλογή και ερμηνεία δεδομένων που προκύπτουν από αβέβαιες παρατηρήσεις. Επειδή η στατιστική αποσκοπεί στην εξαγωγή των «καλύτερων» πληροφοριών από τα διαθέσιμα δεδομένα, κατατάσσεται από μερικούς ως κλάδος της θεωρίας των αποφάσεων. Καθώς περιλαμβάνει ένα μεγάλο σύνολο από τεχνικές για την οργάνωση και την ανάλυση των δεδομένων, αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες : την περιγραφική και την επαγωγική στατιστική.

Η περιγραφική στατιστική (descriptive statistics) περιλαμβάνει μεθόδους για την οργάνωση, απλοποίηση και συνοπτική παρουσίαση των δεδομένων, με πιο διαδεδομένες της μεθόδους υπολογισμού της μέσης τιμής (mean) και της τυπικής απόκλισης (standard deviation). Η επαγωγική στατιστική (inferential statistics), περιλαμβάνει τεχνικές που επιτρέπουν την ανάλυση δεδομένων, σκοπεύοντας στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, με βάση τις πληροφορίες που συλλέγονται από τα δείγματα. [16]

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της περιγραφικής στατιστικής, για την ανάλυση των δεδομένων βροχόπτωσης που συλλέχθηκαν από τους βροχομετρικούς σταθμούς που υπάρχουν στο νησί της Κρήτης. Επίσης να σημειωθεί, ότι όλα τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν και επεξεργάστηκαν με τη χρήση του Microsoft Excel, το οποίο είναι πρόγραμμα λογιστικών φύλλων. Διαθέτει υπολογισμούς, εργαλεία γραφημάτων και συγκεντρωτικούς πίνακες και μέσω αυτού διεξαχθήκαν τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Για κάθε σταθμό συλλέχθηκαν τα ημερήσια δεδομένα για τις περιόδους που αυτοί ήταν ενεργοί, τα οποία στη συνέχεια επεξεργάστηκαν σε μηνιαία και μετέπειτα ετήσια (σε υδρολογικά έτη). Υπολογίστηκε το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης κάθε σταθμού, όπως παρουσιάστηκε στον πίνακα (2.1), καθώς και το μέσο ύψος βροχόπτωσης κάθε έτους για το οποίο έχουμε δεδομένα για κάθε έναν σταθμό. Από τα δεδομένα αυτά, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα διακύμανσης της βροχόπτωσης ανά έτος για κάθε νομό, για την Ανατολική και Δυτική Κρήτη, καθώς και για την Κρήτη συνολικά.

3.2. Συντελεστής Συσχέτισης

Στην στατιστική, η εξάρτηση είναι οποιαδήποτε στατιστική σχέση μεταξύ δύο τυχαίων μεταβλητών ή δύο σύνολα δεδομένων. Η συσχέτιση (correlation) αναφέρεται, σε μια ευρεία κατηγορία στατιστικών σχέσεων με τη συμμετοχή της εξάρτησης, αν και σε κοινή χρήση συχνότερα αναφέρεται στο βαθμό με τον οποίο δύο μεταβλητές έχουν μια γραμμική σχέση, η μια με την άλλη [17]. Για τον υπολογισμό της συσχέτισης της βροχόπτωσης μεταξύ των τεσσάρων νομών της Κρήτης χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Spearman, ο οποίος συχνά συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα ρ ή ως r_s . Είναι ένα μη-παραμετρικό μέτρο της στατιστικής εξάρτησης μεταξύ δύο μεταβλητών. Ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης, απαιτεί τη μέτρηση δύο μεταβλητών για κάθε υποκείμενο (τα οποία συνήθως συμβολίζονται με x, y), σε ένα μη ελεγχόμενο περιβάλλον. Ο στόχος της τεχνικής είναι να προσδιορίσει τη σχέση που συνδέει τις δύο μεταβλητές, υπολογίζοντας την τιμή του συντελεστή συσχέτισης. Αξιολογεί το πόσο καλά μπορεί να περιγραφεί η σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών χρησιμοποιώντας μια μονότονη εξάρτηση [18]. Η εξίσωση για το συντελεστή συσχέτισης Spearman είναι :

$$\rho = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.1)$$

όπου \bar{x} και \bar{y} είναι οι μέσες τιμές του δείγματος.

Η παραπάνω εξίσωση, δίνεται από το Excel με τη συνάρτηση CORREL, όπου επιστρέφει το συντελεστή συσχέτισης δύο περιοχών κελιών. Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής συσχέτισης κυμαίνονται από -1 έως +1. Αν η τιμή του είναι θετική, τότε οι δύο μεταβλητές τείνουν να μεταβάλλονται προς την ίδια κατεύθυνση, δηλαδή όταν αυξάνεται η μία αυξάνεται και η άλλη. Αν αντίθετα η τιμή του είναι αρνητική, τότε οι μεταβλητές τείνουν να κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή όταν η μία αυξάνεται, η άλλη μειώνεται. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του συντελεστή συσχέτισης (ανεξαρτήτως προσήμου), τόσο μεγαλύτερη είναι η σχέση που συνδέει τις δύο μεταβλητές. Στην ακραία περίπτωση που οι δύο μεταβλητές έχουν συντελεστή συσχέτισης 0, συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχει καμία σχέση ανάμεσά τους. [19]

3.3. Θεωρία Κατανομών

Κατανομή (Distribution), είναι η στατιστική μέθοδος για την περιγραφή / συστηματοποίηση μιας ομάδας δεδομένων. Παρακάτω, παρουσιάζονται και ύστερα αναλύονται οι κατηγορίες κατανομών που υπάρχουν, με κάποιες να είναι πιο συνήθεις και άλλες όχι τόσο.

- i. Ομοιόμορφη Κατανομή
- ii. Διωνυμική Κατανομή
- iii. Κατανομή Poisson
- iv. Κανονική Κατανομή
- v. Λογαριθμοκανονική Κατανομή
- vi. Κατανομές Ακραίων Τιμών (Extreme Value Distributions)
 - Ακραίων τιμών τύπου I (EV I ή Gumbel, για μέγιστα και ελάχιστα)
 - Ακραίων τιμών τύπου II (EV II ή Cauchy)
 - Ακραίων τιμών τύπου III (Weibull)
- vii. Κατανομές Pearson III
 - Εκθετική Κατανομή (Exponential Distribution)
 - Κατανομή Γάμμα (Gamma Distribution)
 - Κατανομή Pearson τύπου III
- viii. Κατανομή Log – Pearson III

i. Ομοιόμορφη κατανομή (Uniform Distribution)

Καλείται αλλιώς και ορθογώνια κατανομή πιθανότητας και είναι μια συνεχής κατανομή. Χαρακτηρίζεται ως οικογένεια συμμετρικών κατανομών πιθανοτήτων, στην οποία, για κάθε μέλος της οικογένειας, όλα τα διαστήματα ίσου μήκους στην υποστήριξη της κατανομής είναι ισοπίθανα. Η υποστήριξη καθορίζεται από δύο παραμέτρους, a και b , που είναι η ελάχιστη και μέγιστη τιμή της. Είναι η μέγιστη κατανομή πιθανότητας εντροπίας για μια μεταβλητή X , χωρίς κανένα περιορισμό, παρ' όλο που αυτή δέχεται περιορισμό στην υποστήριξη της κατανομής. **[20]** Περιγράφεται από την συνάρτηση :

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & b < x \end{cases} \quad (3.2)$$

ii. Διωνυμική κατανομή (Binomial Distribution)

Είναι μια διακριτή συνάρτηση κατανομής τυχαίας μεταβλητής. Περιγράφει ένα τυχαίο πείραμα με δύο πιθανά αποτελέσματα (επιτυχία – αποτυχία), δίνοντας τη πιθανότητα να έχουμε n επιτυχίες σε N δοκιμές όπου p η πιθανότητα επιτυχίας κάθε δοκιμής και $q = 1 - p$ η πιθανότητα αποτυχίας κάθε δοκιμής, όπως περιγράφεται από την επόμενη εξίσωση :

$$P(n/N) = \binom{N}{n} p^n * q^{N-n} = \frac{N!}{n!(N-n)!} p^n * (1-p)^{N-n} \quad (3.3)$$

Η πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός με πιθανότητα υπέρβαση p τουλάχιστον μια φορά στα n χρόνια είναι :

$$F(x) = 1 - (1-p)^n \quad (3.4)$$

Η διωνυμική κατανομή είναι εκ κατασκευής διακριτή, επειδή ορίζεται βάσει μιας μετρήσιμης ακολουθίας ενδεχομένων. [21]

iii. Κατανομή Poisson (Poisson Distribution)

Είναι μια διακριτή συνάρτηση κατανομής που εκφράζει την πιθανότητα ενός δεδομένου αριθμού γεγονότων που συμβαίνουν σε ένα σταθερό διάστημα χρόνου t , ή/και χώρου, αν αυτά τα γεγονότα συμβαίνουν με ένα γνωστό μέσο ρυθμό άφιξης λ , ανεξάρτητο της τελευταίας χρονικής στιγμής εμφάνισης του γεγονότος [22]. Έστω x μια διακριτή τυχαία μεταβλητή με συνάρτηση πιθανότητας

$$f(x) = P(X=x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} \quad (3.5)$$

iv. Κανονική κατανομή (Normal Distribution)

Γνωστή αλλιώς και ως γκαουσιανή κατανομή, η οποία αναφέρεται σε συνεχείς μεταβλητές αποτελώντας μια συνεχή συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. Χρησιμοποιείται ως μια πρώτη προσέγγιση για να περιγραφούν τυχαίες μεταβλητές πραγματικών τιμών, οι οποίες τείνουν να συγκεντρώνονται γύρω από μια μέση τιμή. Η κανονική κατανομή αποτελεί την πιο σημαντική κατανομή της στατιστικής μεθοδολογίας για τους εξής λόγους :

- a) Την κανονική κατανομή ακολουθούν είτε με ακρίβεια, είτε με μεγάλη προσέγγιση τα περισσότερα συνεχή φαινόμενα.
- b) Πολλές ασυνεχείς κατανομές πιθανοτήτων μπορούν να προσεγγιστούν μέσω της κανονικής κατανομής.
- c) Η κανονική κατανομή αποτελεί σύμφωνα με το κεντρικό οριακό θεώρημα (το άθροισμα ενός ικανοποιητικά μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων και ισόνομων τυχαίων μεταβλητών προσεγγίζεται από την κανονική κατανομή) τη βάση της στατιστικής συμπερασματολογίας ή επαγωγικής στατιστικής.
- d) Τυχαία σφάλματα που εμφανίζονται σε διάφορες μετρήσεις έχουν κανονική κατανομή. Γι' αυτό το λόγο η κανονική κατανομή αναφέρεται πολλές φορές και ως κατανομή σφαλμάτων.

Η συνάρτηση πυκνότητας της κανονικής κατανομής έχει τύπο :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.6)$$

όπου, $\sigma > 0$ η τυπική απόκλιση, μ η μέση τιμή της μεταβλητής με $-\infty < \mu < +\infty$ και x μια τιμή της συνεχούς μεταβλητής με $-\infty < x < +\infty$.

Αν η αθροιστική συνάρτηση κατανομής μιας τυχαίας μεταβλητής είναι συνεχώς διαφορίσιμη, τότε η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ορίζεται ως η παράγωγος της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής :

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (3.7)$$

Η κανονική κατανομή που έχει μέση τιμή 0 ($\mu = 0$), και τυπική απόκλιση 1 ($\sigma = 1$), άρα και διασπορά 1, συμβολίζεται με $N(0,1)$ και ονομάζεται τυποποιημένη κανονική κατανομή. Μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή, έχει επικρατήσει να συμβολίζεται με z και η συνάρτηση πυκνότητάς της με $\varphi(z)$ και δίνεται από τη σχέση :

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (3.8)$$

Η τυποποίηση των δεδομένων βασίζεται στην απόκλισή τους από το μέσο όρο σε όρους της σ , σύμφωνα με τον τύπο $Z = \frac{X-\mu}{\sigma}$. Με τον τύπο αυτό μπορούν να μετατραπούν τα δεδομένα μιας μεταβλητής που κατανέμεται κανονικά σε τυποποιημένη μορφή και να υπολογιστούν οι πιθανότητες χρησιμοποιώντας του πίνακες της τυποποιημένης κανονικής κατανομής. Οι πίνακες της τυποποιημένης κανονικής κατανομής δίνουν τις αθροιστικές πιθανότητες της κατανομής Z , δηλαδή τα εμβαδά της κατανομής από $-\infty$ έως και μια συγκεκριμένη τιμή της Z . [23]

v. Λογαριθμοκανονική κατανομή (Log – normal Distribution)

Είναι μια συνεχής κατανομή πιθανότητας μιας τυχαίας μεταβλητής, η χρησιμότητα της οποίας έγκειται στις θεμελιώδεις ιδιότητες του λογαρίθμου. Έτσι, αν η τυχαία μεταβλητή x είναι λογαριθμο-κανονικά κατανεμημένη, τότε $y = \ln(x)$. Παρομοίως, αν το y έχει κανονική κατανομή, τότε η εκθετική συνάρτηση του y , $x = \exp(y)$, έχει μια λογαριθμο-κανονική κατανομή. Μια λογαριθμική κανονική διαδικασία είναι η στατιστική πραγματοποίηση του πολλαπλασιαστικού προϊόντος πολλών ανεξάρτητων τυχαιών μεταβλητών, κάθε μία από τις οποίες είναι θετική. Αυτό δικαιολογείται από την εξέταση του κεντρικού οριακού θεωρήματος, στο πεδίο καταγραφής. Η λογαριθμοκανονική κατανομή, είναι η κατανομή πιθανότητας μέγιστης εντροπίας για μια τυχαία μεταβλητή x , για την οποία προσδιορίζεται ο μέσος όρος και η διακύμανση του $\ln(x)$. Επίσης, χρησιμοποιείται συνήθως στην κατανομή πιθανοτήτων μεγίστων τιμών (π.χ. πλημμυρών).

Η συνάρτηση πυκνότητας της λογαριθμικής κανονικής κατανομής έχει τύπο :

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.9)$$

όπου, $\sigma > 0$ η τυπική απόκλιση, μ η μέση τιμή της μεταβλητής με $-\infty < \mu < +\infty$ και x μια τιμή της συνεχούς μεταβλητής με $x \in (0, +\infty)$. [24]

vi. Κατανομές Ακραίων Τιμών (Extreme Value Distributions)

Τις περισσότερες φορές κατά το σχεδιασμό υδραυλικών έργων υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον όχι για τις αρχικές παρατηρήσεις των υδρολογικών φαινομένων, αλλά για τις ακραίες τιμές του υδρολογικού φαινομένου (μέγιστες ή ελάχιστες).

Αποδεικνύεται ότι η ακραία τιμή από ένα δείγμα τυχαιών τιμών είναι επίσης τυχαία. Επίσης, αποδεικνύεται ότι η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της ακραίας τιμής εξαρτάται από την αρχική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας και το μέγεθος του αρχικού δείγματος. Για μεγάλο αριθμό αρχικών παρατηρήσεων η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας για τις ακραίες τιμές περιγράφεται από ασυμπτωτικές κατανομές (Gumbel 1954, 1958).

Τρεις τύπου ασυμπτωτικών κατανομών που έχουν προταθεί :

- Τύπος I : Αρχική κατανομή χωρίς όριο προς την κατεύθυνση της ακραίας τιμής.
- Τύπος II : Αρχική κατανομή χωρίς όριο και προς τις δύο κατευθύνσεις.
- Τύπος III : Αρχική κατανομή με όριο προς την κατεύθυνση της ακραίας τιμής.

Οι πιο γνωστές ασυμπτωτικές κατανομές ακραίων τιμών είναι για τα μέγιστα η τύπου I (Gumbel) και η τύπου II, ενώ για τα ελάχιστα είναι η τύπου III (Weibull).

- Ο τύπος I (Gumbel)

Ο Gumbel , ανέπτυξε τη στατιστική μέθοδο της κατανομής πιθανότητας των ακραίων τιμών για την ανάλυση της συχνότητας επανεμφάνισης ακραίων τιμών. Χρησιμοποιείται για την στατιστική επεξεργασία των μεγίστων τιμών ενός υδρολογικού μεγέθους όπως οι ραγδαίες βροχές, οι πλημμυρικές απορροές, οι ακραίες τιμές μιας πλημμύρας κλπ. Η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας των ακραίων τιμών, μεγίστων ή ελαχίστων, οι οποίες λαμβάνονται από μια σειρά N δειγμάτων στο καθένα εκ των οποίων υπάρχουν m τιμές, βρέθηκε πως τείνει προς μια οριακή (ασυμπτωτική) μορφή, όταν ο αριθμός των τιμών m του κάθε δείγματος αυξάνει απεριόριστα (Σακκάς, 2004). Στην περίπτωση μιας αρχικής κατανομής εκθετικού τύπου, όπως είναι η κανονική κατανομή (κατανομή Gauss), η οριακή τιμή των ακραίων τιμών ονομάζεται Κατανομή τύπου I ή κατανομή κατά Gumbel. Η πυκνότητα πιθανότητας των μεγίστων τιμών δίνεται από τη σχέση :

$$f(x) = ae^{-a(x-c)}e^{-e^{-a(x-c)}} \quad (3.10)$$

Η αθροιστική πιθανότητα που προκύπτει με ολοκλήρωση της παραπάνω σχέσης, δίνεται από τη σχέση :

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-c)}} \quad (3.11)$$

Όπου οι παράμετροι της υπολογίζονται ως εξής :

$$c = \mu - \frac{\gamma}{\alpha} \quad (3.12)$$

(γ η σταθερά Euler = 0.57721). Το c είναι ο πιθανότερος μέσος όρος (mode), της μεταβλητής x , με $-\infty < x < +\infty$, ενώ :

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma} \sqrt{6} \rightarrow \alpha = \frac{1,282}{\sigma} \quad (3.13)$$

όπου μ και σ ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση του μέγιστου x . [26]

- Ο τύπος II

Έχει την έκφραση :

$$F(x) = e^{-(\theta/x')^k} \quad (3.14)$$

όπου θ είναι η αναμενόμενη μέγιστη τιμή για ένα δείγμα με n τιμές και k είναι η τάξη της ροπής ανεξάρτητη από το n .

- Ο τύπος III (Weibull)

Μπορεί να θεωρηθεί ως γενίκευση της εκθετικής κατανομής. Περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά για ύψος 100m από το έδαφος. Η πυκνότητα πιθανότητας των μεγίστων τιμών δίνεται από τη σχέση :

$$f(x) = \frac{k}{c} * \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} e^{-(x/c)^k} \quad (3.15)$$

και η αθροιστική συνάρτηση κατανομής :

$$F(x) = 1 - e^{-(x/c)^k} \quad (3.16)$$

όπου μ και σ ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση του δείγματος και c, k παράμετροι της κατανομής Weibull.

vii. Κατανομές Pearson III (Pearson III Distributions)

Η κατανομή Pearson III έχει τρεις παραμέτρους που συμβολίζονται με x_0 , β και γ . Στην ειδική περίπτωση που $x_0 = 0$, προκύπτει η κατανομή Γάμμα. Επίσης στην περίπτωση $\gamma = 1$ προκύπτει η εκθετική κατανομή.

- Εκθετική Κατανομή (Exponential Distribution)

Θεωρείται από τις απλούστερες αλλά και πολύ χρήσιμες κατανομές της στατιστικής. Χρησιμοποιείται για την περιγραφή υδρολογικών μεταβλητών σε μικρή χρονική κλίμακα, όπως π.χ. των ωριαίων ή ημερήσιων υψών βροχής. Από ένα θεώρημα της θεωρίας πιθανοτήτων προκύπτει ότι οι αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών τυχαίων σημείων στο χρόνο ακολουθούν εκθετική κατανομή. Αυτό το θεώρημα έχει συχνή εφαρμογή στην τεχνική υδρολογία, όπου οι χρόνοι που μεσολαβούν ανάμεσα στις εμφανίσεις διαδοχικών επεισοδίων βροχής ακολουθούν εκθετική κατανομή. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μιας εκθετικής κατανομής είναι :

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (3.17)$$

όπου, $x \geq 0$ και $\lambda > 0$ είναι η παράμετρος της κατανομής συχνά καλούμενη ως παράμετρος ρυθμού. Η κατανομή ορίζεται στο διάστημα $[0, \infty]$.

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής δίνεται από τη σχέση :

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (3.18)$$

με $x \geq 0$.

- Κατανομή Γάμμα (Gamma Distribution)

Από τις πιο διαδεδομένες κατανομές της τεχνικής υδρολογίας. Όπως και η λογαριθμική κατανομή δύο παραμέτρων είναι θετικά ασύμμετρη και ορίζεται μόνο για θετικές τιμές της μεταβλητής. Οι ιδιότητες αυτές την κάνουν συμβατή με τις πιο χαρακτηριστικές υδρολογικές μεταβλητές, όπως μηνιαίες και ετήσιες παροχές ή βροχές. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μιας κατανομής Γάμμα είναι :

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)} \quad (3.19)$$

όπου, $x \geq 0$, $\Gamma(\alpha)$ είναι η πλήρης συνάρτηση Γάμμα, $\beta > 0$ είναι παράμετρος κλίμακας και $\alpha > 0$ είναι παράμετρος σχήματος .

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της δίνεται από τη σχέση :

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx \quad (3.20)$$

- Κατανομή Pearson τύπου III (Pearson III Distribution)

Με την προσθήκη μιας παραμέτρου θέσης στην κατανομή Γάμμα δύο παραμέτρων, παίρνουμε την κατανομή Γάμμα τριών παραμέτρων, πιο γνωστή ως κατανομή Pearson τύπου III.

Η παράμετρος θέσης c , η οποία αποτελεί και το κάτω όριο της μεταβλητής επιτρέπει την καλύτερη προσαρμογή της κατανομής στα δεδομένα. Οι ιδιότητες της κατανομής είναι παρόμοιες με αυτές της κατανομής Γάμμα δύο παραμέτρων, καθώς επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι προσεγγίσεις της. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μιας κατανομής Pearson III είναι :

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha (x - c)^{\alpha-1} e^{-\beta(x-c)}}{\Gamma(\alpha)} \quad (3.21)$$

όπου, $x \geq 0$, $\Gamma(\alpha)$ είναι η πλήρης συνάρτηση Γάμμα, $\beta > 0$ είναι παράμετρος κλίμακας και $\alpha > 0$ είναι παράμετρος σχήματος και c είναι παράμετρος θέσης. [27]

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της δίνεται από τη σχέση :

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx \quad (3.22)$$

viii. Κατανομή Log – Pearson III (Log – Pearson Distribution)

Η κατανομή Log-Pearson III προκύπτει από την κατανομή Pearson III και το μετασχηματισμό

$$y = \ln x \leftrightarrow x = e^y \quad (3.23)$$

Έτσι, λέμε ότι η μεταβλητή x ακολουθεί κατανομή Log-Pearson III, αν η y ακολουθεί κατανομή Pearson III. Ο γενικός τύπος για τη συνάρτηση πυκνότητας-πιθανότητας δίνεται από τη σχέση :

$$f(x) = \frac{1}{\beta * x * \Gamma(\alpha)} \left(\frac{\ln x - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-\frac{\ln x - \gamma}{\beta}} \quad (3.24)$$

όπου, α, β, γ οι παράμετροι της Log-Pearson III και $\Gamma(\alpha)$ η συνάρτηση της κατανομής Γάμμα για τη παράμετρο α . **[28]**

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της δίνεται από τη σχέση :

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx \quad (3.25)$$

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι πίνακες (3.1 και 3.2) με κάποιες από τις παραπάνω κατανομές που κατηγοριοποιούνται σε διακριτές και συνεχείς, με τα βασικά τους χαρακτηριστικά.

| κατανομή | συνάρτηση πιθανότητας | παράμετροι | μέση τιμή | διακύμανση |
|--------------------|--|---------------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Bernoulli | $p(1-p)$ | $p \in (0, 1)$ | p | $p(1-p)$ |
| Διωνυμική | $\binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$ | $p \in (0, 1), n \in \mathbb{N}$ | np | $np(1-p)$ |
| Αρνητική διωνυμική | $\binom{r+k-1}{r-1} p^r (1-p)^k$ | $p \in (0, 1), r \in \mathbb{N}$ | $r \frac{p}{1-p}$ | $r \frac{1-p}{p^2}$ |
| Γεωμετρική | $p(1-p)^{n-1}$ | $p \in (0, 1)$ | $\frac{1}{p}$ | $\frac{1-p}{p^2}$ |
| Υπεργεωμετρική | $\frac{\binom{K}{k} \binom{N-K}{n-k}}{\binom{N}{n}}$ | $n, N, K \in \mathbb{N}, n, K \leq N$ | $\frac{nK}{N}$ | $\frac{nK(N-K)(N-n)}{N^2(N-1)}$ |
| Poisson | $\frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$ | $\lambda \in \mathbb{R}_+$ | λ | λ |

Πίνακας 3.1. Διακριτές κατανομές [29]

| κατανομή | συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας | παράμετροι | μέση τιμή | διακύμανση |
|------------|--|---|---|---|
| Ομοιόμορφη | $\frac{1}{b-a} I_{[a,b]}(x)$ | $a, b \in \mathbb{R}, a < b$ | $\frac{a+b}{2}$ | $\frac{(b-a)^2}{12}$ |
| Κανονική | $\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ | $\mu \in \mathbb{R}, \sigma \in \mathbb{R}_+^*$ | μ | σ^2 |
| Εκθετική | $\lambda e^{-\lambda x}$ | $\lambda > 0$ | $\frac{1}{\lambda}$ | $\frac{1}{\lambda^2}$ |
| Γάμμα | $\frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\beta x}$ | $\alpha, \beta > 0$ | $\frac{\alpha}{\beta}$ | $\frac{\alpha}{\beta^2}$ |
| Βήτα | $\frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} I_{(0,1)}(x)$ | $\alpha, \beta > 0$ | $\frac{\alpha}{\alpha+\beta}$ | $\frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2(\alpha+\beta+1)}$ |
| Cauchy | $\left(\pi\beta \left(1 + \left(\frac{x-a}{\beta} \right)^2 \right) \right)^{-1}$ | $\alpha \in \mathbb{R}, \beta > 0$ | δεν υπάρχει | δεν υπάρχει |
| Weibull | $\frac{c}{\alpha} x^{c-1} e^{-\frac{x^c}{\alpha}}$ | $\alpha, c > 0$ | $\alpha^{\frac{1}{c}} \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)$ | $\alpha^{\frac{2}{c}} \left(\Gamma\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)^2 \right)$ |

Πίνακας 3.2. Συνεχείς κατανομές [29]

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε η κατανομή Gumbel. Μέσω της χρήσης της Matlab, σχεδιάστηκαν οι κατανομές Gumbel (οι οποίες παρατίθενται στο Παράρτημα Β) για τα ετήσια βροχομετρικά δεδομένα που αντιστοιχούν στα έτη 2007-2018, κάθε νομού της Κρήτης, της Ανατολικής και της Δυτικής Κρήτης καθώς και συνολικά όλης της Κρήτης. Ακολούθησαν τα παρακάτω βήματα προσαρμογής της κατανομής (μέθοδος ροπών) :

- 1) Υπολογίστηκαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων (μέση τιμή, τυπική απόκλιση).
- 2) Υπολογίστηκαν οι παράμετροι α και c , όπου $\rightarrow \alpha = 1,282/\sigma$ και $c = \mu - 0.45\sigma$.
- 3) Τα δείγματα κατατάχθηκαν σε φθίνουσα σειρά και αριθμήθηκαν οι παρατηρήσεις.
- 4) Προσδιορίστηκαν οι περίοδοι επαναφοράς από τον τύπο του Weibull :

$$T = \frac{(N + 1)}{m} \quad (3.26)$$

- 5) Υπολογίστηκαν οι πιθανότητες μη υπέρβασης :

$$F = 1 - \frac{1}{T} \quad (3.27)$$

- 6) Εύρεση για κάθε $F = 1 - 1/T$ της τιμής του x , απευθείας τον τύπο της θεωρητικής κατανομής Gumbel.

$$X = \mu - \sigma \{0,45 + 0,7797 \ln[\ln(T) - \ln(T - 1)]\} \quad (3.28)$$

όπου,

X : η ένταση της βροχόπτωσης (mm),

μ : η μέση τιμή που προέκυψε από την επεξεργασία δεδομένων στη Matlab

σ : η τυπική απόκλιση που προέκυψε από την επεξεργασία δεδομένων στη Matlab.

Περίοδος επαναφοράς T μιας δεδομένης τιμής x της τυχαίας μεταβλητής X , είναι ο μέσος αριθμός χρονικών διαστημάτων (εν προκειμένου υδρολογικών ετών) που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών εμφανίσεων της τυχαίας μεταβλητής με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο της δεδομένης τιμής x . Για συνεχείς και στατιστικά ανεξάρτητες μεταβλητές, η περίοδος επαναφοράς είναι το αντίστροφο της πιθανότητας υπέρβασης. [27]

$$- \text{ Πιθανότητα υπέρβασης σε ένα έτος : } F_1 = \frac{1}{T} \quad (3.29)$$

$$- \text{ Πιθανότητα μη υπέρβασης σε ένα έτος : } F = 1 - F_1 = 1 - \frac{1}{T} \quad (3.30)$$

$$- \text{ Πιθανότητα μη υπέρβασης σε } n \text{ έτη : } F' = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (3.31)$$

3.4. Στατιστικός Έλεγχος Υποθέσεων (Statistical Hypothesis Testing)

Ο στατιστικός έλεγχος υποθέσεων (hypothesis testing), είναι μια συμπερασματική διαδικασία/μέθοδος που προσφέρει η Στατιστική Συμπερασματολογία και βρίσκει εφαρμογή σε στοχαστικά προβλήματα απόφασης μεταξύ δύο εναλλακτικών υποθέσεων. Η μια υπόθεση έχει επικρατήσει να συμβολίζεται με H_0 και ονομάζεται *μηδενική υπόθεση (null hypothesis)*, ενώ η άλλη με H_1 και ονομάζεται *εναλλακτική υπόθεση (alternative hypothesis)*. Αναγκαία προϋπόθεση για τη σωστή εφαρμογή των στατιστικών ελέγχων και κυρίως για τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους, είναι η κατανόηση της λογικής και του νοήματος τους.

Η γενική ιδέα της διαδικασίας στατιστικού ελέγχου υποθέσεων είναι η εξής. Θέτουμε ως μηδενική υπόθεση (H_0) αυτή για την οποία αμφιβάλουμε, αυτή δηλαδή που αμφισβητείται και εξετάζουμε αν ένα τυχαίο δείγμα που παίρνουμε από τον πληθυσμό συνηγορεί – δίνει αποδείξεις υπέρ της απόρριψής της, έναντι δηλαδή της εναλλακτικής (H_1). Έτσι, η H_0 , απορρίπτεται ή δεν απορρίπτεται με βάση το τι παρατηρείται στο τυχαίο δείγμα που πήραμε από τον πληθυσμό. Πιο συγκεκριμένα, υποθέτοντας ότι η H_0 είναι αληθής, αν αυτό που παρατηρείται στο δείγμα είναι ακραίο, δηλαδή, αν έχει πολύ μικρή πιθανότητα να συμβεί, τότε απορρίπτουμε την H_0 . Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή, αν αυτό που παρατηρείται στο δείγμα δεν είναι ακραίο – σπάνιο (όταν είναι αληθής η H_0) τότε το δείγμα που πήραμε δε μας δίνει αρκετές ενδείξεις για την απόρριψη της H_0 και «αποτυγχάνουμε να την απορρίψουμε».

Πιο συγκεκριμένα, με την υπόθεση ότι η H_0 είναι αληθής, αν κρίνουμε ότι αυτό που παρατηρείται στο τυχαίο δείγμα είναι ακραίο και την απορρίψουμε, τότε ακριβώς ένα από τα παρακάτω μπορεί να συνέβη :

(α) είτε η H_0 πράγματι δεν είναι αληθής, οπότε αποφασίσαμε σωστά,

(β) είτε η H_0 είναι αληθής και το ακραίο οφείλεται στην τύχη, δηλαδή, συνέβη κάτι σπάνιο (εμφανίσθηκε ένα δείγμα που σπάνια εμφανίζεται). Στην περίπτωση αυτή, απορρίψαμε λανθασμένα την H_0 . Αυτό το σφάλμα ονομάζεται *σφάλμα τύπου I (type I error)*.

Ανάλογα, είναι δυνατόν, λανθασμένα να μην απορρίψουμε την H_0 . Δηλαδή, να αποτύχουμε να απορρίψουμε την H_0 , ενώ είναι αληθής η H_1 . Αυτό το σφάλμα ονομάζεται *σφάλμα τύπου II (type II error)*.

Στη συνέχεια, ορίζουμε ένα μέγιστο ανεκτό μέγεθος σφάλματος τύπου I και με βάση αυτό υπολογίζουμε την τιμή της c . Η σταθερά c ονομάζεται *κρίσιμη τιμή* ή *όριο απόρριψης (critical value, rejection limit)* γιατί με βάση αυτή κρίνεται αν μια τιμή της στατιστικής συνάρτησης, T , είναι ακραία ή όχι. Ανάλογα, η στατιστική συνάρτηση T , ονομάζεται *στατιστική συνάρτηση ελέγχου (test statistic)* και οι τιμές της, για τις οποίες απορρίπτεται η H_0 ορίζουν την *κρίσιμη περιοχή* ή *περιοχή απόρριψης (critical region, rejection region)*. Όταν απορρίπτεται η H_0 , το δείγμα χαρακτηρίζεται στατιστικά

σημαντικό (*statistically significant*) και έχει την έννοια ότι διαφέρει σημαντικά από αυτό που αναμενόταν από την H_0 .

Το ανεκτό επίπεδο σφάλματος τύπου I που προκαθορίσαμε, συμβολίζεται με α και ονομάζεται *επίπεδο σημαντικότητας* (*significant level*) του ελέγχου (γιατί από αυτό προκύπτει η τιμή της c που ορίζει αν αυτό που παρατηρείται στο δείγμα είναι σημαντικό – σημαντική απόδειξη για να υποστηρίξει την απόρριψη της H_0). Συνήθως το επίπεδο σημαντικότητας, α , ορίζεται ίσο με 0.01 ή 0.05. Αυτό σημαίνει, ότι για επίπεδο σημαντικότητας 0.01 έχουμε διάστημα εμπιστοσύνης 99%, ενώ για διάστημα σημαντικότητας 0.05 έχουμε διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Τονίζεται ότι θέτοντας μικρότερο επίπεδο σημαντικότητας, απαιτούμε πιο «σημαντικές αποδείξεις» για την απόρριψη της H_0 και τον χαρακτηρισμό των ευρημάτων στο δείγμα ως στατιστικά σημαντικών. Έτσι, μπορεί σε κάποιο επίπεδο σημαντικότητας π.χ. 0.05 να απορρίπτουμε την H_0 και σε κάποιο μικρότερο π.χ. 0.01, να μην την απορρίπτουμε γιατί απαιτούμε σημαντικότερες αποδείξεις. Όσο πιο μικρό είναι το επίπεδο σημαντικότητας στο οποίο μπορούμε να απορρίψουμε την H_0 , τόσο πιο σημαντική είναι η τιμή της στατιστικής συνάρτησης ελέγχου που παρατηρείται στο δείγμα, με την έννοια ότι δίνει πιο ισχυρές αποδείξεις εναντίον της H_0 . Άρα, όσο πιο μικρό είναι το επίπεδο σημαντικότητας στο οποίο μπορούμε να απορρίψουμε την H_0 , τόσο πιο σημαντικό, στατιστικά, είναι το αποτέλεσμα του ελέγχου. Τέλος είναι προφανές, ότι αν η H_0 απορρίπτεται σε κάποιο επίπεδο σημαντικότητας α , τότε επίσης απορρίπτεται σε οποιοδήποτε μεγαλύτερο, ενώ αν δεν απορρίπτεται σε κάποιο επίπεδο σημαντικότητας α , τότε επίσης δεν απορρίπτεται σε οποιοδήποτε μικρότερο. [30]

Η *τιμή σημαντικότητας* (*p-value*), είναι η πιθανότητα η στατιστική συνάρτηση να λάβει τιμή μεγαλύτερη από αυτήν ή κάποια “πιο ακραία τιμή”, προς την κατεύθυνση της H_1 , δεδομένου ότι η H_0 είναι αληθής. Έτσι υπολογίζοντας την *p-value* του δείγματος, γνωρίζουμε πόσο πιθανή ήταν η εμφάνιση του δείγματος που πήραμε με την υπόθεση ότι η H_0 είναι αληθής. Επομένως, όσο πιο μικρή είναι η *p-value* τόσο ισχυρότερες ενδείξεις εναντίον της H_0 προκύπτουν από το συγκεκριμένο τυχαίο δείγμα ή αλλιώς τόσο πιο σημαντική είναι η τιμή της στατιστικής συνάρτησης ελέγχου που δίνει το δείγμα.

3.4.1. Στατιστικός Έλεγχος t-test

Ο στατιστικός έλεγχος *t-test*, είναι οποιαδήποτε στατιστική δοκιμασία υποθέσεων, η οποία χρησιμοποιείται για ποσοτικά δεδομένα, όταν θέλουμε να συγκρίνουμε δύο μέσες τιμές, που προέρχονται από δύο ανεξάρτητους πληθυσμούς (ομάδες). Ένα *t-test*, δείχνει πόσο σημαντικές είναι οι διαφορές μεταξύ των ομάδων. Με άλλα λόγια, ενημερώνει εάν αυτές οι διαφορές (μετρούμενες σε μέσους όρους), θα μπορούσαν να συμβούν τυχαία.

Στη στατιστική, το *t-statistic* είναι η αναλογία της απόκλισης της εκτιμώμενης τιμής μιας παραμέτρου, από την υποτιθέμενη αξία στο τυπικό σφάλμα. Χρησιμοποιείται στη δοκιμή υποθέσεων μέσω του *t-test*. Σε μια γραμμική παλινδρόμηση, το *t-statistic* είναι χρήσιμο για την διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τους συντελεστές παλινδρόμησης. Ο έλεγχος υποθέσεων που πραγματοποιείται στη συγκεκριμένη έρευνα, εξετάζει τη κλίση της γραμμικής παλινδρόμησης του μοντέλου :

$$Y = \alpha + \beta x \quad (3.31)$$

όπου, το x αντιστοιχεί στις βροχοπτώσεις της Κρήτης που εξετάζουμε, α και β είναι άγνωστοι και Y είναι το αποτέλεσμα για το οποίο ενδιαφερόμαστε. Αυτό που θέλουμε, είναι να εξετάσουμε τη μηδενική υπόθεση H_0 , για την οποία η κλίση β ισούται με μια καθορισμένη τιμή β_0 (συνήθως θεωρείται ότι είναι ίση με το μηδέν, οπότε η μηδενική υπόθεση είναι ότι τα x και Y δεν συνδέονται). Η σχέση του ελέγχου t-statistic δίνεται ως εξής :

$$t = \frac{\hat{\beta} - \beta_0}{SE_{\hat{\beta}}} \quad (3.32)$$

Και $SE_{\hat{\beta}}$ αντιστοιχεί στο τυπικό σφάλμα του εκτιμώμενου συντελεστή $\hat{\beta}$. [31]

3.4.2. Έλεγχος Mann – Kendall (Mann – Kendall Test)

Ο πιο κατάλληλος και διαδεδομένος στατιστικός έλεγχος σχετικά με τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών σε κλιματολογικές χρονοσειρές ή με τη διερεύνηση μιας κλιματικής ασυνέχειας, είναι ο έλεγχος Mann-Kendall. Ο μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall, χρησιμοποιείται συνήθως για την ανίχνευση μονοτονικών τάσεων σε σειρά περιβαλλοντικών δεδομένων, κλιματικών δεδομένων ή υδρολογικών δεδομένων. Εφαρμόζεται όταν υπάρχει η πεποίθηση ότι τα δεδομένα μπορεί να αποτελούν χρονολογική σειρά με τάση αύξουσα ή φθίνουσα. Είναι μια διαδικασία βασισμένη στην τάξη, δεν επηρεάζεται από τυχόν ακραίες τιμές και λανθασμένα δεδομένα και δεν υπάρχει η ανάγκη κανονικής κατανομής των δεδομένων [Yu et al., 1993]. Ο έλεγχος Mann-Kendall επιβεβαιώνει μια αυξανόμενη τάση όταν οι τιμές που καταγράφονται χρονικά, παρουσιάζουν αύξηση σε σχέση με τις προηγούμενες καταγεγραμμένες. Αν από την άλλη, παρουσιάζουν μείωση ανά τον χρόνο, τότε επιβεβαιώνει πτωτική τάση.

Ο έλεγχος γίνεται μεταξύ της ισχύς της μηδενικής υπόθεσης H_0 και της εναλλακτικής της H_1 . Η στατιστική συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο υποθέσεων εξαρτάται από το πλήθος των δεδομένων και από την τυχόν έντονη αλληλεξάρτηση τους (δηλαδή πολύ κοντινές τιμές). [32] Το Mann-Kendall S , είναι το άθροισμα της διαφοράς μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών και υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση :

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (3.33)$$

όπου, το x_j είναι η παρατηρούμενη τιμή της χρονική στιγμή j , και το x_k είναι η παρατηρούμενη τιμή την χρονική στιγμή k . Χρονικά η στιγμή j έπεται της k και η τιμή n αντιστοιχεί στο μήκος του συνόλου των δεδομένων.

Η τελική τιμή S , είναι ίση με το καθαρό αποτέλεσμα αυτών των αυξήσεων και μειώσεων. Εάν είναι θετικός αριθμός, οι παρατηρήσεις που λαμβάνονται αργότερα στο χρόνο τείνουν να είναι μεγαλύτερες από τις παρατηρήσεις που έγιναν νωρίτερα. Αν είναι αρνητικός αριθμός, τότε οι παρατηρήσεις που γίνονται αργότερα με τη πάροδο του χρόνου τείνουν να είναι μικρότερες από αυτές που έγιναν νωρίτερα. [33]

Το πρόσημο της τιμής S , προσδιορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση :

$$\operatorname{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3.34)$$

Η στατιστική σημαντικότητα είναι θεμελιώδης για την δοκιμή στατιστικής υπόθεσης. Σε κάθε πείραμα ή παρατήρηση που περιλαμβάνει τη σύνταξη ενός δείγματος από έναν πληθυσμό, υπάρχει πάντα η πιθανότητα το παρατηρούμενο αποτέλεσμα να προέκυπτε καθαρά από σφάλμα δειγματοληψίας. Όταν όμως η τιμή σημαντικότητας είναι μικρότερη του επιπέδου σημαντικότητας, τότε προκύπτει το αποτέλεσμα ότι η παρατηρούμενη επίδραση αντανακλά στην πραγματικότητα τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού και όχι μόνο δειγματοληπτικό σφάλμα. Έτσι μπορεί να αναφερθεί ότι το αποτέλεσμα επιτυγχάνει στατιστική σημαντικότητα. [34]

Με τη χρήση της Matlab για τα βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών της Κρήτης, εκτελείται ο μη-παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall της μηδενικής υπόθεσης (H_0) απουσίας τάσης στις χρονοσειρές, έναντι της εναλλακτικής υπόθεσης (H_1) της τάσης. Το αποτέλεσμα της δοκιμής επιστρέφεται με $H=1$, όταν η τιμή σημαντικότητας (p -value) προκύπτει μικρότερη του επιπέδου σημαντικότητας α που έχουμε θέσει (0,01 ή 0,05), δηλώνοντας έτσι την απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης και κατ' επέκταση την εύρεση τάσης στην χρονοσειρά στο συγκεκριμένο επίπεδο σημαντικότητας. Όταν είναι μεγαλύτερη επιστρέφεται $H=0$, που σημαίνει ότι δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση, δηλαδή δεν ανιχνεύεται καμία τάση. [35]

3.5. Σημαντικά Έτη (Significant Years)

Το έτος εκείνο το οποίο παρουσιάζει την πιο «χαρακτηριστική συμπεριφορά» ως προς τη βροχόπτωση σε σχέση με τα άλλα έτη με τα οποία συγκρίνεται, δηλαδή το έτος εκείνο με τις λιγότερες βροχομετρικές διακυμάνσεις και ακραίες τιμές, το ονομάζουμε ως *σημαντικό έτος* (*significant year*). Μπορούμε έτσι να περιγράψουμε ένα έτος, το οποίο παρουσιάζει μια ομαλή αυξομείωση της βροχόπτωσης ανά το χρόνο, κυμαινόμενη όμως σε ασφαλή όρια, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος πλημμύρας, ξηρασίας, λειψυδρίας κ.α.

Για να βρεθεί το σημαντικό έτος για κάθε νομό της Κρήτης, για την ανατολική και δυτική Κρήτη, καθώς και για το σύνολο της, από τις χρονοσειρές για τις οποίες έχουμε δεδομένα, έγινε χρήση της εφαρμογής λογισμικού Matlab, χρησιμοποιώντας τα μέσα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών. Επίσης, με την ίδια μέθοδο και για τα ίδια δεδομένα, έγινε έλεγχος ώστε να βρεθεί το έτος που παρουσίασε τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις και τις πιο ακραίες τιμές ως προς την βροχόπτωση.

3.6. Θεματική Χαρτογραφία (Thematic Cartography)

Η μετάδοση της πληροφορίας είναι μια διαδικασία που συναντιέται σε πάρα πολλές καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου. Όταν η πληροφορία περιλαμβάνει δεδομένα, τα οποία είναι συνδεδεμένα άμεσα ή έμμεσα με κάποιο τόπο, ένας εύκολα κατανοητός τρόπος μετάδοσής της, είναι ο συσχετισμός με το γεωγραφικό χώρο που εμφανίζεται. Μια μορφή συσχετισμού είναι και η απεικόνιση των δεδομένων σε συνδυασμό με την απεικόνιση του γεωγραφικού χώρου που αναφέρονται.

Η τεχνική που έχει σκοπό τη μετάδοση πληροφοριών σε σχέση με το γεωγραφικό χώρο που εμφανίζονται, είναι η *θεματική χαρτογραφία (thematic cartography)*. Το κύριο αντικείμενο της θεματικής χαρτογραφίας είναι η γραφική απεικόνιση και ειδικότερα η χαρτογραφική αναπαράσταση με κατάλληλες τεχνικές, φαινομένων που έχουν κατανομή στο γεωγραφικό χώρο, είτε αυτός είναι φυσικός είτε ο ανθρωπογενής. Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να είναι καταγεγραμμένα μέσω ποιοτικών ή (κυρίως) ποσοτικών χαρακτηριστικών και μεγεθών.

Είναι φανερό ότι όλα αυτά τα δεδομένα χρειάζονται κατ' αρχή συλλογή, μετά ειδική επεξεργασία για να πάρουν τη κατάλληλη μορφή για απεικόνιση και τέλος απόδοση σε σχέση με την γεωγραφική τους θέση, όπου πραγματοποιείται η σύνταξη του χάρτη. [36][37]

Τα σημαντικότερα θέματα που περιλαμβάνει το γνωστικό αντικείμενο της θεματικής χαρτογραφίας είναι :

1. Η οπτικοποίηση δεδομένων και φαινομένων που κατανέμονται στον γεωγραφικό χώρο
2. Η χωρική δειγματοληψία και η βασική στατιστική επεξεργασία
3. Η ομαδοποίηση ποσοτικών δεδομένων
4. Η σωστή χρήση του χρώματος μέσα από τη χρωματική θεωρία και τα σχετικά μοντέλα χρωμάτων
5. Ο χαρτογραφικός σχεδιασμός και η απόδοση με διάφορους συμβολισμούς (π.χ. σημειακά, γραμμικά και επιφανειακά σύμβολα)
6. Η ισαριθμική (ή ισοπληθής) απεικόνιση
7. Η χωροπληθής (ή δασυμετρική) απεικόνιση
8. Οι χάρτες κουκίδων και τα χαρτογράμματα
9. Οι τοπολογικές και εστιακές/πολυεστιακές απεικονίσεις
10. Η πολυμεταβλητή και δυναμική χαρτογραφική απόδοση

3.6.1. Ομαδοποίηση Δεδομένων (Data Clustering)

Οι διάφορες μέθοδοι ομαδοποίησης δεδομένων αποτελούν τρόπους ταξινόμησης ενός συνόλου αριθμητικών δεδομένων σε ένα πεπερασμένο αριθμό ομάδων, οι οποίες περιέχουν αριθμό παρατηρήσεων όσο το δυνατόν περισσότερο «γεωγραφικά» ισοδύναμο. Η οργάνωση των δεδομένων σε ομάδες ανάλογα με τις ιδιότητές τους είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, κυρίως όταν έχουμε να κάνουμε με πολυάριθμες οντότητες.

Σε ορισμένες περιπτώσεις τα όρια των ομάδων των δεδομένων πρέπει να συμπίπτουν με τιμές των φαινομένων που προέρχονται από εξωγενείς παράγοντες της διαδικασίας της απεικόνισης (κρίσιμες τιμές). Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται από το χαρακτήρα του απεικονιζόμενου γεωγραφικού φαινομένου. Γενικότερα, το πρόβλημα της ομαδοποίησης εστιάζεται στην ταξινόμηση ενός συνόλου δεδομένων σε διακριτές ομάδες ανάλογα με την κατανομή που εμφανίζουν οι τιμές των δεδομένων. Κατά τη διαδικασία της ομαδοποίησης πρέπει να ταξινομούνται τα δεδομένα με τρόπο τέτοιο, ώστε οι τιμές τους να παρουσιάζουν ομοιογένεια μέσα στις ομάδες και σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων. Οι τιμές ομαδοποιούνται στις ομάδες προκειμένου να απλοποιηθούν τα αρχικά δεδομένα και να μπορούν να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτά από τους χρήστες.

Η ομαδοποίηση των αριθμητικών δεδομένων για την κατασκευή ενός χωροπληθής χάρτη αρχίζει με τον προσδιορισμό του αριθμού των ομάδων. Ο αριθμός των ομάδων εξαρτάται στενά από το όριο διαφοροποίησης της οπτικής μεταβλητής των συμβόλων που υλοποιούν την οπτικοποίηση των ομάδων. Στους χωροπληθείς χάρτες η χρησιμοποιούμενη οπτική μεταβλητή είναι η ένταση μιας απόχρωσης. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο ομαδοποίησης ο αριθμός των ομάδων, έχει τυποποιηθεί αφού ύστερα από μελέτες διαπιστώθηκε, ότι το ανθρώπινο μάτι, λόγω της οπτικής αντίληψης μπορεί να διαβάζει αποτελεσματικά από το χάρτη πέντε έως το πολύ οκτώ διαφορετικούς τόνους του γκρι ή εντάσεις μιας απόχρωσης ανάλογα με το μέσο απόδοσης (π.χ. εκτυπωτή ψεκασμού μελάνης ή μονάδα εκτύπωσης τετραχρωμίας). Στην πράξη, χρησιμοποιούνται συνήθως τέσσερις έως το πολύ έξι ομάδες, για την καλύτερη διαχείριση των συμβόλων που επιλέγονται, αλλά και για τη βελτίωση της αναγνωσιμότητας των παραγόμενων χαρτών.

Παρά το γεγονός ότι έχει αναπτυχθεί μεγάλος αριθμός μεθόδων ομαδοποίησης δεδομένων, δεν είναι εύκολο να χαρακτηριστεί μια από αυτές ως η «καλύτερη». Δεν υπάρχει μια μέθοδος που να μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα πιθανά σύνολα δεδομένων, ανεξάρτητα του τρόπου που κατανέμονται οι τιμές τους. Αντίθετα, κάθε φορά χρειάζεται να γίνεται ανάλυση των δεδομένων με στόχο να προσδιοριστεί η «βέλτιστη» μέθοδος για την ομαδοποίηση του συγκεκριμένου συνόλου δεδομένων. Για την επιλογή της καλύτερης μεθόδου ομαδοποίησης λαμβάνεται υπόψη η οπτική απλότητα και καλή οργάνωση του χάρτη αλλά και το πώς κατανέμονται τα δεδομένα στις ομάδες.

Οι πιο συνήθεις μέθοδοι ομαδοποίησης δεδομένων, κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, οι οποίες αναλύονται παρακάτω :

- Μέθοδοι σταθερών τιμών ή ίσων διαστημάτων,
- Μέθοδοι συστηματικά άνισων διαστημάτων,
- Μέθοδοι ακανόνιστων ή μεταβαλλόμενων διαστημάτων.

Μέθοδοι σταθερών τιμών ή ίσων διαστημάτων

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τέσσερις μέθοδοι για την ομαδοποίηση αριθμητικών δεδομένων.

1. Μέθοδος ίσων αριθμητικών διαστημάτων

Το διάστημα μεταξύ της μικρότερης και μεγαλύτερης τιμής των αριθμητικών δεδομένων υποδιαιρείται σε τμήματα ίσου εύρους, ανάλογα με τον αριθμό των ομάδων. Είναι η πιο απλή μέθοδος ομαδοποίησης αριθμητικών δεδομένων τόσο στο στάδιο της εφαρμογής αλλά και στο στάδιο της ερμηνείας. Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για δεδομένα που εμφανίζουν ομοιόμορφη κατανομή. Τα όρια των διαστημάτων προσδιορίζονται από αριθμητικές προόδους με βάση τη σχέση :

$$\alpha_n = \alpha_1 + (n - 1)\omega \quad (3.35)$$

όπου α : τα όρια των διαστημάτων, n : ο αριθμός των ομάδων και ω : το εύρος των διαστημάτων.

2. Μέθοδος παραμέτρων κανονικής κατανομής

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στις παραμέτρους της κανονικής κατανομής. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των αριθμητικών δεδομένων χρησιμοποιείται για τον ορισμό των ορίων των διαστημάτων της ομαδοποίησης. Η μέθοδος των παραμέτρων κανονικής κατανομής είναι κατάλληλη για δεδομένα που εμφανίζουν κανονική κατανομή.

3. Μέθοδος κανονικής τμηματοποίησης (quantiles)

Με τη μέθοδο αυτή το σύνολο των παρατηρήσεων των αριθμητικών δεδομένων ταξινομείται κατά αύξουσα ή φθίνουσα σειρά και στη συνέχεια υποδιαιρείται σε τμήματα με ίσο αριθμό παρατηρήσεων το καθένα. Η μέθοδος της κανονικής τμηματοποίησης είναι κατάλληλη για δεδομένα που αναφέρονται σε ισοδύναμες επιφάνειες ή για δεδομένα που διαφοροποιούνται ως προς την κλίμακα τάξης. Η μέθοδος είναι ακατάλληλη για αριθμητικά δεδομένα που αναφέρονται σε επιφάνειες των οποίων το εμβαδόν διαφοροποιείται σημαντικά.

4. Μέθοδος ίσων διαστημάτων εμβαδού

Παραλλαγή της μεθόδου των ίσων αριθμητικών διαστημάτων με χρήση του εμβαδού των επιφανειών στις οποίες αναφέρονται τα δεδομένα ως βάρος για την ταξινόμηση. Με τη μέθοδο αυτή ταξινομούνται τα αριθμητικά δεδομένα κατά αύξουσα ή φθίνουσα σειρά και προσδιορίζονται τα όρια των διαστημάτων με τρόπο που να περιλαμβάνουν ισοδύναμες ως προς το εμβαδόν παρατηρήσεις. Ο προσδιορισμός των ορίων των διαστημάτων μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του αθροιστικού διαγράμματος του εμβαδού.

Μέθοδοι συστηματικά άνισων διαστημάτων

Οι μέθοδοι των συστηματικά άνισων διαστημάτων βασίζονται στην εφαρμογή αναγωγικών σχέσεων ακολουθιών ή γεωμετρικών προόδων για τον προσδιορισμό των ορίων τους. Η εφαρμογή τους μπορεί αν γίνει με τους ακόλουθους συνδυασμούς:

- Αύξουσες με σταθερό ρυθμό
- Αύξουσες με αυξανόμενο ρυθμό
- Αύξουσες με φθίνοντα ρυθμό
- Φθίνουσες με σταθερό ρυθμό
- Φθίνουσες με αυξανόμενο ρυθμό
- Φθίνουσες με φθίνοντα ρυθμό

Στις περιπτώσεις που τα αριθμητικά δεδομένα εμφανίζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις τα όρια των διαστημάτων προσδιορίζονται από αναγωγικές σχέσεις ακολουθιών :

$$a_n = a_{n-1} + (n - 1)\omega \quad (3.36)$$

όπου a_i : τα όρια των διαστημάτων, n : ο αριθμός των ομάδων και ω : ο συντελεστής μεταβολής του εύρους των διαστημάτων.

Στις περιπτώσεις που τα αριθμητικά δεδομένα εμφανίζουν πολύ μεγάλες διαφοροποιήσεις, τα όρια των διαστημάτων προσδιορίζονται από γεωμετρικές προόδους με βάση τη σχέση :

$$b_n = b_1\omega^{n-1} \quad (3.37)$$

Όπου b_i : τα όρια των διαστημάτων, n : ο αριθμός των ομάδων και ω : ο συντελεστής μεταβολής του εύρους των διαστημάτων.

Μέθοδοι ακανόνιστων ή μεταβαλλόμενων διαστημάτων

Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, τα όρια των διαστημάτων προσδιορίζονται με τη βοήθεια των γραφικών τεχνικών ενώ στη δεύτερη με επαναληπτικές τεχνικές.

1. Γραφικές τεχνικές ομαδοποίησης

Οι γραφικές τεχνικές στηρίζονται στην αξιοποίηση τεσσάρων διαγραμμάτων στατιστικής προέλευσης, με τη βοήθεια των οποίων προσδιορίζονται τα όρια των διαστημάτων. Τα χρησιμοποιούμενα διαγράμματα είναι :

- Το ιστόγραμμα : Στο διάγραμμα αυτό οι παρατηρήσεις απεικονίζονται στον άξονα x και οι τιμές τους στον άξονα y .
- Η κλινογραφική καμπύλη : Στην καμπύλη αυτή απεικονίζεται το σύνολο των παρατηρήσεων στον άξονα x και οι αθροιστικές τιμές τους στον άξονα y . Κρίσιμα σημεία την κλινογραφικής καμπύλης είναι εκείνα στα οποία εμφανίζονται απότομες αλλαγές της κλίσης της. Τα κρίσιμα αυτά σημεία λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό των ορίων των διαστημάτων.
- Το διάγραμμα συχνοτήτων : Στον άξονα x απεικονίζονται ομαδοποιημένες οι τιμές των αριθμητικών δεδομένων ενώ στον άξονα y οι συχνότητες που εμφανίζουν οι αντίστοιχες ομαδοποιημένες τιμές. Το διάγραμμα αυτό αναπαριστά με παραστατικό τρόπο τα αριθμητικά χαρακτηριστικά της κατανομής των δεδομένων.
- Το διάγραμμα των αθροιστικών συχνοτήτων : Στον άξονα x απεικονίζονται ομαδοποιημένες οι τιμές των αριθμητικών δεδομένων ενώ στον άξονα y οι αθροιστικές συχνότητες που εμφανίζουν οι ομαδοποιημένες τιμές. Κρίσιμα σημεία του διαγράμματος αθροιστικών συχνοτήτων αποτελούν οι «οροφές» και τα «πατώματα» των χαρακτηριστικών μοτίβων που παρουσιάζει η καμπύλη, δεδομένου ότι εκφράζουν τις συσσωρεύσεις των τιμών των δεδομένων.

2. Επαναληπτικές τεχνικές ομαδοποίησης

Βασίζονται σε στατιστική επεξεργασία των αριθμητικών δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, ο προσδιορισμός των ορίων των διαστημάτων της ομαδοποίησης προκύπτει με την εφαρμογή ενός στατιστικού κριτηρίου. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο κριτήρια :

- Της βέλτιστης προσαρμογής της μεταβλητότητας (Goodness of the variance fit – GVF) : Προσδιορίζονται τα όρια των διαστημάτων της ομαδοποίησης με ελαχιστοποίηση των τετραγώνων των αποκλίσεων από τη μέση τιμή του κάθε διαστήματος.
- Της βέλτιστης προσαρμογής της απόλυτης απόκλισης (Goodness of absolute deviation fit – GADF) : Προσδιορίζονται τα όρια των διαστημάτων της ομαδοποίησης με μεγιστοποίηση της βέλτιστης προσαρμογής των απολύτων αποκλίσεων από τη μέση τιμή του κάθε διαστήματος.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των επαναληπτικών τεχνικών αποτελεί η μεγιστοποίηση της ομοιογένειας που επιτυγχάνεται στις παρατηρήσεις που κατατάσσονται σε κάθε διάστημα της ομαδοποίησης και η σημαντική διαφοροποίηση των παρατηρήσεων που κατατάσσονται σε διαφορετικά διαστήματα της ομαδοποίησης, όπως καθορίζονται από το στατιστικό κριτήριο που έχει εφαρμοστεί.

[38]

3.6.2. Χάρτες Αυτό-οργάνωσης (Self Organizing Maps – SOM)

Στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται μια νέα μέθοδος ομαδοποίησης δεδομένων, η οποία βασίζεται στην τεχνολογία των νευρωνικών δικτύων και ειδικότερα στους «χάρτες αυτό-οργάνωσης». Πιο συγκεκριμένα, αναπτύσσεται μια μεθοδολογία ομαδοποίησης με εφαρμογή του αλγορίθμου SOM Toolbox του λογισμικού Matlab για τα βροχομετρικά δεδομένα της νήσου Κρήτης, για τα έτη 1974-2018. Σε σχέση με τις μεθόδους που αναλύθηκαν παραπάνω, έχει διαπιστωθεί από μελέτες ότι η μέθοδος ομαδοποίησης με τη βοήθεια των χαρτών αυτό-οργάνωσης, δίνει πολύ καλά αποτελέσματα χωροπληθών χαρτών, καθώς ταξινομεί καλύτερα τα δεδομένα και λαμβάνει υπόψη της την ομοιογένεια των στοιχείων που τοποθετούνται σε κάθε ομάδα. Επίσης, το οπτικό αποτέλεσμα που προκύπτει, μεταδίδει τη χαρτογραφική πληροφορία με σαφήνεια, χωρίς να προκαλεί σύγχυση ή ερωτηματικά στον αναγνώστη του χάρτη. [39]

Ο αλγόριθμος των χαρτών αυτό-οργάνωσης (SOM), βασίζεται στην αρχή της εκπαίδευσης χωρίς εποπτεία και η εφαρμογή του απεικονίζει ένα πολυδιάστατο σύνολο δεδομένων, σε ένα μονοδιάστατο ή δισδιάστατο «χάρτη». Με τη μέθοδο των χαρτών αυτό-οργάνωσης μπορούν να επιτευχθούν δύο στόχοι :

- i) η ομαδοποίηση των δεδομένων να γίνεται με τρόπο που να παρουσιάζει ομοιογένεια εντός των ομάδων (τα χαρακτηριστικά διανύσματα που βρίσκονται εγγύτερα στο πεδίο εισόδου να κατανέμονται σε γειτονικές θέσεις στο πεδίο εξόδου) και
- ii) μείωση των διαστάσεων με την παραγωγή μιας μονοδιάστατης ή δισδιάστατης απεικόνισης.

Ο αλγόριθμος SOM

Ένας αυτό-οργανωμένος χάρτης αποτελείται από ένα πλήθος νευρώνων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε κάποια γεωμετρική τοπολογία όπως ευθεία, επίπεδο, σφαίρα, με πιο συνηθισμένη εφαρμογή τους χάρτες δύο διαστάσεων, δηλαδή επίπεδα. Θεωρείται ένα διάνυσμα εισόδου $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in R^n$. Για κάθε νευρώνα i υπάρχει ένα διαφορετικό διάνυσμα βαρών (synaptic weight vector) $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}]^T \in R^n$, με $i = 1, 2, \dots, m$, όπου m είναι ο συνολικός αριθμός των νευρώνων εξόδου, μέσω του οποίου είναι συνδεδεμένος με τα δεδομένα εισόδου. Κατά την έναρξη της επεξεργασίας όλα τα διανύσματα βαρών στους νευρώνες έχουν τυχαίες αρχικές τιμές. Όλα τα διανύσματα εισόδου συνδέονται με όλους τους νευρώνες μέσω των συνάψεων των νευρώνων, ενώ οι τιμές των συνάψεων είναι διαφορετικές για κάθε νευρώνα. Από το σύνολο των διανυσμάτων εισόδου επιλέγεται ένα τυχαίο διάνυσμα με το οποίο τροφοδοτείται το νευρωνικό δίκτυο. [40]

Για κάθε νευρώνα υπολογίζεται η Ευκλείδεια απόσταση (d_i) μεταξύ του διανύσματος εισόδου και του διανύσματος βαρών του :

$$d_i = \|x - w_i\| = \sqrt{(x_1 - w_{i1})^2 + (x_2 - w_{i2})^2 + \dots + (x_n - w_{in})^2} \quad (3.38)$$

όπου x το διάνυσμα εισόδου και w_i το διάνυσμα βαρών του νευρώνα i .

Ο πλησιέστερος νευρώνας (με τη μικρότερη απόσταση) στο διάνυσμα εισόδου αναδεικνύεται ο «νευρώνας νικητής» και ορίζεται ως ο νευρώνας c για τον οποίο ισχύει:

$$\|x - w_c\| = \min_i \{\|x - w_i\|\} \quad (3.39)$$

Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότεροι του ενός νευρώνες με την ίδια μικρότερη απόσταση, τότε ο νευρώνας-νικητής επιλέγεται τυχαία μεταξύ τους. Στη συνέχεια ανανεώνονται τα βάρη των νευρώνων του χάρτη σύμφωνα με τη σχέση:

$$w_i(t+1) = w_i(t) + a(t)h_{ci}(t)[x(t) - w_i(t)]$$

όπου η μεταβλητή t δηλώνει διακριτές χρονικές στιγμές, $a(t)$ είναι ο ρυθμός μάθησης ($0 < a(t) < 1$) και h_{ci} είναι η συνάρτηση γειτονίας γύρω από το νευρώνα νικητή c .

Τρόπος λειτουργίας SOM

Τα δεδομένα εισόδου μέσω του νευρώνα καταλήγουν σε ένα κομβικό σημείο, στο οποίο γίνεται η επεξεργασία τους και τελικά παράγονται τα δεδομένα εξόδου. Σε κάθε δεδομένο εισόδου αντιστοιχεί μια τιμή βάρους (w) η οποία εκφράζει τη σημασία που έχουν τα δεδομένα (x) στην τελική διαμόρφωση του αποτελέσματος.

Το πρώτο βήμα επεξεργασίας είναι η αρχικοποίηση των βαρών των νευρώνων του δικτύου, η οποία γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα. Κάθε νευρώνας του δικτύου έχει δύο είδη «συντεταγμένων», τη θέση του στο πλέγμα και τα βάρη του.

Ύστερα, ακολουθούν τρία στάδια :

1. *Στάδιο ανταγωνισμού* : Για κάθε πρότυπο εισόδου προσδιορίζεται ο νευρώνας-νικητής.
2. *Στάδιο συνεργασίας* : Εντοπίζεται η τοπολογική γειτονία του νευρώνα-νικητή.
3. *Στάδιο προσαρμογής βαρών* : Τόσο ο νευρώνας-νικητής όσο και οι γειτονικοί του νευρώνες προσαρμόζουν τα βάρη τους με βάση το πρότυπο εισόδου.

Η ποιότητα και η ακρίβεια του αποτελέσματος μπορεί να προσδιοριστεί μέσα από δύο δείκτες αβεβαιότητας, την *αβεβαιότητα κβαντοποίησης* (quantization error) και την *τοπογραφική αβεβαιότητα* (topographic error):

- *Αβεβαιότητα κβαντοποίησης* : Είναι η μέση απόσταση μεταξύ του διανύσματος των δεδομένων και της καλύτερης ταυτιζόμενης μονάδας (BMU). Δείχνει πόσο ακριβής είναι η αναπαράσταση των πρότυπων εισόδου. Όσο μικρότερος είναι ο δείκτης αυτός, τόσο τα διανύσματα αναφοράς προσεγγίζουν καλύτερα τα δεδομένα εισόδου.
- *Τοπογραφική αβεβαιότητα* : Είναι η αναλογία όλων των διανυσμάτων των στοιχείων για τις οποίες η πρώτη και η δεύτερη καλύτερα ταυτιζόμενη μονάδα (BMUs) δεν αποτελούν γειτονικές μονάδες. Σχετίζεται με την ποιότητα της τοπολογίας του χάρτη, δηλαδή, κατά πόσο γειτονικοί νευρώνες αντιστοιχούν σε παρόμοια πρότυπα εισόδου.

Ο χάρτης, ο οποίος θα έχει τη μικρότερη μέση αβεβαιότητα κβαντοποίησης και τοπογραφικής αβεβαιότητας μπορεί να θεωρηθεί ως η βέλτιστη λύση. Επίσης, ο χάρτης που δημιουργείται αποτελείται από κανονικό πλέγμα χάρτη και το πλέγμα μπορεί να είναι είτε εξαγωνικό, είτε ορθογωνικό. **[39]**

3.7. Ανάλυση Υδρολογικής Πληροφορίας – Υδρογνώμων (Hydrognomon)

Στην εργασία αυτή, για την ευκολότερη αλλά και πιο σύντομη επεξεργασία των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή λογισμικού «Υδρογνώμων». Πρόκειται για μια ολοκληρωμένη εφαρμογή πρόσβασης και ανάλυσης της βάσης υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων καθώς και επεξεργασίας χρονοσειρών, η οποία αναπτύσσεται εντός του Ε.Μ.Π εδώ και μια δεκαετία με σκοπό να καλύψει διάφορες ερευνητικές ανάγκες. Δίνει έμφαση στην ολοκληρωμένη αποθήκευση δεδομένων σε μεγάλη κεντρική βάση, αναγνωρίζοντας ότι η αξία της καλής και πλήρους πληροφόρησης του μελετητή για την κατάσταση των δεδομένων είναι μεγαλύτερη της αξίας του καλύτερου υπολογισμού. Διαθέτει ακόμα τις τυπικές επεξεργασίες των υδρομετεωρολογικών δεδομένων, ενώ σχεδιάστηκε ώστε να παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης με εφαρμογές όπως το ArcView και το Microsoft Excel, που μπορούν να κάνουν επεξεργασίες ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

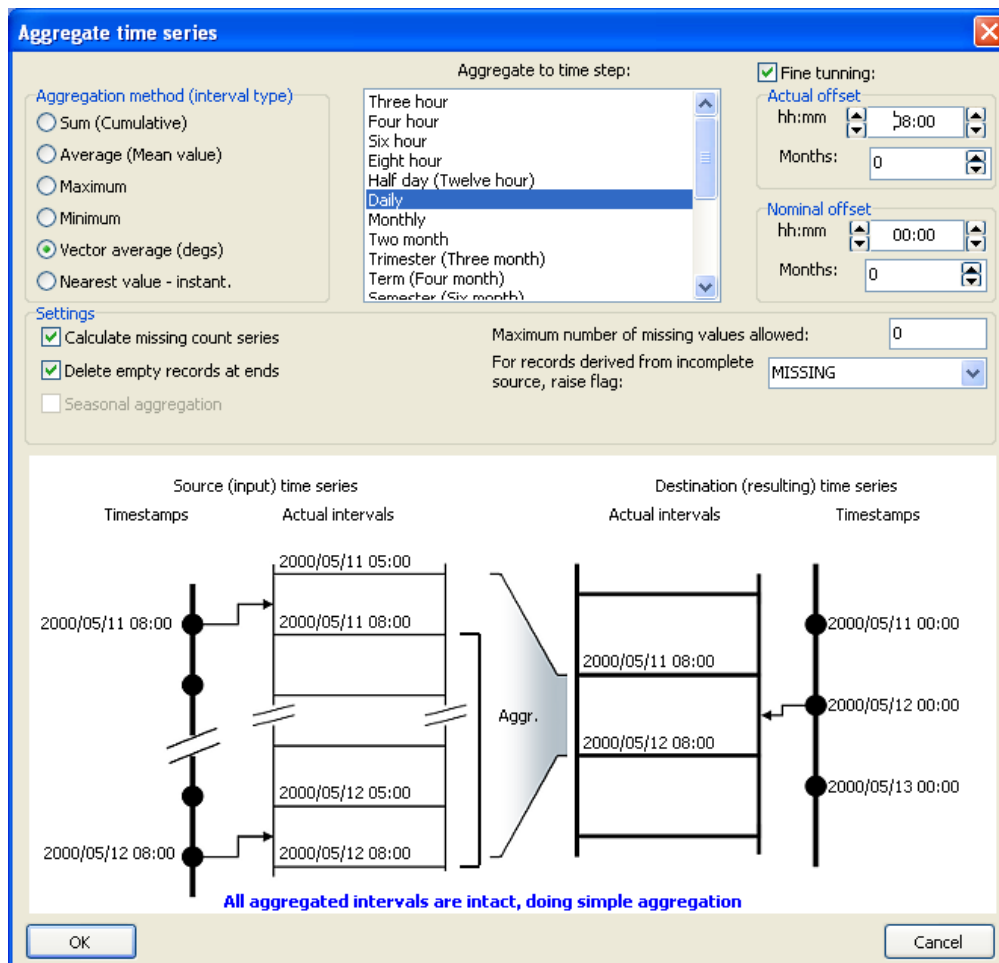
Έτσι αποθηκεύοντας όχι μόνο τις χρονοσειρές ενός σταθμού, αλλά και το ιστορικό του, πληροφορίες για τα όργανα μέτρησης και σχόλια αλλά και αντίστοιχες πληροφορίες για γεωτρήσεις, ταμιευτήρες, φράγματα, υδραγωγεία και άλλες οντότητες, όλα καλά οργανωμένα για εύκολη πρόσβαση, το Υδρογνώμων, καλύπτει ένα κενό και στη μηχανοργάνωση φορέων που ασχολούνται με τέτοια θέματα αλλά και στην εύκολη εκτέλεση βασικών επεξεργασιών σε χρονοσειρές. Η βάση δεδομένων είναι ειδικά σχεδιασμένη για να μπορεί να προσπελάζεται από το Παγκόσμιο Ιστό, απαντώντας έτσι στις σύγχρονες απαιτήσεις του Διαδικτύου. [41]

Η εν λόγω εφαρμογή λογισμικού, πραγματοποιεί απλές (τυπικές υδρολογικές) επεξεργασίες, οι οποίες λειτουργούν βοηθητικά. Οι σημαντικότερες λειτουργίες που προσφέρει είναι οι ακόλουθες :

- Μετατροπή χρονοσειρών σε σταθερό χρονικό βήμα (ως γνωστός, οι πρωτογενείς χρονοσειρές έχουν κάποια σταθερότητα, αλλά συχνά παρουσιάζουν διαταραχές, η εξάλειψη των οποίων είναι αναγκαία για περαιτέρω επεξεργασία)
- Εξαγωγή χρονοσειρών μεγαλύτερου χρονικού βήματος (συνάθροιση), π.χ. ωριαίων από δεκάλεπτες, ημερήσιων από ωριαίες, μηνιαίων από ημερήσιες
- Τυπικοί έλεγχοι συνέπειας όπως ομοιογένειας, ακραίων τιμών και χρονικής συνέπειας
- Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ χρονοσειρών, πολλαπλή παλινδρόμηση, οργανική συσχέτιση και αυτοσυσχέτιση
- Υδατικά ισοζύγια: αδρομερές μοντέλο βροχής-απορροής (υποσύστημα γνωστό και ως «Ζυγός»)
- Συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών με χρήση γραμμικής παλινδρόμησης, δυνατότητα εισαγωγής τυχαίου όρου για διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών και επέκταση χρονοσειρών
- Κατάρτιση καμπύλων στάθμης-παροχής με στατιστικές μεθόδους και καμπυλών επέκτασης με χρησιμοποίηση υδραυλικών εξισώσεων
- Εξαγωγή χρονοσειρών παροχών από χρονοσειρές στάθμης, καθώς και χρονοσειρών όγκου και επιφάνειας από χρονοσειρές στάθμης ταμιευτήρων και λιμνών
- Υπολογισμός εξάτμισης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής με αναλυτικές ή ημιεμπειρικές μεθόδους

- Επέκταση δειγμάτων εξαμηνιαίας
 - Εύρεση στατιστικών χαρακτηριστικών δείγματος χρονοσειράς, προσαρμογή στατιστικών παραμέτρων, στατιστικές προγνώσεις, στατιστικοί έλεγχοι και εύρεση διαστημάτων εμπιστοσύνης (υποσύστημα γνωστό και ως «Πυθιά»)
 - Ανάλυση χρονοσειρών εξαιρετικών βροχοπτώσεων-κατάρτιση ομβρίων καμπυλών με συνεπείς μεθοδολογίες (υποσύστημα γνωστό και ως «Όμβρος»)
- [42]

Από τις παραπάνω λειτουργίες, στην παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε η *συνάθροιση χρονοσειρών (time series aggregation)* μέσω του Υδρογνώμων, για τα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα κάθε σταθμού με σκοπό να προκύψουν τα μηνιαία δεδομένα και ύστερα από τα μηνιαία δεδομένα να προκύψουν τα ετήσια. Η συγκεκριμένη λειτουργία, περιλαμβάνει επίσης έλεγχο ακραίων τιμών, διόρθωση ημερομηνίας και ώρας (εντοπισμό και αναίρεση διαταραχών στο χρονικό βήμα), συμπλήρωση ελλειπών τιμών, εξαγωγή χρονοσειρών μικρότερου χρονικού βήματος και υπολογισμό παροχών από στάθμες και καμπύλες στάθμης-παροχής. Τα παραπάνω φαίνονται και στην εικόνα (3.1) που ακολουθεί, όπου απεικονίζονται οι επιλογές που παρέχονται στον χρήστη.



Εικόνα 3.1. Στιγμιότυπο συνάθροισης χρονοσειρών (*time series aggregation*) μέσω της εφαρμογής Υδρογνώμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης και των μεθόδων που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για το νησί της Κρήτης στα πλαίσια της χωρο-χρονικής απεικόνισης της μεταβολής των βροχοπτώσεων για τα υδρολογικά έτη της περιόδου 2007-2018. Για κάποιες από τις μεθοδολογίες που διεξάχθηκαν, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών για τους οποίους έχουμε δεδομένα από το 1974. Παρ' όλα αυτά δεν διεξάγονται αποτελέσματα για εκείνο το χρονικό διάστημα, παρά χρησιμοποιούνται για μια πιο ολοκληρωμένα εικόνα.

4.1. Αποτελέσματα μέσω του λογιστικού φύλλου Excel

Στον πίνακα (4.1) που ακολουθεί, δίνονται τα αποτελέσματα συσχέτισης της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης των νομών της Κρήτης, για τις κοινές ημερομηνίες που διατίθενται βροχομετρικά δεδομένα, από το Νοέμβρη του 2007 έως και τον Σεπτέμβρη του 2018, δηλαδή για διάστημα σχεδόν ένδεκα χρόνων.

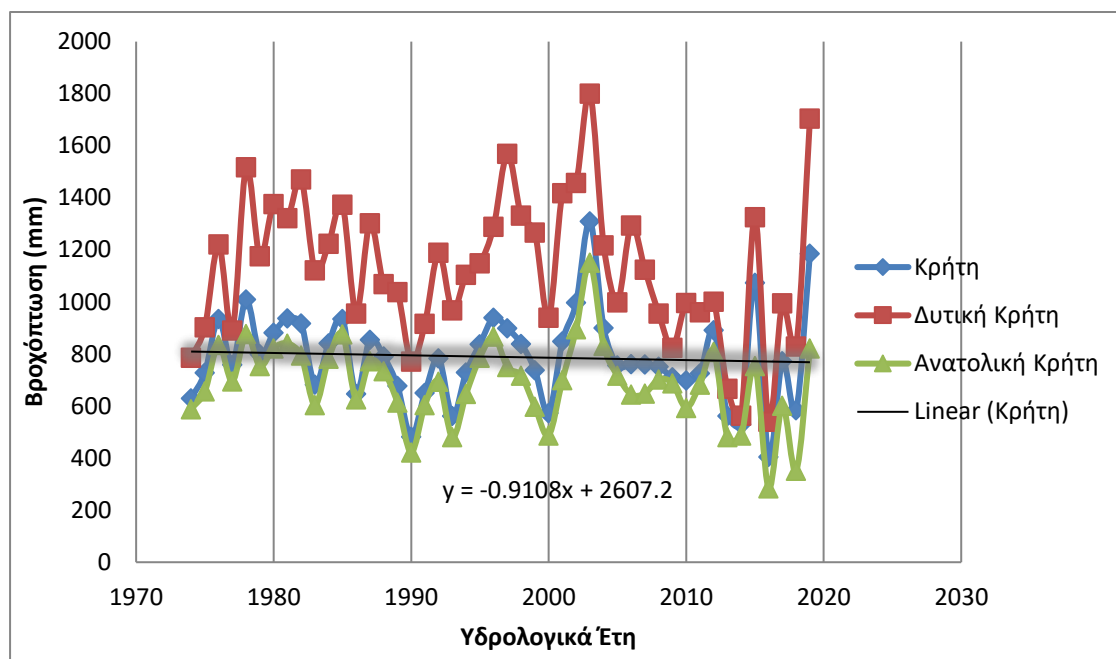
| Λασιίθι - Χανιά | Λασιίθι - Ρέθυμνο | Λασιίθι - Ηράκλειο | Χανιά - Ρέθυμνο | Χανιά - Ηράκλειο | Ρέθυμνο - Ηράκλειο |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| 0.6106 | 0.7821 | 0.7972 | 0.8159 | 0.7429 | 0.8683 |

Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα συσχέτισης βροχόπτωσης κάθε νομού της Κρήτης.

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι την υψηλότερη συσχέτιση μεταξύ τους την έχουν με τη σειρά το Ρέθυμνο με το Ηράκλειο, ακολουθούν τα Χανιά με το Ρέθυμνο και έπειτα το Λασιίθι με το Ηράκλειο, ενώ τη χαμηλότερη συσχέτιση την έχουν τα Χανιά σε σχέση με το Λασιίθι. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν και το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο αναφερθήκαμε παραπάνω, ότι η Κρήτη παρουσιάζει σημαντική γεωγραφική ανισοκατανομή του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης, με αύξηση από τα ανατολικά προς τα δυτικά, κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα, καθώς όσο μεγαλώνει η απόσταση του ενός νομού από τον άλλο, τόσο μειώνεται και η συσχέτιση της βροχόπτωσης, ενώ για τους γειτονικούς νομούς που η απόσταση δηλαδή είναι κοντινή, η συσχέτιση παρουσιάζεται αρκετά υψηλή.

Αυτή η γεωγραφική ανισοκατανομή βροχόπτωσης της δυτικής Κρήτης από την ανατολική, συγκρινόμενη με τη βροχόπτωση συνολικά στο νησί της Κρήτης, φαίνεται καθαρά και στο παρακάτω γράφημα (4.1), το οποίο δημιουργήθηκε με βάση το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, που προέκυψε από τα δεδομένα όλων των σταθμών που λειτουργούν στην Κρήτη σήμερα, καθώς και από τα δεδομένα των σταθμών για τους οποίους έχουμε δεδομένα από το 1974, χωρίς απαραίτητα να λειτουργούν πλέον, θέλοντας να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα σε βάθος πολλών χρόνων για τη διακύμανση της βροχόπτωσης στην νήσο Κρήτη.

Από το διάγραμμα είναι εμφανής αυτή η μόνιμη αύξηση του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης από τα ανατολικά προς τα δυτικά, καθώς σε βάθος περίπου 45 χρόνων (από το 1974 μέχρι το 2018), η Ανατολική Κρήτη δεν ξεπερνάει ούτε μια φορά το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της Δυτικής. Επίσης, εντοπίζεται το υδρολογικό έτος 2013-2014 (Οκτώβρης 2013 έως Σεπτέμβρη του 2014), ως το έτος με τη μικρότερη μέση διαφορά βροχόπτωσης ανάμεσα τους (75.704 mm), ενώ το υδρολογικό έτος 1996-1997, ως το έτος με τη μεγαλύτερη μέση διαφορά βροχόπτωσης (819.511 mm), ανάμεσα στα ανατολικά και δυτικά της Κρήτης.



Γράφημα 4.1. Χωρικός μέσος όρος των συνολικών ετήσιων βροχοπτώσεων στην Κρήτη, την Ανατολική Κρήτη και την Δυτική Κρήτη.

Επιπλέον, από το παραπάνω γράφημα (4.1), παρατηρείται μια καθοδική τάση στη μέση ετήσια βροχόπτωση της Κρήτης και κατ' επέκταση της ανατολικής και δυτικής Κρήτης, για τα χρόνια που διεξάγεται η μελέτη αυτή. Ενώ καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης φαίνεται να υπάρχει σημαντική αυξομείωση της μέσης βροχόπτωσης κάθε 1-2 χρόνια, παρατηρείται πιο ξεκάθαρα η καθοδική τάση ιδιαίτερα προς το τέλος των χρονοσειρών, δηλαδή μεταξύ των υδρολογικών ετών 2003 και 2010.

Στο Παράρτημα, παρουσιάζονται και τα αναλυτικά τα διαγράμματα μέσης ετήσιας βροχόπτωσης κάθε νομού της Κρήτης και ξεχωριστά της ανατολικής και δυτικής Κρήτης, για τα έτη 1974-2019.

4.2. Αποτελέσματα μέσω του λογισμικού αλγορίθμων Matlab

Με την εφαρμογή του λογισμικού Matlab, δημιουργήθηκε το περιοδόγραμμα. Το περιοδόγραμμα παρέχει σημαντικές και χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις περιόδους επαναφοράς της βροχόπτωσης. Όσον αφορά την Κρήτη συνολικά, καθώς και κάθε νομό της ξεχωριστά και κατ' επέκταση το δυτικό και ανατολικό κομμάτι της, σημαντική παρατήρηση για τα ετήσια περιοδογράμματα όλων των σταθμών, από τα δεδομένα βροχόπτωσης τα οποία λήφθηκαν και επεξεργάστηκαν, είναι ότι σε όλες τις περιπτώσεις παρουσιάζεται ένας κύκλος επαναφοράς 25 ετών. Ωστόσο, εξαιτίας των χρονοσειρών για τις οποίες έχουμε βροχομετρικά δεδομένα, από το 2007 έως και το 2018, διάστημα δηλαδή 11 χρόνων, η περίοδος επαναφοράς των 25 ετών δεν ισχύει στην συγκεκριμένη ανάλυση δεδομένων. Από την άλλη, η ερμηνεία των γραφημάτων (περιοδογραμμάτων) που δίνονται παρακάτω, δίνει τους σημαντικούς κύκλους βροχόπτωσης κάθε εξεταζόμενης περίπτωσης.

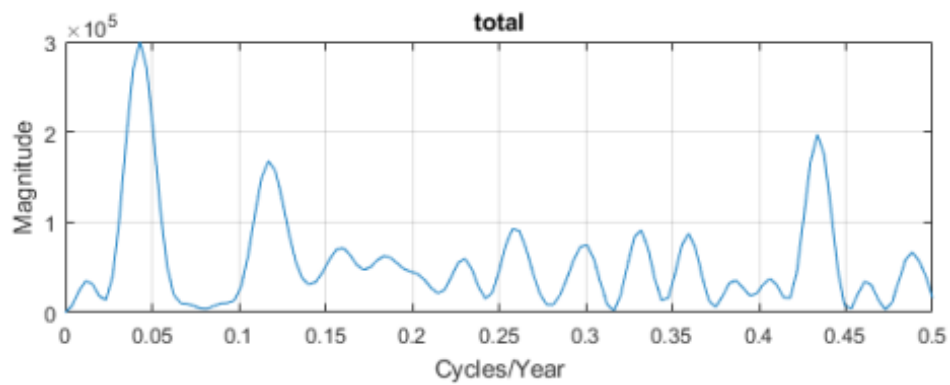
Η συνολική ετήσια μεταβλητότητα βροχόπτωσης στη νήσο Κρήτη παρουσιάζει έναν κύριο κύκλο σχεδόν κάθε 2 χρόνια ($T_1 = 1/0.43$) και έναν δευτερεύον κάθε περίπου 8 χρόνια ($T_2 = 1/0.12$). Επίσης, σημαντικές διαφορές έχουν παρατηρηθεί στις τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης της Δυτικής σε σχέση με την Ανατολική Κρήτη. Η Δυτική Κρήτη, παρουσιάζει μέγιστη περίοδο επαναφοράς κάθε 2 χρόνια, παρόμοια με τη συνολική ετήσια μεταβλητότητα της βροχόπτωσης της Κρήτης, καθώς επίσης και μια μικρότερη κάθε 8 χρόνια. Αντίθετα, η Ανατολική Κρήτη παρουσιάζει μέγιστο κύκλο επαναφοράς κάθε 8 χρόνια, ενώ έναν δευτερεύον κάθε 2 χρόνια.

Τα παραπάνω αποτελέσματα, προκύπτουν επίσης αναλύοντας τη μεταβλητότητα της βροχόπτωσης με χρήση περιοδογραμμάτων για κάθε έναν νομό ξεχωριστά. Ξεκινώντας δυτικά από τον νομό Χανίων και τον νομό Ρεθύμνου, προκύπτει και για τους δύο μέγιστη περίοδος επαναφοράς κάθε περίπου 2 χρόνια, όπως δηλαδή η Δυτική Κρήτη και η συνολική ετήσια μεταβλητότητα βροχόπτωσης και δευτερεύουσες περίοδοι επαναφοράς κάθε 4 και 8 χρόνια αντίστοιχα για κάθε νομό. Προς τα ανατολικά, οι νομοί Ηρακλείου και Λασιθίου, παρουσιάζουν περιόδους αναφοράς ίδιου κύριου μεγέθους 8 χρόνων και μικρότερου μεγέθους 2 χρόνων, ακριβώς όπως και η Ανατολική Κρήτη. [43]

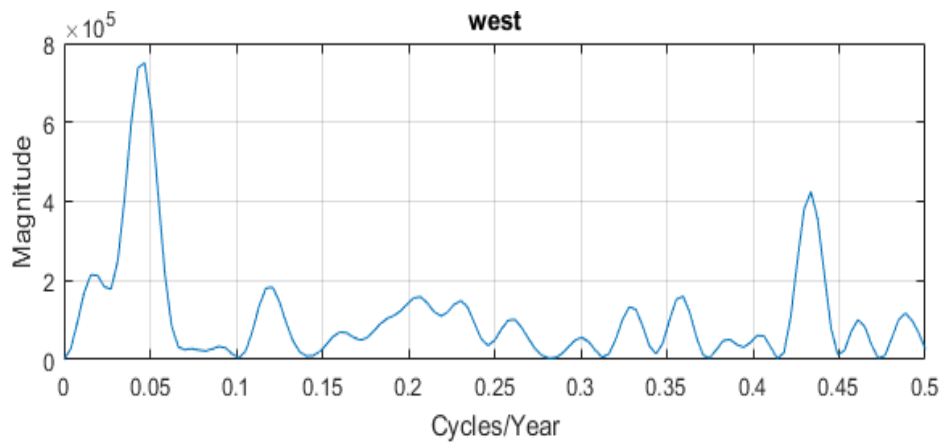
Επίσης, εφαρμόζοντας τα βήματα προσαρμογής της κατανομής Gumbel, υπολογίστηκαν με βάση τις κύριες περιόδους επαναφοράς τους, οι τιμές της βροχόπτωσης (x), οι οποίες αναμένεται να είναι :

- Για την νήσο Κρήτη → 815 mm
- Για τη Δυτική Κρήτη → 1003 mm
- Για την Ανατολική Κρήτη → 620 mm

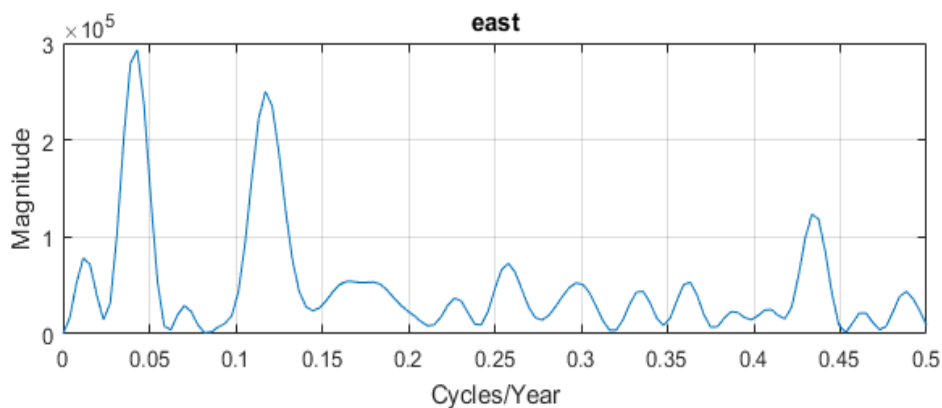
Τα παραπάνω αποτελέσματα, προκύπτουν από την ανάλυση των περιοδογραμμάτων που ακολουθούν, τα οποία παρουσιάζονται για κάθε μια περίπτωση :



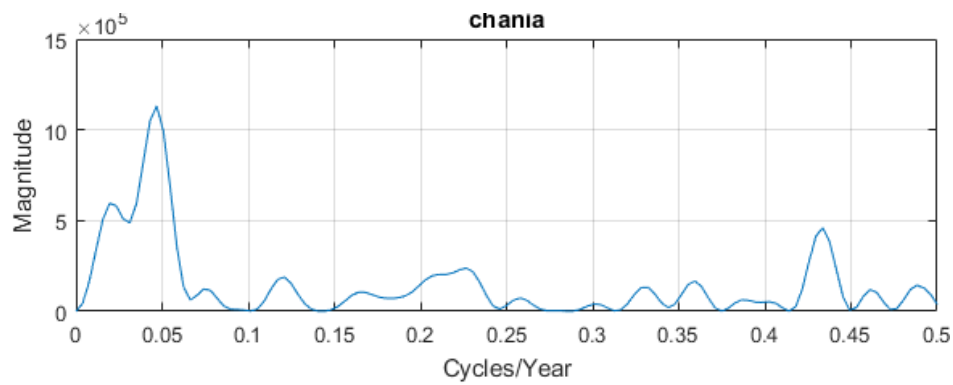
Γράφημα 4.2. Περιοδόγραμμα της νήσου Κρήτης.



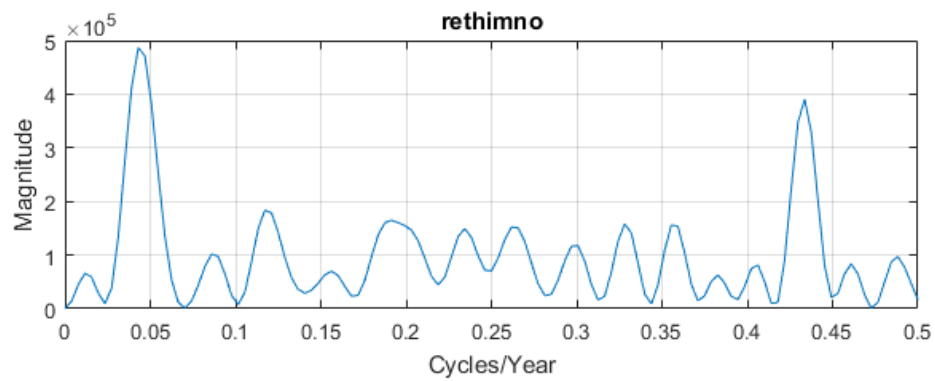
Διάγραμμα 4.3. Περιοδόγραμμα της δυτικής Κρήτης.



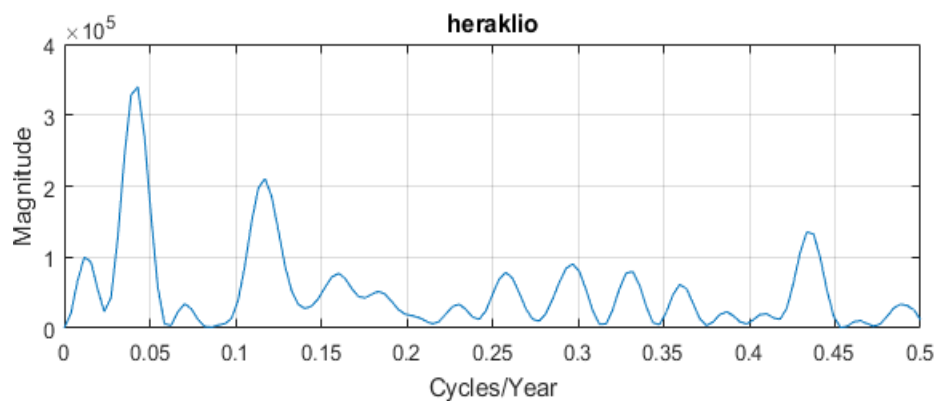
Γράφημα 4.4. Περιοδόγραμμα της ανατολικής Κρήτης.



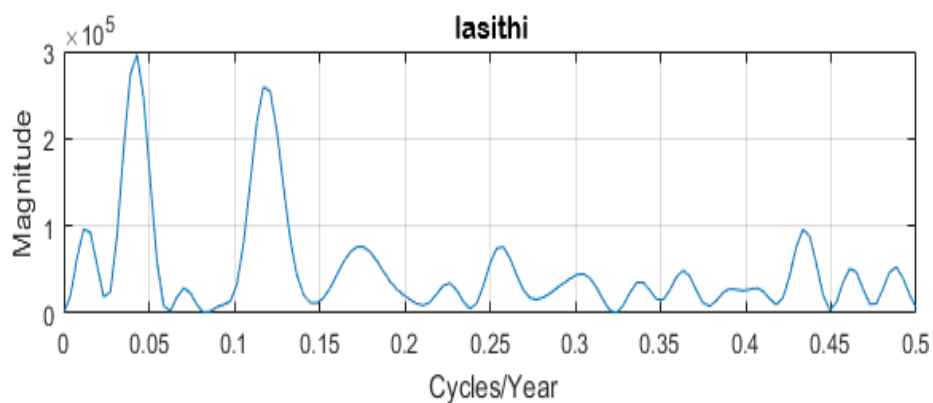
Γράφημα 4.5. Περιοδόγραμμα του νομού Χανίων.



Γράφημα 4.6. Περιοδόγραμμα του νομού Ρεθύμνης.



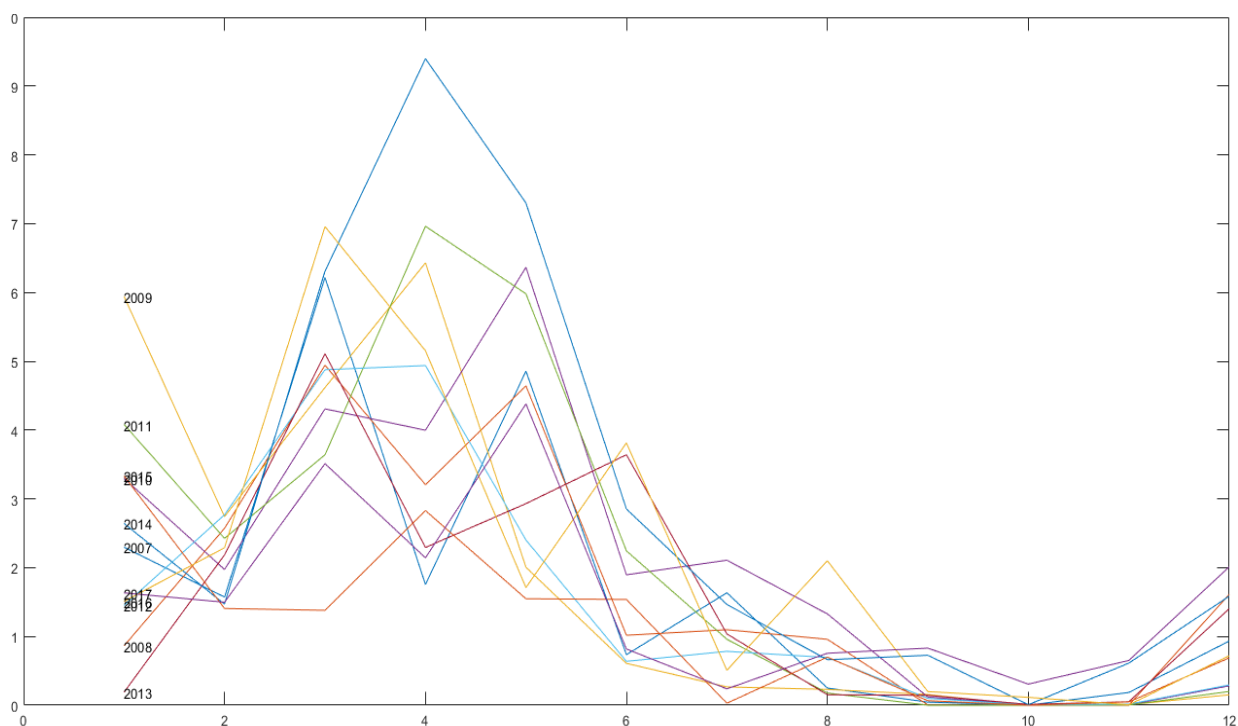
Γράφημα 4.7. Περιοδόγραμμα του νομού Ηρακλείου.



Γράφημα 4.8. Περιοδόγραμμα του νομού Λασιθίου.

Συνεχίζοντας, παρατίθενται τα αποτελέσματα από το λογισμικό της Matlab, όπου παρουσιάζονται τα σημαντικά έτη (significant years) σχετικά με τη βροχόπτωση που παρατηρήθηκαν στην Κρήτη για τα τελευταία περίπου 10 υδρολογικά έτη, καθώς και τα έτη που παρουσίασαν τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις και ακραίες τιμές στη βροχόπτωση. Για κάθε μια περίπτωση για την οποία εξετάστηκαν τα μέσα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα, δημιουργήθηκε και ένα διάγραμμα απεικόνισης της συμπεριφοράς του εκάστοτε σημαντικού έτους, συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται παρακάτω :

- Για τη νήσο Κρήτη, συνολικά από τα βροχομετρικά δεδομένα όλων των νομών, προέκυψε ότι το σημαντικό έτος μεταξύ των υδρολογικών ετών 2008 - 2019 ήταν το 2008 (Οκτώβρης του 2007 με Σεπτέμβρη του 2008), το οποίο αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 621.06 mm και παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (4.9). Επιπλέον, βρέθηκε ότι το έτος με τις μεγαλύτερες βροχομετρικές διακυμάνσεις και ακραίες τιμές, ήταν το 2019, με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 1174.41 mm.



Γράφημα 4.9. Σημαντικό έτος της νήσου Κρήτης.

- Για τον νομό Χανίων, προκύπτει από το σύνολο των βροχομετρικών σταθμών του νομού, ότι το σημαντικό έτος μεταξύ των υδρολογικών ετών 2007-2019 ήταν το 2011 (Οκτώβρης του 2010 με Σεπτέμβρη του 2011), το οποίο αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 947.17 mm, ενώ το έτος με τις μεγαλύτερες βροχομετρικές διακυμάνσεις και ακραίες τιμές, ήταν το 2019, με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 1677.51 mm.
- Για τον νομό Ρεθύμνου, προκύπτει από το σύνολο των βροχομετρικών σταθμών του νομού, ότι το σημαντικό έτος μεταξύ των υδρολογικών ετών 2008-2019 ήταν το 2017 (Οκτώβρης του 2016 με Σεπτέμβρη του 2017), το οποίο αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 942.73, ενώ το έτος με τις μεγαλύτερες βροχομετρικές διακυμάνσεις και ακραίες τιμές, ήταν το 2015, με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 1362.47 mm.
- Για τον νομό Ηρακλείου, προκύπτει από το σύνολο των βροχομετρικών σταθμών του νομού, ότι το σημαντικό έτος μεταξύ των υδρολογικών ετών 2007-2019 ήταν το 2016 (Οκτώβρης του 2015 με Σεπτέμβρη του 2016), το οποίο αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 281.57, ενώ το έτος με τις μεγαλύτερες βροχομετρικές διακυμάνσεις και ακραίες τιμές, ήταν το 2015, με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 807.12 mm.
- Για τον νομό Λασιθίου, προκύπτει από το σύνολο των βροχομετρικών σταθμών του νομού, ότι το σημαντικό έτος μεταξύ των υδρολογικών ετών 2008-2019 ήταν το 2011 (Οκτώβρης του 2010 με Σεπτέμβρη του 2011), το οποίο αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 662.08, ενώ το έτος με τις μεγαλύτερες βροχομετρικές διακυμάνσεις και ακραίες τιμές, ήταν το 2019, με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 911.08 mm.
- Για την δυτική Κρήτη, προκύπτει από το σύνολο των βροχομετρικών σταθμών των νομών Χανίων και Ρεθύμνου, ότι το σημαντικό έτος μεταξύ των υδρολογικών ετών 2008-2019 ήταν το 2008 (Οκτώβρης του 2007 με Σεπτέμβρη του 2008), το οποίο αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 702.82, ενώ το έτος με τις μεγαλύτερες βροχομετρικές διακυμάνσεις και ακραίες τιμές, ήταν το 2019, με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 1494.13 mm.
- Για την ανατολική Κρήτη, προκύπτει από το σύνολο των βροχομετρικών σταθμών των νομών Ηρακλείου και Λασιθίου, ότι το σημαντικό έτος μεταξύ των υδρολογικών ετών 2008-2019 ήταν το 2013 (Οκτώβρης του 2012 με Σεπτέμβρη του 2013), το οποίο αντιστοιχεί σε μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 472.52, ενώ το έτος με τις μεγαλύτερες βροχομετρικές διακυμάνσεις και ακραίες τιμές, ήταν το 2019, με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης ίσο με 854.69 mm.

Τα γραφήματα σημαντικών ετών των υπόλοιπων νομών και της ανατολικής και δυτικής Κρήτης, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ.

4.2.1. Αποτελέσματα Ελέγχου Υποθέσεων

Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του t-test που διεξάχθηκαν με τη χρήση της Matlab, για τις μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις κάθε νομού της Κρήτης, ολόκληρης της Κρήτης, καθώς και της ανατολικής και δυτικής Κρήτης ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις στήλες του παρακάτω πίνακα (4.2) και δίνονται, οι εκτιμήσεις των συντελεστών (estimate), τα τυπικά σφάλματα των εκτιμήσεων (SE), οι τιμές του t-statistic για τους αντίστοιχους συντελεστές (tStat), καθώς επίσης και οι τιμές p-values για τις δοκιμές των υποθέσεων σχετικά με τη κλίση της γραμμικής παλινδρόμησης (intercept) και του διανύσματος εισόδου (x_1), το οποίο αντιστοιχεί στις βροχοπτώσεις που εξετάζουμε για την εκάστοτε περίπτωση.

| | | Estimate | SE | tStat | pValue |
|-------------------|-------------|-----------|----------|---------|--------|
| Χανιά : | (Intercept) | 11256 | 6068.4 | 1.8549 | 0.0705 |
| | x_1 | -5.0786 | 3.0402 | -1.6705 | 0.1021 |
| Ρέθυμνο : | (Intercept) | 7209.1 | 5057.1 | 1.4255 | 0.1612 |
| | x_1 | -3.1463 | 2.5336 | -1.2418 | 0.2210 |
| Ηράκλειο : | (Intercept) | 8306.2 | 3579.7 | 2.3204 | 0.0251 |
| | x_1 | -3.8284 | 1.7934 | -2.1347 | 0.0385 |
| Λασιθί : | (Intercept) | 2014.2 | 8.765 | 229.8 | 0.0000 |
| | x_1 | -0.025592 | 0.012055 | -2.1229 | 0.0396 |
| Κρήτη : | (Intercept) | 8109.2 | 3485.4 | 2.3266 | 0.0248 |
| | x_1 | -3.707 | 1.7462 | -2.1229 | 0.0396 |
| Δυτική Κρήτη : | (Intercept) | 9232.7 | 5268.2 | 1.7525 | 0.0868 |
| | x_1 | -4.1124 | 2.6393 | -1.5581 | 0.1265 |
| Ανατολική Κρήτη : | (Intercept) | 8207.7 | 3467.5 | 2.3671 | 0.0225 |
| | x_1 | -3.7677 | 1.7372 | -2.1689 | 0.0357 |

Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα της Matlab για T-test.

Από τον παραπάνω πίνακα, φαίνεται ότι για κάθε συντελεστή, ισχύει :

$$tStat = \frac{Estimate}{SE}$$

Κάθε t-statistic εξετάζει τη σημαντικότητα του κάθε όρου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που δίνονται, κανένας από τους συντελεστές δεν φαίνεται να είναι σημαντικός στο επίπεδο σημαντικότητας 1% ($\alpha = 0.01$), πέραν από τη κλίση (intercept) για τον νομό του Λασιθίου, που παρουσιάζεται να είναι μηδενική. Επίσης, ως προς το επίπεδο σημαντικότητας 5% ($\alpha = 0.05$), και οι δυο συντελεστές του νομού του Ηρακλείου και του Λασιθίου και κατ' επέκταση και η Ανατολική Κρήτη παρουσιάζουν σημαντικότητα, καθώς οι τιμές των p-values είναι μικρότερες του ορίου. Τέλος, για το σύνολο των σταθμών, δηλαδή για όλη την Κρήτη τα αποτελέσματα του πίνακα δείχνουν επίσης σημαντικότητα στο επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Συνεχίζοντας, στους παρακάτω πίνακες (4.3 & 4.4) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μη-παραμετρικού ελέγχου Mann-Kendall, σχετικά με τον έλεγχο της σημαντικότητάς τους, για τα επίπεδα σημαντικότητας 0,01 και 0,05 αντίστοιχα, για κάθε έναν νομό ξεχωριστά, την ανατολική και δυτική Κρήτη, καθώς και για το νησί της Κρήτη συνολικά.

| Για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.01$ | | |
|--|------------------|----------|
| Χανιά: | S = | -170 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.098288 |
| Ρέθυμνο: | S = | -152 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.13964 |
| Ηράκλειο: | S = | -220 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.032167 |
| Λασιθί : | S = | -198 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.053965 |
| Κρήτη (από 1974-2018): | S = | -150 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.14496 |
| Κρήτη (από 2007-2018) : | S = | 4 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.83701 |
| Δυτική Κρήτη: | S = | -166 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.10651 |
| Ανατολική Κρήτη : | S = | -222 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.030626 |

Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα της Matlab ελέγχου Mann-Kendal για $p\text{-value}=0.01$.

Από τον παραπάνω πίνακα (4.3), για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.01$, παρατηρείται ότι για όλες τις περιπτώσεις των βροχομετρικών δεδομένων προκύπτει $H=0$, που σημαίνει ότι η τιμή σημαντικότητας ($p\text{-value}$) για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις, υπερβαίνει το επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.01$, άρα αποτυγχάνει η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης, οπότε το δείγμα δεν μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντικό.

| Για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$ | | |
|--|-----------|----------|
| Χανιά: | S = | -170 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.098288 |
| Ρέθυμνο: | S = | -152 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.13964 |
| Ηράκλειο: | S = | -220 |
| | H = | 1 |
| | p_value = | 0.032167 |
| Λασιθί : | S = | -198 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.053965 |
| Κρήτη (από 1974-2018): | S = | -150 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.14496 |
| Κρήτη (από 2007-2018) : | S = | 4 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.83701 |
| Δυτική Κρήτη: | S = | -166 |
| | H = | 0 |
| | p_value = | 0.10651 |
| Ανατολική Κρήτη : | S = | -222 |
| | H = | 1 |
| | p_value = | 0.030626 |

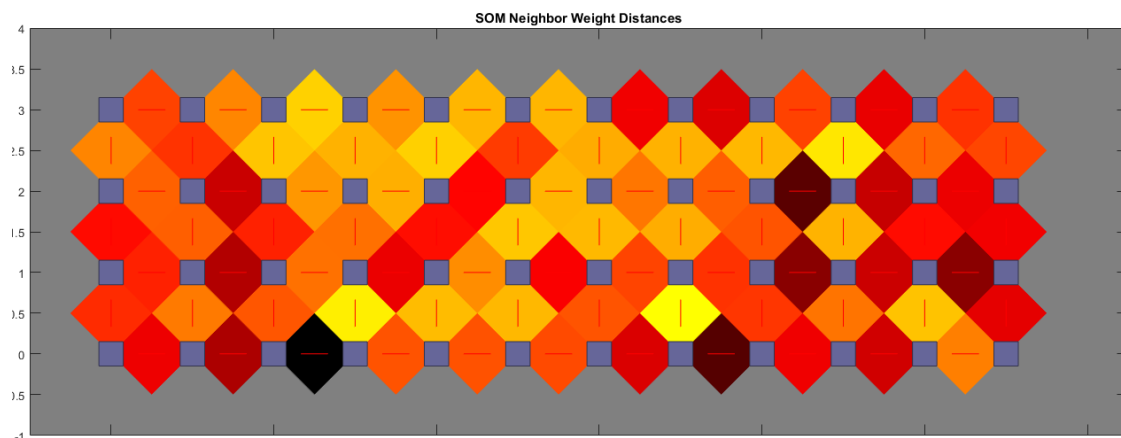
Πίνακας 4.4. Αποτελέσματα της Matlab ελέγχου Mann-Kendal για $p\text{-value}=0.05$.

Από την άλλη, στον παραπάνω πίνακα (4.4), για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0.05$, παρατηρείται ότι μόνο στο Ηράκλειο καθώς επίσης και στην Ανατολική Κρήτη, εμφανίζεται $H=1$, δηλαδή η τιμή σημαντικότητας ($p\text{-value}$) είναι μικρότερη του επιπέδου σημαντικότητας που έχει οριστεί, άρα απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και το δείγμα μπορεί να χαρακτηριστεί στατιστικά σημαντικό για τα βροχομετρικά δεδομένα αυτών των δύο περιπτώσεων. Για τα υπόλοιπα βροχομετρικά δεδομένα των περιπτώσεων που εξετάζουμε, εξακολουθεί να υπερβαίνεται το επίπεδο σημαντικότητας από την τιμή σημαντικότητας, οπότε δεν μπορούν να χαρακτηριστούν στατιστικά σημαντικές.

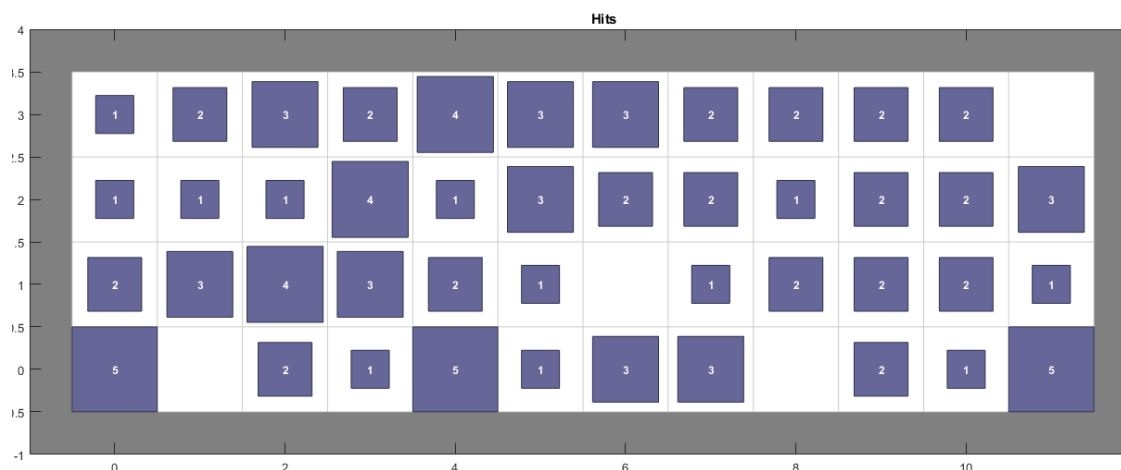
Κάτι που παρατηρείται από την ανάλυση των βροχοπτώσεων για τη νήσο της Κρήτης, καθώς και για τις υπόλοιπες περιπτώσεις που εξετάζονται, είναι ότι η ετήσια διακύμανση τους και για τις δύο δοκιμές του επιπέδου σημαντικότητας που πραγματοποιήθηκαν, παρουσιάζει μια φθίνουσα τάση. Ο μη-παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall που εφαρμόστηκε, επιβεβαίωσε αυτήν την σημαντική τάση μείωσης στις χρονοσειρές, μιας και το άθροισμα διαφοράς μεταξύ των παρατηρούμενων τιμών (S) προκύπτει αρνητικό και στα δύο επίπεδα σημαντικότητας. Μόνο για τα συνολικά δεδομένα της Κρήτης, για τα οποία έχουμε δεδομένα από το 2007 έως και το 2018, για τους σταθμούς δηλαδή που διεξάγεται η συγκεκριμένη στατιστική μελέτη, παρατηρείται μια μικρή αύξηση στις χρονοσειρές, με $S = 4$. Στο Παράρτημα, παρατίθεται και σχετικό διάγραμμα της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για τους συγκεκριμένους σταθμούς, που απεικονίζεται αυτή η αύξηση της τάσης.

4.2.2. Αποτελέσματα Χαρτών Αυτό-οργάνωσης

Με τη χρήση του λογισμικού Matlab, δημιουργήθηκαν οι παρακάτω χάρτες, που απεικονίζουν τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης δεδομένων, με τη χρήση χαρτών αυτό-οργάνωσης. Μέσα από τη διαδικασία των δοκιμών, επιλέχθηκε εκείνο το δίκτυο που μοντελοποιούσε καλύτερα το πρόβλημα της ομαδοποίησης των δεδομένων για χωροπληθείς χάρτες, ανάλογα με τον αριθμό των ομάδων που είχε προκαθοριστεί. Οι δοκιμές που έγιναν, αφορούσαν διάφορους συνδυασμούς διαστάσεων του χάρτη αυτό-οργάνωσης και είναι οι ακόλουθοι : (8,3) , (8,4) , (10,3) , (10,4) , (12,3) , (12,4), όπου φαίνονται με τη σειρά οι γραμμές και οι στήλες των χαρτών. Ο συνδυασμός διαστάσεων του χάρτη για τον οποίο έχουμε τη μικρότερη μέση αβεβαιότητα κβαντοποίησης ($q=0.007$) και τοπογραφική αβεβαιότητα ($t=0.100$) είναι ο συνδυασμός (12,4) ο οποίος αντιστοιχεί στους ακόλουθους χάρτες .



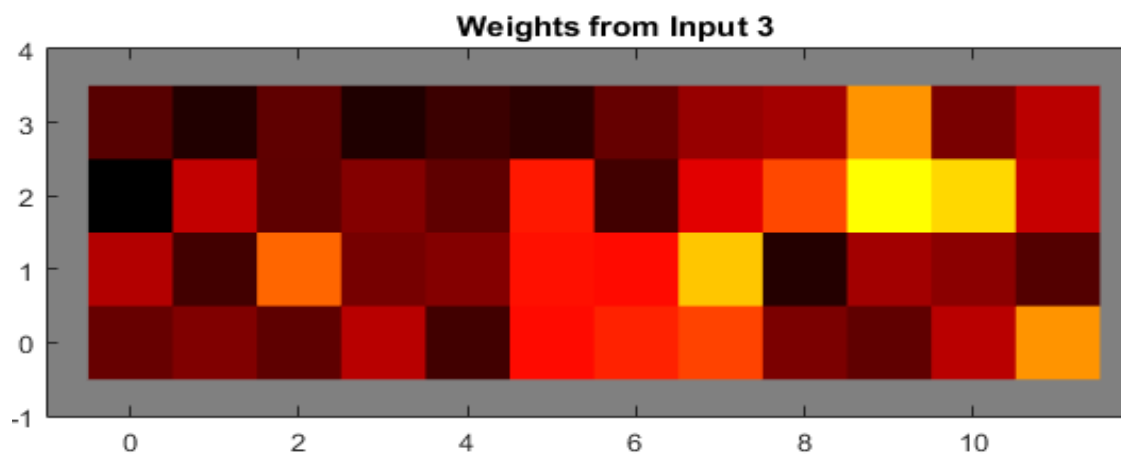
Εικόνα 4.1. Χάρτης αυτό-οργάνωσης της νήσου Κρήτης, όπου απεικονίζονται οι αποστάσεις των γειτονικών νευρώνων, για συνδυασμό διαστάσεων (12,4).



Εικόνα 4.2. Χάρτης αυτό-οργάνωσης της νήσου Κρήτης, όπου απεικονίζεται ο αριθμός διανυσμάτων εισόδου που κατατάσσονται σε κάθε νευρώνα, για συνδυασμό διαστάσεων (12,4)

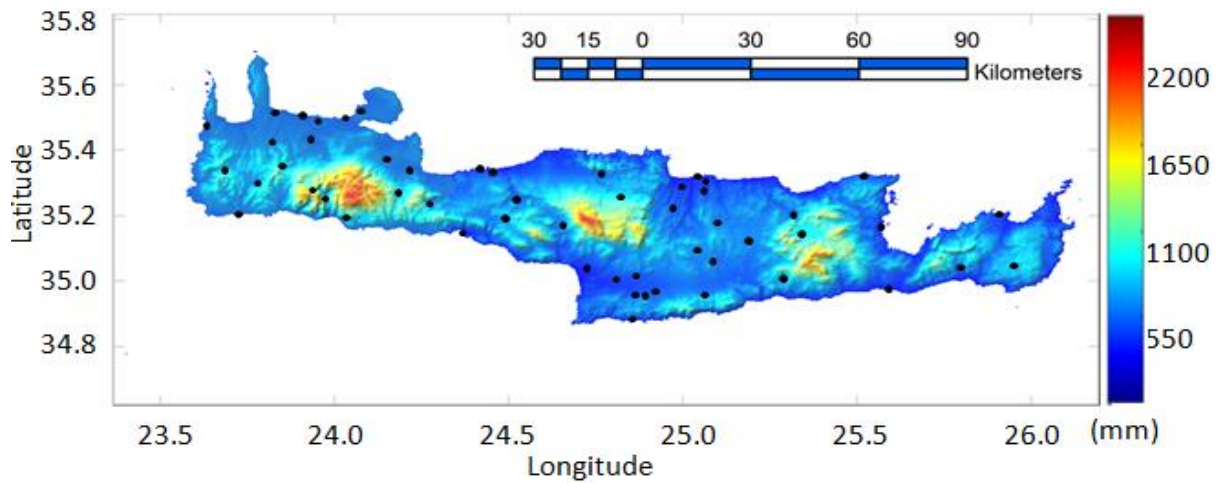


Εικόνα 4.3. Χάρτης αυτό-οργάνωσης της νήσου Κρήτης, όπου απεικονίζονται τα δεδομένα εισόδου σε σχέση με τις θέσεις βάρους, για συνδυασμό διαστάσεων (12,4).



Εικόνα 4.4. Χάρτης αυτό-οργάνωσης της νήσου Κρήτης, για τα βάρη από τα διανύσματα εισόδου, για συνδυασμό διαστάσεων (12,4).

Τέλος, στα πλαίσια της ομαδοποίησης των βροχομετρικών δεδομένων, κατασκευάστηκε ο παρακάτω χωροπληθής χάρτης (εικόνα 4.5), με τη μέθοδο Kriging και με χρήση του εκθετικού βαριογράμματος. Δημιουργήθηκε με χρήση κώδικα σε περιβάλλον R, ο οποίος δίνεται στο Παράρτημα Δ. [44]



Εικόνα 4.5. Χωρική μεταβολή μέσης βροχόπτωσης μεθόδου Kriging, με χρήση εκθετικού βαριογράμματος (από κώδικα σε περιβάλλον R) για τα έτη 2010-2018.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, ασχολείται με τη ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων της νήσου Κρήτης, με τη χρήση στατιστικών μεθόδων. Από την ανάλυση αυτή, προέκυψαν κάποια γενικά συμπεράσματα, τόσο για τη χρονική κατανομή της βροχόπτωσης, δηλαδή της διακύμανσής της συναρτήσει του χρόνου, όσο και για τη χωρική κατανομή της, στο νησί της Κρήτης. Σημαντικό είναι, να σημειωθεί το γεγονός ότι σε αρκετές από τις περιοχές του νησιού, παρουσιάζονται ελλείψεις στα βροχομετρικά δεδομένα ορισμένων ετών. Για τον λόγο αυτό, είναι πιθανόν να υπάρχουν σφάλματα στα αποτελέσματα που προκύπτουν, παρ' όλα αυτά η μελέτη πραγματοποιείται ως έχει, με τα δεδομένα που βρίσκονται στη διάθεση μας. Οι ελλείψεις αυτές, πιθανόν να οφείλονται στη μη επαρκή κάλυψη των περιοχών αυτών από δίκτυα βροχομετρικών σταθμών.

Από αυτή τη χωρο-χρονική ανάλυση, για τη χρονική περίοδο 1974-2019, επιβεβαιώθηκε ότι υπάρχει ισχυρή ανισοκατανομή του ετήσιου όγκου της βροχόπτωσης, τόσο γεωγραφικά (με αύξηση από τα ανατολικά προς τα δυτικά, όπως φαίνεται και από τα γραφήματα Α.1, Α.2, Α.3 και Α.4 του Παραρτήματος), όσο και φυσιογραφικά (από τις πεδινές προς τις ορεινές περιοχές), εμφανίζοντας βροχοβαθμίδα από τις μεγαλύτερες της Ελλάδας. Ο μέσος όρος της βροχόπτωσης όλων των ετών (1974-2019), εκτιμήθηκε για τον νομό Χανίων στα 1219.05 mm, για τον νομό Ρεθύμνου στα 1037.90 mm, για τον νομό Ηρακλείου στα 666.12 mm και για τον νομό Λασιθίου, στα 714.89 mm. Από αυτά τα δεδομένα και για την ίδια χρονική περίοδο επίσης υπολογίστηκε, ότι ο μέσος όρος βροχόπτωσης της δυτικής Κρήτης φτάνει τα 1128.48 mm, ενώ της ανατολικής Κρήτης τα 690.50 mm. Γίνεται φανερό λοιπόν, ότι η δυτική ακτή (Χανιά, Ρέθυμνο), εμφανίζει κατά μεγάλο βαθμό περισσότερες βροχοπτώσεις από την ανατολική (Ηράκλειο, Λασιθί).

Επίσης, οι συσχετίσεις της βροχόπτωσης μεταξύ των νομών, έδειξαν πως όσο μεγαλώνει η απόσταση του ενός νομού από τον άλλο, τόσο μειώνεται και η συσχέτιση που εμφανίζουν, ενώ για τους νομούς που γειτονεύουν, δηλαδή που η απόσταση είναι μικρότερη, η συσχέτιση παρουσιάζεται αρκετά υψηλή. Πιο συγκεκριμένα, το Ρέθυμνο με το Ηράκλειο φάνηκε ότι έχουν τη μεγαλύτερη συσχέτιση στη βροχόπτωση, ίση με 0.868, ενώ το Λασιθί με τα Χανιά την μικρότερη, ίση με 0.610, αποτέλεσμα που μοιάζει λογικό, δεδομένου της ανισοκατανομής που προαναφέρθηκε (Πίνακας 4.1).

Η υψηλότερη βροχόπτωση, παρατηρείται στον σταθμό Ασκούφου του νομού Χανίων, που βρίσκεται σε υψόμετρο 715 m, με μέσο ετήσιο ύψος βροχής 2015.23 mm, ενώ η χαμηλότερη βροχόπτωση παρατηρείται στο σταθμό του λιμανιού του Ηρακλείου, σε υψόμετρο 10 m με μέσο ετήσιο ύψος βροχής 316.40 mm. Ο σταθμός με το μεγαλύτερο υψόμετρο στην Κρήτη, είναι η Σαμαριά, σε υψόμετρο 1250 m, με μέση ετήσια βροχόπτωση 1521.18 mm. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν, ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στο υψόμετρο κάθε σταθμού και στη στάθμη της βροχόπτωσης που δέχεται. Παρατηρήθηκε, ότι οι σταθμοί που βρίσκονται σε υψηλό υψόμετρο, μεγαλύτερο των 700 m, δέχονται σχεδόν την τριπλάσια ποσότητα υδατόπτωσης από τους σταθμούς που βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο, έως και 10 m (Πίνακας 2.2).

Το ύψος της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα 1974-2019, φάνηκε να ακολουθεί πτωτική τάση, της τάξεως των 0.91 mm/yr (Γράφημα 4.1), ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση της Κρήτης, για το ίδιο χρονικό διάστημα, προέκυψε από το μέσο όρο των 58 σταθμών μελέτης και αντιστοιχεί σε 788.83 mm κατακρημνισμάτων. Η μέση ετήσια βροχόπτωση του νησιού, το 2013 είχε αξιολογηθεί στα 927 mm (Περιφέρεια Κρήτης, 2013), διαφορά δηλαδή της τάξεως των 138.17 mm, η οποία οφείλεται σε διαφορετική περίοδος μελέτης και επιβεβαιώνει την πτωτική τάση του ύψους βροχόπτωσης που σημειώθηκε.

Η μέση μηνιαία βροχόπτωση, παρουσιάζεται μέγιστη τον Ιανουάριο ή τον Δεκέμβριο, καθώς επίσης και οι μήνες Φεβρουάριος και Μάρτιος είναι αρκετά βροχεροί. Επίσης, παρατηρείται ότι η μέση μηνιαία βροχόπτωση είναι ελάχιστη τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, καθώς είναι σχεδόν άνομβροι στο σύνολο της Κρήτης. Τα επεισόδια βροχής έχει αποδειχθεί, ότι δεν εκδηλώνονται σε όλη την έκταση του κάθε νομού, αλλά περιορίζονται σε μικρότερες ζώνες, παρουσιάζοντας τοπικό χαρακτήρα. Από την επεξεργασία των μετρήσεων παρατηρήθηκε ότι μεγάλο ποσοστό των μηνιαίων βροχοπτώσεων εμφανίζονται σε επεισόδια μικρότερης διάρκειας, τα οποία συχνά έχουν μεγαλύτερη ένταση, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε ακραίες καταστάσεις, όπως πλημμύρες (π.χ Φλεβάρης του 2019).

Με βάση τη στατιστική επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε, εκτιμήθηκε για το σύνολο των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών της Κρήτης τη χρονική περίοδο 2007-2018, ότι παρουσιάζεται ένας κύκλος επαναφοράς της βροχόπτωσης 25 ετών. Παρ' όλα αυτά, επειδή η μελέτη αυτή έγινε για διάστημα περίπου 11 χρόνων, δεν έγινε αποδεκτή αυτή η περίοδος επαναφοράς για τη συγκεκριμένη ανάλυση των δεδομένων. Από την ερμηνεία των περιοδογραμμάτων, προέκυψε ο σημαντικός κύκλος βροχόπτωσης για κάθε εξεταζόμενη περίπτωση.

Ο νομός Χανίων και ο νομός Ρεθύμνης, εμφανίζουν μια κοινή κύρια περίοδο επαναφοράς βροχόπτωσης κάθε περίπου 2 χρόνια, ενώ δευτερεύουσα περίοδο επαναφοράς κάθε 4 χρόνια και κάθε 8 χρόνια, αντίστοιχα για κάθε νομό. Προς τα ανατολικά, οι νομοί Ηρακλείου και Λασιθίου, παρουσιάζουν περιόδους επαναφοράς ίδιου κύριου μεγέθους 8 χρόνων, και δευτερεύον μεγέθους 2 χρόνων. Τα αποτελέσματα αυτά, επιβεβαιώνονται και από τις περιόδους επαναφοράς τη δυτικής και ανατολικής Κρήτης, καθώς η δυτική παρουσιάζει ομοιογένεια σε σχέση με τους νομούς της, με μέγιστη περίοδο επαναφοράς κάθε 2 χρόνια και δευτερεύουσα, κάθε 8 χρόνια. Αντίθετα, η ανατολική Κρήτη, ταυτίζεται απόλυτα με τις περιόδους επαναφοράς της βροχόπτωσης των νομών της, με μέγιστο κύκλο επαναφοράς 8 χρόνων και μικρότερο κύκλο 2 χρόνων. Τέλος, το σύνολο όλων των σταθμών, για τη νήσο Κρήτη, παρουσίασε έναν κύριο κύκλο 2 χρόνων και έναν δευτερεύον κάθε 8 χρόνια, ακριβώς όπως και η δυτική Κρήτη. (Γραφήματα 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8).

Επιπλέον, μέσω της στατιστικής επεξεργασίας, εκτιμήθηκε για τα έτη 2007-2019, ότι το σημαντικό έτος για τον νομό Χανίων, ήταν το 2011 με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης 947.17 mm και για τον νομό Ρεθύμνης ήταν το 2017, με 942.73 mm. Το σημαντικό έτος για τον νομό Ηρακλείου ήταν το 2016, με μέσο ετήσιο ύψος βροχής 281.57 mm, ενώ για τον νομό Λασιθίου ήταν το 2011, με 662.08 mm. Η δυτική Κρήτη παρουσίασε ως σημαντικό έτος, το 2008 με μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης 702.82 mm, ενώ η ανατολική παρουσίασε σημαντικό έτος το 2013, με

472.52 mm. Τέλος, το σύνολο των σταθμών της Κρήτης, για την ίδια χρονική περίοδο παρουσίασε ως σημαντικό έτος, το 2008 με μέση ετήσια βροχόπτωση ίση με 621.06 mm.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, είναι επίσης φανερό ότι το δυτικό κομμάτι της Κρήτης δέχεται μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης από το ανατολικό, μέχρι και στα έτη τα οποία παρουσιάζουν μια σταθερότητα ως προς τη βροχόπτωση που δέχονται, ενώ το σημαντικό έτος για την Κρήτη, παρουσιάζει μια σχεδόν “μέση τιμή”, των σημαντικών ετών των νομών της, αλλά και της δυτικής και ανατολικής ακτής της. Επιπλέον, για τους νομούς Χανίων και Λασιθίου, εντοπίστηκε ότι το 2019 ως το έτος με τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις και ακραίες τιμές στη βροχόπτωση, με μέση ετήσια βροχόπτωση ίση με 1677.51 mm και 911.08 mm αντίστοιχα, ενώ για τους νομούς Ρεθύμνης και Ηρακλείου, ήταν το 2015 με μέση ετήσια βροχόπτωση 1362.47mm και 807.12 mm αντίστοιχα. Το 2019 ήταν το έτος με τη μεγαλύτερη διακύμανση της βροχόπτωσης και για την δυτική Κρήτη με μέση ετήσια βροχόπτωση ύψους 1494.13 mm, για την ανατολική Κρήτη με 854.68 mm, καθώς επίσης και για το σύνολο των βροχομετρικών σταθμών της Κρήτης με 1174.41 mm.

Από τον έλεγχο υποθέσεων που πραγματοποιήθηκε τη χρονική περίοδο 1974-2018, για τον έλεγχο του t-test, παρατηρήθηκε ότι στο επίπεδο σημαντικότητας 1% ($\alpha = 0.01$), καμία από τις περιπτώσεις των βροχομετρικών δεδομένων της παρούσας μελέτης, δεν μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική, πέραν από τη κλίση της γραμμικής παλινδρόμησης για τα βροχομετρικά δεδομένα του νομού Λασιθίου, που εμφανίστηκε μηδενική. Από την άλλη για το επίπεδο σημαντικότητας 5 % ($\alpha = 0.05$), παρατηρήθηκαν ως στατιστικά σημαντικά τα βροχομετρικά δεδομένα του νομού Λασιθίου και του νομού Ηρακλείου και κατ’ επέκταση η ανατολική Κρήτη, καθώς επίσης και το σύνολο των βροχομετρικών σταθμών, δηλαδή η νήσος Κρήτη (Πίνακας 4.2).

Για τον μη-παραμετρικό έλεγχο Mann-Kendall, παρουσιάστηκαν παρόμοια αποτελέσματα με τον έλεγχο t-test, καθώς για το επίπεδο σημαντικότητας 1% ($\alpha = 0.01$), καμία από τις περιπτώσεις για τις οποίες εξετάστηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα, δεν μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική, ενώ για επίπεδο σημαντικότητας 5% ($\alpha = 0.05$), παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικά τα βροχομετρικά δεδομένα του νομού Ηρακλείου και της ανατολικής Κρήτης. Επίσης, και για τις δύο περιπτώσεις επιπέδου σημαντικότητας, επιβεβαιώθηκε η φθίνουσα τάση της διακύμανσης της βροχόπτωσης, για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα, εκτός από τη χρονική περίοδο 2007-2018, για τα συνολικά δεδομένα της Κρήτης, που εμφανίστηκε μια μικρή αύξηση στις χρονοσειρές. (Πίνακας 4.3, 4.4).

Με τη μέθοδο ομαδοποίησης των βροχομετρικών δεδομένων με χρήση χαρτών αυτό-οργάνωσης, απεικονίστηκαν μέσω της χωρικής κατανομής των δεδομένων τα αποτελέσματά της σε μορφή χάρτη (εικόνα 4.4). Από τον χάρτη αυτόν συμπεραίνεται η ομοιομορφία που παρουσιάζουν οι βροχομετρικοί σταθμοί ανά την Κρήτη ανάλογα με την ένταση μιας απόχρωσης. Σταθμοί με κοινό χρώμα, παρουσιάζουν κοινά μοτίβο (patterns) και κοινά χαρακτηριστικά. Ένα παράδειγμα είναι στον νομό Χανίων ο σταθμός Φαλάσσαρνα με τον σταθμό Πλατανιά, ή αντίστοιχα στον νομό Ηρακλείου, ο σταθμός Τυμπάκι με τον σταθμό Μοίρες, που φαίνεται από τον χάρτη ότι παρουσιάζουν κοινά χρώματα άρα υποθέτουμε και κοινά χαρακτηριστικά. Παρ’ όλα

αυτά υπάρχει αβεβαιότητα ως προς τα αποτελέσματα αυτά, λόγω μικρού αριθμού διαθέσιμων δεδομένων.

Με την μέθοδο Kriging για την ομαδοποίηση των μέσων βροχομετρικών δεδομένων για τα έτη 2010-2018, παρουσιάζεται επίσης ο χωροπληθής χάρτης (εικόνα 4.5), που δείχνει την χωρική μεταβολή της βροχόπτωσης στην νήσο Κρήτη. Στον χάρτη αυτό, αν και δεν είναι τόσο ξεκάθαρη η μεταβολή της βροχόπτωσης από τα ανατολικά προς τα δυτικά, παρ' όλο που στο δυτικό κομμάτι του νησιού διακρίνεται μια αύξηση του ύψους βροχόπτωσης μέσω τη χρωματικής απεικόνισης, είναι ξεκάθαρη η μεταβολή της βροχόπτωσης ανάλογα με το υψόμετρο. Απεικονίζονται συγκεκριμένες περιοχές, με σημαντικό ύψος βροχόπτωσης. Συγκρίνοντας με έναν τοπογραφικό χάρτη της Κρήτης, παρατηρείται ότι πρόκειται για περιοχές που βρίσκονται σε υψηλό υψόμετρο. Πιο συγκεκριμένα, στο δυτικό μέρος του νησιού, εκεί όπου βρίσκονται τα Λευκά Όρη παρατηρείται υψηλή στάθμη βροχόπτωσης. Επίσης, αντίστοιχη συμπεριφορά εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα του νησιού όπου βρίσκεται το Όρος Ίδη στον Ψηλορείτη, όπως και στο ανατολικό τμήμα του νησιού όπου βρίσκεται το Όρος Δίκτη. Οι στάθμες κοντά στο όρος αυτό δεν είναι τόσο αυξημένες όσο στα Λευκά Όρη, αλλά διαφοροποιείται σε σύγκριση με τα γειτονικά του τμήματα, τα οποία έχουν σημαντικά χαμηλότερες στάθμες βροχόπτωσης.

Τέλος, να αναφερθεί ότι έγινε σύγκριση της βροχόπτωσης των σταθμών της Κρήτης, με κλιματικούς δείκτες όπως π.χ. Mediterranean Oscillation Index (MOI), ο οποίος ορίζεται ως κανονικοποιημένη διαφορά πίεσης, μεταξύ Αλγερίου (36.4°N , 3.1°E) και Κάιρο (30.1°N , 31.4°E), με σκοπό να εξεταστεί η μεταξύ τους συσχέτιση. Η σύγκριση έγινε για τη κοινή χρονική περίοδο για την οποία υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα (Σεπτέμβρης 1973 - Δεκέμβρης 2017) και περιέχει επίσης βροχομετρικά δεδομένα σταθμών, πολλοί από τους οποίους πλέον δεν είναι σε λειτουργία. Η βροχομετρική συσχέτιση που εξετάστηκε, αφορά τον μηνιαίο μέσο όρο των δεικτών και της βροχόπτωσης της Κρήτης, η οποία προέκυψε σημαντικά αρνητική (-0.645), γεγονός που δείχνει πως για τη χρονική περίοδο που μελετήθηκαν, υπήρξε μεγάλη, αλλά αρνητική συσχέτιση μεταξύ τους. Το γεγονός ότι η συσχέτιση είναι αρνητική, δείχνει ότι κατά την περίοδο που η θερμοκρασία αυξάνεται μεταξύ Αλγερίου και Καΐρου, παρουσιάζονται βροχοπτώσεις στην νήσο Κρήτη και αντίστροφα. Επιπλέον μελετήθηκε, η ημερήσια συσχέτιση των δεικτών με τη βροχόπτωση της νήσου Κρήτης, εφαρμόζοντας χρονοκαθυστέρηση από 1 έως 7 ημέρες. Τα αποτελέσματα όμως δεν έδειξαν συσχέτιση για όλες τις περιπτώσεις καθυστέρησης που μελετήθηκαν. Σχετικά με τους κλιματικούς δείκτες και την βροχόπτωση στην Κρήτη, έγινε σύγκριση και για την κανονικοποιημένη διαφορά πίεσης μεταξύ των βορείων συνόρων του Γιβραλτάρ (36.1°N , 5.3°W) και του αεροδρομίου Lod στο Ισραήλ (32.0°N , 34.5°E), καθώς επίσης και για την διαφορά πίεσης μεταξύ της Πάντοβα και του Καντίθ, όμως δε βρέθηκε επίσης κάποια συσχέτιση μεταξύ τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- [1] Παπαγρηγορίου, Σ., Καϊμάκη, Σ., Περλέρος, Β., Παπαγεωργίου, Ν., Λαζαρίδης, Λ & Νιάδας, Ι. , 2002, «*Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης*» , Περιφέρεια Κρήτης.
- [2] Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης, 2010, «Φάση Α', Στάδιο Α.1.2. Συλλογή Δεδομένων», Παρατηρητήριο Νερού της Ανατολικής Μεσογείου»
- [3] Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2017 «*1^η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL 13)*», Προσχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών, 43.
- [9] ΥΠΑΝ, ΕΜΠ, ΙΓΜΕ ΚΑΙ ΚΕΠΕ, 2003, «*Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της Χώρας*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Τομέας Υδατικών Πόρων-Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, 535-539.
- [10] Ελληνικός Γεωργικό Οργανισμός “Δήμητρα”, 2014, «*Μετεωρολογικός Χάρτης Κρήτης και Κύπρου HYDROFLIES*», Ορθολογική Διαχείριση Βιοτικών και Αβιοτικών παραμέτρων σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας και μαρουλιού- Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 9.
- [12] Σύμβουλοι Μηχανικοί Ανώνυμη Μελετητική Εταιρία, 2017, «*1^η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL 13)*», Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργεια- Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 4.
- [16] Κατσάνος Χ. Αβούρης Ν., 2009, «*Στατιστικές Μέθοδοι Ανάλυσης Πειραματικών Δεδομένων Συνεργασίας*» , Πανεπιστήμιο Πατρών, 4-5.
- [25] Μάρης Φ.Π., «*Υδρολογία Φυσικού Περιβάλλοντος, Κεφάλαιο 2^ο : Ανάλυση Υδρολογικής Πληροφορίας*», Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, 21-23.
- [27] Κουτσογιάννης Δ., 1997, «*Στατιστική Υδρολογία*», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Τομέας Υδατικών Πόρων, 96 & 131-171.
- [28] Κοντογεώργος Ι., 2004, «*Μοντελοποίηση της υδρολογίας της λεκάνης απορροής του ποταμού Γόφυρου*», Πολυτεχνείο Κρήτης-Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος, 33.
- [29] Γκίκας Π., 2018, «*Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την κατασκευή μονάδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων στην περιοχή της Δημοτικής Νέα Κυδωνίας*», Πολυτεχνείο Κρήτης-Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος.
- [30] Παπαδόπουλος Γ., «*Στατιστικός Έλεγχος Υποθέσεων*», Εργαστήριο Μαθηματικών & Στατιστικής, 121-128.

- [32] Τσιγοπούλου, «Μη Παραμετρικές Στατιστικές Τεχνικές για Περιβαλλοντικά Δεδομένα- Κεφάλαιο 4^ο», Τμήμα Στατιστικής-Σχολή Επιστημών & Τεχνολογίας της Πληροφορίας-Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 26-27.
- [35] Χίνη Μ.Ε., 2016, «Μελέτη της Χωροχρονικής Μεταβολής της Θερμοκρασίας για τον Ελλαδικό Χώρο με τη Χρήση GIS», Τμήμα Γεωγραφίας-Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, 50-55.
- [37] Φιλιππακοπούλου Β., Νάκος Β., 1992, «Θεματική Χαρτογραφία», Τομέας Τοπογραφίας-Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1-6.
- [38] Νάκος Β. 2006, «Ομαδοποίηση Αριθμητικών Δεδομένων», Τομέας Τοπογραφίας-Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1-4.
- [39] Παπαχριστοδούλου Χ., Νάκος Β., 2004, «Ομαδοποίηση Δεδομένων για Χωροπληθείς Χάρτες με τη Μέθοδο Αυτό-Οργάνωσης», Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Α.Π.Θ, 369-373.
- [40] Μοδές Σ.Α. 2006, «Αυτό-οργανωμένοι χάρτες και συμβολική αναπαράσταση γνώσης με μορφή κανόνων», Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών-Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών-Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 19-21.
- [41] Χριστοφίδης Α., Κουτσογιάννης Δ., 2002, «Υδρογνώμων, «Βάση δεδομένων υδρολογικών και μετεωρολογικών χρονοσειρών και σύστημα επεξεργασίας χρονοσειρών», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων Υδραυλικών και Θαλασσίων Έργων, 3.
- [42] Ερευνητική ομάδα «ΙΤΙΑ», 2010, «Θεωρητική τεκμηρίωση για το λογισμικό υδρογνώμων-εκδοση 4», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Πολιτικών Μηχανικών-Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, 2-3.

Διεθνής Βιβλιογραφία

- [43] Emmanouil A.Varouchakis, Gerald A. Corzo, George P.Karatzas, Anastasia Kotsopoulou, 2018, *Spatio-temporal analysis of annual rainfall in Crete, Greece*, Acta Geophysica, 5-6.
- [44] Emmanouil A. Varouchakis, Theodoridou G. Panagiota, Karatzas P. George, 2019, *Decision-Making Tool for Groundwater Level Spatial Distribution and Risk Assessment Using Geostatistics in R*.

Διαδικτυακές Πηγές

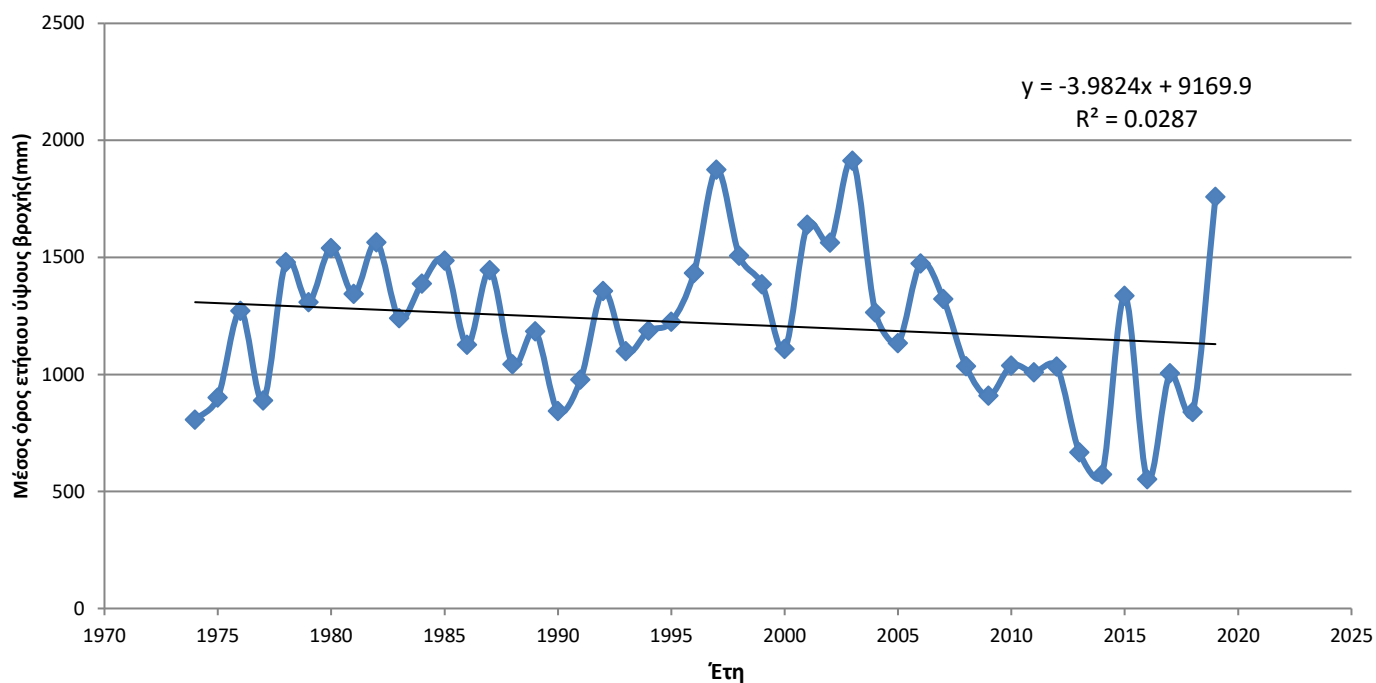
- [4] ΔΠΘ -Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών- Τμήμα Αναβάθμισης Προπτυχιακών Σπουδών, <http://diocles.civil.duth.gr/links/home/database/chania/pr51ge.pdf> [05/2019]
- [5] ΔΠΘ -Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών- Τμήμα Αναβάθμισης Προπτυχιακών Σπουδών, <http://diocles.civil.duth.gr/links/home/database/rethimno/pr42ge.pdf> [05/2019]
- [6] ΔΠΘ -Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών- Τμήμα Αναβάθμισης Προπτυχιακών Σπουδών, <http://diocles.civil.duth.gr/links/home/database/iraklio/pr18ge.pdf> [05/2019]
- [7] ΔΠΘ -Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών- Τμήμα Αναβάθμισης Προπτυχιακών Σπουδών, <http://diocles.civil.duth.gr/links/home/database/lasithiou/pr33ge.pdf> [05/2019]
- [8] Δρ. Χαράλαμπος Φασουλάς, Υπέυθ. Τμήματος Γεωποικιλότητας Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Κρήτης, Πανεπιστημίου Κρήτης, <http://frontoffice-147.dev.edu.uoc.gr/natural-enviroment/rivers/rivers-2.html> , [05/2019]
- [11] Protagon Team, <https://www.protagon.gr/epikairoτητα/panevrwpaike-rekor-i-prwtofanis-vroxoptwsi-stin-kriti-44341789166> [05/2019]
- [13] George P. Karatzas, ResearchGate, https://www.researchgate.net/figure/Final-groundwater-contamination-risk-map-for-the-island-of-Crete_fig10_272237495 [06/2019]
- [14] Μετεωρολογικό και Υδρολογικό Παρατηρητήριο Κρήτης, <http://www.meteo.gr/crete/index.cfm> [09/2019]
- [15] Βικιπαίδεια, Στατιστική, <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%84%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE> [06/2019]
- [17] Βικιπαίδεια, Συσχέτιση και Εξάρτηση, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%85%CF%83%CF%87%CE%AD%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B7_%CE%BA%CE%B1%CE%B9_%CE%B5%CE%BE%CE%AC%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7 [06/2019]
- [18] Βικιπαίδεια, Συντελεστής Συσχέτισης Spearman, https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%85%CE%BD%CF%84%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%82_%CF%83%CF%85%CF%83%CF%87%CE%AD%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B7%CF%82_Spearman [06/2019]
- [19] Microsoft Office, Συνάρτηση Correl, <https://support.office.com/el-gr/article/correl-%CE%A3%CF%85%CE%BD%CE%AC%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7-correl-995dcef7-0c0a-4bed-a3fb-239d7b68ca92> [07/2019]
- [20] Βικιπαίδεια, Ομοιόμορφη Κατανομή, [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CE%BC%CE%BF%CE%B9%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%86%CE%B7_%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%AE\(%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%B5%CF%87%CE%AE%CF%82\)](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CE%BC%CE%BF%CE%B9%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CF%81%CF%86%CE%B7_%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%AE(%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%B5%CF%87%CE%AE%CF%82)) [07/2019]

- [21] Βικιπαίδεια, Διωνυμική Κατανομή,
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CF%89%CE%BD%CF%85%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%AE
 [07/2019]
- [22] Βικιπαίδεια, Κατανομή Poisson,
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%AE_%CE%A0%CE%BF%CF%85%CE%B1%CF%83%CF%83%CF%8C%CE%BD [07/2019]
- [23] Βικιπαίδεια, Κανονική Κατανομή,
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%AE [08/2019]
- [24] Wikipedia, Log-normal Distribution, https://en.wikipedia.org/wiki/Log-normal_distribution [08/2019]
- [26] Νικολακόπουλος, Κεφάλαιο 2^ο ,
https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2530/1/Nikolakopoulos_Chapter_02.pdf
 [08/2019]
- [31] MathWorks, F-statistic & T-statistic, <https://www.mathworks.com/help/stats/f-statistic-and-t-statistic.html> [09/2019]
- [33] Mann Kendall Test For Monotonic Trend,
https://vsp.pnnl.gov/help/Vsample/Design_Trend_Mann_Kendall.htm [09/2019]
- [34] Στατιστική Σημαντικότητα,
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%84%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CF%83%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1 [09/2019]
- [36] Θεματική Χαρτογραφία,
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%B5%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CF%87%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1 [09/2019]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

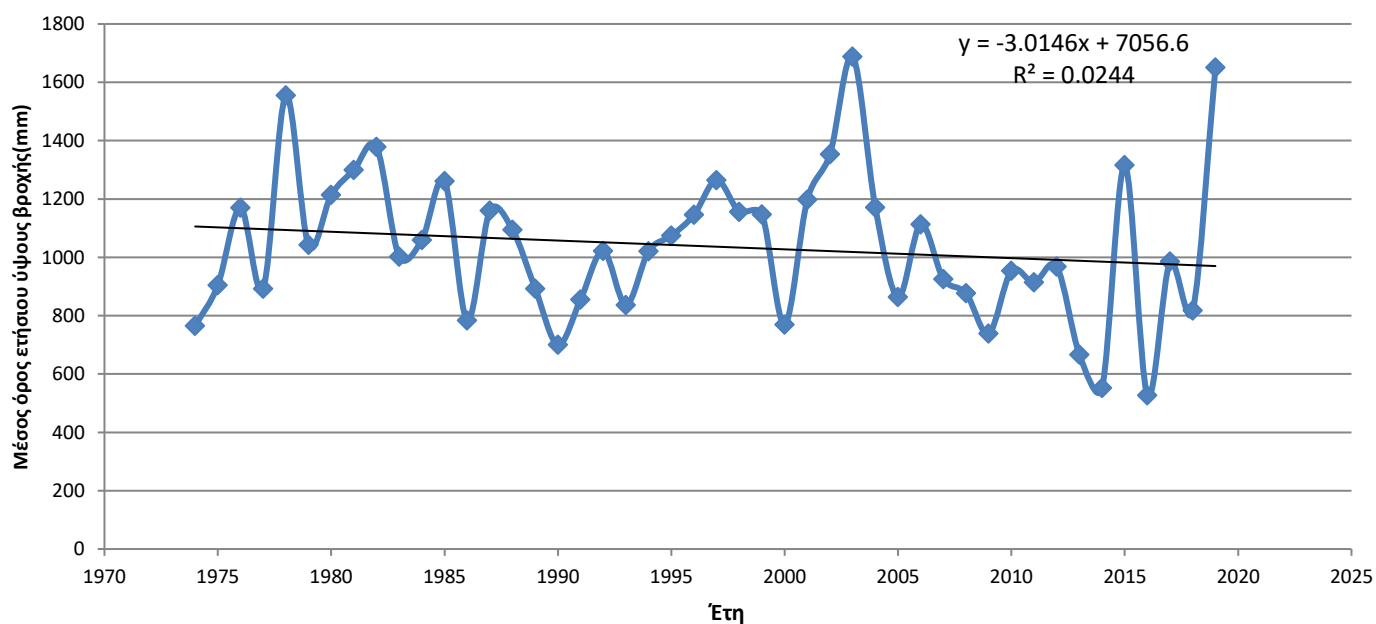
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. – Γραφήματα βροχοπτώσεων

Νομός Χανίων

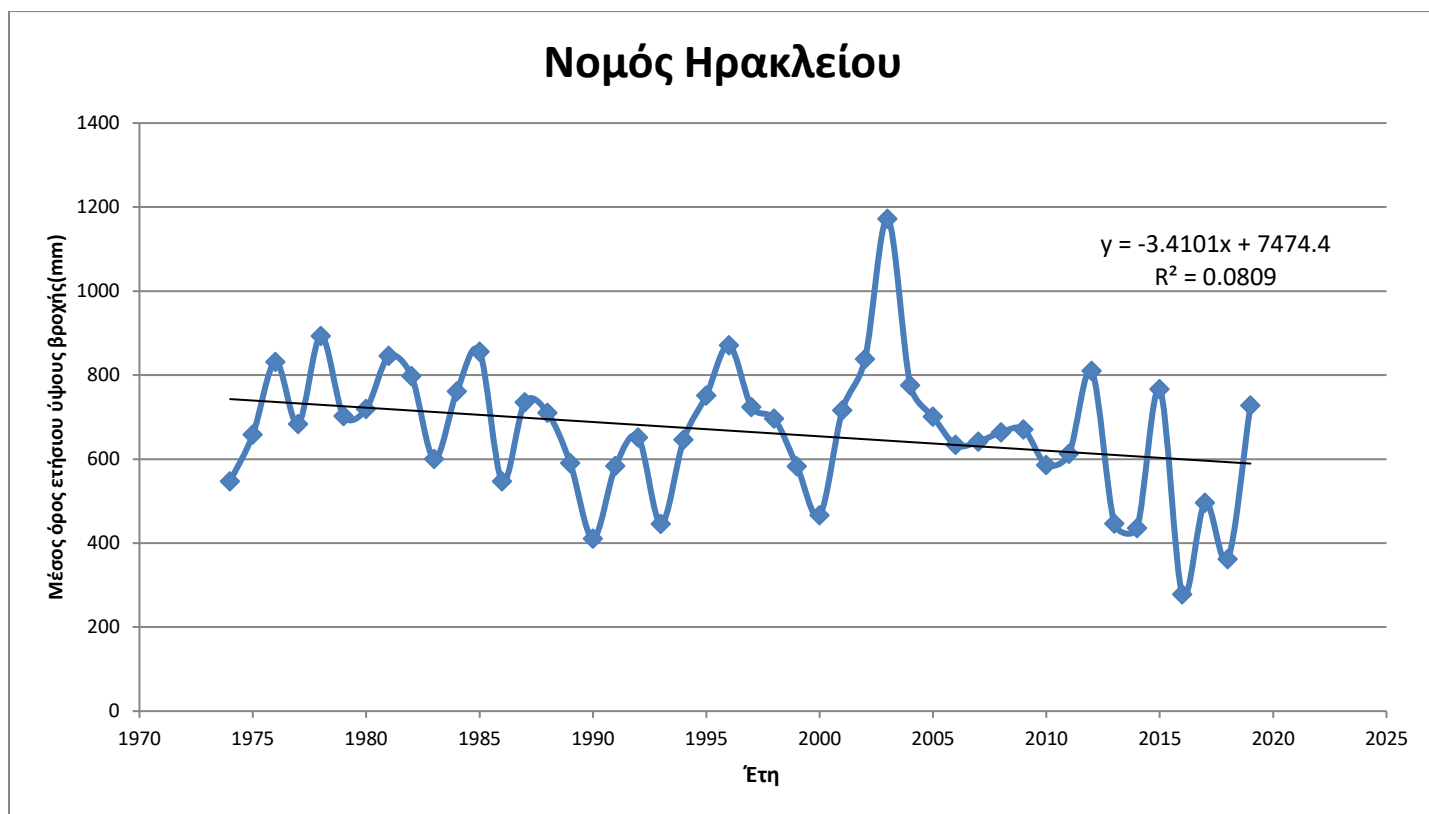


Γράφημα Α.1. Μέση ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 1974-2019 στον νομό Χανίων.

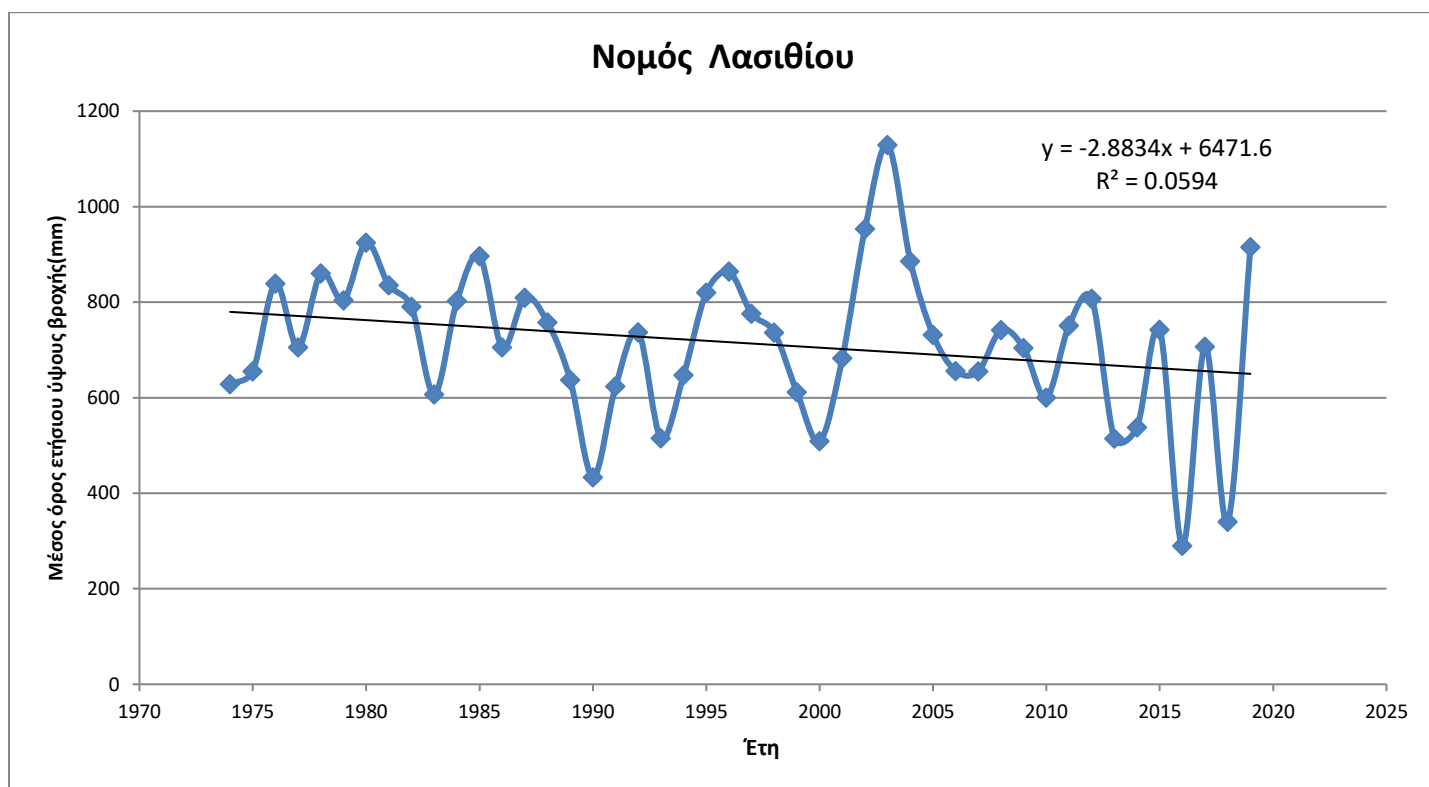
Νομός Ρεθύμνης



Γράφημα Α.2. Μέση ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 1974-2019 στον νομό Ρεθύμνης.



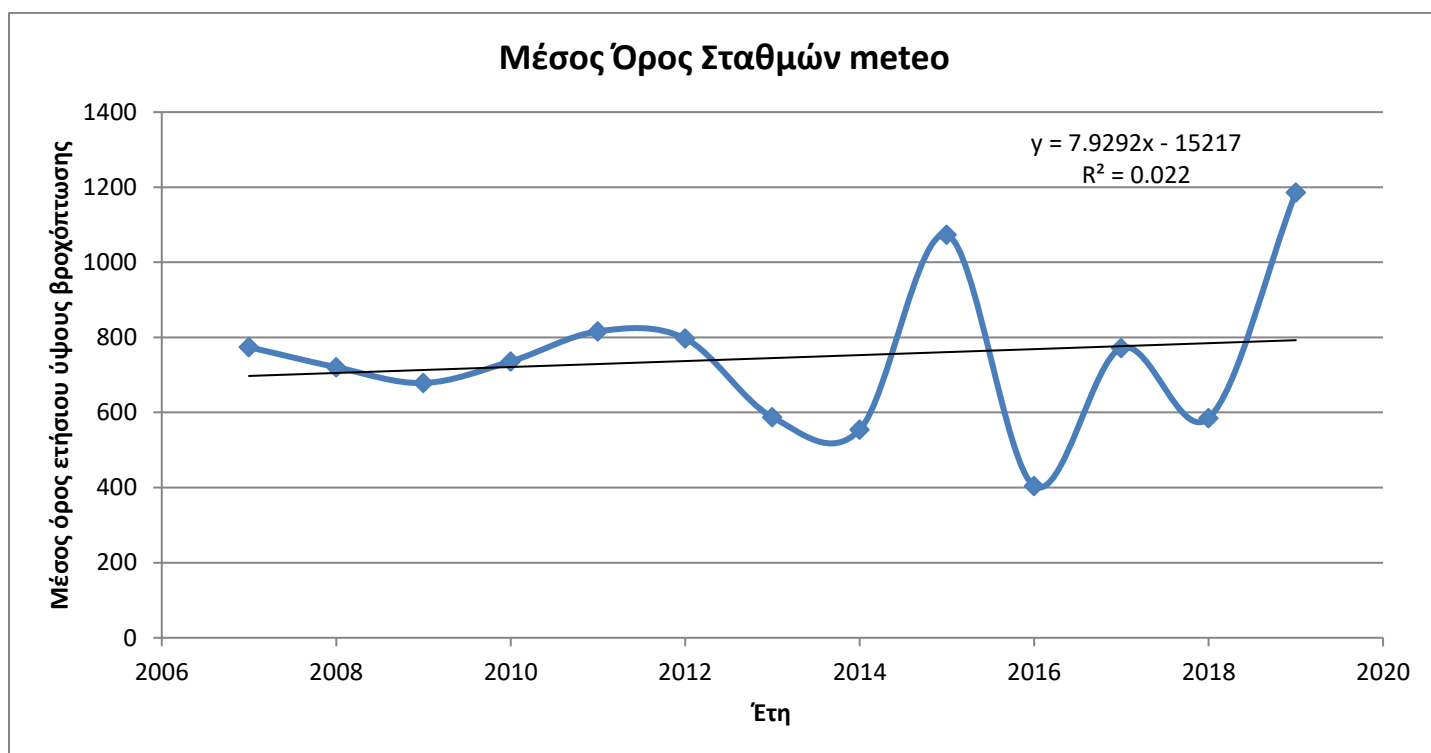
Γράφημα Α.3. Μέση ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 1974-2019 στον νομό Ηρακλείου.



Γράφημα Α.4. Μέση ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 1974-2019 στον νομό Λασιθίου.

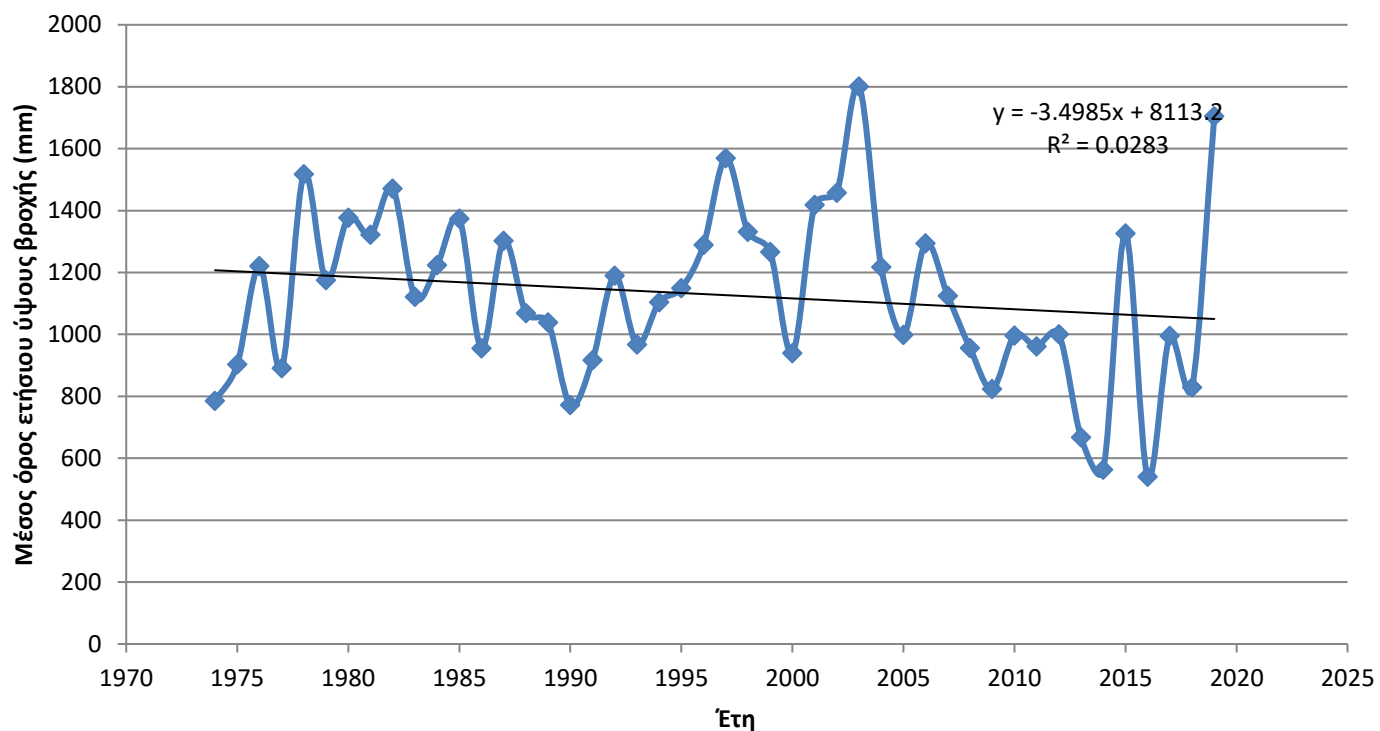


Γράφημα Α.5. Μέση ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 1974-2019 στην νήσο Κρήτη.



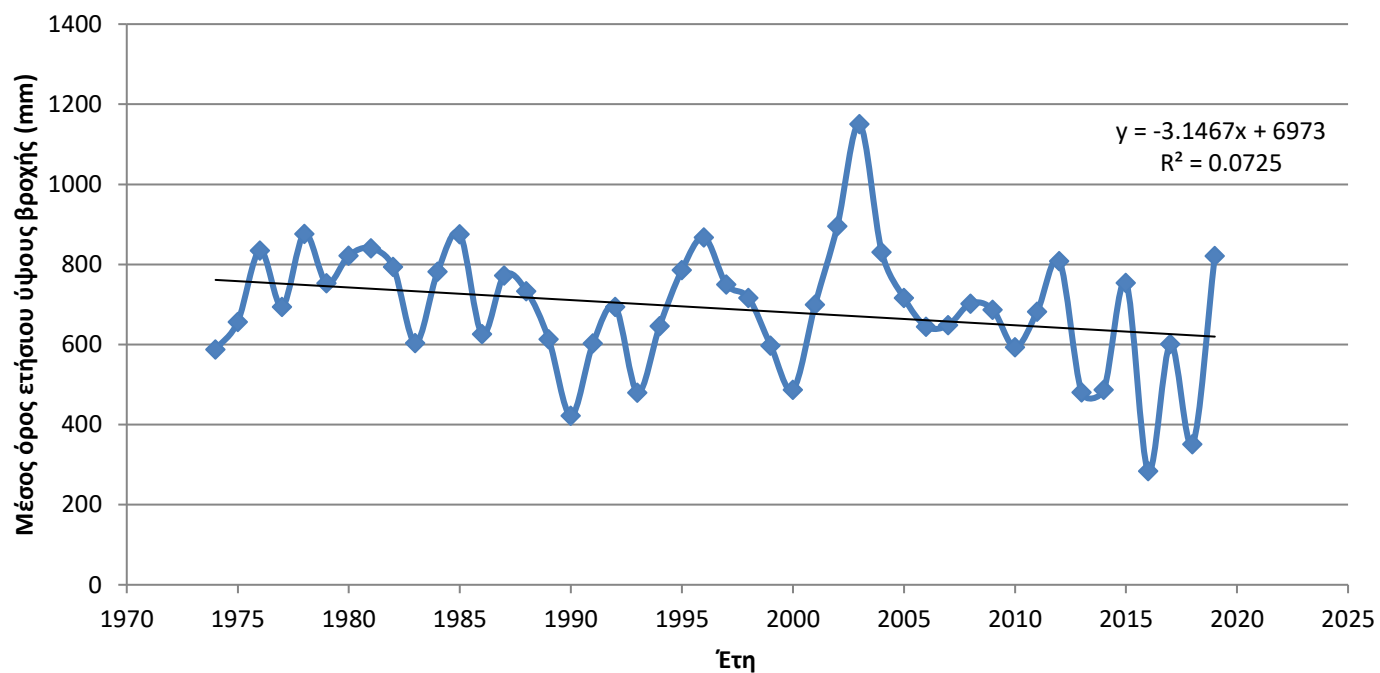
Γράφημα Α.6. Μέση ετήσια βροχόπτωση των βροχομετρικών σταθμών του meteo για τα έτη 2007-2019 στην νήσο Κρήτη.

Δυτική Κρήτη



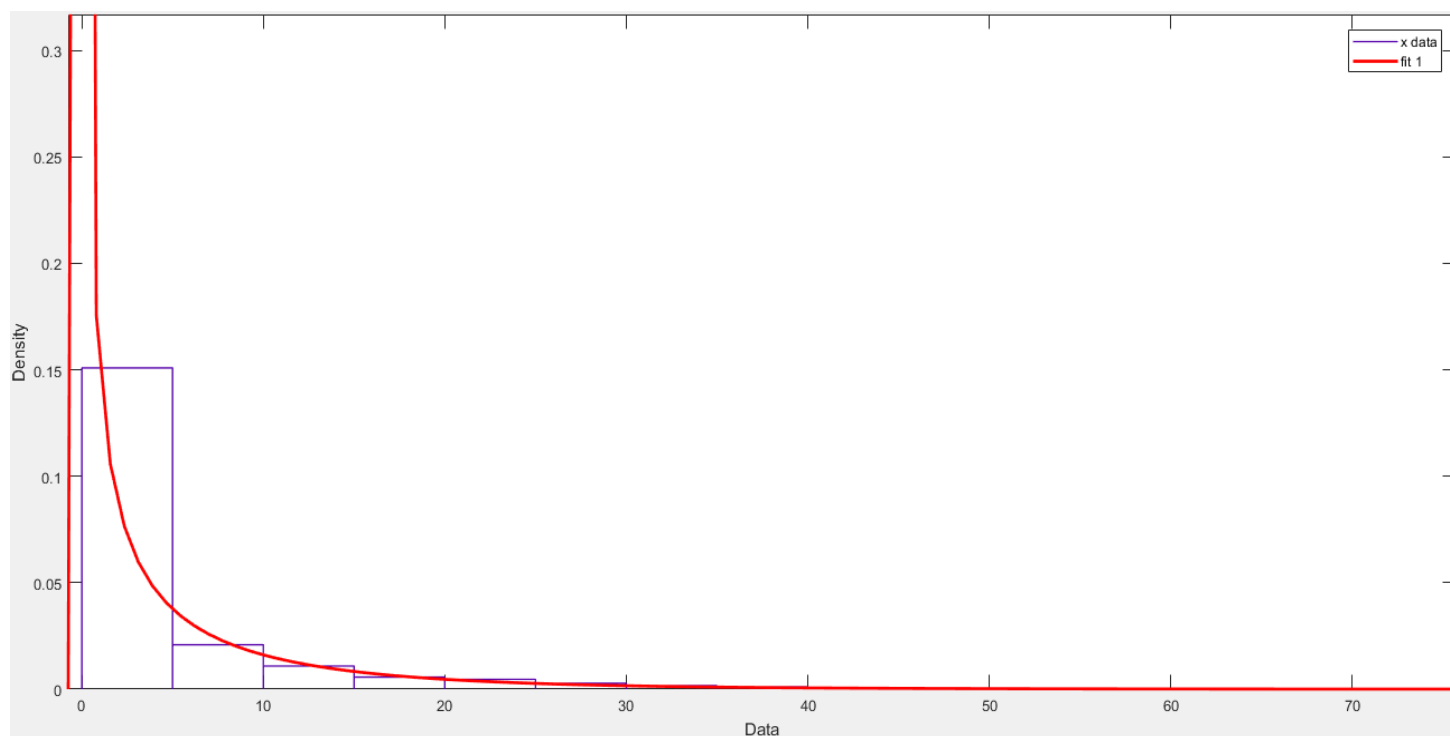
Γράφημα Α.7. Μέση ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 1974-2019 στην δυτική Κρήτη.

Ανατολική Κρήτη

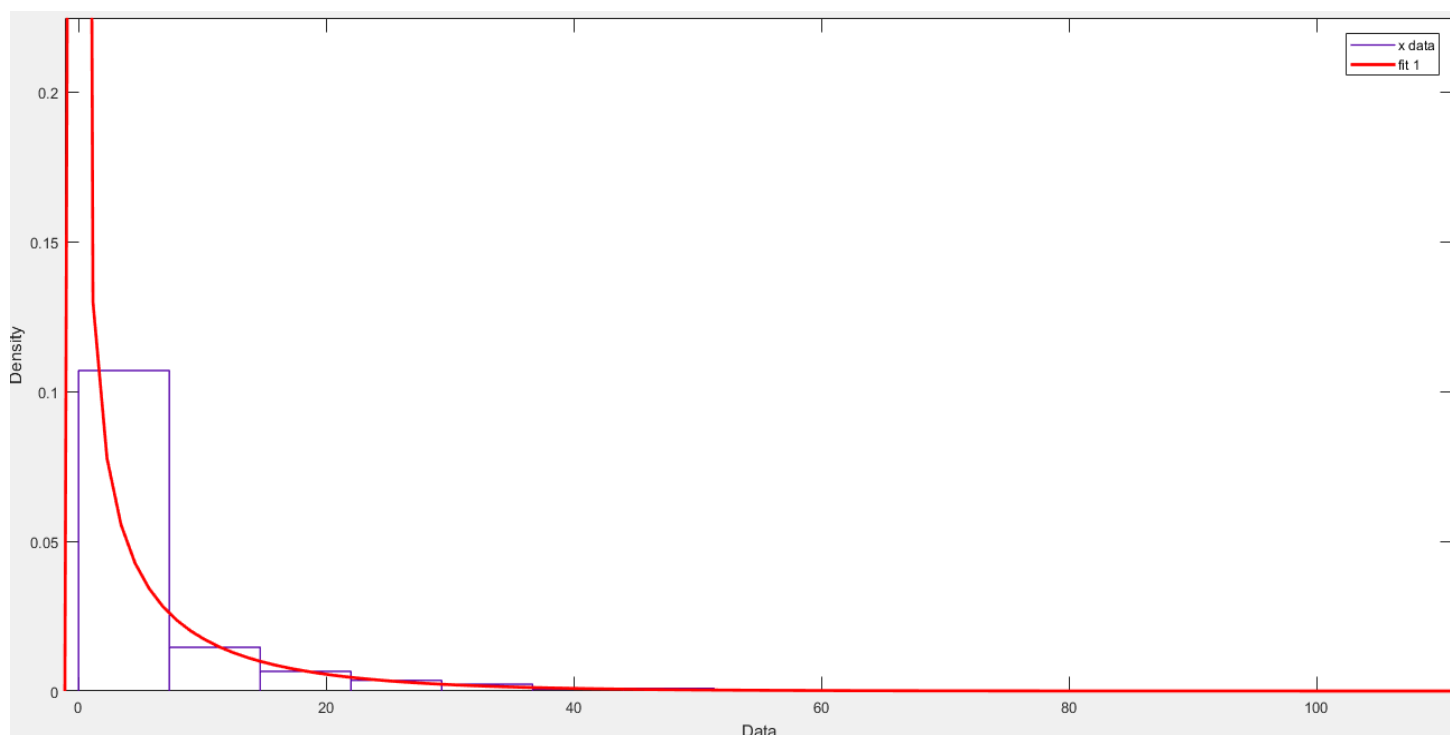


Γράφημα Α.8. Μέση ετήσια βροχόπτωση για τα έτη 1974-2019 στην ανατολική Κρήτη.

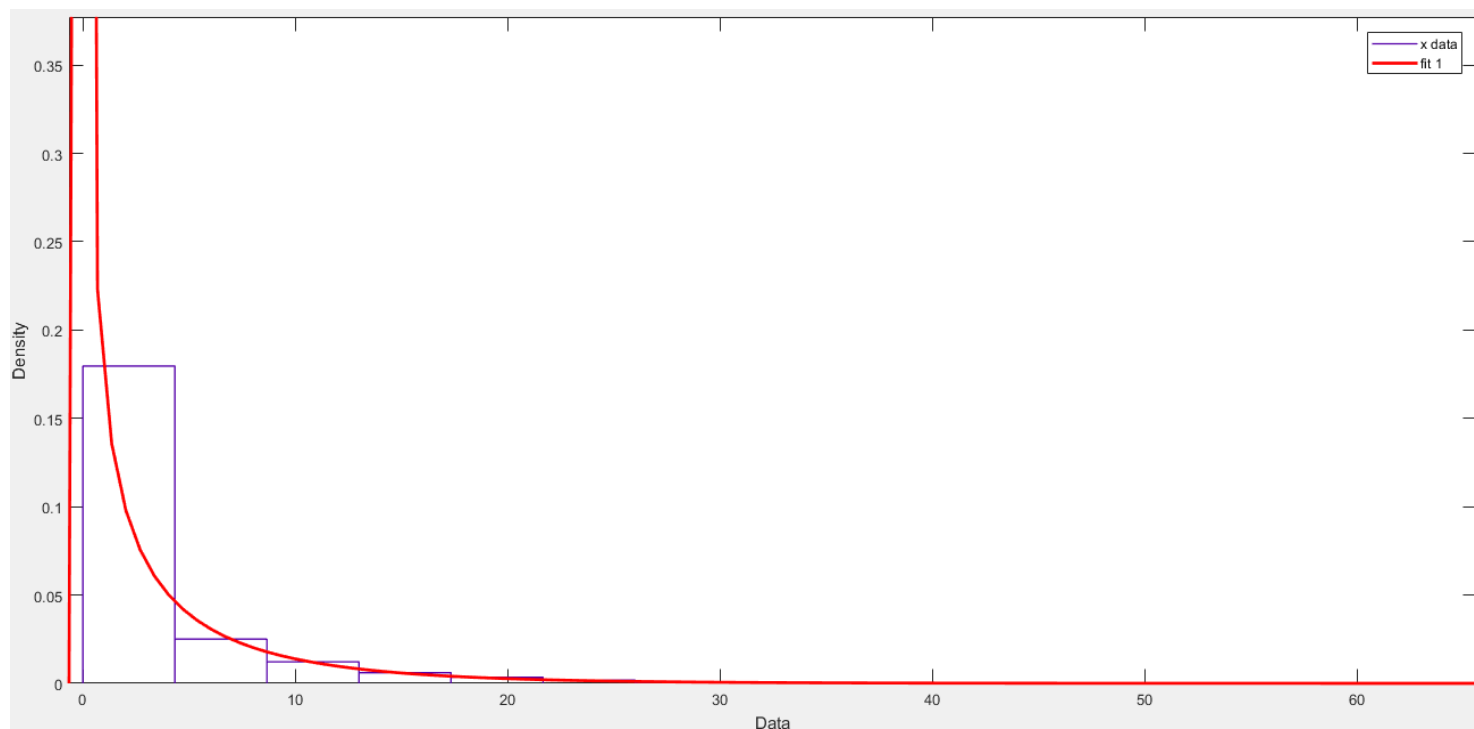
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. – Γραφήματα κατανομών μεθόδου Gumbel



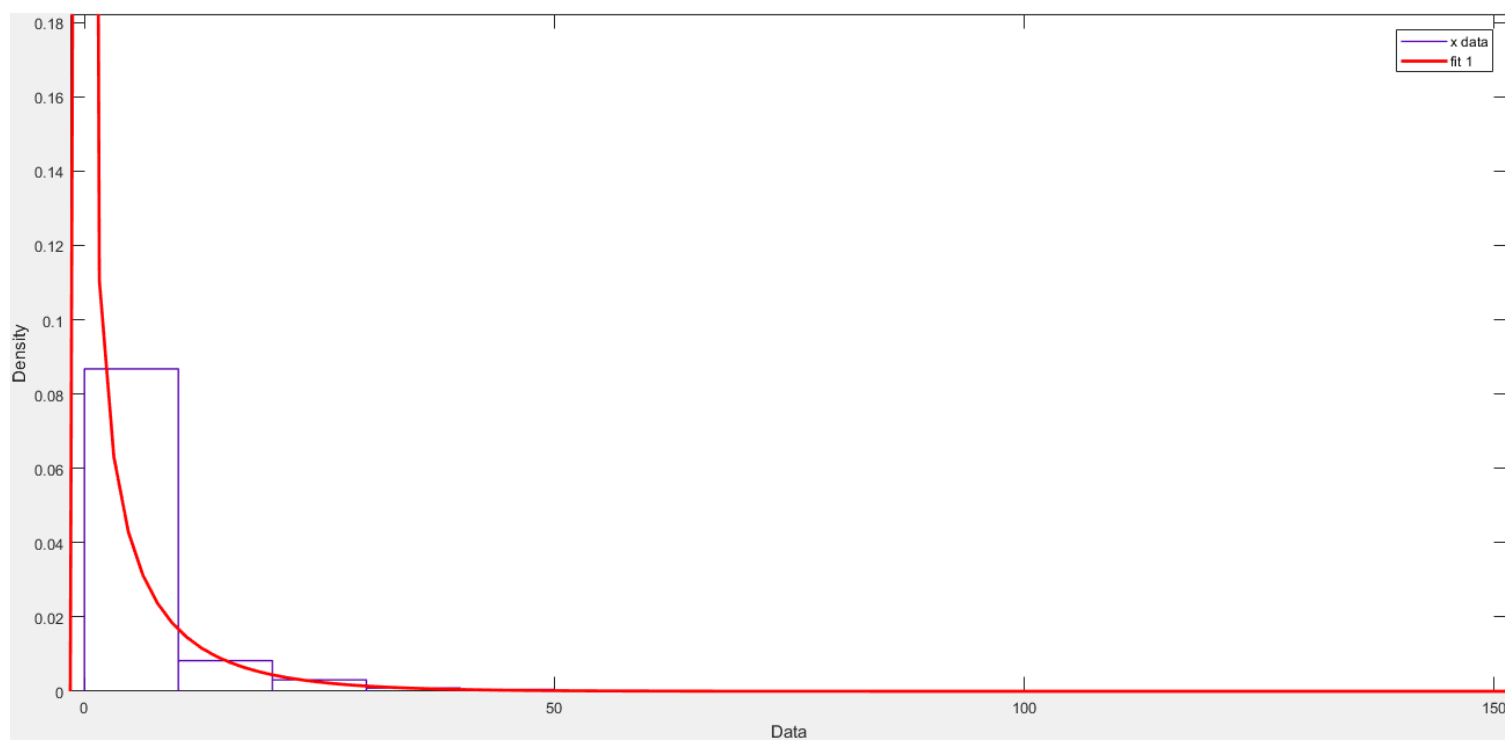
Γράφημα Β.1. Κατανομή Gumbel για νομό Χανίων (για βροχομετρικά δεδομένα από Φλεβάρη του 2006 έως Οκτώβρη του 2018)



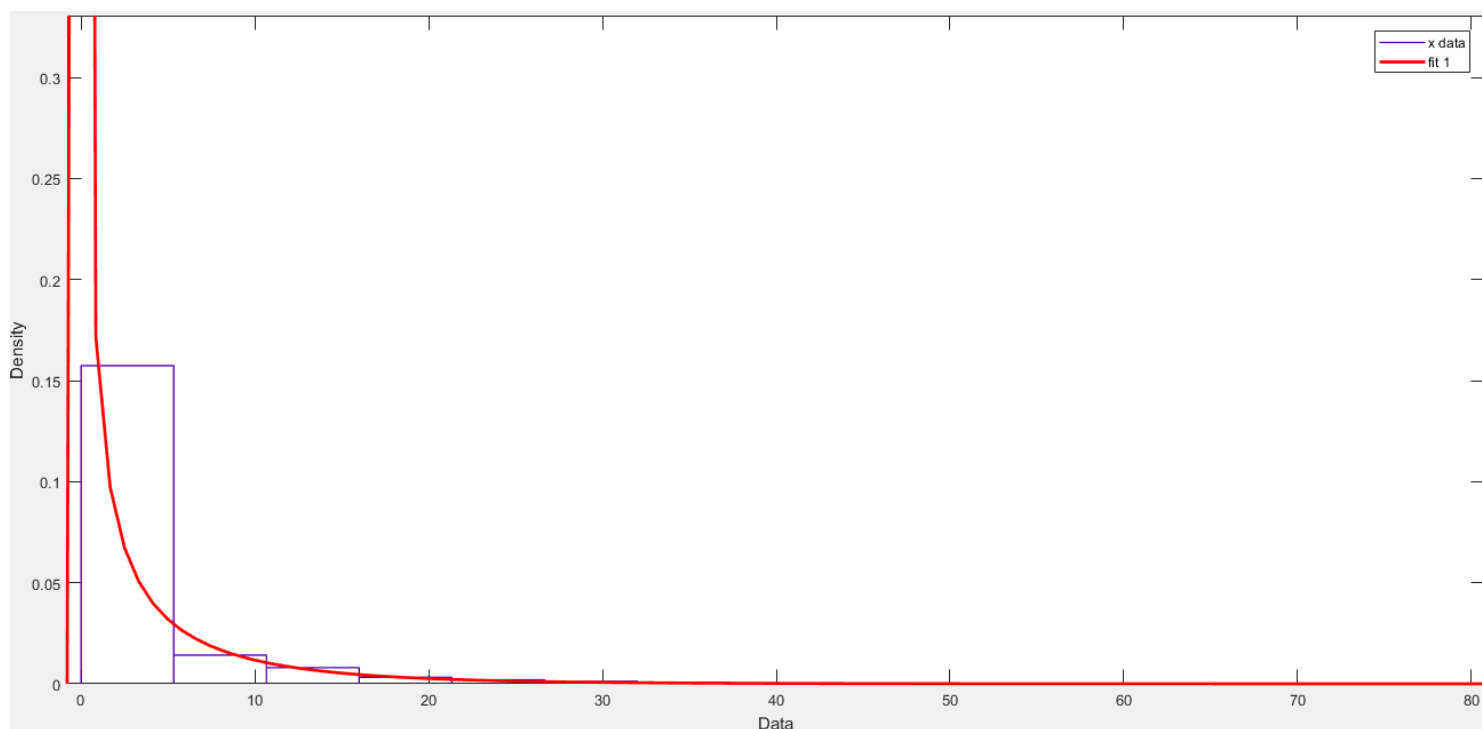
Γράφημα Β.2. Κατανομή Gumbel για νομό Ρεθύμνης (για βροχομετρικά δεδομένα από Μάιο του 2007 έως Οκτώβρη του 2018)



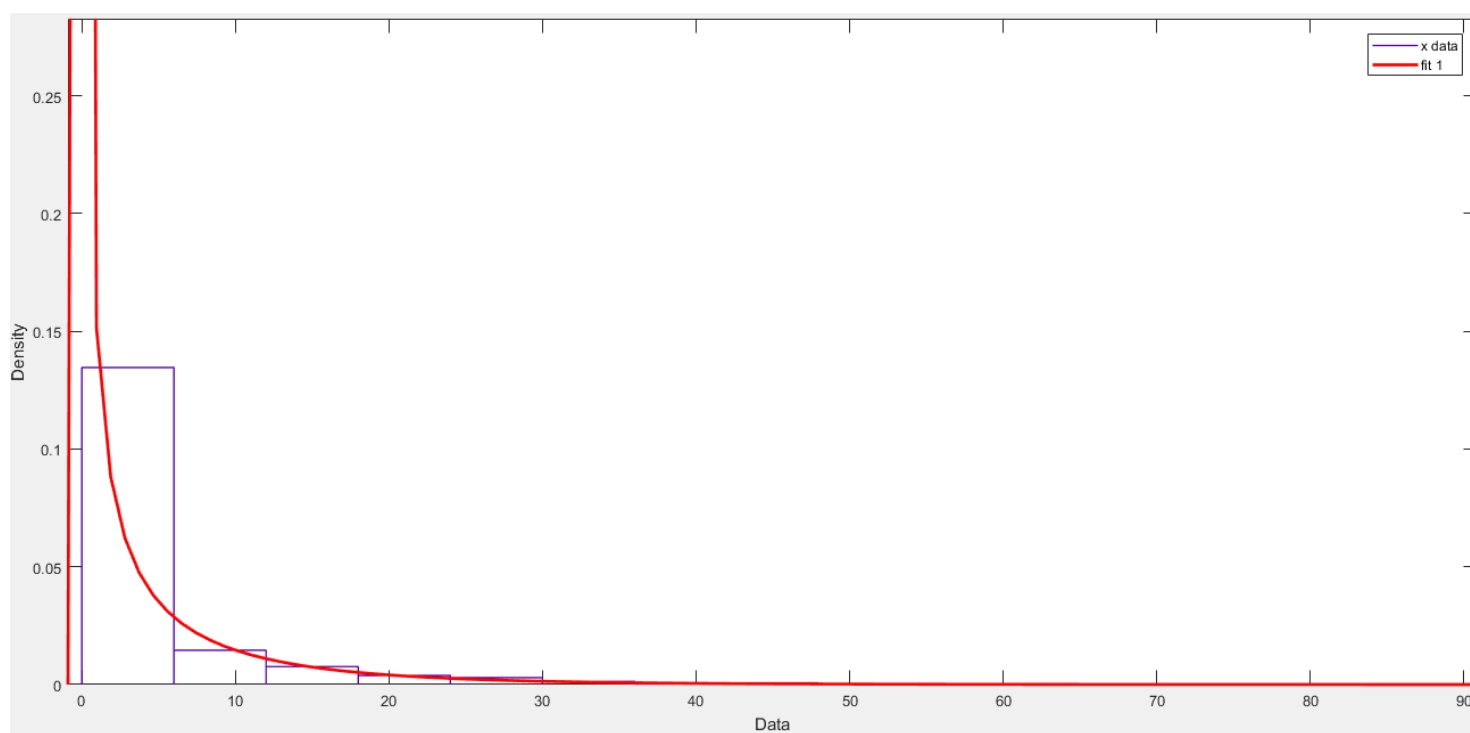
Γράφημα Β.3. Κατανομή *Gumbel* για νομό Ηρακλείου (για βροχομετρικά δεδομένα από Μάιο του 2006 έως Οκτώβρη του 2018)



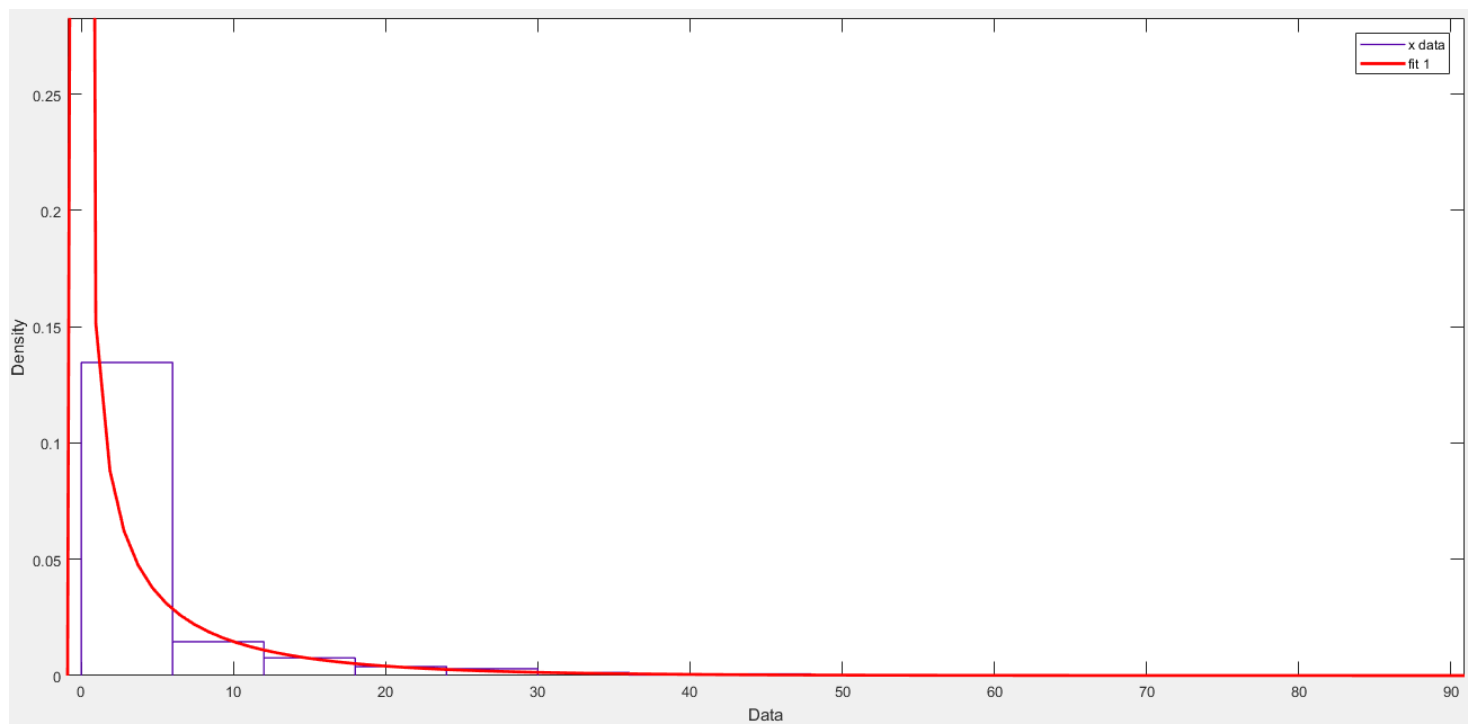
Γράφημα Β.4. Κατανομή *Gumbel* για νομό Λασιθίου (για βροχομετρικά δεδομένα από Δεκέμβρη του 2006 έως Οκτώβρη του 2018)



Γράφημα Β.4. Κατανομή Gumbel για την νήσο Κρήτη (για βροχομετρικά δεδομένα από Μάιο του 2007 έως Οκτώβρη του 2018)

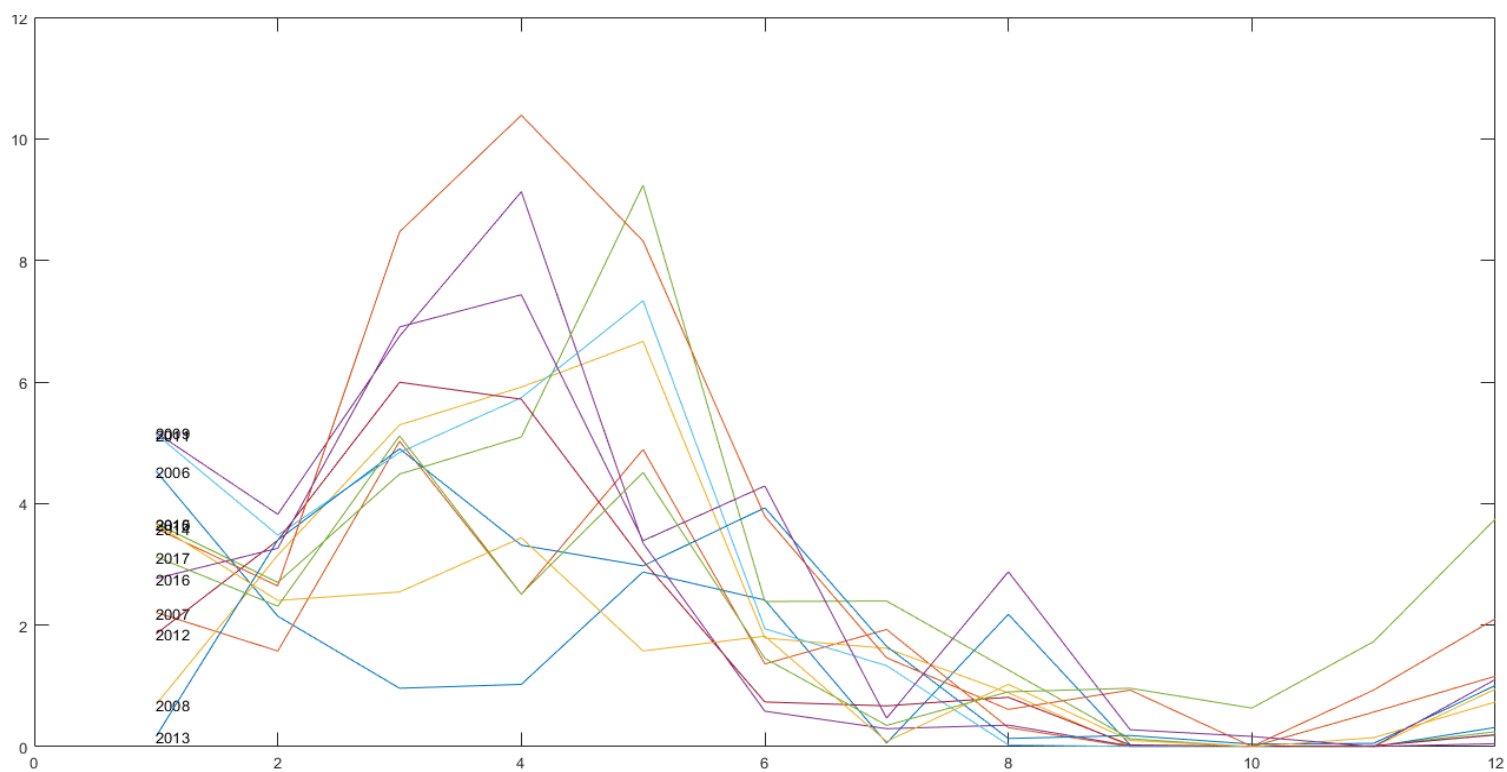


Γράφημα Β.4. Κατανομή Gumbel για τη δυτική Κρήτη (για βροχομετρικά δεδομένα από Μάιο του 2007 έως Οκτώβρη του 2018)

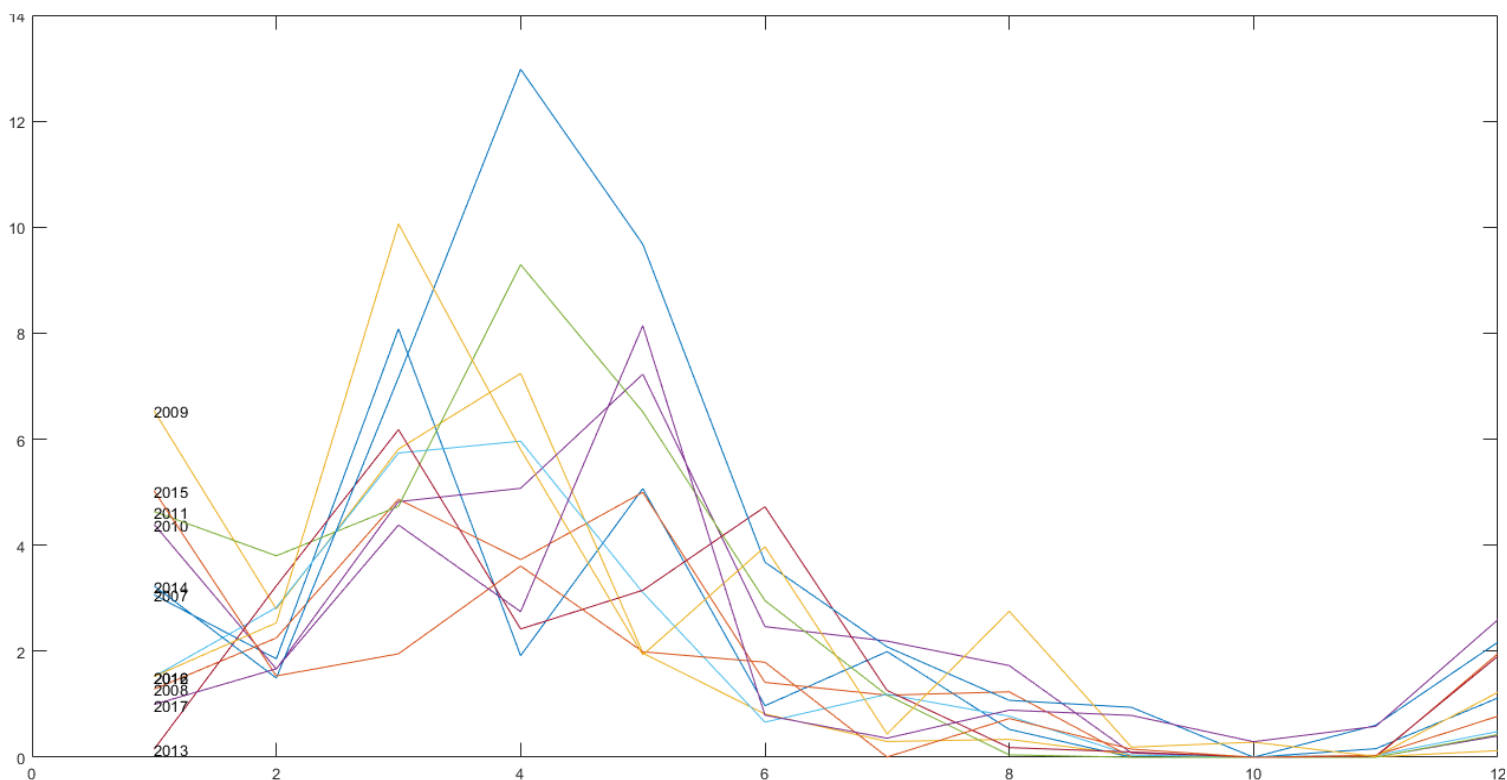


Γράφημα Β.4. Κατανομή *Gumbel* για την ανατολική Κρήτη (για βροχομετρικά δεδομένα από Δεκέμβρη του 2006 ως Οκτώβρη του 2018)

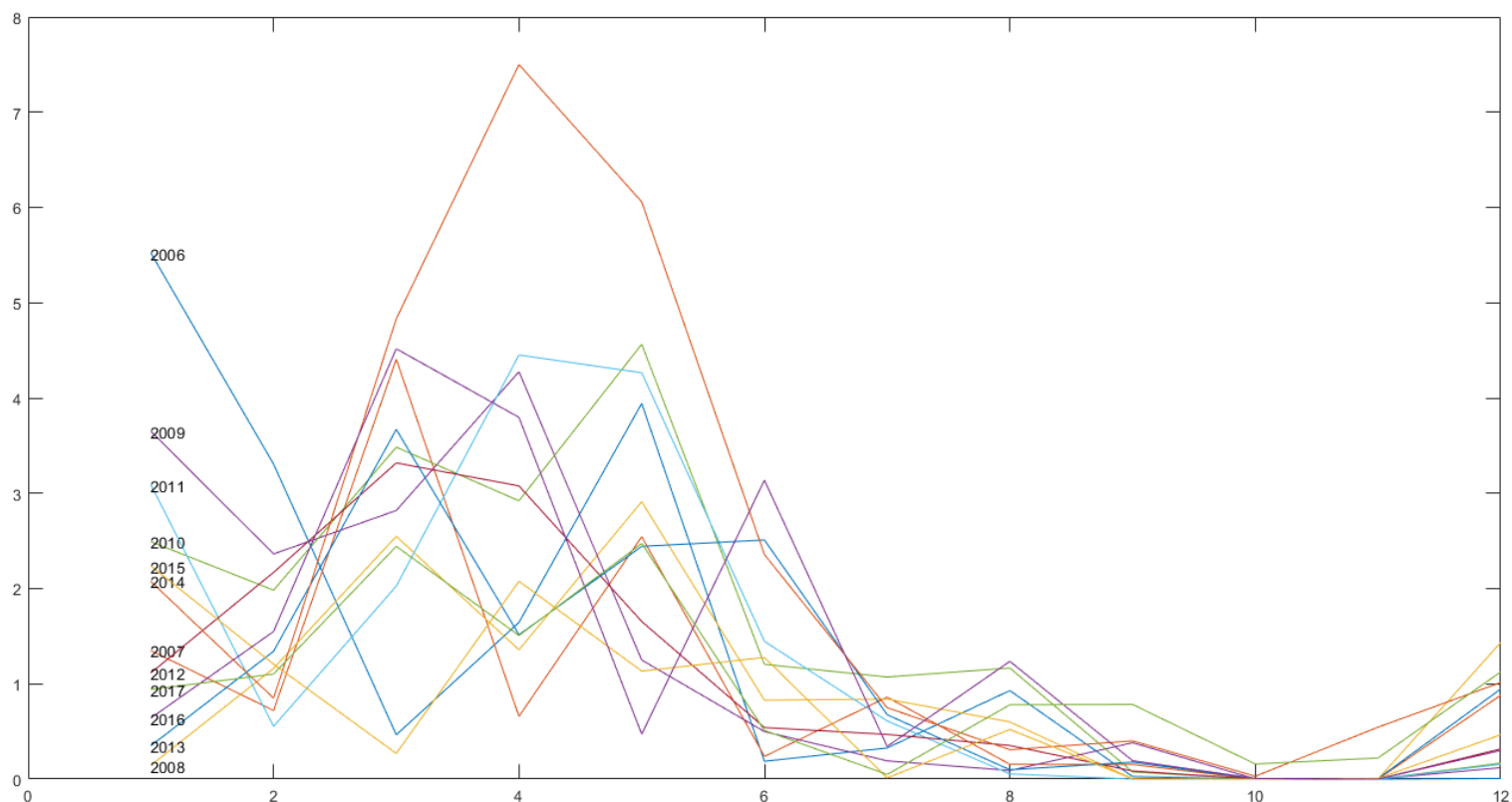
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ. – Γραφήματα σημαντικών ετών



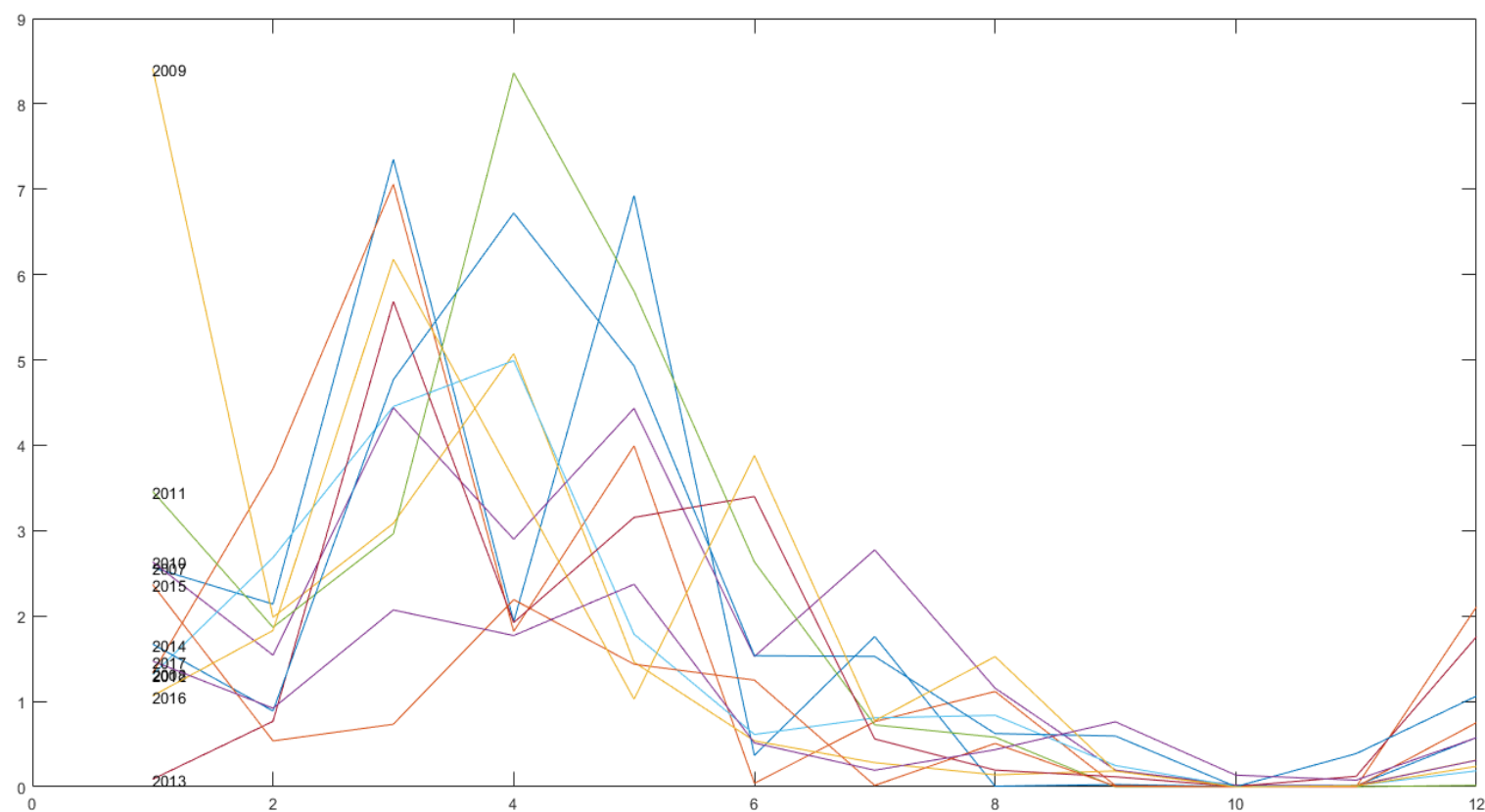
Γράφημα Γ.1. Σημαντικό έτος για τον νομό Χανίων (για τα υδρολογικά έτη 2007 έως και 2018)



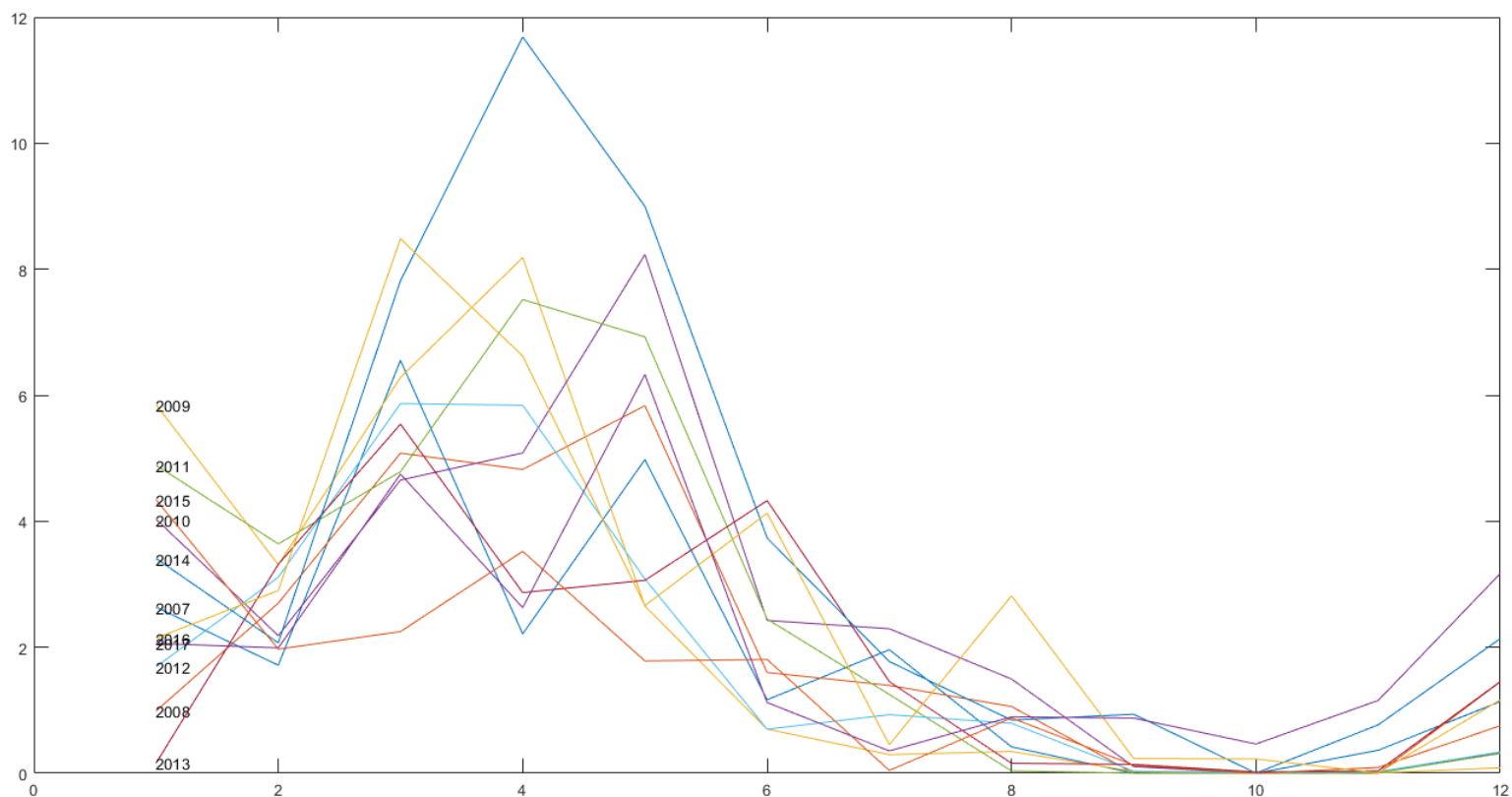
Γράφημα Γ.2. Σημαντικό έτος για τον νομό Ρεθύμνης (για τα υδρολογικά έτη 2008 έως και 2018)



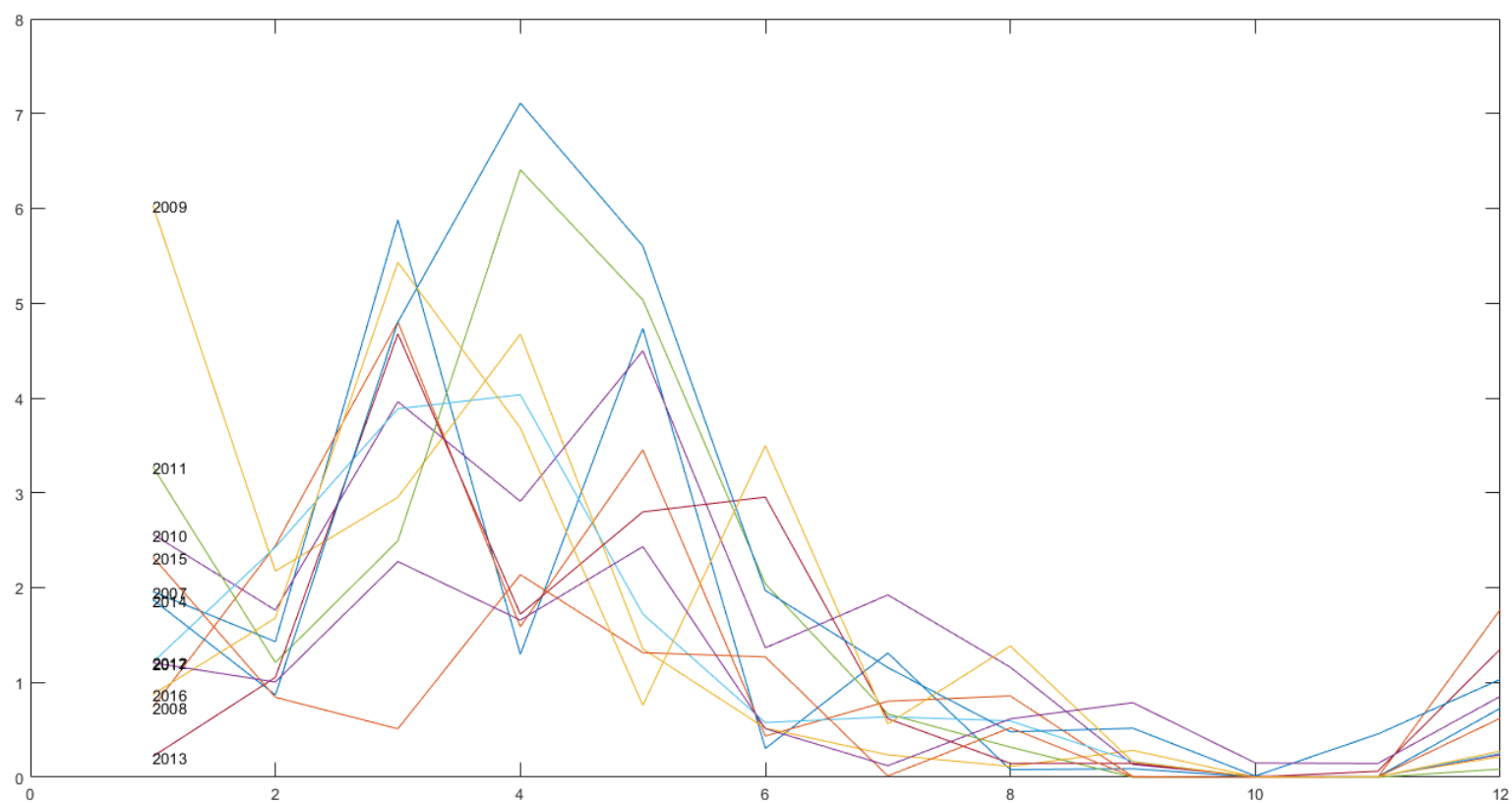
Γράφημα Γ.3. Σημαντικό έτος για τον νομό Ηρακλείου (για τα υδρολογικά έτη 2007 έως και 2018)



Γράφημα Γ.4. Σημαντικό έτος για τον νομό Λασιθίου (για τα υδρολογικά έτη 2008 έως και 2018)



Γράφημα Γ.5. Σημαντικό έτος δυτικής Κρήτης (για τα υδρολογικά έτη 2008 έως και 2018)



Γράφημα Γ.6. Σημαντικό έτος ανατολικής Κρήτης (για τα υδρολογικά έτη 2008 έως και 2018)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. – Κώδικας μεθόδου Kriging σε περιβάλλον R

```
library(geoR)

library(fields)

library(maps)

library(car)

library(moments)

#put Book2.csv in the right path

#dat <- read.csv("C:\\Users\\zan\\Documents\\R\\Book2.csv",header = TRUE)

dat <-
read.csv("C:\\Users\\levaro\\OneDrive\\Documents\\DOCUMENTS\\DELFT2018\\PRO
JECT\\Book2.csv",header = TRUE)

x <- dat$x
y <- dat$y
z <- dat$z

s <- cbind(x,y)

bl <- boxcoxfit(z)

plot(bl)

n=bcPower(z,-0.22)

# Plot the sample variogram

## bin edges

hist(z)

qqnorm(z)

qqline(z)

max(z)

min(z)

skewness(z)

kurtosis(z)

sd(z)
```

```

var(z)
plot(z)
#hist(n)
#qqnorm(n)
#qqline(n)
#max(n)
#min(n)
skewness(n)
kurtosis(n)
scatter.smooth(x,y)
data_cloud <- variog(data=z,coords=s, option="cloud", max.dist=10000)
plot(data_cloud, scaled=TRUE, pch=16)
data_cloud_b <- variog(data=z,coords=s, bin.cloud=TRUE, max.dist=3000)
plot(data_cloud_b , bin.cloud=TRUE)
#plot(variogram(z~1, book2, cloud=TRUE))
bins<-seq(0,3000,400) # sequence by differences
vg <- variog(data=z,coords=s, uvec=bins)
plot(vg)
## play with different eedge
#bins<-seq(0,0.2,len=100) # sequence by length
#vg <- variog(data=z,coords=s, uvec=bins)
#plot(vg)
## eyefit the exponential model
#eyefit(vg)
variofit1 <-
variofit(vario=vg,cov.model="exponential",ini.cov.pars=c(50,1000),fix.nugget=FALSE,
         nugget=0.75,weight="equal") # for
HW2, change the cov.model be "matern"
# https://www.rdocumentation.org/packages/geoR/versions/1.7-5.2/topics/cov.spatial

```

```

# draw lines on the empirical variogram

lines.variomodel(x=bins,cov.model="exp",
cov.pars=variofit1$cov.pars,nugget=variofit1$nugget,lty=2)

# Create geodata

mat <- cbind(x,y,z)

geodata <- as.geodata(mat)

#plot(geodata)

# MLE

## trend is the mean function we are going to use. "cte" is the only intercept model

ml1 <-
likfit(geodata,fix.nugget=F,nugget=variofit1$nugget,cov.model="exponential",ini
=variofit1$cov.pars,trend="cte")

# abbreviation in function's argument

lines.variomodel(x=bins,cov.model="exponential",cov.pars=ml1$cov.pars,nugget=ml1
$nugget,lty=3)

legend("bottomright",c("Eye","OLS","MLE"),inset=0.05,lty=1:3)          # "inset" is
the distance of the legend from the margin

#cross validation

xv.ml1 <- xvalid(data=z,coords=s, model = ml1)

plot(xv.ml1,coords=s)

#Create grid of prediction points:

sp1 <- seq(min(x),max(x),length=100)

sp2 <- seq(min(y),max(y),length=100)

sp <- expand.grid(sp1,sp2)

# what sp looks like?

sp

#inEC<-map.where("state",x=sp[,1],y=sp[,2])                                # It will gives the
state name for the grids you made, if nothing there,

# it will pops out "NA"

#inEC[is.na(inEC)]<-"NA"                                                # Giive those "NA"
values "NA" again! (Maybe don't need to)

```

```

#inEC<-inEC!="NA"                                # Now set inEC to be
those non-"NA" values.

#Perform ordinary Kriging:

pred<-krige.conv(data=z,coords=s,locations=sp,      # in krige.control(trend.d,
trend.l)

    # specifies the trend (covariate) values at the data locations.

    # specifies the trend (covariate) values at prediction locations.

    # trend.d and trend.l are with the same form as trend before

    krige=krige.control(cov.model="exponential",
                        cov.pars=ml1$cov.pars,
                        nugget=ml1$nugget,kappa=ml1$kappa))

#pred$predict[!inEC]<-NA                          # Se the predict value
that is not in the state to be "NA"

#pred$krige.var[!inEC]<-NA                         # Do the same thing for
the krige.var

#Plot the predicted values:

#maxmean <- max(pred$predict,na.rm=TRUE)

#minmean <- min(pred$predict,na.rm=FALSE)

image.plot(sp1,sp2,matrix(pred$predict,100,100),main="Prediction Values")

map("county",add=T)

ch <- chull(s)

coords <- dat[c(ch, ch[1]), ] # closed polygon

a=coords[,c(1)]

b=coords[,c(2)]

aa<- cbind(a,b)

bor<- aa

kc=pred

image(kc, borders=bor)

points(s,pch=19)

contour(kc, borders=bor, add=TRUE)

```

```

# Plot the standard deviation:

# check the minimum and maximum of the standard deviation

#maxsd<-max(sqrt(pred$krige.var),na.rm=TRUE) #
na.rm=TRUE means we remove the na values, NA occurs in the ocean part

#minsd<-min(sqrt(pred$krige.var),na.rm=TRUE)

#X11()

image.plot(sp1,sp2,matrix(sqrt(pred$krige.var),100,100),main="Standard Deviation")

map("county",add=T)

#points(s,pch=19)

ch <- chull(s)

coords <- dat[c(ch, ch[1]), ] # closed polygon

a=coords[,c(1)]

b=coords[,c(2)]

aa<- cbind(a,b)

bor<- aa

kc=pred

image(kc, val=sqrt(kc$krige.var), main="kriging std. errors", borders=bor)

points(s,pch=19)

```