



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

«ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ»

ΑΚΟΥΜΙΑΝΑΚΗ ΟΛΙΑΝΝΑ

Επιβλέπων: Καθηγητής Δ. Κουτσογιάννης
Συνεπιβλέπουσα : Θεανώ Ηλιοπούλου

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Φεβρουάριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

«ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΔΡΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ
ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ»

ΑΚΟΥΜΙΑΝΑΚΗ ΟΛΙΑΝΝΑ

Επιβλέπων: Καθηγητής Δ. Κουτσογιάννης
Συνεπιβλέπουσα : Θεανώ Ηλιοπούλου

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Φεβρουάριος 2023

Copyright © Ολιάννα Ακουμιανάκη

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Ευχαριστίες

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

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ θερμά τον κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη, καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και επιβλέποντα της παρούσας μελέτης, για την ανάθεσή της εργασίας, την πολύτιμη βοήθειά του και τις γνώσεις που μου μετέδωσε μέσω της διδασκαλίας του. Παρακολουθώντας το μάθημα το οποίο διδάσκει, στο πλαίσιο του Δ.Π.Μ.Σ. «*Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*» και υπό την καθοδήγησή του, μου δόθηκε η ευκαιρία συμμετοχής στο συνέδριο E.G.U. το 2021, όπου παρουσιάστηκε η ερευνητική μου εργασία.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στους Δρ. Άνυ Ηλιοπούλου και Δρ. Παναγιώτη Δημητριάδη, για τις οδηγίες και τις πολύτιμες συμβουλές τους, την κατανόηση, την άμεση ανταπόκριση και την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια την διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και στον κ. Μανώλη Βαρουχάκη, καθηγητή μου στα προπτυχιακά χρόνια, για την εμπιστοσύνη και πίστη σε εμένα, συμβάλλοντας καθοριστικά στις μετέπειτα επιστημονικές μου αναζητήσεις.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου και φυσικά τους φίλους μου για τη συμπαράσταση, τις συμβουλές και τη πολύτιμη ψυχολογική υποστήριξη που μου προσέφεραν.

Περίληψη

Η αξιολόγηση των ακραίων τιμών στις υδρολογικές διεργασίες είναι ζωτικής σημασίας, για ένα ευρύ φάσμα ανθρώπινης δραστηριότητας, που ξεκινάει από την αντοχή των έργων υποδομής και επεκτείνεται ως τη διαχείριση κάθε είδους κινδύνου και καταστροφής. Τα τελευταία χρόνια, το νησί της Κρήτης, έχει πληγεί από ακραία καιρικά φαινόμενα, λόγω της γεωγραφικής της θέσης, καθώς βρίσκεται στην νοτιανατολική Μεσόγειο, περιοχή που θεωρείται από τις πιο ευάλωτες στην κλιματική αλλαγή, δεδομένων των συνεπειών που προκύπτουν τόσο από ακραία καιρικά φαινόμενα (πλημμύρες, ξηρασία, καύσωνες) όσο και από την εκτεταμένη αστικοποίηση. Ωστόσο, κατά τις τελευταίες δεκαετίες, οι υδρομετεωρολογικές διεργασίες στην Κρήτη παρακολουθούνται από ένα εκτεταμένο δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών.

Στην παρούσα εργασία διερευνάται η χωροχρονική ανάλυση της υδροκλιματικής μεταβλητότητας, για τις διεργασίες της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας στο νησί της Κρήτης, για τη περίοδο 1950 – 2021. Η μελέτη επικεντρώνεται στην περιγραφή του κλίματος σε όλη την έκταση του νησιού, μέσω της ερμηνείας των χρονικών διακυμάνσεων και της χωρικής ανάλυσης της κατανομής των διεργασιών που μελετώνται, προκειμένου να εντοπιστούν οι ευάλωτες περιοχές. Επίσης, εξετάζεται η εποχικότητα καθώς και οι γεωγραφικές ιδιότητες που αναπτύσσουν οι διεργασίες, με βάση μετρήσεις που ελήφθησαν από τους σταθμούς παρακολούθησης.

Μέσω περιγραφικής στατιστικής ανάλυσης των υδροκλιματικών διεργασιών, εξετάζονται οι διάφορες χρονικές ιδιότητες στα δεδομένα, με την ανάλυση συσχέτισης της μεταβλητότητας της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας να παρέχει σχέσεις μεταξύ σταθμών και περιοχών για αναγνώριση χωρικών προτύπων.

Δεδομένου ότι πολλά γεωφυσικά φαινόμενα χαρακτηρίζονται από τυχαιότητα και δεν μπορούν να περιγραφούν με ντετερμινιστικό τρόπο, επιλέχθηκε η διερεύνηση της χρονικής μεταβλητότητας της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, με τη χρήση στοχαστικών μεθόδων. Για την εκτίμηση της μακροπρόθεσμης εμμονής, εφαρμόστηκε η μέθοδος του κλιμακογράμματος δηλαδή της διασποράς συναρτήσεως της κλίμακας, μελετώντας διεργασίες σε ετήσια και υπερετήσια κλίμακα, γεγονός που μας ενδιαφέρει κυρίως για την διαχείριση των υδατικών πόρων. Με αυτό τον τρόπο ποσοτικοποιείται η παράμετρος Hurst, καθώς επίσης παρουσιάζει μικρότερη αβεβαιότητα συγκριτικά με άλλα στοχαστικά εργαλεία.

Τέλος, απεικονίζεται η χωρική κατανομή των κλιματικών μεταβλητών της βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στην Κρήτη, μέσω χαρτογράφησης, με μεθόδους χωρικής παρεμβολής, που ενσωματώνουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Από τις επιφάνειες αυτές προέκυψαν τα μέγιστα και ελάχιστα ύψη βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για κάθε μια περίπτωση ώστε να μελετηθεί η χωρική μεταβλητότά τους.

Abstract

The assessment of extremes in hydrological processes is crucial for a wide range of human activities, from engineering design to risk management. In recent years, the island of Crete has been affected by extreme weather events due to its geographical position, as it is located in the south-eastern Mediterranean, a region considered to be one of the most vulnerable to climate change, given the consequences of both extreme weather events (floods, droughts, heat waves) and extensive urbanization. However, in recent decades, hydro-meteorological processes in Crete have been monitored by an extensive network of meteorological stations.

The aim of this study is to investigate the spatio-temporal analysis of the hydroclimatic variability for precipitation and temperature processes on the island of Crete for the period 1950 - 2021. The study focuses on the description of the climate throughout the island, by interpreting the temporal variations and spatial analysis of the distribution of the processes studied, in order to identify the vulnerable areas. The seasonality as well as the geographical properties developed by the processes are also examined, based on measurements obtained from the monitoring stations.

Through descriptive statistical analysis of hydroclimatic processes, several temporal properties in the data are examined, while correlation analysis of precipitation and temperature variability provides relations between stations and regions for spatial patterns identification.

Since many geophysical phenomena are characterized by randomness and cannot be described in a deterministic way, the investigation of the temporal variability of precipitation and temperature was chosen, using stochastic methods. To estimate long-term persistence, the climacogram method (i.e., variance of the time averaged process over averaging time scale) was applied, studying processes at annual and interannual scales, which is of particular interest for the management of water resources. In this way, the Hurst parameter is quantified, as well as presenting less uncertainty compared to other stochastic tools.

Finally, the spatial distribution of the climatic variables of precipitation and temperature in Crete is presented, through mapping, with spatial interpolation methods that incorporate Geographic Information Systems (GIS). From these maps the maximum and minimum precipitation and temperature levels for each case were obtained in order to study their spatial variability.

Extended Abstract

Introduction

In the last few years, the island of Crete has been affected by extreme events, due to its geographical location, as it is located in the south-eastern Mediterranean, a region considered to be one of the most vulnerable to climate change, given the consequences of both extreme weather events (floods, droughts, heat waves) and extensive urbanization. However, in recent decades, hydro-meteorological processes in Crete have been monitored by an extensive network of meteorological stations.

This paper investigates the spatio-temporal analysis of the hydroclimatic variability for precipitation and temperature processes on the island of Crete, within the period 1950 - 2021. The study focuses on the description of the climate throughout the island, by interpreting the temporal variations and spatial analysis of the distribution of the processes studied, in order to identify the vulnerable areas. The seasonality as well as the geographical properties developed by the processes are also examined, based on measurements obtained from the monitoring stations

Description of the study area – Data used

The island of Crete is located in the eastern Mediterranean basin and at the southern edge of the Aegean Sea, where three continents meet (Europe, Asia, Africa), representing the southernmost part of the EU. Crete is the largest island in Greece and the fifth largest in the Mediterranean, with a total area of 8335 km² (6,3 % of the country).

Crete has a subhumid Mediterranean climate, characterized by long, hot and dry summers and relatively humid and cold winters. As such, most annual rainfall occurs in winter and rarely during summer (Koutroulis et al., 2010). The average temperature of the island exhibits spatial variation (increasing from west to east and from north to south), with variations in the mountainous areas (lower average temperatures and more intense temperature deviations), where lower temperatures are observed, especially during the winter months.

There are currently 70 active meteorological stations on the island of Crete, from which the daily data of precipitation and temperature were collected, starting from 2006 until today. Also, daily data from 17 meteorological stations of Crete, within the period 1950-2021, were obtained from Hellenic National Meteorological Service (HNMS), some of which are no longer in operation.

After collecting and processing them all on a monthly and annual basis, the data are used for further analysis, including descriptive statistical analysis and spatial interpolation methods. Also, the stations with the longest time series (> 30 years) and the least amount of missing data, were selected for the stochastic analysis.

Methodology

Stochastic processes

In an indeterminate worldview there is uncertainty or randomness, with the later term meaning something simply unpredictable or with inherent uncertainty. To study change according to this approach, the concept of stochastic process is used. This is defined as an arbitrarily (usually infinitely large) family of stochastic variables $x(t)$, that are often used to represent the temporal evolution of natural processes (Dimitriadis & Koutsoyiannis, 2015).

Natural processes as well as their mathematical representation as stochastic processes evolve in continuous time. However, observed time series from these processes are characterized by a sampling time interval D , often fixed by the observer and a response time D of the instrument. The time constants D and D affect the estimation of the statistical properties of the continuous time process. Two special cases. The time constants D and D affect the estimation of the statistical properties of the continuous time process. Two special cases, $\Delta \rightarrow 0$, και $D = \Delta$, are analyzed by Koutsoyiannis (2013a) who shows that in most tasks the differences are small and thus $D = \Delta > 0$, that is also practical for samples with small D . The mathematical relation for stochastic process in discrete time $\underline{x}_i^{(\Delta)}$ for $D = \Delta > 0$ is the following :

$$\underline{x}_i^{(\Delta)} = \frac{\int_{(i-1)\Delta}^i \underline{x}(\xi) d\xi}{\Delta}$$

where $i \in (1, n)$ is an index representing discrete time, $n = [T / \Delta]$ is the total number of observations and $T \in [0, \infty)$ is time length of observations.

Climacogram

The climacogram is a stochastic tool used to distinguish long-term obsession and correlates the variance of the average process with the average of the time scale κ Koutsoyiannis (2013a). The cumulative process of \underline{x}_τ for discrete time κ has been defined as

$$\underline{x}_\tau := \underline{x}_1 + \underline{x}_2 + \dots + \underline{x}_\kappa$$

Through this, the time average of the original process \underline{x}_τ for discrete time scale κ is defined as

$$\underline{x}_\tau^{(k)} := \frac{\underline{x}_{(\tau-1)\kappa+1} + \underline{x}_{(\tau-1)\kappa+2} + \dots + \underline{x}_{\tau\kappa}}{k} = \frac{\underline{x}_{\tau\kappa} - \underline{x}_{(\tau-1)\kappa}}{k}$$

The variance of the process $\underline{x}_\tau^{(k)}$ is a function of the scale κ , which is termed the climacogram of the process

$$\gamma_k := var [\underline{x}_\tau^{(k)}]$$

In the case where the time series \underline{x}_τ represents the so called white noise, i.e. a purely random process in which all events are independent of each other, the double logarithmic scalar diagram would be a straight line with a slope of -1. In real world processes, the slope is different from -1 and is defined as $2H - 2$, where H is the so called Hurst parameter that takes values in the interval $(0, 1)$. The case where this slope is constant for all time scales, as well as for large κ , we can approximate the climacogram as :

$$\gamma_k = \frac{\gamma_1}{k^{2-2H}}$$

where H is termed the Hurst parameter (Hurst 1951) and implied by Kolmogorov (1940). The quantity $2 - 2H$, is visualized as the slope of the double logarithmic plot of the climacogram for large time – scales.

- In a random process, the Hurst parameter is expected to be approximately $H = 0.5$ (white noise behaviour).
- In most natural processes : $0.5 \leq H \leq 1 \rightarrow H$ approaching 1 indicates enhanced presence

of patterns, enhanced change and uncertainty (e.g. in future predictions).

- Low value of H , approaching 0 indicated enhanced fluctuation or antipersistence.

Spatial Interpolation Methods

Environmental sciences and hydrological data management often require spatially continuous data of environmental variables. Precipitation and temperature are a very important part of these hydrological data, which are recorded as observational data through integrated networks of meteorological stations (Li & Heap, 2014). However, these records are often incomplete due to a lack of data during the measurement period or due to insufficient stations in the study area. In order to solve the problem concerning these data, they are estimated through spatial interpolation techniques (Chen & Liu, 2012).

The term of spatial interpolation generally refers to the process of determining the value of a variable z at some point (x, y) in space, since the values of this variable are known at a set of points, usually randomly distributed in space. In other words, it is a process that estimates the value of a parameter, at points where sampling has not been carried out, based on values obtained from the surrounding area. This procedure is based on the logic that adjacent points in space, are more likely to have similar values in contrast to points that are away from each other.

In this study, the spatial interpolation methods IDW and (Ordinary) Kriging are used and analyzed, through Geographical Information Systems (GIS), by mapping the distribution of precipitation and temperature in the study area.

Inverse Distance Weighted Interpolation Method (IDW)

One of the most frequently used deterministic models in spatial interpolation is the Inverse-Distance Weighting (IDW) method. The general premise of this method is that the attribute values of any given pair of points are related to each other, but their similarity is inversely related to the distance between the two locations. (Lu and Wong 2008).

The general relation on which the method is based is the following:

$$f(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n w(d_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n (d_i)}$$

where,

$f(x, y)$: the simulated value of the parameter considered at the point (x, y)

$w(d_i)$: the weight function

z_i : the measured parameter value at point i

d_i : the distance of point i from point (x, y)

n : number of adjacent/nearest sampling stations

Kriging Method

Another family of interpolation methods consists of geostatistical methods (kriging), which are based on statistical models that include autocorrelation, i.e. statistical relationships between measured points. Kriging assumes that the distance or the direction between sampling points reflects a spatial correlation that can be used to explain the variation in the surface. The Kriging method adapts a mathematical function to a specified number of points, or to all points within a specified radius, to determine the output value for each location.

Ordinary Kriging (OK) is the most general and widely used of the Kriging methods and is usually applied by default, provided that the sample follows the normal distribution. It is based on the semi-variogram to predict the value of a variable at some point, and assumes that the stationary mean of the samples is unknown but constant within the estimation area.

The general linear regression equation describing the method for Ordinary Kriging (OK), is obtained as follows:

$$Z_k^*(x) = \sum w_i Z(x_i)$$

where,

$Z_k^*(x)$: the predicted value of the variable

w_i : the weighted coefficients of kriging

$Z(x_i)$: the measured values of the variable at the points x_i, \dots, x_n

Results and Discussion

In this study, for the period 1950-2021, the variation of precipitation and temperature on the island of Crete was studied, for annual, 10-year and 30-year scales. The analysis showed, as shown in Figure 1. below, that no strong trends in the climatic variation of rainfall were identified, which appear insignificant over time, suggesting stationarity. It can therefore be concluded that the rainfall variability decreases, as the time scale increases.

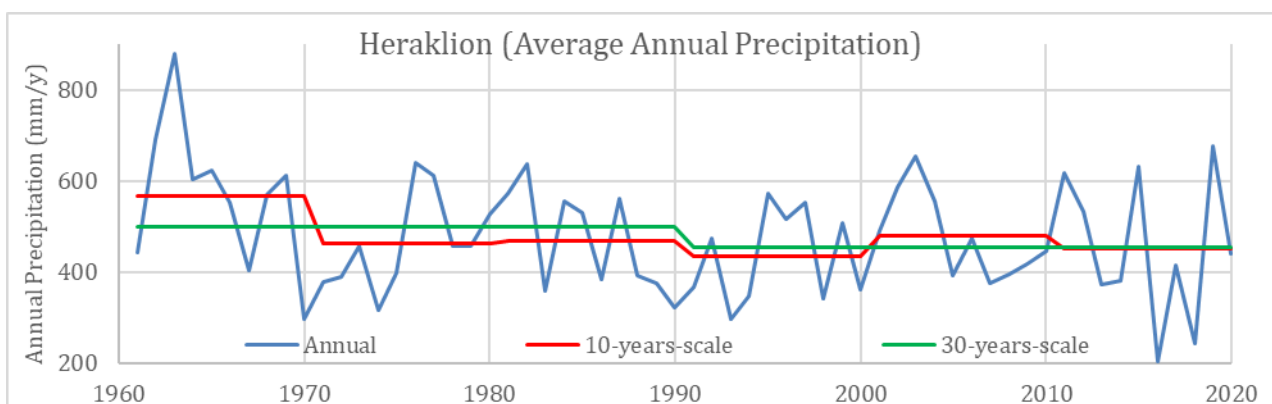


Figure 1. Evolution of total annual precipitation as a climatic element for the period of 1961 -2020.

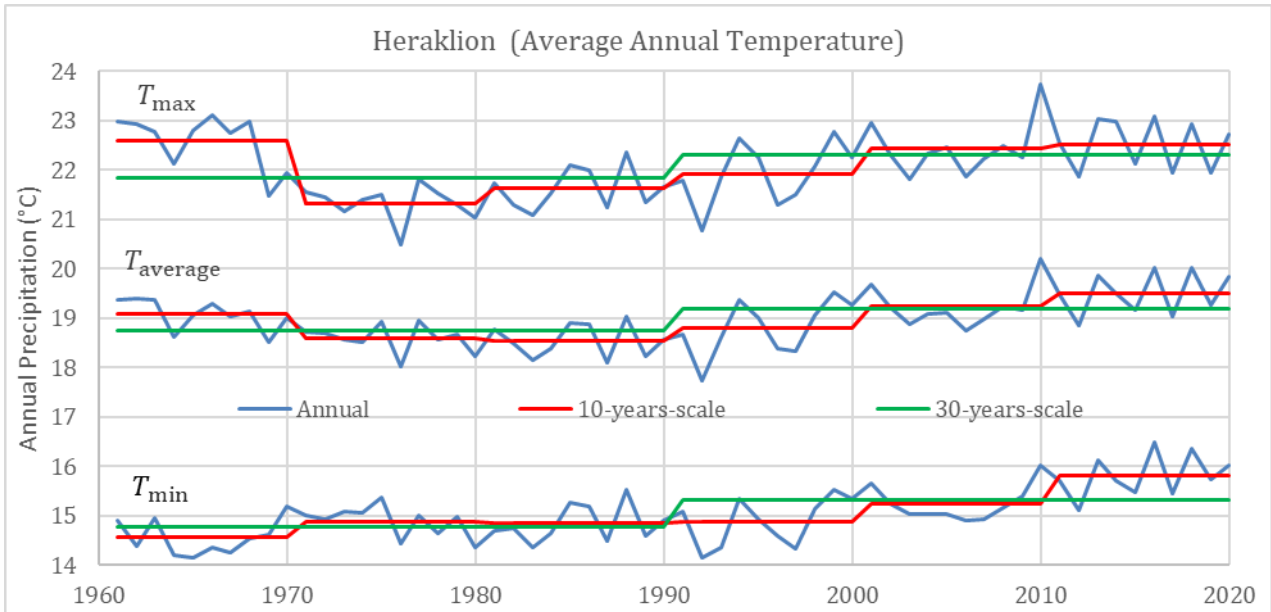


Figure 2. Evolution of total annual temperature as a climatic element for the period of 1961 -2020.

For the temperature of the period 1961-2020 (Figure 2.), it was observed that all three temperature measurements (T_{\min} , T_{average} , T_{\max}), show an unstable behavior, with strong variations in the climate scale over the years, which, similarly to precipitation, decrease while the time scale increases. For the year 1990 and beyond, a slight increase in the trend of the mean annual temperature was detected, with the minimum temperature (T_{\min}), showing the largest increase, compared to the others. It is therefore shown, that the higher temperature rise, occurs at the minimum temperature values, demonstrating that the rate of increase of the minimum temperature is more significant, while it is concluded that the maximum temperatures do not increase as much as the minimum temperatures decrease.

Afterwards, during the stochastic analysis, using the climacogram method, for four stations on the island of Crete, it was found, as expected for most natural processes, that the Hurst parameter takes values between 0.5 and 1. For precipitation (Figure 3), the results suggest weak long-term persistence (mean $H = 0.66$), a value close to the global mean for precipitation ($H = 0.59$), which becomes stronger as the scale increases (Iliopoulou et al., 2018). Thus, it turns out that over time, rainfall is based on randomness, and seems to be an increased presence of patterns and uncertainty as the parameter increases.

For temperature, even higher values of H were found for the minimum, average and maximum climacograms of the three temperature processes, suggesting the presence of long-term persistence on large scales, with an average value of the Hurst parameter equal to $H_{\text{average}} = 0.78$.

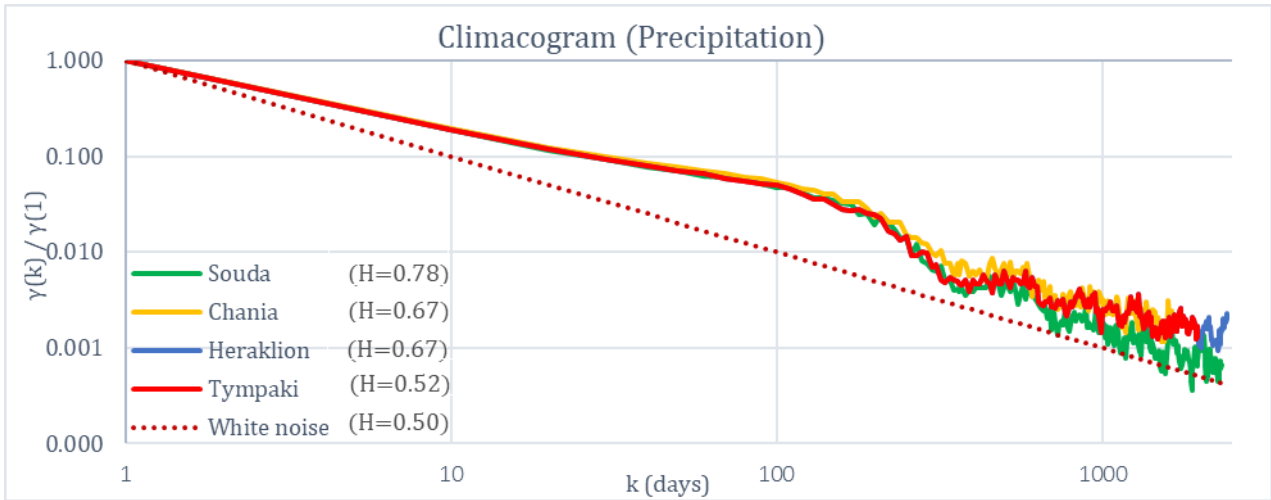


Figure 3. Climacogram of daily scale (k), for the stations of Souda, Chania, Heraklion and Tympaki on the island of Crete.

Finally, the spatial analysis carried out in a GIS environment for the spatial interpolation methods IDW and Kriging for the island of Crete, confirms that there is a strong unequal distribution of the annual rainfall amount (Figure 4), both geographically (with an increase from east to west) and physiographically (from lowland to mountainous areas).

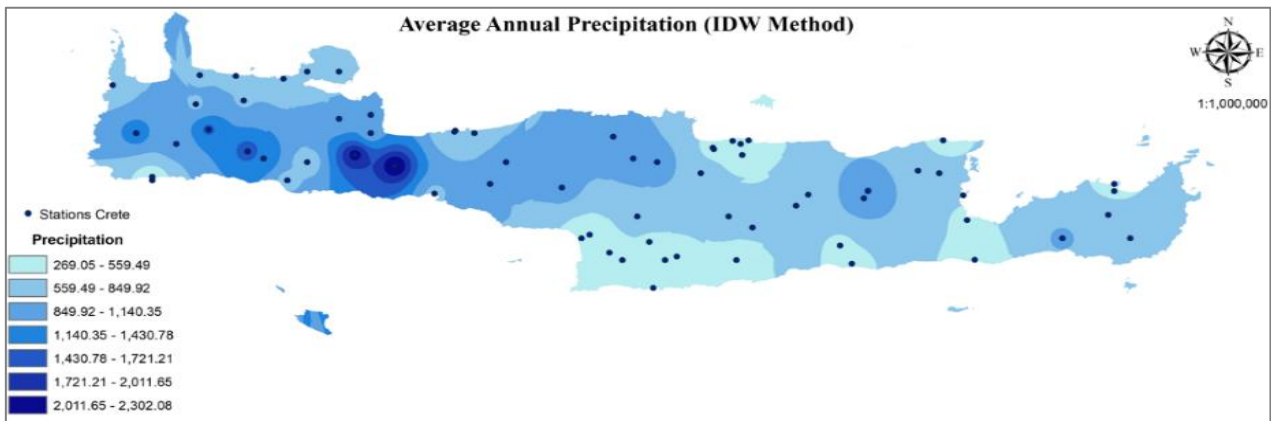


Figure 4. Average annual precipitation on the island of Crete, using the IDW spatial interpolation method.

Regarding temperature (Figure 5), both methods show that the coastal parts of the island are those that receive the highest values, with emphasis on the southern part, with the maximum annual temperature being located in southern Heraklion and specifically in the plain of Messara. The areas with the lowest temperature are those corresponding to mountainous areas, confirming that temperature values are inversely proportional to altitude.

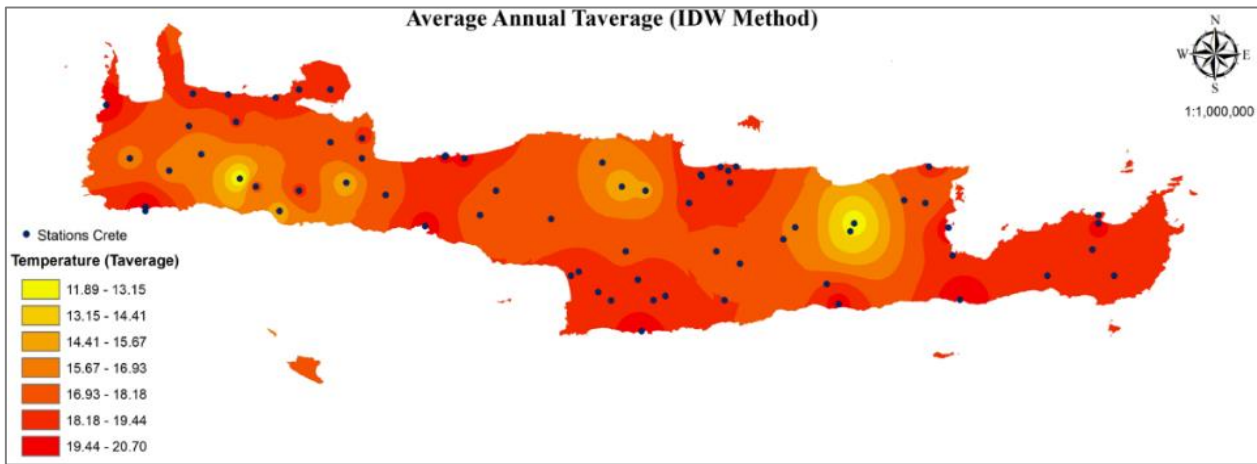


Figure 5. Average annual temperature on the island of Crete, using the IDW spatial interpolation method.

References

- Chen, F. W., & Liu, C. W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment*, 10, 209-222.
- Dimitriadis, P., & Koutsoyiannis, D. (2015). Climacogram versus autocovariance and power spectrum in stochastic modelling for Markovian and Hurst–Kolmogorov processes. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 29, 1649-1669.
- Iliopoulou, T., Papalexiou, S. M., Markonis, Y., & Koutsoyiannis, D. (2018). Revisiting long-range dependence in annual precipitation. *Journal of Hydrology*, 556, 891-900.
- Koutroulis, A. G., Tsanis, I. K., & Daliakopoulos, I. N. (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology*, 394(1-2), 90-100.
- Koutsoyiannis, D. (2013). *Encolpion of stochastics: Fundamentals of stochastic processes*. Lecture Notes of Stochastics, Version, 5.
- Li, J., & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173-189.
- Lu, G. Y., & Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & geosciences*, 34(9), 1044-1055.

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	vi
Περίληψη	vii
Abstract	viii
Extended Abstract	ix
Πίνακας Περιεχομένων	xvii
Ευρετήριο Εικόνων	xviii
Ευρετήριο Πινάκων	xviii
1. Εισαγωγή	22
1.1. Γενικά	22
1.2. Αντικείμενο της εργασίας	23
1.3. Διάρθρωση εργασίας	23
2. Περιοχή Μελέτης	25
2.1. Συνοπτικά χαρακτηριστικά της Κρήτης (γεωγραφικά και δημογραφικά) ..	25
2.2. Μορφολογικά χαρακτηριστικά της Κρήτης	26
2.3. Βασικά χαρακτηριστικά του γεωλογικού υποβάθρου της Κρήτης	27
2.4. Το κλίμα της Κρήτης	29
2.5. Υδρολογικά χαρακτηριστικά στο νησί της Κρήτης	30
2.5.1. Οι θερμοκρασίες του νησιού της Κρήτης	31
2.5.2. Η Εξάτμιση	32
2.5.3. Η Σχετική υγρασία στην Κρήτη	32
2.5.4. Οι βροχοπτώσεις στο νησί	32
2.5.5. Οι Άνεμοι της Κρήτης	34
2.5.6. Νέφωση - Ομίχλη - Δρόσος - Ηλιοφάνεια στην Κρήτη	34
2.6. Κύριες χρήσεις γης	35
2.7. Κύριες χρήσεις ύδατος	36
2.8. Επιφανειακά ύδατα	37
2.9. Υδρολογικές λεκάνες Κρήτης	38
3. Βάση Μετεωρολογικών Δεδομένων	39
4. Μεθοδολογία	44
4.1. Στοχαστική Ανέλιξη	44
4.2. Συνάρτηση κατανομής και ροπές	45
4.3. Κλιμακόγραμμα	45
4.3. Μέθοδοι Χωρικής Παρεμβολής (Spatial Interpolation Methods)	47
5. Ανάλυση Δεδομένων & Αποτελέσματα	56
5.1. Αποτελέσματα σημειακής ανάλυσης	56

5.1.1.	Επίδραση υψομέτρου στη βροχόπτωση	56
5.1.2.	Επίδραση υψομέτρου στη θερμοκρασία.....	59
5.1.3.	Σχέση μέσης τιμής (μ) - τυπικής απόκλισης (σ) σχετικά με τη βροχόπτωση	60
5.1.4.	Σχέση μέσης τιμής (μ) - τυπικής απόκλισης (σ) σχετικά με τη θερμοκρασία	62
5.1.5.	Κλιματική διακύμανση της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας στην Κρήτη	65
5.1.6.	Κλιμακογράμματα	69
5.2.	Αποτελέσματα Χωρικής ανάλυσης	71
5.2.1.	Χάρτες μέσης βροχόπτωσης	71
5.2.2.	Χάρτες τυπικής απόκλισης βροχόπτωσης.....	73
5.2.3.	Χάρτες μέσης θερμοκρασίας	76
5.2.4.	Χάρτες τυπικής απόκλισης θερμοκρασίας.....	78
6.	Συμπεράσματα	80
7.	Βιβλιογραφία - Αναφορές.....	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.	88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.	91

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1.	Χάρτης Μεσογείου Θάλασσας (πηγή : https://en.wikipedia.org/)	25
Εικόνα 2.2.	Γεωφυσικός χάρτης Κρήτης (πηγή : Πανεπιστήμιο Κρήτης)	25
Εικόνα 2.3.	Λεκάνες απορροής και περιφερειακές ενότητες υδατικού διαμερίσματος Κρήτης (πηγή : Σχέδιο Διαχείρισης ΥΔ Κρήτης)	26
Εικόνα 2.4.	Χάρτης τοπογραφικού ανάγλυφου Κρήτης (Περιγραφή Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL13))	27
Εικόνα 2.5.	Γεωλογικός Χάρτης Κρήτης (School of Environment, Education and Development, University of Manchester, 2015).	28
Εικόνα 2.6.	Χάρτης χρήσεων γης στο Υ.Δ. Κρήτης (EL13) (Corine Land Cover, 2012).	36
Εικόνα 2.7.	Χάρτης κινδύνου μόλυνσης των υπογείων υδάτων της νήσου Κρήτης (Kourgialas & Karatzas, 2014).	37
Εικόνα 3.1.	Χάρτης απεικόνισης των μετεωρολογικών σταθμών από το Μετεωρολογικό Παρατηρητήριο Κρήτης του meteo (με τα τετράγωνα σημειώνονται οι σταθμοί του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και με κύκλους σημειώνονται οι σταθμοί της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης). Πηγή : https://www.meteo.gr/crete/	39

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2-1 .	Ανάγκες νερού ανά χρήση στο Υ.Δ. Κρήτης (EL13).....	36
Πίνακας 3-1.	Σταθμοί του Μετεωρολογικού Παρατηρητηρίου Κρήτης (πηγή meteo), οι οποίοι επιλέχθηκαν για τη στατιστική ανάλυση (5 χρόνια και άνω) της παρούσας εργασίας. 40	40
Πίνακας 3-2.	Σταθμοί που χορηγήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) για τους οποίους υπάρχουν διαθέσιμα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. 41	41
Πίνακας 3-3.	Σταθμοί που συλλέχθηκαν μέσω του Climate Explorer, τα οποία λαμβάνονται από το Βασιλικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Ολλανδίας (KNMI), για τους οποίους υπάρχουν διαθέσιμα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας.	42
Πίνακας 3-4.	Σταθμοί οι οποίοι χορηγήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) και χρησιμοποιήθηκαν για στοχαστική ανάλυση.	43
Πίνακας 4-1	Ορισμός και εκφράσεις του κλιμακογράμματος για μια διαδικασία σε συνεχή και διακριτό χρόνο, καθώς και οι ιδιότητες του εκτιμητή του (Dimitriadis and Koutsoyiannis, 2015).47	47
Πίνακας 4-2.	Κατάλογος θεωρητικών συναρτήσεων ημιβαριογράμματος, όπου σ_2 είναι η διακύμανση, $ r $ είναι η Ευκλείδεια νόρμα του διανύσματος υστέρησης r και ξ είναι το χαρακτηριστικό μήκος. (E. A. Varouchakis et al. 2012)	53

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2-1. Κατανομή χρήσεων γης στο Υ.Δ. Κρήτης.	35
Σχήμα 2-2. Κατανομή αναγκών ανά χρήση για το Υ.Δ. Κρήτης (EL13).	37
Σχήμα 4-1. Ένα παράδειγμα μια ανέλιξης σε συνεχή χρόνο, σε δειγματικά χρονικά διαστήματα D για περίοδο Ta και με χρόνο απόκρισης οργάνου Δ (Dimitriadis & Koutsoyiannis, 2015).44	
Σχήμα 4-2. Απεικόνιση της μεθόδου Χωρικής Παρεμβολής.....	48
Σχήμα 5-1. Μέση ετήσια βροχόπτωση συναρτήσει του υψομέτρου στο νησί της Κρήτης.	57
Σχήμα 5-2. Τυπική απόκλιση ετήσιας βροχόπτωσης συναρτήσει του υψομέτρου στο νησί της Κρήτης.57	
Σχήμα 5-3. Μέση μέγιστη βροχόπτωση του έτους συναρτήσει του υψομέτρου στο νησί της Κρήτης. .	58
Σχήμα 5-4. Τυπική απόκλιση μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης του έτους συναρτήσει του υψομέτρου στο νησί.....	59
Σχήμα 5-5. Μέση ετήσια θερμοκρασία (T_{min} $T_{average}$, T_{max}) συναρτήσει του υψομέτρου για το νησί της Κρήτης.	59
Σχήμα 5-6. Μέση μέγιστη ετήσια θερμοκρασία (T_{min} $T_{average}$, T_{max}) συναρτήσει του υψομέτρου για το νησί της Κρήτης.	60
Σχήμα 5-7. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ημερήσιας, μηνιαίας και ετήσιας βροχόπτωσης στην Κρήτη.	61
Σχήμα 5-8. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ετήσιας μέγιστης βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης.....	61
Σχήμα 5-9. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ημερήσιας, μηνιαίας και ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{min}) για το νησί της Κρήτης.	62
Σχήμα 5-10. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ημερήσιας, μηνιαίας και ετήσιας μέσης θερμοκρασίας ($T_{average}$) για το νησί της Κρήτης.	63
Σχήμα 5-11. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ημερήσιας, μηνιαίας και ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (T_{max}) για το νησί της Κρήτης.	63
Σχήμα 5-12. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (T_{min} , $T_{average}$ και T_{max}) για το νησί της Κρήτης.	64
Σχήμα 5-13. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό της Πόμπιας Ηρακλείου.	65
Σχήμα 5-14. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό του Καλού Χωριού Λασιθίου.	65
Σχήμα 5-15. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό της Νεάπολης Λασιθίου.	66
Σχήμα 5-16. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό της Μαρωνίας Λασιθίου.	66
Σχήμα 5-17. Εξέλιξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό του Ηρακλείου.	67
Σχήμα 5-18. Εξέλιξη της μέγιστης ετήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό του Ηρακλείου.....	67
Σχήμα 5-19. Εξέλιξη της μέσης ετήσιας ελάχιστης (T_{min}), μέσης ($T_{average}$) και μέγιστης (T_{max}) θερμοκρασίας, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό του Ηρακλείου.	68
Σχήμα 5-20. Εξέλιξη της μέγιστης ετήσιας ελάχιστης (T_{min}), μέσης ($T_{average}$) και μέγιστης (T_{max}) θερμοκρασίας του έτους, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό του Ηρακλείου.	68
Σχήμα 5-21. Κλιμακόγραμμα βροχόπτωσης ημερήσιας κλίμακας (k), για τους σταθμούς Σούδα, Χανιά, Ηράκλειο, Τυμπάκι στο νησί της Κρήτης.....	69
Σχήμα 5-22. Κλιμακόγραμμα ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{min}) ημερήσιας κλίμακας (k), για τους σταθμούς Σούδα, Χανιά, Ηράκλειο, Τυμπάκι στο νησί της Κρήτης.	70
Σχήμα 5-23. Κλιμακόγραμμα ελάχιστης θερμοκρασίας ($T_{average}$) ημερήσιας κλίμακας (k), για τους σταθμούς Σούδα, Χανιά, Ηράκλειο, Τυμπάκι στο νησί της Κρήτης.	70
Σχήμα 5-24. Κλιμακόγραμμα ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{max}) ημερήσιας κλίμακας (k), για τους σταθμούς Σούδα, Χανιά, Ηράκλειο, Τυμπάκι στο νησί της Κρήτης.	70
Σχήμα 5-25. Απεικόνιση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	72

Σχήμα 5-26. Απεικόνιση της μέσης μέγιστης ετήσιας βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) Kriging.	72
Σχήμα 5-27. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της ετήσιας βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	74
Σχήμα 5-28. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της μέγιστης ετήσιας βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	75
Σχήμα 5-29. Απεικόνιση της μέσης ετήσιας μέσης θερμοκρασίας (<i>Taverage</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	76
Σχήμα 5-30. Απεικόνιση της μέσης ετήσιας μέσης θερμοκρασίας (<i>Taverage</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	77
Σχήμα 5-31. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας (<i>Taverage</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	78
Σχήμα 5-32. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της μέγιστης ετήσιας μέσης θερμοκρασίας (<i>Taverage</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	79
Σχήμα A- 1. Εξέλιξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό Σούδα Χανίων.	88
Σχήμα A- 2. Εξέλιξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό Ζάρος Ηρακλείου.	88
Σχήμα A- 3. Εξέλιξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό Καστέλλι Ηρακλείου.	89
Σχήμα A- 4. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό Έξω Ποταμοί Λασιθίου.	89
Σχήμα A- 5. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό Σητεία Λασιθίου.	90
Σχήμα B- 1. Απεικόνιση της μέσης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (<i>Tmin</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	91
Σχήμα B- 2. Απεικόνιση της μέσης μέγιστης ελάχιστης ετήσιας θερμοκρασίας (<i>Tmin</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	92
Σχήμα B- 3. Απεικόνιση της μέσης μέγιστης ετήσιας (<i>Tmax</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	93
Σχήμα B- 4. Απεικόνιση της μέσης μέγιστης μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας (<i>Tmax</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	94
Σχήμα B- 5. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (<i>Tmin</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	95
Σχήμα B- 6. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της μέγιστης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (<i>Tmin</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	96
Σχήμα B- 7. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (<i>Tmax</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	97
Σχήμα B- 8. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της μέγιστης ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (<i>Tmax</i>) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.	98

1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι κλιματικές προβλέψεις, έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον ολόκληρης της επιστημονικής κοινότητας. Οι υποθέσεις σχετικά με τις μετατοπίσεις των υδρομετεωρολογικών μοτίβων, ιδίως όσον αφορά τον αντίκτυπό τους στους υδάτινους πόρους, έχουν γίνει όλο και πιο δημοφιλείς.

Η αβεβαιότητα σχετικά με το μελλοντικό κλίμα είναι πιο έντονη σε πιο μικρές κλίμακες και ιδιαίτερα όταν πρόκειται για ακραία φαινόμενα (Blöschl et al., 2007). Σε μια εποχή όπου κλιματική μεταβλητότητα βρίσκεται στο προσκήνιο, οι ανησυχίες σχετικά με τις ακραίες καιρικές συνθήκες εντείνονται συνεχώς. Η αξιολόγηση και εκτίμηση των ακραίων συνθηκών, ιδίως όταν αναφερόμαστε σε ακραία φαινόμενα υδρολογικών διεργασιών, είναι καίριας σημασίας για μια ποικιλία εφαρμογών από τον σχεδιασμό των έργων υποδομής μέχρι τη διαχείριση του κινδύνου. Επιπλέον, έχει διαμορφωθεί μια γενική αντίληψη, ότι κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα τα ακραία φαινόμενα θα είναι πιο συχνά, πιο έντονα και με μεγαλύτερη διάρκεια (IPCC, 2007). Αυτό έχει προκαλέσει διεθνή ανησυχία σχετικά με τη μελλοντική κατάσταση του κλίματος και τις επιπτώσεις του στο παγκόσμιο οικοσύστημα.

Η διακύμανση των κλιματικών παραμέτρων στο χώρο και στο χρόνο είναι ένας από τους παράγοντες που οι ερευνητές επιδιώκουν να κατανοήσουν καλύτερα, προκειμένου να εντοπίσουν περιοχές που είναι επιρρεπείς σε κινδύνους και να αξιολογήσουν τις ανάγκες για περαιτέρω παρακολούθηση. Απώτερος στόχος τέτοιων μελετών είναι η πληρέστερη ενημέρωση για τον σχεδιασμό αποτελεσματικότερων μέτρων αποκατάστασης που θα βοηθήσουν τις κοινωνίες να προσαρμοστούν στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Araydin et al., 2011 – Georgakakos and Bras, 1984 - Hutchinson et al. 1996).

Όσον αφορά τις ακραίες βροχοπτώσεις, όπως και όλα τα υπόλοιπα ακραία καιρικά φαινόμενα αποτελούν φυσικό μέρος του κλιματικού συστήματος της Γης. Η ένταση και η συχνότητα των βροχοπτώσεων ποικίλλει έντονα σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές και σε διάφορες εποχές. Ακόμη και στην ίδια τοποθεσία, τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Οι ακραίες εκφάνσεις της κατακρήμνισης θα πρέπει να αναμένονται, και εκφράζονται είτε ως μακροχρόνιες ξηρασίες, είτε ως συχνές εμφανίσεις βροχών. Ωστόσο, αυτά τα ακραία γεγονότα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην καθημερινή ανθρώπινη ζωή, στις υποδομές, καθώς και στο περιβάλλον (Αγκαθήρης, 2019).

Η περιοχή της Μεσογείου, έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, ήδη από τον 18ο αιώνα, καθώς αποτελεί μια μεταβατική κλιματική ζώνη μεταξύ Κεντρικής Ευρώπης και Βόρειας Αφρικής (Körpen, 1918). Σύμφωνα με τους Luterbacher et al., (2006), ο Mann (1790), βασιζόμενος σε γραπτές πηγές, είχε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία αυξάνεται και το κλίμα γίνεται ξηρότερο λόγω της αποψίλωσης των δασών (Ideler, 1832). Διαπιστώνεται λοιπόν μακρά παράδοση στις μελέτες της κλιματικής μεταβλητότητας για την περιοχή. Ακόμη και μικρές αλλαγές στα κλιματικά πρότυπα των γειτονικών περιοχών μπορούν να έχουν ισχυρό αντίκτυπο στη μεσογειακή περιοχή, η οποία κατά συνέπεια θεωρείται ως μία από τις πιο ευάλωτες περιοχές στην κλιματική αλλαγή (Filippo Giorgi & Lionello, 2008). Για αυτούς τους λόγους, συν του γεγονότος ότι μεγάλες αλλαγές παρατηρήθηκαν και στο παρελθόν, η Μεσόγειος έχει χαρακτηριστεί ως "θερμό σημείο" της κλιματικής αλλαγής (Giorgi, 2006). Η κατανόηση και η πρόβλεψη των χωροχρονικών μοτίβων των υδρολογικών μεταβλητών στα νησιά της περιοχής είναι ένα φλέγον θέμα έρευνας, το οποίο υπερτονίζεται από τις ανησυχητικές μακροπρόθεσμες προβλέψεις για αυξημένες συνθήκες ξηρασίας (Koutroulis et al., 2011).

1.2. Αντικείμενο της εργασίας

Οι υδρολογικές μεταβλητές, όπως είναι η βροχόπτωση, χρησιμοποιούνται συνήθως για την αξιολόγηση και την περιγραφή του κλίματος μιας περιοχής, ενώ αποτελούν μεταβλητές οι οποίες μεταβάλλονται με τη πάροδο του χρόνου. Η ένταση και η συχνότητα των βροχοπτώσεων ποικίλλει έντονα σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές και σε διάφορες εποχές. Ακόμη και στην ίδια τοποθεσία, τα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων μπορεί να διαφέρουν σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Λόγω της εγγενούς έντονης μεταβλητότητας, η βροχόπτωση αντιμετωπίζεται ως στοχαστική μεταβλητή με πολυδιάστατα χαρακτηριστικά που εξαρτώνται από τα χωροχρονικά πλαίσια και την ανάλυση των μετρήσεων (Tessier et al., 1993).

Η μελέτη, μοντελοποίηση και πρόγνωση της βροχόπτωσης στηρίζεται συνήθως σε πιθανοτικές προσεγγίσεις εξαιτίας της χρονικής αλλά και χωρικής τυχαιότητας του φαινομένου. Η κατασκευή έργων που επηρεάζονται από υδρολογικές μεταβλητές προϋποθέτει τον προσδιορισμό τους στο χρονικό ορίζοντα της λειτουργίας τους. Έργα μακρινού χρονικού ορίζοντα, όπως είναι τα μεγάλα υδραυλικά έργα (φράγματα), είναι δύσκολο να σχεδιαστούν βάση αιτιοκρατικών νόμων (ντετερμινιστική προσέγγιση). Οι φυσικοί νόμοι δεν παύουν να διέπουν όλα τα υδρολογικά φαινόμενα, αλλά η χρήση τους στον υδρολογικό σχεδιασμό καθίσταται δύσκολη εξαιτίας της πολυπλοκότητας των φαινομένων και της αδυναμίας επίλυσης των εξαγόμενων εξισώσεων. Συνεπώς, η πιθανοτική προσέγγιση και πληρέστερα η θεωρία στοχαστικών ανελίξεων αποτελεί το πιο ενδεδειγμένο εργαλείο του υδρολογικού σχεδιασμού. Η στοχαστική προσέγγιση θεωρεί την αβεβαιότητα των υδρολογικών μεταβλητών και λαμβάνοντας υπόψη τη χρονική τους εξάρτηση, ποσοτικοποιεί την αβεβαιότητα αυτή μέσω της πιθανότητας (Στεργίου, 2005).

Αντικείμενο της εργασίας αυτής αποτελεί η διερεύνηση και προσομοίωση της χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, με τη χρήση στοχαστικών μεθόδων όπως το κλιμακόγραμμα για τον εντοπισμό πιθανών ομοιοτήτων στη δομή της εξάρτησης και διερεύνησης της επιρροής του φαινομένου της εμμονής μακράς κλίμακας, γνωστού και ως φαινομένου Hurst. Η μελέτη επικεντρώνεται στην περιοχή της Μεσογείου, η οποία θεωρείται μια από τις πιο ευάλωτες περιοχές στην κλιματική αλλαγή και συγκεκριμένα στο νησί της Κρήτης, το οποίο τα τελευταία χρόνια έχει πληγεί από ακραία καιρικά φαινόμενα. Η ανάλυση πραγματοποιείται για ημερήσια δεδομένα επιλεγμένων υδρομετεωρολογικών σταθμών του νησιού για τη περίοδο 1950-2021.

Επίσης, πραγματοποιείται σύγκριση των κλιματικών μεταβλητών της βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για την χαρτογράφηση της χωρικής κατανομής τους στην Κρήτη, με μεθόδους χωρικής παρεμβολής, που ενσωματώνουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Στόχος της μελέτης, αποτελεί η λεπτομερής αποτύπωση της συνολικής χωρικής τάσης της βροχόπτωσης στην Κρήτη, καθώς και η διερεύνηση των τοπικών μοτίβων των κλιματικών μεταβλητών, προκειμένου να επιλυθούν καλύτερα οι περιοχές χαμηλής βροχόπτωσης ή/και υψηλής αβεβαιότητας. Τα συγκεκριμένα μαθηματικά εργαλεία βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση της χωροχρονικής μεταβλητότητας και στον σχεδιασμό της διαχείρισης των υδατικών πόρων.

1.3. Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια, τα οποία είναι τα ακόλουθα :

- Κεφάλαιο 1 : αποτελεί την εισαγωγή και αφορά το παρόν κεφάλαιο.
- Κεφάλαιο 2 : γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης, αναλύοντας τα γεωγραφικά, μορφολογικά, υδρολογικά, κλιματικά και άλλα χαρακτηριστικά της.

- Κεφάλαιο 3 : γίνεται περιγραφή της βάσης δεδομένων της περιοχής μελέτης, καθώς επίσης παρουσιάζονται τα τελικά δεδομένα που επιλέχθηκαν ύστερα από ποιοτικό έλεγχο, για τα οποία θα πραγματοποιηθεί στοχαστική ανάλυση.
- Κεφάλαιο 4 : αναλύονται βασικές έννοιες της στοχαστικής υδρολογίας και της στατιστικής, ενώ πραγματοποιείται ανάπτυξη της μεθοδολογίας του κλιμακογράμματος ως στοχαστικό εργαλείο καθώς και των μεθόδων χωρικής παρεμβολής.
- Κεφάλαιο 5 : παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων που έγιναν, μέσω διαγραμμάτων, καθώς επίσης και οι χάρτες χωρικής παρεμβολής, για τη μέθοδο IDW και Kriging, οι οποίοι προήλθαν από περιβάλλον ΓΣΠ.
- Κεφάλαιο 6 : συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εργασίας και προτείνονται θέματα για μελλοντική έρευνα.

2. Περιοχή Μελέτης

2.1. Συνοπτικά χαρακτηριστικά της Κρήτης (γεωγραφικά και δημογραφικά)

Το νησί της Κρήτης είναι το πιο μεγάλο και πολυπληθές Γεωγραφικό Διαμέρισμα (Γ.Δ.) της Ελλάδος, ενώ αποτελεί το πέμπτο σε έκταση μεγαλύτερο νησί στη Μεσόγειο Θάλασσα (Mediterranean Sea). Στην λεκάνη της Μεσογείου, βρίσκεται νοτιοανατολικά (ΝΑ), ενώ, σε σχέση με την υπόλοιπη έκταση της Ελλάδος, βρίσκεται στο νότιο (Ν) άκρο του Αιγαίου Πελάγους (Aegean Sea), στο σημείο όπου συναντιούνται οι ήπειροι της Ευρώπης, της Ασίας και της Αφρικής (εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.1. Χάρτης Μεσογείου Θάλασσας (πηγή : <https://en.wikipedia.org/>)

Σχετικά με τα Υδατικά Διαμερίσματα (Υ.Δ.) της χώρας και σύμφωνα με τον Ν. 1739/1987 περί διαχείρισης υδατικών πόρων, το νησί της Κρήτης είναι ένα από τα δεκατέσσερα (14) Υδατικά Διαμερίσματα, στα οποία διαιρείται η ελληνική επικράτεια. Το Υ.Δ. της Κρήτης αποτελεί το νοτιότερο διαμέρισμα στη χώρα, το οποίο περιλαμβάνει όλη την Περιφέρεια Κρήτης, με τέσσερις (4) υποενότητες ή Περιφερειακές Ενότητες (ΠΕ). Από δυτικά προς ανατολικά, αυτές είναι οι ΠΕ Χανίων, που καταλαμβάνει περίπου το 28,6 % (2 342 km²) της έκτασής του νησιού, και ακολουθούν, κατά σειρά, οι ΠΕ Ρεθύμνου (με 17,9 % και 1487 km²), Ηρακλείου (με 31,7 % και 2 626 km²) και Λασιθίου (με 21,8 % και 1 810 km²).



Εικόνα 2.2. Γεωφυσικός χάρτης Κρήτης (πηγή : Πανεπιστήμιο Κρήτης)

Το Υ.Δ. της Κρήτης αποτελείται από τρεις Λεκάνες Απορροής Ποταμών, που είναι :

- Ρεμάτων Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR39), συνολικής έκτασης 3 676,06 km²,
- Ρεμάτων Νοτίου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR40), συνολικής έκτασης 2 798,2 km²,
- Ρεμάτων Ανατολικής Κρήτης (GR41), συνολικής έκτασης 1 870,28 km².



Εικόνα 2.3. Λεκάνες απορροής και περιφερειακές ενότητες υδατικού διαμερίσματος Κρήτης (πηγή : Σχέδιο Διαχείρισης ΥΔ Κρήτης)

Περιμετρικά της Κρήτης υπάρχει επίσης πλήθος άλλων μικρών νησιών, όπως είναι η Γαύδος, η Γαυδοπούλα, η Χρυσή, το Κουφονήσι, η Ντία, οι Διονυσάδες, η Σπιναλόγκα και το Παξιμάδι, εκ των οποίων τα περισσότερα είναι ακατοίκητα (Περιφέρεια Κρήτης, 2002).

Δημογραφικά, ο πληθυσμός του νησιού καταγράφηκε στα 617 360 άτομα (πηγή : ΕΛΣΤΑΤ, 2021).

2.2. Μορφολογικά χαρακτηριστικά της Κρήτης

Σχετικά με τη μορφολογία της Κρήτης, αυτή χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τριών βασικών ζωνών, που είναι οι εξής: η υψηλή ή ορεινή ζώνη, με υψόμετρο από τα 400 m και άνω, η μέση ζώνη, από τα 200 έως τα 400 m και, τέλος, η χαμηλή ζώνη, που αφορά περιοχές που εκτείνονται από την επιφάνεια της θάλασσας και μέχρι τα 200 m υψόμετρο. 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, αποτελείται από τρεις κύριες οροσειρές που ξεπερνούν σε ύψος τα 2 000 m, με έξι κορυφές που ξεπερνούν τα 2 000 m. Από τα δυτικά προς τα ανατολικά του νησιού τοποθετούνται, σε σειρά, τα Λευκά Όρη (2 453 m) ή Μαδάρες, με ψηλότερη κορυφή τις Πάχνες, το Όρος Ίδη ή Ψηλορείτης, με αντίστοιχα ψηλότερη κορυφή τον Τίμιο Σταυρό (2 456 m) και το Όρος Δίκη ή αλλιώς Λασιθιώτικα βουνά (2 148 m). Υπάρχουν, ανατολικότερα, και τα Όρη της Θρυπτής ή Όρη της Σητείας, με υψόμετρο στα 1 476 m, όπως και τα Αστερούσια Όρη, στα νότια, με χαμηλότερο ύψος (1 280 m).

Το νησί, λοιπόν, θεωρείται, κατά βάση, ορεινό, με έντονο ανάγλυφο, αλλά και με εύφορα οροπέδια και εντυπωσιακά φαράγγια. Ωστόσο, το μέσο υψόμετρο του νησιού υπολογίζεται στα 460 m. Η κατανομή του νησιού σε κατηγορίες μπορεί να διαχωριστεί και ως εξής: τμήμα του, σε ποσοστό 33 % είναι πεδινό, ποσοστό 26 % είναι ημιορεινό και το υπόλοιπο 41 % είναι ορεινό. 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, θα μπορούσαμε να πούμε, 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 τμήμα αναπτύσσεται η πεδιάδα της Ιεράπετρας. Υπάρχουν, τέλος, αρκετά οροπέδια, τα κυριότερα των οποίων είναι του Λασιθίου και του Ομαλού (Περιφέρεια Κρήτης, 2001).



Εικόνα 2.4. Χάρτης τοπογραφικού ανάγλυφου Κρήτης (Περιγραφή Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL13))

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του κρητικού μορφολογικού περιβάλλοντος είναι η σημαντικότερη ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών. Η Κρήτη διαθέτει 5 200 σπήλαια και καρστικούς σχηματισμούς, 100 φαράγγια, τα οποία ξεκινούν από ορεινούς όγκους και καταλήγουν στην θάλασσα και ακόμα 25 οροπέδια.

Και καθώς η Κρήτη, λόγω του μικρού πλάτους της, δεν βρέχεται από μεγάλα ποτάμια, από αυτά, τα περισσότερα είναι εποχικά, οπότε το καλοκαίρι είναι τελείως ή σχεδόν 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 από αυτές χαρακτηρίζονται ως νερόλακκοι, που διατηρούν εποχικά νερό. Μόνο στην περιοχή του Αποκόρωνα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η Κρήτη διαθέτει ουσιαστικά μια λίμνη. Αυτή είναι η λίμνη Κουρνά.

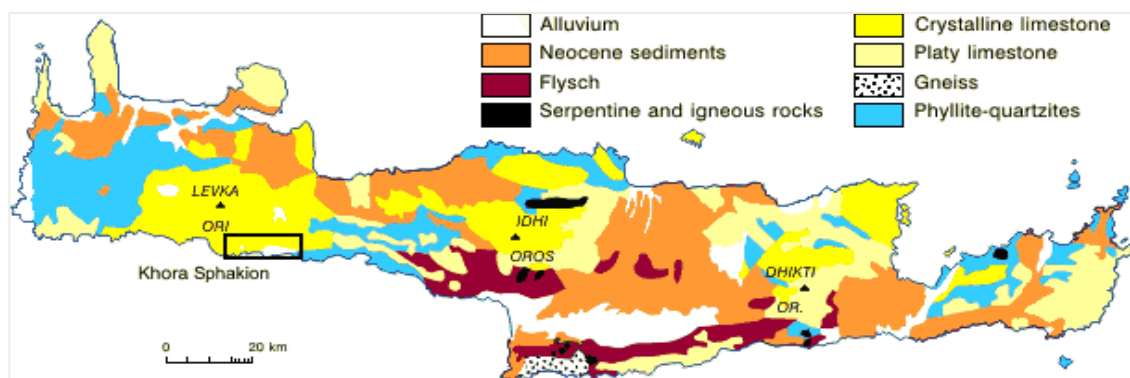
Κλείνοντας το σχετικό υποκεφάλαιο, πρέπει να αναφερθούν οι σημαντικές αλλαγές που έχουν υποστεί, τόσο το ύψος των ακτών της Κρήτης, όσο και η στάθμη της θάλασσας. Είναι επιστημονικά αποδεκτό ότι οι δυτικές ακτές του νησιού υπέστησαν έντονη ανύψωση, ως αποτέλεσμα τεκτονικής δραστηριότητας, που τοποθετείται 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 στα αρχαία λιμάνια της νοτιοδυτικής Κρήτης, η ανύψωση υπολογίζεται έως και στα 8 μέτρα περίπου.

2.3. Βασικά χαρακτηριστικά του γεωλογικού υποβάθρου της Κρήτης

Σχετικά με την γεωλογία της Κρήτης, αυτή περιγράφεται από ένα σύστημα, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ αυτόχθονου και παραυτόχθονου συστήματος πετρωμάτων, το οποίο, δηλαδή, περιλαμβάνει την ημιμεταμορφωμένη ενότητα των πλακωδών ασβεστόλιθων και τους υποκείμενους

ασβεστόλιθους, δολομίτες, με παρεμβολές σχιστόλιθων, και από ένα δεύτερο σύστημα, αλλόχθονο επωθημένο πάνω στο πρώτο, με κύριο χαρακτηριστικό την «λεπιοειδή» διάταξη τους (Perleros et. al., 2004). Υπερκείμενα των δύο συστημάτων βρίσκονται νεότερα ιζήματα του νεογενούς και του τεταρτογενούς, που αποτελούν το Μεταλλικό υπόβαθρο και περιλαμβάνουν χερσαίες, θαλάσσιες έως λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις, ποικίλης κοκκομετρικής σύνθεσης (άμμοι, κροκάλες, άργιλοι, και χάλικες) (Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης, 2010).

Τα πετρώματα αυτά έχουν συνολικό πάχος που φτάνει τα 6,5 km. Από γεωτεκτονική άποψη, η νήσος βρίσκεται στο κέντρο του Ελληνικού Τόξου και ταυτόχρονα στο νότιο κλάδο του Αλπικού Ορογενούς και πιο συγκεκριμένα εκεί που ο γενικός άξονας με Β.ΒΔ-Ν.ΝΑ διεύθυνση της σχετική πτύχωσης κάμπτεται. Το αποτέλεσμα είναι, 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 πρωτίστως από μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, μαργαϊκούς ψαμμίτες και κροκαλοπαγή (Περιφέρεια Κρήτης, 2013).



Εικόνα 2.5. Γεωλογικός Χάρτης Κρήτης (School of Environment, Education and Development, Univ of Manchester, 2015)

Ο συνδυασμός, του προαναφερόμενου έντονου μορφολογικού ανάγλυφου στο Υδατικό Διαμέρισμα του νησιού με την μεγάλη ποσότητα των σχετικών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, όπως και με την έκταση και την πολύπλοκη γεωλογική δομή του, οδηγεί σε ευρεία ποικιλία στη διακίνηση του επιφανειακού, αλλά και του υπόγειου νερού. Εκτιμάται ότι ποσοστό περίπου 20 % των υπόγειων υδάτινων πόρων του νησιού σχετίζεται με σχηματισμούς (νεογενείς-τεταρτογενείς) στον υδροφόρο ορίζοντα, ενώ το υπόλοιπο 80 % αντιπροσωπεύει το δυναμικό των υπογείων υδάτων των καρστικών σχηματισμών. Οι καρστικοί υδροφορείς καταλαμβάνουν έκταση 3 200 τετραγωνικών χιλιομέτρων και καλύπτουν το 39 % της συνολικής έκτασης του Υδατικού Διαμερίσματος, ενώ χαρακτηρίζονται από αμελητέα απορροή και υψηλή διείσδυση. Εκτιμάται, επίσης, ότι ποσοστό 40 έως 55 % της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης διεισδύει στο έδαφος μέσω αυτών των σχηματισμών, δημιουργώντας ένα ανανεώσιμο ετήσιο δυναμικό υπογείων υδάτων, υπολογιζόμενο περίπου στα 1,25 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα, που καταλαμβάνουν έκταση 3 000 τετραγωνικών μέτρων (δηλαδή 36 % της συνολικής έκτασης) του νησιού, χαρακτηρίζονται από πλούσιο δίκτυο ρευμάτων αγγίζοντας έτσι ετήσιο δυναμικό υπογείων υδάτων περίπου 0,25 εκατομμύρια κυβικά μέτρα (Donta et al., 2005).

Η Κρήτη, αν και το μεγαλύτερο νησί της χώρας, χαρακτηρίζεται από την έλλειψη μεγάλων όγκων επιφανειακών υδάτων, όπως εξάλλου συμβαίνει και στην υπόλοιπη νησιωτική χώρα, ενώ στην ηπειρωτική συναντώνται μεγάλα ποτάμια μόνιμης ροής. Έτσι, για την Κρήτη, η εισροή υδάτων γίνεται μόνο από τα κατακρημνίσματα. Παράλληλα, η παρουσία ρηγμάτων, επηρεάζει την υπόγεια υδροφορία του νησιού δημιουργώντας σχέσεις, είτε επικοινωνίας, είτε αποκοπής μεταξύ υδρολιθολογικών ενότητων, αναλόγως του προσανατολισμού. Τα ανθρακικά πετρώματα που συναντώνται σε μεγάλο τμήμα των ορεινών όγκων της Κρήτης, συνεισφέρουν σε μεγαλύτερο βαθμό στην ανάπτυξη της υπόγεια υδροφορίας του νησιού, διακινώντας έτσι τις μεγαλύτερες ποσότητες ύδατος. Ο τεκτονισμός της περιοχής, έχει συνεισφέρει στον κατακερματισμό των καρστικών ενότητων και στη δημιουργία υδρογεωλογικών λεκανών που εκτονώνουν το νερό σε πηγές.

Οι υδρολογικές λεκάνες της Κρήτης έχουν έκταση 600 km². Εκ αυτών, οι δύο μεγαλύτερες βρίσκονται στο νότιο τμήμα της, στην περιοχή της Μεσσαράς και είναι οι λεκάνες του Γεροπόταμου και του Αναποδάρη, που αναπτύσσονται κυρίως από νεογενείς και σύγχρονες αποθέσεις. Η συνολική επιφανειακή απορροή που διακινείται ετησίως εκτιμάται στα περίπου 500* 10⁶ κυβικά μέτρα ανά έτος. Η συγκεκριμένη απορροή αποτελείται από τα πηγαία νερά, τα οποία εκφορτίζονται εντός των αντίστοιχων λεκανών απορροής, όπως και από την καθαυτή επιφανειακή απορροή (Περιφέρεια Κρήτης, 2013).

2.4. Το κλίμα της Κρήτης

Ο τύπος κλίματος που χαρακτηρίζει τη νήσο της Κρήτης είναι του ήπιου κλίματος, μεταβατικός, ενδιάμεσος τύπος, πιο συγκεκριμένα μεταξύ χερσαίου μεσογειακού και ερημοειδούς μεσογειακού, στο οποίο υπάγεται κυρίως η νοτιοανατολική πλευρά της.

Από τη θέση του νησιού (κεντρικά, στην ανατολική Μεσόγειο) προκύπτουν οι ήπιες εποχιακές κλιματικές μεταβολές, που χαρακτηρίζονται από ήπιο χειμώνα, μεταξύ μηνών Δεκέμβρη και Μάρτη, με ψυχρότερο μήνα τον Φεβρουάριο και θερμότερο κυρίως τον μήνα Ιούλιο. Σύμφωνα, βέβαια, με τα, συνοπτικά για τον ελλαδικό χώρο, κλιματολογικά χαρακτηριστικά, η περιοχή καλύπτει ευρύ φάσμα βιοκλιματικών επιπέδων, με σημαντικές διακυμάνσεις, ωστόσο, από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από τα πεδινά προς τα ορεινά (ΥΠΕΝ, 2017). Έτσι, οι χειμώνες θεωρούνται ήπιοι μεν, βροχεροί συνήθως, ενώ τα καλοκαίρια είναι ζεστά και ξηρά, οδηγώντας σε ένα κλίμα προνομιούχο, λόγω της ηπιότητας του, αλλά και λόγω των διαφόρων μεταβολών του.

Ο χειμώνας της Κρήτης, που ξεκινά συνήθως στα μέσα του μηνός Δεκεμβρίου, είναι ήπιος με ψυχρότερους μήνες τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Η πεδινή Κρήτη, καθώς συγκαταλέγεται στις θερμότερες περιοχές της Ελλάδας (ιδίως στο ανατολικό και νοτιοανατολικό της τμήμα), έχει μακρά ηλιοφάνεια στο διάστημα των μηνών από Οκτώβριο μέχρι Απρίλιο. Αυτό το χαρακτηριστικό κατατάσσει το κλίμα της Κρήτης συνολικά σε ένα μεταβατικό τύπο μεταξύ του τυπικού μεσογειακού κλίματος και του ερημικού, των ακτών της βόρειας Αφρικής. Το ίδιο αυτό γεγονός αποτυπώνεται παράλληλα και στη βλάστηση της περιοχής, η οποία μοιάζει σε πολλά σημεία με εκείνη της βόρειας Αφρικής (π.χ. το φοινικόδασος του Βάι).

Η μέση θερμοκρασία του νησιού παρουσιάζει χωρική μεταβολή (αύξηση από Δύση προς Ανατολή και από Βορά προς Νότο), με διαφοροποιήσεις στα ορεινά (χαμηλότερες μέσες θερμοκρασίες και εντονότερες θερμοκρασιακές αποκλίσεις), όπου παρατηρούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες, ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες.

Λόγω της θαλάσσιας αύρας, αλλά και των ετήσιων ανέμων, το καλοκαίρι της Κρήτης θεωρείται σχετικά δροσερό και διαρκεί κατά το διάστημα των μηνών από Ιούνιο μέχρι Σεπτέμβριο, με θερμότερους μήνες τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Η νέφωση είναι γενικά μικρή και μειώνεται από

τα δυτικά προς τα ανατολικά, ενώ οι βροχές αυξάνονται από τα ανατολικά προς τα δυτικά και επίσης από τα παράλια προς την ηπειρωτική χώρα.

Αναλυτικότερα και σχετικά με τις Περιφερειακές Ενότητες, στην ΠΕ του νομού Χανίων, το κλίμα είναι ανάλογο του ανάγλυφου του. Δηλαδή, στη χαμηλή ζώνη, το κλίμα είναι εξαιρετικά ήπιο (ύφυγρο βιοκλιματικό, με θερμό ήπιο ή ψυχρό χειμώνα), ωστόσο γίνεται δριμύ στα ορεινά (υγρό βιοκλιματικό). Ο νομός διαθέτει τις περισσότερες βροχοπτώσεις στο νησί, καθώς παρουσιάζεται το φαινόμενο τα υγρά ρεύματα, που προέρχονται από την πλευρά του Ιονίου να αιχμαλωτίζονται στα Λευκά Όρη. Οι πολλές πηγές νερού του νομού οφείλονται σε αυτό το δεδομένο, όπως και παράλληλα στην ασβεστολιθική σύσταση του εδάφους.

Στην Περιφερειακή Ενότητα του νομού Ρεθύμνης, το κλίμα επίσης θεωρείται ήπιο στις παράκτιες περιοχές (ύφυγρο βιοκλιματικό, με θερμό ή ήπιο χειμώνα), ενώ στις ορεινές περιοχές (κυρίως στον Ψηλορείτη) γίνεται δριμύ (υγρό βιοκλιματικό μέχρι δριμύ χειμώνα). Οι βροχές, όπως εξάλλου συμβαίνει και στην υπόλοιπη Κρήτη, είναι περισσότερες στα νότια παράλια.

Στην Περιφερειακή Ενότητα του νομού Ηρακλείου, το κλίμα παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των παραλιών στο Βορρά, του κεντρικού ορεινού συγκροτήματος και των παραλιών στο Νότο, με διακυμάνσεις από ημίξηρο βιοκλιματικό όροφο με θερμό χειμώνα, μέχρι τον ύφυγρο βιοκλιματικό όροφο, με ήπιο-θερμό χειμώνα. Έτσι, τα παράκτια τμήματα διαθέτουν αρκετά εύκρατο κλίμα, όπου το ετήσιο θερμομετρικό εύρος κυμαίνεται στους περίπου 13 °C. Η πόλη του Ηρακλείου, έχει μέση θερμοκρασία στους 12,4 °C, κατά τον ψυχρότερο μήνα (Ιανουάριο) και 25,8 °C κατά το θερμότερο μήνα (Ιούλιο) του έτους, ενώ η απόλυτα ελάχιστη θερμοκρασία έχει παρατηρηθεί μόνο στους 0,1 °C. Αυτό φανεώνει ότι σπανίζει το φαινόμενο του παγετού. Φυσικά, στα νότια παράλια, οι θερμοκρασίες εμφανίζονται μεγαλύτερες, καθώς εκεί δεν φτάνει η επίδραση των μελετεμιών. Τέλος, στις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, δηλαδή στα ορεινά συγκροτήματα του νομού και κατά τη διάρκεια του χειμώνα, θα παρατηρηθούν θερμοκρασίες πολύ χαμηλότερα του μηδενός (0 °C). Από άποψη υγρασίας, επιγραμματικά, το κλίμα της περιοχής θεωρείται ξηρό.

Στην Περιφερειακή Ενότητα του νομού Λασιθίου, το κλίμα χαρακτηρίζεται ως εύκρατο (υπάγεται στον ημίξηρο βιοκλιματικό όροφο με ήπιο έως θερμό χειμώνα), αλλά και ως ημιορεινού ή ορεινού τύπου (για τις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο), όπου έχουμε ύφυγρο βιοκλιματικό όροφο με ψυχρό χειμώνα και αντίστοιχα υγρό βιοκλιματικό όροφο με ψυχρό χειμώνα. Οι βροχές είναι λιγότερες σε σχέση με την υπόλοιπη Κρήτη, η νέφωση μεγαλύτερη, όπως και οι άνεμοι περισσότεροι, με αποτέλεσμα η περιοχή να συγκαταλέγεται στις πιο ανεμώδεις της χώρας μας.

2.5. Υδρολογικά χαρακτηριστικά στο νησί της Κρήτης

Η Κρήτη, αποτελείται από υποπεριοχές με σημαντικά διαφορετικό κλίμα, γεγονός που συνεπάγεται και τη διαφοροποίηση της υδρολογικά. Η θέση του νησιού της Κρήτης, στη μέση της λεκάνης της Μεσογείου, ο σχετικός γεωγραφικός προσανατολισμός, με το μεγάλο άξονα σε διεύθυνση από ανατολή προς τη δύση, με την ανάλογη κίνηση των αερίων μαζών (νέφη), όπως φυσικά και η παρουσία ψηλών οροσειρών, όλα αυτά τα στοιχεία καθορίζουν το ύψος των νερών που δέχεται η περιοχή σε ετήσια βάση. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά επηρεάζονται από τα καιρικά συστήματα που στον ελλαδικό χώρο κινούνται, ως γνωστόν, από τα βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά, μεταφέροντας υγρασία από το πέλαγος του Ιονίου. Τέλος, τα παραπάνω, δεν ευνοούν την ισοκατανομή των κατακρημνισμάτων, κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα ο μεγαλύτερος όγκος νερού να πέπτει στη δυτική πλευρά και να μειώνεται προς την ανατολική πλευρά. Αντίστοιχη άνιση κατανομή παρατηρείται και στον άξονα βοράς-νότος, με το ρυθμό μεταβολής βροχόπτωσης να επηρεάζεται και από το υψόμετρο.

Η συνολική μέση ποσότητα κατακρημνισμάτων νερού που δέχεται η Κρήτη υπολογίζεται κοντά στα $7,7 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{έτος}$, με απόκλιση $\pm 2,6 \times 10^9 \text{ m}^3$. Από αυτά, ποσοστό 27,6 % περίπου ($2,12 \times 10^9 \text{ m}^3$) κατεισδύουν, ποσοστό 9,6 % ($0,74 \times 10^9 \text{ m}^3$) ρέει στην επιφάνεια, σχηματίζοντας χείμαρρους, ενώ το 62,8 % ($4,83 \times 10^9 \text{ m}^3$) επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω εξατμισοδιαπνοής. Το μεγαλύτερο ποσοστό από το νερό που κατεισδύει (δηλαδή $1,8 \times 10^9 \text{ m}^3$) εισέρχεται στους καρστικούς σχηματισμούς και κυρίως στις καρστικές ενότητες των ορεινών όγκων του Ψηλορείτη, των Λευκών Ορέων, του Δίκτη-Σελένας και δευτερευόντως στις καρστικές ενότητες στην περιοχή της Σητείας. Το υπόλοιπο ποσοστό ταμιεύεται σε νεογενείς και τεταρτογενείς υδροφορίες. Το νερό που είναι τεχνικά (δυναμικά) εκμεταλλεύσιμο στο νησί, συμπεριλαμβανομένων των υπόγειων και επιφανειακών, εκτιμάται ότι ανέρχεται σε $857 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$.

2.5.1. Οι θερμοκρασίες του νησιού της Κρήτης

Στην περιοχή μελέτης έχουν ενδιαφέρουν οι εμφανιζόμενες θερμοκρασίες, οι οποίες παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ βορρά και νότου και μεταξύ δύσης και ανατολής, με το ανατολικό και το νότιο μέρος του νησιού να είναι θερμότερα συγκριτικά (ΥΠΑΝ, Ε., & ΙΓΜΕ, Κ. , 2003).

Ο θερμότερος μήνας του έτους για όλο το νησί εμφανίζεται να είναι ο Ιούλιος με μέση υπερετήσια θερμοκρασία περί τους 25°C , η οποία για την Ιεράπετρα, ανέρχεται στους 28°C . Ακολουθούν ο Αυγούστος, με ελαφρώς χαμηλότερη μέση υπερετήσια θερμοκρασία και ο Ιούνιος με ακόμα χαμηλότερη θερμοκρασία, παρουσιάζοντας όμως τα ίδια επίπεδα με τον Σεπτέμβριο. Αυτές οι θερμοκρασίες προσδιορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη χρονική διάρκεια του καλοκαιριού, που έχει διάρκεια τουλάχιστον τέσσερις μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο).

Στα ορεινά, οι συνθήκες αλλάζουν, με χαμηλότερες μέσες θερμοκρασίες ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες και με έντονες θερμοκρασιακές αποκλίσεις. Στον κλιματολογικό σταθμό των Ανωγείων ($+800 \text{ m}$) παρατηρείται μέση ετήσια θερμοκρασία στους $15,2^{\circ}\text{C}$, με τον μήνα Φεβρουάριο να είναι ο ψυχρότερος μήνας (μέση μηνιαία θερμοκρασία $7,3^{\circ}\text{C}$), και τον Ιούλιο να είναι ο θερμότερος ($23,7^{\circ}\text{C}$). Συνοπτικά, κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, η θερμοκρασία κυμαίνεται αντιστρόφως ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος (δηλαδή, αυξάνεται όσο μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος), ενώ κατά τη διάρκεια της ζεστής περιόδου αυξάνεται από την ακτή προς την ενδοχώρα και τις πεδιάδες ιδιαίτερα.

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, στην πεδινή ζώνη της Κρήτης εμφανίζεται κλιματικά μια μετάβαση από το μεσογειακό κλίμα προς το ημερημικό. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει μικρό ύψος βροχοπτώσεων, ήπιος χειμώνας και ξηρή περίοδος δευρυμένης διάρκειας. Ως εκ τούτου, το θέρος, εξαιτίας της θαλάσσιας αύρας, αλλά και των ετήσιων ανέμων, αντιμετωπίζεται ως σχετικά δροσερό. Στην ψυχρή περίοδο της περιοχής αυτής, δεν παρατηρείται ποτέ παγετός, ενώ η θερμοκρασία σπανίως πέφτει κάτω από τους 0°C . Στο σύνολό τους, οι θερμοκρασιακές αποκλίσεις είναι γενικά ήπιες.

Αντιστοίχως, στην ορεινή ζώνη της Κρήτης εμφανίζονται μεγαλύτερες θερμοκρασιακές αποκλίσεις, με τη μέση ετήσια θερμοκρασία να είναι κατά $2-3^{\circ}\text{C}$ χαμηλότερη από ότι στην πεδινή ζώνη. Κατά τον θερμότερο μήνα (Ιούλιος), η δε μέση θερμοκρασία κυμαίνεται βέβαια στα επίπεδα της μέσης θερμοκρασίας των πεδινών σταθμών, όμως η μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα (Φεβρουάριος) εμφανίζεται περίπου 3°C χαμηλότερη από ότι στην πεδινή ζώνη (Περιφέρεια Κρήτης, 2001).

Αναλύοντας τις θερμοκρασιακές περιόδους του έτους, και ξεκινώντας από την άνοιξη, αυτή εκδηλώνεται προς τα τέλη του μήνα Μάρτη και διαρκεί αναλόγως ως τον μήνα Μάιο, έχοντας μέση θερμοκρασία που κυμαίνεται από τους 14°C έως τους 24°C . Το καλοκαίρι εμφανίζεται από τον μήνα Ιούνιο και διαρκεί ως τα τέλη του μηνός Σεπτεμβρίου, με ζεστότερους μήνες τον Ιούλιο και

Αύγουστο και με μέση θερμοκρασία στους 25,5°C. Την περίοδο αυτή πνέουν βόρειοι άνεμοι (μελτέμια), που μετριάζουν τις υψηλές θερμοκρασίες του νησιού.

Σχετικά με τα χαρακτηριστικά του φθινοπώρου, αυτά είναι ότι διαρκεί από τον μήνα Οκτώβριο έως τα τέλη του μηνός Δεκέμβρη, εμφανίζει συχνές βροχές και μέση θερμοκρασία περίπου στους 20,1°C για τον μήνα Οκτώβρη, 17,9 °C για τον μήνα Νοέμβρη και 14,6°C για τον μήνα Δεκέμβρη.

Τέλος, ο χειμώνας ξεκινά από τα τέλη του μηνός Δεκέμβρη και διαρκεί έως περίπου τα τέλη του μήνα Μάρτη, με μέση θερμοκρασία στους 12,7 °C για τον μήνα Ιανουάριο, 12,2 °C για το Φεβρουάριο και 14 °C για τον μήνα Μάρτιο.

2.5.2. Η Εξάτμιση

Όπως προαναφέρθηκε, μεταξύ μηνών Ιουλίου και Αυγούστου σημειώνονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες στο νησί, ενώ μεταξύ μηνών Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου σημειώνονται οι χαμηλότερες. Παρομοίως, παρατηρείται ότι και η εξάτμιση ακολουθεί το ίδιο μοτίβο. Συνεπώς, οι υψηλότερες τιμές εξάτμισης για το νησί σημειώνονται κατά τον μήνα Ιούλιο, ενώ οι χαμηλότερες τιμές, κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο.

2.5.3. Η Σχετική υγρασία στην Κρήτη

Μετρώντας τη σχετική υγρασία προσδιορίζεται το σημείο κορεσμού σε υδρατμούς του ατμοσφαιρικού αέρα. Διαφορετικά, μιλάμε για το λόγο των υδρατμών στον αέρα προς την μέγιστη απαιτούμενη ποσότητα υδρατμών για κορεσμό. Δηλαδή, όταν αναφέρουμε σχετική υγρασία 0%, αυτό καταδεικνύει πλήρη έλλειψη υδρατμών, ενώ στο 100% εννοούμε ατμόσφαιρα κορεσμένη σε υδρατμούς.

Για την Κρήτη, τα μεγαλύτερα ποσοστά σχετικής υγρασίας, εντοπίζονται σε ορεινές περιοχές της. Κατά τα άλλα, παρατηρούνται χαμηλές σχετικές υγρασίες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, παρά τις υψηλές θερμοκρασίες (ειδικά στη νότια Κρήτη, αλλά και γενικότερα σε όλο το νησί). Η μεγαλύτερη σχετική υγρασία για τους σταθμούς της νότιας πλευράς είναι 27 %, ενώ η μικρότερη παρουσιάζεται στον σταθμό του Ηρακλείου (12 %). Στο βόρειο άξονα του νησιού από Ανατολή προς Δύση, η ελάχιστη σχετική υγρασία μειώνεται (Σητεία 59,88 % Ηράκλειο 55,4 % και Σούδα 48,90 %), ενώ η μέγιστη παραμένει σχεδόν κοινή σε όλο το νησί, με εξαίρεση το Ηράκλειο όπου παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές. Οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές σχετικής υγρασίας στο βόρειο τμήμα του νησιού, παρουσιάζονται τον Ιούνιο και Δεκέμβριο αντίστοιχα (ΕΛΓΟ, 2014).

Οι ξηρότεροι μήνες του χρόνου είναι ο Ιούνιος, για την περιοχή της βόρειας Κρήτης, και ο Ιούλιος για την περιοχή της νότιας Κρήτης, ενώ ο μήνας Δεκέμβριος είναι ο πιο υγρός μήνας.

2.5.4. Οι βροχοπτώσεις στο νησί

Τα δεδομένα για τις ετήσιες βροχοπτώσεις στο νησί δείχνουν ότι μειώνονται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και αντίστοιχα από τα βόρεια προς τα νότια, αλλά αυξάνονται αναλογικά με το υψόμετρο. Οι ετήσιες βροχοπτώσεις έχουν ιδιαίτερη μεταβλητότητα, καθώς κυμαίνονται από 300mm στις παράκτιες περιοχές έως και 2000 mm στις κορυφές των Λευκών Ορέων.

Στοιχεία της μελέτης με τίτλο «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης (2013)», σύμφωνα με την οποία η μέση ετήσια βροχόπτωση (περιόδου επαναφοράς 2 ετών), στο Υ.Δ. της Κρήτης, ανέρχεται στα 927 mm καταδεικνύουν ότι αυτό αντιστοιχεί σε 7,69 δις κυβικά μέτρα κατακρημνισμάτων μετρούμενων σε ετήσια βάση (όπου ποσοστό περίπου κοντά στο 67 % της ποσότητας αυτής χάνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής, ποσοστό 10 % χάνεται ως αποτέλεσμα

απορροής υδάτων προς τη θάλασσα και μόνο ένα ποσοστό 28 % οδηγείται προς επαναφόρτιση υπογείων υδάτων). Αναλυτικότερα, η βροχόπτωση κυμαίνεται μεταξύ 300 και 700 mm, που αντιστοιχεί σε χαμηλές περιοχές του νησιού και σε περιοχές κατά μήκος ακτών και μεταξύ 700 έως και 1000 mm, στις πεδιάδες της ηπειρωτικής χώρας και, τέλος, φτάνει έως τα 2000 mm σε ορεινές περιοχές.

Στην ανατολική Κρήτη, η μέση ετήσια βροχόπτωση παρουσιάζεται κατά 22 % μικρότερη συγκριτικά με την δυτική πλευρά του νησιού. Γενικώς, το νησί, παρουσιάζει σημαντικότερες διαφορές στην κατανομή του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης (ανισοκατανομή του ετήσιου όγκου), και από γεωγραφικής απόψεως (η αύξηση παρουσιάζεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά και, αντίστοιχα, από τα νότια προς τα βόρεια), αλλά και από φυσιογραφικής απόψεως (δηλαδή, παρουσιάζονται διαφορές από τις πεδινές προς τις ορεινές περιοχές). Η μέση μηνιαία βροχόπτωση φτάνει στο αποκορύφωμά της περίπου τους μήνες Δεκέμβριο ή Ιανουάριο και εμφανίζεται ελάχιστη τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, που θεωρούνται σχεδόν άνομβροι ειδικά στην πεδινή Κρήτη. Κατά τη διάρκεια του βροχερότερου μήνα, καταγράφεται στους περισσότερους σταθμούς της Κρήτης ποσοστό περίπου στο 25 % της ετήσιας βροχόπτωσης και αντίστοιχα, ο μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών με βροχή εμφανίζεται να είναι κοντά στις 15 ημέρες/μήνα (όπως είδαμε, περίπου κατά τους μήνες Δεκέμβριο-Ιανουάριο). Για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, ο μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών με βροχή είναι περίπου στο 0,3 ημέρες/μήνα. Ο μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών με βροχή δεν δείχνει να διαφέρει σημαντικά μεταξύ σταθμών ορεινών και πεδινών περιοχών. Ειδικά στους ορεινούς σταθμούς, ο μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών με βροχή παρουσιάζει το παράδοξο να εμφανίζεται ίσος ή μικρότερος του αντίστοιχου αριθμού των σταθμών πεδινών περιοχών και το φαινόμενο τονίζεται ιδιαίτερα στους χειμερινούς μήνες. Για το σύνολο της Κρήτης, ο ετήσιος μέσος αριθμός ημερών με βροχή ανέρχεται περίπου στις 90 ημέρες (δηλαδή περίπου στο 1/4 του έτους). (Περιφέρεια Κρήτης, 2001).

Η μικρότερη μέση υπερετήσια βροχόπτωση καταγράφηκε στον σταθμό που βρίσκεται στην Ιεράπετρα (440 mm), ενώ, στους σταθμούς ορεινών περιοχών, οι τιμές στις βροχοπτώσεις διαφοροποιούνται σημαντικά. Αντίστοιχα, τα μεγαλύτερα ύψη βροχής (μέση ετήσια βροχόπτωση) παρατηρήθηκαν στα Ανώγεια και στο Τζερμιάδο (1 157 mm).

Κλείνοντας το σχετικό υποκεφάλαιο, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι ο μήνας Φεβρουάριος του έτους 2019, ήταν από τους σημαντικά βροχερούς μήνες των τελευταίων ετών στο νησί. Η λεγόμενη κακοκαιρία «Ωκεανίδα» έφερε ιδιαίτερα μεγάλα ύψη βροχόπτωσης, που είχαν ως κυριότερο δυσάρεστο αποτέλεσμα την απώλεια ανθρώπινων ζωών. Παράλληλα, καταγράφηκαν εκτεταμένα πλημμυρικά φαινόμενα, με υλικές καταστροφικές συνέπειες. Στο νομό Χανίων (συγκεκριμένα στον μετεωρολογικό σταθμό Ασκούφου), σημειώθηκε πανευρωπαϊκό ρεκόρ βροχόπτωσης για τον μήνα Φεβρουάριο, με σύνολο βροχής στα 1 225 mm, ενώ, μόνο σε διάστημα τριών ημερών, έπεσε ποσοστό 41 % της μέσης ετήσιας βροχής. Το προηγούμενο αντίστοιχο ρεκόρ μηνιαίου υετού, σε κατοικημένη περιοχή, καταγράφηκε το 1989, και μάλιστα στην Νορβηγία, στο Γκρεντάλεν, με σύνολο βροχής στα 1 190 mm.

Παράλληλα, στοιχεία της «2ης Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υ.Δ. Κρήτης (EL13)» (2022) της Γενικής Διεύθυνσης Υδάτων του ΥΠΕΝ αναφέρουν ότι, γενικότερα, η Κρήτη παρουσιάζει σημαντική ανισοκατανομή του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης, τόσο γεωγραφικά (από ανατολικά προς δυτικά), όσο και φυσιογραφικά (πεδινές ημιορεινές περιοχές), εμφανίζοντας έτσι βροχοβαθμίδα (δηλαδή αύξηση της βροχόπτωσης με το υψόμετρο), που θεωρούνται από τις μεγαλύτερες της χώρας (61 mm/100 υψομετρικής διαφοράς). Κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο, η μέση μηνιαία βροχόπτωση είναι μέγιστη και κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο είναι ελάχιστη, καθώς αυτοί οι δύο μήνες είναι σχεδόν άνομβροι στα πεδινά. Το 25 % περίπου της ετήσιας βροχόπτωσης στην Κρήτη, καταγράφεται κατά τη διάρκεια του πιο

βροχερού μήνα.

2.5.5. Οι Άνεμοι της Κρήτης

Η Περιφέρεια Κρήτης επεξεργάστηκε τα ανεμολογικά στοιχεία (της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας), σε ετήσια βάση και από αυτά προκύπτει ότι:

- Σε όλη τη διάρκεια του έτους επικρατούν κυρίως βόρειοι και βορειοδυτικοί άνεμοι. Η νηνεμία εμφανίζεται σε ποσοστό της τάξης του 20 %, στους πεδινούς σταθμούς της ανατολικής Κρήτης, ενώ στους ορεινούς σταθμούς το σχετικό ποσοστό εμφανίζεται πιο μεγάλο και ανέρχεται περίπου στο 30 %.
- Οι άνεμοι στο νησί παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση στους ανατολικούς σταθμούς, παρά στους δυτικούς, με τη μέγιστη μηνιαία ένταση ανέμων να εμφανίζεται σε Σητεία και Ιεράπετρα, κατά τον μήνα Ιούλιο (5,82 m/s και 6,84 m/s, αντίστοιχα). Στους σταθμούς της δυτικής Κρήτης, η μέγιστη ένταση (μέση μηνιαία ένταση) ανέμων εμφανίζεται κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο, και είναι σημαντικά χαμηλότερη, της τάξης των 4 m/s περίπου.
- Ο συνολικός αριθμός (μέσος αριθμός) των ημερών με ένταση μεγαλύτερη από 6B (ισχυρός άνεμος σύμφωνα με την κλίμακα Beaufort) παρουσιάζει ιδιαίτερη διακύμανση, καθώς κυμαίνεται από 30 έως και 80 ημέρες και είναι μεγαλύτερος στους ορεινούς παρά στους παραλιακούς σταθμούς.
- Ο συνολικός αριθμός (μέσος αριθμός) των ημερών με ένταση μεγαλύτερη από 8B (ορμητικός άνεμος σύμφωνα με την κλίμακα), αντίστοιχα, είναι αρκετά μικρότερος και κυμαίνεται, από λίγες ημέρες στους πεδινούς παραλιακούς σταθμούς (δηλαδή, 2,5 ημέρες στο σταθμό του Ηρακλείου) μέχρι και λιγότερο από 1 ημέρα στους ορεινούς σταθμούς (0,9 ημέρες στον σταθμό Τζερμιάδο) (Περιφέρεια Κρήτης, 2001).

2.5.6. Νέφωση - Ομίχλη - Δρόσος - Ηλιοφάνεια στην Κρήτη

Η μέση νέφωση στο νησί κυμαίνεται μεταξύ κλάσματος 5/8 για τον μήνα Ιανουάριο και κλάσματος 0,6 - 1/8 για τον μήνα Ιούλιο. Ο δε μέσος αριθμός αίθριων ημερών (με νέφωση, δηλαδή μεταξύ ορίων 0 - 1,5/8 κυμαίνεται μεταξύ τριών (3) ημερών περίπου, για τον μήνα Ιανουάριο, και 28 ημερών, για τον μήνα Ιούλιο, και αντιστοιχεί στις πεδινές περιοχές. Στις ορεινές περιοχές, ο μέσος αριθμός αίθριων ημερών είναι κατά 30% μικρότερος κατά τους θερινούς μήνες.

Η ομίχλη (όπως και ο παγετός) θεωρούνται εξαιρετικά σπάνια φαινόμενα στην Κρήτη. Ο μέσος συνολικός αριθμός ημερών ομίχλης είναι ίσος ή και μικρότερος από μία (1) ημέρα (πιο συγκεκριμένα, 0,9 ημέρες στο Ηράκλειο και 0,4 ημέρες στη Σητεία), για τους πεδινούς σταθμούς, και περίπου 15 ημέρες, συνολικά για τους ορεινούς σταθμούς (στο σταθμό στο Τζερμιάδο μετρήθηκαν 16 ημέρες).

Αντίθετα, συχνότερα παρατηρείται εμφάνιση υδροσταγόνων πάνω σε επιφάνειες εδάφους, φαινόμενο που ονομάζεται δρόσος (dew). Ο μέσος συνολικός αριθμός ημερών με δρόσο είναι, για το σταθμό στο Ηράκλειο, στις 45,2 ημέρες, ενώ, για τους ορεινούς σταθμούς, όπου έχουν και μεγαλύτερο αριθμό ημερών με ομίχλη, ο αριθμός ημερών με δρόσο είναι αρκετά μικρότερος (στο σταθμό στο Τζερμιάδο μετρήθηκαν 23,3 ημέρες). (Περιφέρεια Κρήτης, 2001).

Όμως, κατά τη διάρκεια του έτους, στο νησί παρατηρείται το φαινόμενο της μεταφοράς αφρικανικής σκόνης, από τα νότια προς την Κρήτη, που διασχίζει τη θάλασσα. Η αφρικανική σκόνη γίνεται αντιληπτή και οπτικά (με την θολότητα της ατμόσφαιρας), ενώ, αν παρουσιαστεί παράλληλα και

βροχόπτωση, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μένουν κοκκινωπά αποτυπώματα σε όλες τις εκτεθειμένες επιφάνειες. Η εισπνευσιμότητά της αφρικανικής σκόνης μετριέται συνήθως σε σχετικά ασφαλή όρια. Η περίοδος που ευνοεί τη μεταφορά είναι από Μάρτιο ως και Αύγουστο, ενώ πιο σπάνια παρατηρούνται μεταφορές και κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου.

Σχετικά με την ηλιοφάνεια στην περιοχή της Κρήτης, αυτή παρουσιάζει χαρακτηριστικά υψηλής ηλιοφάνειας, με μέσο ετήσιο αριθμό ωρών, στην βόρεια Κρήτη να ανέρχεται σε 2700 ώρες περίπου, ενώ στη νότια να εμφανίζεται κατά τουλάχιστον 10 % υψηλότερα, με μέσο ετήσιο αριθμό περίπου 3000 ωρών. Ο μέσος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας της Ιεράπετρας ξεπερνάει το σχετικό όριο και είναι ο μεγαλύτερος της Ελλάδας (3 068 ώρες).

2.6. Κύριες χρήσεις γης

Στο Διαμέρισμα της Κρήτης, οι αστικές περιοχές καλύπτουν μόλις το 1 % της συνολικής έκτασης. Πολύ μικρό ποσοστό καλύπτουν, επίσης, τα επιφανειακά ύδατα (2 % του συνόλου), ενώ το νησί θεωρείται σε μικρό ποσοστό δασώδες (αντιστοιχεί στο 3 % της συνολικής έκτασης). Σημαντικά είναι το ποσοστά που αντιστοιχούν, τόσο σε καλλιέργειες (27 % της συνολικής έκτασης), όσο και σε γεωργική γη/βοσκοτόπους (67 % της συνολικής έκτασης).

Χρήσεις γης στο Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης



Σχήμα 2-1. Κατανομή χρήσεων γης στο Υ.Δ. Κρήτης.

Παρατηρώντας τον παρακάτω χάρτη (εικόνα 2.6) σε αυτόν εμφανίζονται χωρικά οι χρήσεις γης, που κατηγοριοποιούνται σε τέσσερις κλάσεις περιοχών: αγροτικές, δάση και ημι-φυσικές περιοχές, τεχνητές επιφάνειες και υδατικά συστήματα. Οι συγκεκριμένες περιοχές δύνανται να αποτελέσουν σημειακές ή διάχυτες περιβαλλοντικές πιέσεις σε επιφανειακά ή και υπόγεια ύδατα.



Εικόνα 2.6. Χάρτης χρήσεων γης στο Υ.Δ. Κρήτης (EL13) (Corine Land Cover, 2012).

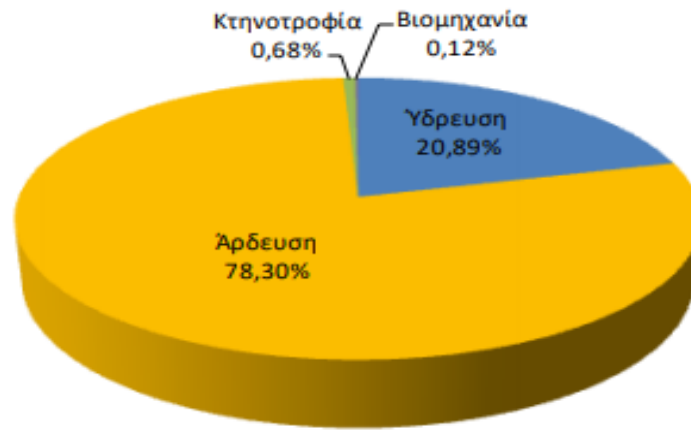
2.7. Κύριες χρήσεις ύδατος

Η Κρήτη, καθώς είναι νησιωτική περιοχή (αναφέρεται αυτό σε αντίθεση με τις ηπειρωτικές περιοχές, όπου υπάρχουν μεγάλα ποτάμια), επωφελείται κυρίως από τα ύδατα που φτάνουν σε αυτήν με τη μορφή κατακρημνισμάτων (βροχή, χαλάζι, χιόνι). Παράλληλα, η γεωγραφική της θέση (στο νοτιότερο άκρο της Ευρώπης), όπως και το γεωφυσικό της περιβάλλον, δεν ευνοούν τη συγκέντρωση μεγάλου όγκου νερού. Εξάλλου, όπως είδαμε, η γεωγραφική της τοποθέτηση, κατά τη διεύθυνση ανατολής-δύσης, καθώς και η ύπαρξη ψηλών οροσειρών, καθορίζουν σημαντικά το ύψος των υδάτων που δέχεται ετήσια. Έτσι, το συνολικό υδατικό δυναμικό, για το νησί, που δύναται να αξιοποιηθεί ανέρχεται στα περίπου 857 εκατομμύρια κυβικά μέτρα (σε αυτά δεν περιλαμβάνονται οι τρεις μεγάλες υφάλμυρες καρστικές πηγές της Κρήτης), από τα οποία, ποσοστό πάνω από το 60 % δεν χρησιμοποιείται (χειμερινές παροχές πηγών και επιφανειακή απορροή). Αυτά, αποτελούν ύδατα ικανοποιητικής ποιότητας που θα μπορούσε ο άνθρωπος να εκμεταλλευτεί με διάφορους τρόπους (γεωτρήσεις, φράγματα, υδρομαστεύσεις κ.α.).

Παρακάτω, στον ακόλουθο πίνακα (2-1) και στο σχετικό σχήμα (2-2), παρουσιάζονται οι συνολικές απολήψεις νερού για την ικανοποίηση των χρήσεων ύδρευσης, άρδευσης, κτηνοτροφίας και βιομηχανίας, στο Υδατικό Διαμέρισμα (Υ.Δ.) της Κρήτης. Από τα στοιχεία φανερώνεται ότι το μέγιστο μέρος των απολήψεων αφορά στην άρδευση (ανέρχεται στο 78 % των συνολικών απολήψεων) και ακολουθεί η ύδρευση που (21 %). Οι απολήψεις σχετικά με την κτηνοτροφία και τη βιομηχανία κατέχουν μικρότερο ποσοστό στο σύνολο των απολήψεων (περίπου μοιρασμένες, κατέχοντας αντίστοιχα το 0,7 % και 0,1 %) (ΥΠΕΝ,2017).

Πίνακας 2-1 . Ανάγκες νερού ανά χρήση στο Υ.Δ. Κρήτης (EL13).

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



Σχήμα 2-2. Κατανομή αναγκών ανά χρήση για το Υ.Δ. Κρήτης (EL13).

2.8. Επιφανειακά ύδατα

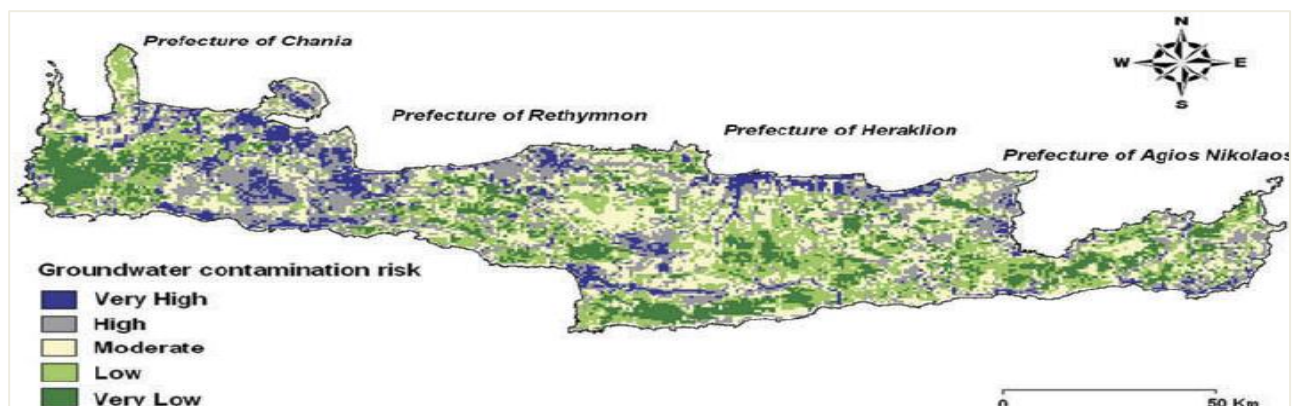
Το Υδατικό Διαμέρισμα (Υ.Δ.) της Κρήτης αποτελεί ένα από τα δεκατέσσερα Υδατικά Διαμερίσματα (σύμφωνα με τον Ν. 1739/1987 περί διαχείρισης υδατικών πόρων), στα οποία έχει διαιρεθεί ο ελληνικός χώρος, το οποίο περιβάλλεται από πλήθος μικρών νησιών (Γαύδος, Γαυδοπούλα, Χρυσή, Κουφονήσι, Ντία, Διονυσάδες, Σπιναλόγκα και Παξιμάδι) (Περιφέρεια Κρήτης, 2002).

Στο Υδατικό Διαμέρισμα (Υ.Δ.) της Κρήτης αντιστοιχούν ελάχιστα ποτάμια μόνιμης ροής, μερικά με εφήμερη ροή, με πολύ μικρή περίοδο επιφανειακής ροής (3 μήνες περίπου), ενώ τα περισσότερα ποτάμια χαρακτηρίζονται ως χειμάρροι περιοδικής ροής.

Στους χειμάρρους μπορούμε να ξεχωρίσουμε δύο κύριες κατηγορίες:

- οι χειμάρροι των οποίων η επιφανειακή ροή διαρκεί 8 με 9 μήνες, κατά την υγρή περίοδο του χρόνου και επίσης διατηρούν τέλματα στην κοίτη τους, κατά την ξηρή καλοκαιρινή περίοδο και
- οι χειμάρροι των οποίων η επιφανειακή ροή διαρκεί 6 με 8 μήνες, κατά την υγρή περίοδο του χρόνου, αλλά δεν διατηρούν τέλματα στην κοίτη τους, κατά την ξηρή καλοκαιρινή περίοδο.

Αναλύοντας την συμβολή των επιφανειακών υδάτων στο σύνολο των υδάτινων πόρων της Κρήτης, διαπιστώνουμε ότι αυτά συμβάλουν σε ποσοστό περίπου 40 %, με την ουσιαστική, ωστόσο, συμβολή να υπολογίζεται τελικά στο 13 %, γεγονός που δείχνει ότι, στο σύνολο της ποσότητας του νερού που γίνεται χρήση στο διαμέρισμα της Κρήτης, αυτό προέρχεται κυρίως από υπόγειες πηγές.



Εικόνα 2.7. Χάρτης κινδύνου μόλυνσης των υπογείων υδάτων της νήσου Κρήτης (Kourgialas & Karatzas, 2014).

Στο νησί υπάρχουν 25 ρέματα, εκ των οποίων τα 11 βρίσκονται στο νομό Ηρακλείου, τα 5 στο νομό Χανίων, τα 3 στο νομό Ρεθύμνου και τέλος, τα 6 βρίσκονται στο νομό Λασιθίου. Η συνολική (μέση ετήσια) απορροή εκτιμάται ότι είναι της τάξης του 0,857 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. από τα παραπάνω, το ρεύμα με τη μεγαλύτερη απορροή είναι εκείνο του Αλμυρού, που βρίσκεται κοντά στο Ηράκλειο, με μέση ετήσια απορροή ύψους 236 κυβικών χιλιοστών. Αντίστοιχα, το ρεύμα με την υψηλότερη μέση ετήσια απορροή για το νομό Ρεθύμνου είναι ο Πλατύς, όπου η μέση ετήσια απορροή είναι της τάξης των 50 κυβικών χιλιοστών. Για το νομό Χανίων είναι το ρεύμα Σεμπρωνίτης, με μέση ετήσια απορροή της τάξης των 14,9 κυβικών χιλιοστών και τέλος, για το νομό Λασιθίου είναι το ρεύμα Καταβόθρες, με μέση ετήσια απορροή στα 16,6 κυβικά χιλιοστά.

2.9. Υδρολογικές λεκάνες Κρήτης

Όπως αναφέρθηκε ήδη, η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο και πολυπληθέστερο Γεωγραφικό Διαμέρισμα στη χώρα. Επίσης, σύμφωνα με την έκτασή του, είναι το πέμπτο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου. 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 %).

Το Υδατικό Διαμέρισμα (Υ.Δ.) της Κρήτης, αντίστοιχα, χαρακτηρίζεται από ισχυρό ανάγλυφο, το οποίο, μαζί με τις μεγάλες ποσότητες ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, καθώς και μαζί με την έκταση της νήσου και την πολύπλοκη γεωλογική δομή της, στο σύνολο τους αυτά τα χαρακτηριστικά δημιουργούν ποικιλομορφία στον τρόπο διακίνησης, τόσο των επιφανειακών, όσο και των υπόγειων υδάτων. Το αποτέλεσμα αυτής της ποικιλίας είναι η ανάπτυξη πολλών μικρών υδρολογικών λεκανών, με συνολική έκταση που δεν ξεπερνά τα 600 km². Το πυκνό -χειμαρνώδους χαρακτήρα- υδρογραφικό δίκτυο της Κρήτης παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση και στις παροχές του. Λίγα είναι τα ρέματα που διατηρούν τη ροή τους σε όλη τη διάρκεια του έτους (π.χ. Γεροπόταμος, Πλατανιάς Χανίων και Κουρταλιώτης Ρεθύμνης), τα οποία τροφοδοτούνται κυρίως από πηγαία νερά.

Σύμφωνα με στοιχεία του ΥΠΓΕ, οι συνολικές απορροές των ρεμάτων (όπου πραγματοποιούνται μετρήσεις) ανέρχονται σε 300hm³/ετησίως. Εκτιμάται ότι η ποσότητα που διακινούν τα υπόλοιπα ρέματα προς τη θάλασσα είναι της τάξης των 1 300 hm³.

Οι υδρολογικές λεκάνες του Γεροπόταμου, έκτασης 552 km², και του Αναποδάρη, έκτασης 537km², που είναι οι δύο μεγαλύτερες υδρολογικές λεκάνες του νησιού, βρίσκονται στο νότιο τμήμα του, στην περιοχή της Μεσσαράς. Αυτές οι δύο λεκάνες αναπτύσσονται, κατά κύριο λόγο, σε νεογενείς και σύγχρονες αποθέσεις. Όμως, εξαιτίας των εκτεταμένων καλλιεργειών στα πεδινά τμήματα, όπως και των υψηλών θερμοκρασιών που συναντώνται στην περιοχή, εκτιμάται ότι αυτές οι δύο λεκάνες έχουν τελικά μικρή απορροή, που είναι ίση με ποσοστό 15 - 20 % των βροχοπτώσεων. Αυτό πρακτικά σημαίνει απορροή 60-75hm³/ετησίως για την υδρολογική λεκάνη του Γεροπόταμου και αντίστοιχα 55 - 70/hm³/ετησίως για την υδρολογική λεκάνη του Αναποδάρη (ΥΠΑΝ, Ε., & ΙΓΜΕ, Κ. , 2003).

3. Βάση Μετεωρολογικών Δεδομένων

3.1. Ποιοτικός έλεγχος δεδομένων

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, αρχικό και απαραίτητο βήμα αποτέλεσε η εύρεση δεδομένων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για το Υ.Δ. Κρήτης, το υδρομετεωρολογικό δίκτυο του οποίου άρχισε να ανανεώνεται προς το τέλος της δεκαετίας 2000-2010.

Σήμερα, απαριθμούνται εβδομήντα τουλάχιστον (70) ενεργοί μετεωρολογικοί σταθμοί σε όλη την έκταση του νησιού της Κρήτης, οι οποίοι και συνεχώς αυξάνονται. Από τους σταθμούς αυτούς - των οποίων οι χρονοσειρές είναι άμεσα διαθέσιμες μέσω του Μετεωρολογικού και Υδρολογικού Παρατηρητηρίου Κρήτης (από το <https://www.meteo.gr/>) - οι πενήντα εννέα (59) ανήκουν στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (Ε.Α.Α.), ενώ οι έντεκα (11) στην Αποκεντρωμένη Διοίκηση Κρήτης (Α.Δ.Κ.), (εικόνα 3.1).

Από τους σταθμούς αυτούς :

- στο νομό Χανίων, βρίσκονται είκοσι επτά (27) σταθμοί, όπου οι είκοσι έξι (26) ανήκουν στο Ε.Α.Α., ενώ ο ένας (1) στην Α.Δ.Κ.
- στο νομό Ρεθύμνου, βρίσκονται δέκα (10) σταθμοί, όπου οι οκτώ (8) ανήκουν στο Ε.Α.Α., ενώ οι δύο (2) στην Α.Δ.Κ.
- στο νομό Ηρακλείου, βρίσκονται είκοσι ένα (21) σταθμοί, όπου οι δεκαπέντε (15) ανήκουν στο Ε.Α.Α., ενώ οι έξι (6) στην Α.Δ.Κ.
- στο νομό Λασιθίου, βρίσκονται δέκα (12) σταθμοί, όπου οι δώδεκα (10) ανήκουν στο Ε.Α.Α., ενώ οι δύο (2) στην Α.Δ.Κ.



Εικόνα 3.1. Χάρτης απεικόνισης των μετεωρολογικών σταθμών από το Μετεωρολογικό Παρατηρητήριο Κρήτης του meteo (με τα τετράγωνα σημειώνονται οι σταθμοί του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και με κύκλους σημειώνονται οι σταθμοί της Αποκεντρωμένης Διοίκησης Κρήτης). Πηγή : <https://www.meteo.gr/crete/>

Σημαντικό είναι να αναφερθεί, ότι για την πραγματοποίηση στοχαστικής ανάλυσης χρειάζονται δεδομένα χρονοσειρών μεγάλης χρονικής κλίμακας (δηλαδή, 30 χρόνων και άνω). Ωστόσο τα δεδομένα που παρέχονται από τους παραπάνω σταθμούς του Μετεωρολογικού και Υδρολογικού Παρατηρητηρίου Κρήτης (meteo), όπως αναφέρθηκε, έχουν πιο πρόσφατη περίοδο λειτουργίας (με τον παλαιότερο εκ αυτών, που βρίσκεται στη θέση «Πολυτεχνειούπολη Χανίων», να λειτουργεί μόνο από τον Φεβρουάριο του 2006). Προκύπτει, λοιπόν, σαφώς ότι η παραπάνω περίοδος δεν επαρκεί, δεδομένου ότι θεωρείται ελλιπής ως προς τη βεβαιότητα και την ακρίβεια των

προσδοκώμενων αποτελεσμάτων. Συνεπώς, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, δεν δύναται να χρησιμοποιηθούν για τη συγκεκριμένη ανάλυση, οι συγκεκριμένες χρονοσειρές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, των παραπάνω σταθμών.

Πάραυτα, τα δεδομένα, για τους σταθμούς των οποίων η περίοδος λειτουργίας αριθμεί από 5 χρόνια και άνω, θα χρησιμοποιηθούν ώστε να προκύψουν τα στατιστικά χαρακτηριστικά των διεργασιών. Στα πλαίσια ομαδοποίησης των δεδομένων, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση σχετικά με τη κατανομή της βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, με έμφαση κυρίως στον χώρο, αλλά και στον χρόνο. Στόχος, είναι να υπάρχουν όσο το δυνατόν περισσότεροι σταθμοί, ώστε να καλύπτεται μεγαλύτερο μέρος του νησιού, με βάση τη γεωγραφική θέση του κάθε ένα. Οι σταθμοί οι οποίοι θεωρήθηκαν επαρκής και χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 3-1.

Πίνακας 3-1. Σταθμοί του Μετεωρολογικού Παρατηρητηρίου Κρήτης (πηγή *meteο*), οι οποίοι επιλέχθηκαν για τη στατιστική ανάλυση (5 χρόνια και άνω) της παρούσας εργασίας.

ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟ ΜΕΤΕΟ				
Περίοδος Λειτουργίας	Χρόνια Λειτουργίας	Όνομα Σταθμού	Ύψος (m)	Φορέας
2009 - 2021	12	Άγιος Νικόλαος Λασιθίου	30	Ε.Α.Α.
2007 - 2021	14	Βρύσες Χανίων	58	Ε.Α.Α.
2014 - 2021	7	Έλος Χανίων	520	Ε.Α.Α.
2013 - 2021	8	Ηράκλειο-Δυτικά	85	Ε.Α.Α.
2006 - 2021	15	Ηράκλειο- Κνωσός	115	Ε.Α.Α.
2008 - 2021	13	Ηράκλειο - Λιμάνι	10	Ε.Α.Α.
2008 - 2021	13	Ιεράπετρα Λασιθίου	5	Ε.Α.Α.
2011 - 2021	10	Λέντας Ηρακλείου	15	Ε.Α.Α.
2009 - 2021	12	Μοίρες Ηρακλείου	54	Ε.Α.Α.
2006 - 2021	15	Παλαιόχωρα Χανίων	5	Ε.Α.Α.
2012 - 2021	9	Πλακιάς Ρεθύμνου	25	Ε.Α.Α.
2015 - 2021	6	Πλατανιάς Χανίων	12	Ε.Α.Α.
2014 - 2021	7	Πυράθι Ηρακλείου	311	Ε.Α.Α.
2007 - 2021	14	Ρέθυμνο	39	Ε.Α.Α.
2008 - 2021	13	Σαμαριά Χανίων	1250	Ε.Α.Α.
2013 - 2021	8	Σαμαριά - Φαράγγι Χανίων	349	Ε.Α.Α.
2015 - 2021	6	Σέμπρωνας Χανίων	640	Ε.Α.Α.
2014 - 2021	7	Σταυράκια Ηρακλείου	245	Ε.Α.Α.
2013 - 2021	8	Σφακιά Χανίων	770	Ε.Α.Α.
2006 - 2021	15	Τζερμάδων Λασιθίου	816	Ε.Α.Α.
2010 - 2021	11	Φαλάσαρνα Χανίων	10	Ε.Α.Α.
2014 - 2021	7	Φινοκαλιά Λασιθίου	250	Ε.Α.Α.
2010 - 2021	11	Φουρφουράς Ρεθύμνου	471	Ε.Α.Α.
2008 - 2021	13	Φράγμα Ποταμών Ρεθύμνου	240	Ε.Α.Α.
2006 - 2021	15	Χανιά	137	Ε.Α.Α.
2010 - 2021	11	Χανιά - Κέντρο Πόλης	7	Ε.Α.Α.
2015 - 2021	6	Άγιοι Πάντες Χανίων	148	Ε.Α.Α.
2016 - 2021	5	Κολυμπάρι Χανίων	42.3	Ε.Α.Α.
2016 - 2021	5	Ηράκλειο-Ανατολικά	28.6	Ε.Α.Α.
2012 - 2021	9	Αλικιανός Χανίων	95	Ε.Α.Α.
2014 - 2021	7	Ασκούφου Χανίων	715	Ε.Α.Α.
2016 - 2021	5	Κάνδανος Χανίων	430	Ε.Α.Α.
2007 - 2021	14	Σπήλι Ρεθύμνου	405	Ε.Α.Α.
2008 - 2021	13	Ανώγεια Ρεθύμνου	801	Ε.Α.Α.
2008 - 2021	13	Μεταξοχώρι Ηρακλείου	418	Ε.Α.Α.
2014 - 2021	7	Βαγιονιά Ηρακλείου	196	Ε.Α.Α.
2010 - 2021	11	Σητεία Λασιθίου	30	Ε.Α.Α.
2017 - 2021	4	Αση Γωνιά *	380	Ε.Α.Α.
2015 - 2021	6	Βασιλικά Ανώγεια Ηρακλείου	233	Α.Δ.Κ.

2015 - 2021	6	Ρουσσοχώρια Ηρακλείου	382	Α.Δ.Κ.
2015 - 2021	6	Ζήρος Λασιθίου	582	Α.Δ.Κ.
2015 - 2021	6	Άγιος Στέφανος Λασιθίου	404	Α.Δ.Κ.
2015 - 2021	6	Πύργος Ηρακλείου	280	Α.Δ.Κ.
2015 - 2021	6	Βιάννος Ηρακλείου	546	Α.Δ.Κ.
2015 - 2021	6	Τυμπάκι Ηρακλείου	60	Α.Δ.Κ.
2015 - 2021	6	Ταυρωνίτης Χανίων	290	Α.Δ.Κ.
2015 - 2021	6	Δοξαρό Ρεθύμνου	240	Α.Δ.Κ.

* Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός Ασή Γωνιά στον νομό Χανίων, με περίοδο λειτουργίας 4 ετών (έναρξη λειτουργίας το 2017), ο οποίος λαμβάνεται υπόψη στη παρούσα μελέτη, καθώς παρατηρήθηκε το μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης συγκριτικά με όλους τους υπόλοιπους σταθμούς.

Προκειμένου να υλοποιηθεί ορθώς η στοχαστική ανάλυση, αναζητήθηκαν επιπλέον δεδομένα και από άλλους φορείς, καθώς αυτά των Ε.Α.Α. και Α.Δ.Κ. δεν επαρκούσαν. Για τα επιπλέον δεδομένα, έπρεπε να πληρούνται τα εξής κριτήρια :

- Μεγάλη χρονική περίοδος δεδομένων (>30 ετών)
- Τα δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας να καλύπτουν την ίδια χρονική περίοδο.
- Μικρό ποσοστό ελλείψεων δεδομένων, ως προς το σύνολο της περιόδου λειτουργίας.

Για τον λόγο αυτό, χορηγήθηκαν επιπλέον ημερήσια δεδομένα δεκαεπτά (17) σταθμών από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) (πίνακας 3-2), ενώ επίσης συλλέχθηκαν άλλοι τέσσερις (4) από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Εξερευνητή (World Meteorological Explorer – Climate Explorer), τα οποία λαμβάνονται από το Βασιλικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Ολλανδίας (KNMI) (πίνακας 3-3).

Τα παραπάνω κριτήρια καθώς και το γεγονός ότι δόθηκε μεγάλη σημασία στη γεωγραφική θέση του κάθε μετεωρολογικού σταθμού, ώστε να καλύπτουν όσο το δυνατόν περισσότερο το σύνολο του υδατικού διαμερίσματος της Κρήτης, περιόρισε πολύ την επιλογή των κατάλληλων σταθμών, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για πολλούς στο νησί είτε ακόμα ενεργών, είτε όχι.

Πίνακας 3-2. Σταθμοί που χορηγήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) για τους οποίους υπάρχουν διαθέσιμα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας

ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟ Ε.Μ.Υ.				
Περίοδος Λειτουργίας	Χρόνια Λειτουργίας	Όνομα Σταθμού	Ύψος (m)	Ποσοστό ελλείψεων δεδομένων
1975 - 1996	21	Βάμος	272	~ 0.4 %
1958 - 2021	63	Σούδα	145	~ 1.5 %
1958 - 2004	46	Χανιά	151	~ 0 %
1974 - 2002	28	Παλαιόχωρα (Παλιός)	6	~ 0.4 %
1975 - 2004	29	Ανώγεια	763	~ 0.2 %
1975 - 2005	30	Γόρτυνα	163	~ 2.5 %
1955 - 2020	65	Ηράκλειο	39	~ 0.5 %
1974 - 2004	30	Φούρνη	39	~ 0.2 %
1956 - 2004	48	Ιεράπετρα	18	~ 7 %
1960 - 2004	44	Σητεία	114	~ 13.2 %

1957 - 2008	51	Ρέθυμνο	80	~ 7.3 %
1959 - 2012	53	Τυμπάκι	6	~ 4.8 %
1976 - 2020	44	Καστέλλι	349	~ 12.5 %
1976 - 2004	28	Ζάρος	320	~ 8.8 %
1975 - 1994	19	Τζερμιάδες	820	~ 0.3 %
2009 - 2020	11	Παλαιόχωρα (ΑΜΣ)	2	~ 22.9 %
2009 - 2020	11	Γαύδος	114	~ 67 %

Πίνακας 3-3. Σταθμοί που συλλέχθηκαν μέσω του Climate Explorer, τα οποία λαμβάνονται από το Βασιλικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Ολλανδίας (KNMI), για τους οποίους υπάρχουν διαθέσιμα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας.

ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟ ΚΝΜΙ			
Χρόνια Λειτουργίας	Περίοδος Λειτουργίας	Όνομα Σταθμού	Ύψος (m)
66	1955 - 2021	Ηράκλειο	39
46	1958 - 2004	Χανιά	151
63	1958 - 2021	Σούδα (Αεροδρόμιο)	146
29	1975 - 2004	Σούδα (Κόλπος)	146

Από τους σταθμούς που χορηγήθηκαν από την Ε.Μ.Υ (πίνακας 3-2), λίγοι είναι αυτοί οι οποίοι τελικά κρίθηκαν κατάλληλοι και επιλέχθηκαν για τη στοχαστική ανάλυση, καθώς παρ' όλο που η πλειοψηφία αυτών φαίνεται να έχει διάρκεια λειτουργίας 30 χρονών και άνω, για τους περισσότερους παρατηρήθηκε ποσοστό ελλείψεων τέτοιο, ώστε να καθιστά την ανάλυση αναξιόπιστη.

Επίσης προκύπτει από τους παραπάνω πίνακες, ότι οι χρονοσειρές δεδομένων οι οποίες συλλέχθηκαν από το ΚΝΜΙ, αφορούν σταθμούς οι οποίοι χορηγήθηκαν και από την Ε.Μ.Υ., καθώς έχουν ίδιο όνομα, πολύ κοντινές συντεταγμένες και σχεδόν ίδια περίοδο λειτουργίας και υψόμετρα. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των δεδομένων των σταθμών αυτών για την ίδια χρονική περίοδο. Αναδείχθηκε ότι κάποιοι έχουν ακριβώς τα ίδια δεδομένα, σε άλλους διέφεραν είτε τα δεδομένα βροχόπτωσης, είτε τα δεδομένα θερμοκρασίας ενώ για κάποια χρονικά διαστήματα τα δεδομένα συνέπιπταν και για άλλα διαφέρον.

Έτσι, θεωρήθηκαν ως πιο αξιόπιστα τα δεδομένα τα οποία προήλθαν από την Ε.Μ.Υ. Μόνο όπου υπήρχε απουσία μετρήσεων, για χρονική περίοδο τέτοια ώστε η χρονοσειρά να θεωρούταν ανεπαρκής για περαιτέρω ανάλυση και όπου οι υπόλοιπες μετρήσεις συνέπιπταν με αυτές του ΚΝΜΙ, τότε αναπληρώνονταν τα κενά με τις μετρήσεις αυτές, ώστε να προκύπτει μια πιο ενιαία, με όσο το δυνατόν λιγότερα κενά χρονοσειρά. Άρα τα δεδομένα αυτά που προήλθαν από το ΚΝΜΙ, δεν λαμβάνονται υπόψη, παρά μόνο χρησιμοποιούνται “εφεδρικά”, για την επικάλυψη των κενών, όπου παρατηρήθηκε σημαντική έλλειψη μετρήσεων.

Έτσι, οι σταθμοί που τελικώς κρίθηκαν κατάλληλοι για στοχαστική ανάλυση, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 3-4. Οι υπόλοιποι σταθμοί της Ε.Μ.Υ. οι οποίοι κρίθηκαν επαρκής, χρησιμοποιήθηκαν στην πορεία μαζί με αυτούς του meteo, για τη στατιστική ανάλυση και χωρική παρεμβολή.

Πίνακας 3-4. Σταθμοί οι οποίοι χορηγήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) και χρησιμοποιήθηκαν για στοχαστική ανάλυση.

ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΠΟ Ε.Μ.Υ.			
Χρόνια Λειτουργίας	Περίοδος Λειτουργίας	Όνομα Σταθμού	Ύψος (m)
63	1958 - 2021	Σούδα	145
46	1958 - 2004	Χανιά	151
66	1955 - 2021	Ηράκλειο	39

Συμπληρωματικά, σχετικά με τη στοχαστική ανάλυση, καθώς οι σταθμοί που εγκρίθηκαν τελικά είναι ελάχιστοι, αποφασίστηκε να αξιοποιηθούν επιπλέον, ημερήσιες ή/ και ετήσιες χρονοσειρές βροχόπτωσης (κάποιες ήταν διαθέσιμες μόνο σε ετήσιο βήμα), από την Περιφέρεια Κρήτης προκειμένου να υπάρχουν περισσότεροι σταθμοί στην Κρήτη, με μεγάλη περίοδο λειτουργίας.

Έτσι πραγματοποιήθηκε η συλλογή δεδομένων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας (ελάχιστης, μέσης και μέγιστης) για όσο το δυνατόν περισσότερα χρόνια και για όσο το δυνατόν περισσότερους σταθμούς διάσπαρτους σε όλο το Υ.Δ. της Κρήτης.

Για τους σταθμούς αυτούς, τα δεδομένα συγκεντρώθηκαν στο λογιστικό φύλλο Excel, από όπου και πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία. Επίσης, μέσω της εφαρμογής του λογισμικού «Υδρογνώμων», συγκεντρώθηκαν τα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης αλλά και θερμοκρασίας για κάθε έναν σταθμό, ώστε να υπάρχει μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων. 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 για της βροχόπτωση, μέσος όρος για τις θερμοκρασίες), από όπου προέκυψαν μηνιαία δεδομένα και στη συνέχεια ετήσια, καθώς επίσης και ελάχιστη και μέγιστη ετήσια τιμή για κάθε μια διεργασία που μελετάται.

4. Μεθοδολογία

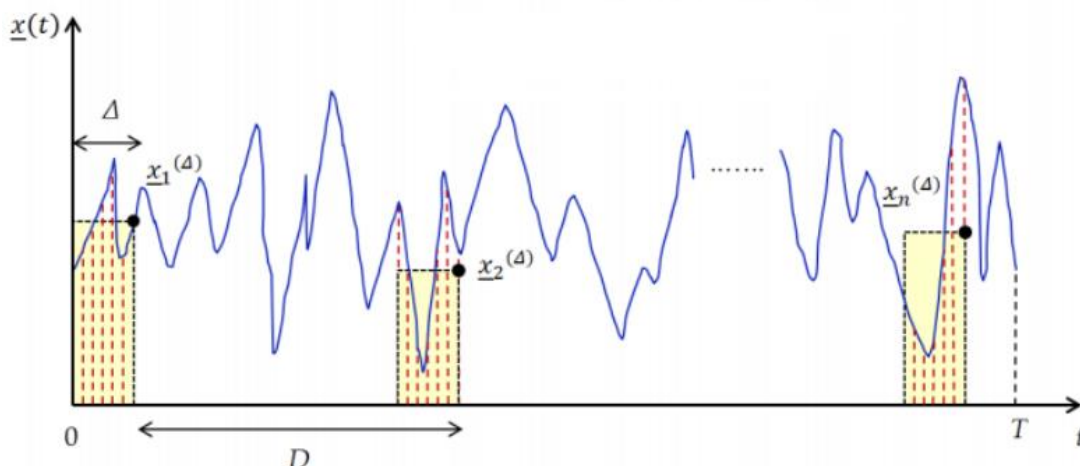
4.1. Στοχαστική Ανέλιξη

Στα φυσικά φαινόμενα, υπάρχει αβεβαιότητα ή τυχαιότητα, με τον τελευταίο όρο να σημαίνει κάτι απλώς απρόβλεπτο ή με εγγενή αβεβαιότητα (Dimitriadis & Koutsoyiannis, 2015). Για να μελετηθεί η αλλαγή σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιείται η έννοια της στοχαστικής ανέλιξης (stochastic process). Αυτή ορίζεται ως μια αυθαίρετα (συνήθως απείρωσ) μεγάλη οικογένεια στοχαστικών μεταβλητών $x(t)$ (Papoulis, 1991). Σε κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί ένας δείκτης t , που παίρνει τιμές από ένα κατάλληλο σύνολο T . Αν και γενικά το δεικτοσύνηλο T μπορεί να είναι οποιοδήποτε σύνολο, συχνότατα παριστάνει χρόνο. Σε περίπτωση που το δεικτοσύνηλο αντιστοιχεί σε διακριτές μονάδες χρόνου (όταν το T είναι το σύνολο των ακεραίων αριθμών, \mathbb{Z}) με $T = \{0, 1, 2, \dots\}$, έχουμε μια ανέλιξη σε διακριτό χρόνο. Αντίστοιχα, αν το δεικτοσύνηλο αντιστοιχεί σε συνεχή χρόνο (όταν το T είναι το σύνολο των πραγματικών αριθμών, \mathbb{R}) με $T = [0, \infty)$, μιλούμε για ανέλιξη σε συνεχή χρόνο (Samuel Karlin, 1966).

Οι στοχαστικές ανελίξεις χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την χρονική εξέλιξη φυσικών φαινομένων. Οι φυσικές διεργασίες όπως και η μαθηματική τους έκφραση ως στοχαστικές ανελίξεις εξελίσσονται σε συνεχή χρόνο. Ωστόσο, οι παρατηρούμενες χρονοσειρές χαρακτηρίζονται από ένα δειγματικό χρονικό διάστημα D συνήθως ορισμένο από τον παρατηρητή και τον χρόνο απόκρισης Δ της συσκευής παρατήρησης (Σχήμα 1). Οι σταθερές D και Δ επηρεάζουν την εκτίμηση των στατιστικών παραμέτρων της ανέλιξης σε συνεχή χρόνο. Δύο περιπτώσεις έχουν μελετηθεί όπου $\Delta \rightarrow 0$, και $D = \Delta$ (Koutsoyiannis, 2013a) με τελικό συμπέρασμα ότι οι διαφορές τους είναι μικρές και έτσι θεωρείται $D = \Delta > 0$ που έχει και πρακτική σημασία για δείγματα με μικρό D . Η μαθηματική σχέση για την στοχαστική ανέλιξη σε διακριτό χρόνο $x_i^{(\Delta)}$ για $D = \Delta > 0$ είναι η εξής:

$$x_i^{(\Delta)} = \frac{\int_{(i-1)\Delta}^i x(\xi) d\xi}{\Delta}$$

όπου $i \in (1, n)$ είναι μια παράμετρος που αντιπροσωπεύει τον διακριτό χρόνο, $n = [T / \Delta]$ είναι ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων και $T \in [0, \infty)$ είναι η χρονική διάρκεια των παρατηρήσεων.



Σχήμα 4-1. Ένα παράδειγμα μια ανέλιξης σε συνεχή χρόνο, σε δειγματικά χρονικά διαστήματα D για περίοδο T και με χρόνο απόκρισης οργάνου Δ (Dimitriadis & Koutsoyiannis, 2015).

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης στοχαστικών ανελίξεων για την ανάλυση τυχαιών φαινομένων και όχι της κλασικής στατιστικής είναι ότι λαμβάνεται υπόψιν η χρονική και χωρική εξάρτηση μεταξύ των τυχαιών μεταβλητών.

4.2. Συνάρτηση κατανομής και ροπές

Η συνάρτηση κατανομής της στοχαστικής μεταβλητής $\underline{x}(t)$, δηλαδή η

$$F(x; t) := \{P\underline{x}(t) \leq x\}$$

ονομάζεται συνάρτηση κατανομής πρώτης τάξης της ανέλιξης. Αντίστοιχα, η συνάρτηση δεύτερης τάξης

$$F(x_1, x_2; t_1, t_2) := \{P\underline{x}(t_1) \leq x_1, \underline{x}(t_2) \leq x_2\}$$

και κατ' επέκταση τη συνάρτηση n τάξης

$$F(x_1, \dots, x_n; t_1, \dots, t_n) := \{P\underline{x}(t_1) \leq x_1, \dots, \underline{x}(t_n) \leq x_n\}$$

Μια στοχαστική ανέλιξη είναι πλήρως καθορισμένη, αν είναι γνωστή η συνάρτηση κατανομής n -οστής τάξης για κάθε τιμή του n .

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας n -οστής τάξης της ανέλιξης, προκύπτει με παραγωγή των συναρτήσεων κατανομής.

Η στοχαστική ανέλιξη χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο στατιστικών παραμέτρων, με κυριότερες τις ακόλουθες, οι οποίες ονομάζονται και κεντρικές ροπές.

1. Η μέση τιμή της ανέλιξης, δηλαδή η αναμενόμενη τιμή της μεταβλητής $\underline{x}(t)$:

$$\mu(t) := E[\underline{x}(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x; t) dt$$

2. Η διασπορά της ανέλιξης, δηλαδή η διασπορά της μεταβλητής $\underline{x}(t)$:

$$\gamma_0(t) := var[\underline{x}(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu(t))^2 f(x; t) dt$$

3. Η αυτοσυνδιασπορά της ανέλιξης, δηλαδή η συνδιασπορά των στοχαστικών μεταβλητών $\underline{x}(t)$ και $\underline{x}(t+h)$:

$$c(t; h) := cov[\underline{x}(t), \underline{x}(t+h)] = E[(\underline{x}(t) - \mu(t))(\underline{x}(t+h) - \mu(t+h))]$$

όπου $c(t; 0) \equiv \gamma_0(t)$.

4. Η αυτοσυσχέτιση της ανέλιξης, δηλαδή η συσχέτιση των στοχαστικών μεταβλητών $\underline{x}(t)$ και $\underline{x}(t+h)$:

$$r(t; h) := corr[\underline{x}(t), \underline{x}(t+h)] = \frac{c(t; h)}{\sqrt{\gamma_0(t) \gamma_0(t+h)}}$$

4.3. Κλιμακόγραμμα

Υπάρχουν διάφορα στοχαστικά εργαλεία, μέσω των οποίων διερευνάται η ύπαρξη της μακροπρόθεσμης εμμονής σε μια φυσική διεργασία. Τέτοια εργαλεία είναι, η χρήση της αυτοσυνδιασποράς, του φάσματος ισχύος καθώς και του κλιμακογράμματος. Το κλιμακόγραμμα (Koutsoyiannis, 2013a), προέρχεται από τις λέξεις κλίμαξ (climax) και γράμμα και πρόκειται για τη συνάρτηση της διακύμανσης της χρονικής κλίμακας (Koutsoyiannis, 2010), για τον εντοπισμό

στατιστικών ιδιοτήτων, χρονικών εξαρτήσεων, πιθανών ομοιοτήτων στη δομή εξάρτησης και οριακής κατανομής πιθανοτήτων. Έχοντας συγκριθεί με τα παραπάνω εργαλεία, το κλιμακόγραμμα παρουσιάζεται ως το στοχαστικό εργαλείο, με το μικρότερο μέσο τετραγωνικό σφάλμα (mean squared error), άρα και μικρότερη αβεβαιότητα, και είναι πιο κοντά στην πιο πιθανή τιμή του (Dimitriadis and Koutsoyiannis, 2015).

Το κλιμακόγραμμα (Koutsoyiannis, 2013), όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι ένα στοχαστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για να διακρίνει την μακροπρόθεσμη εμμονή και συσχετίζει την διασπορά (ή τυπική απόκλιση) του μέσου όρου της ανέλιξης (υποθέτοντας στασιμότητα) με τον μέσο όρο της κλίμακας του χρόνου. Ορίζεται ως η διακύμανση (ή η γραφική παράσταση της διακύμανσης) της μέσης διαδικασίας $\underline{x}_{(\tau)}$ (υποθέτοντας ότι είναι στάσιμη) σε σχέση με τη χρονική κλίμακα k και συμβολίζεται με $\gamma(k)$.

Αν έχει υποτεθεί ένα μοντέλο για μια διεργασία και έχει προσδιοριστεί η διακύμανση, $\gamma(k)$, από το μοντέλο αυτό, τότε προκύπτει το *θεωρητικό κλιμακόγραμμα* (*theoretical climacogram*). Αν εκτιμηθεί η διακύμανση, $\hat{\gamma}(k)$, από μια χρονοσειρά, τότε προκύπτει το *εμπειρικό κλιμακόγραμμα* (*empirical climacogram*). Αξίζει να σημειωθεί ότι, στις περιπτώσεις που παράγεται η χρονοσειρά από ένα μοντέλο, το εμπειρικό κλιμακόγραμμα δεν συμπίπτει απαραίτητα με το θεωρητικό, διότι υπάρχει *σφάλμα εκτίμησης* (*estimation bias*). Για να συμπέσουν πρέπει να αφαιρεθεί η μεροληψία από το θεωρητικό κλιμακόγραμμα, η οποία από τη στιγμή που το μοντέλο είναι γνωστό προσδιορίζεται εύκολα, με μια απλή και ρητή σχέση (Koutsoyiannis, 2020).

Η αθροιστική διαδικασία του \underline{x}_{τ} , για διακριτό χρόνο k , έχει οριστεί ως

$$\underline{x}_{\tau} := \underline{x}_1 + \underline{x}_2 + \dots + \underline{x}_k$$

Μέσω αυτού, ο μέσος όρος της αρχικής διαδικασίας x_{τ} , για διακριτή χρονική κλίμακα k , ορίζεται ως

$$\underline{x}_{\tau}^{(k)} := \frac{\underline{x}_{(\tau-1)k+1} + \underline{x}_{(\tau-1)k+2} + \dots + \underline{x}_{\tau k}}{k} = \frac{\underline{x}_{\tau k} - \underline{x}_{(\tau-1)k}}{k}$$

Η διακύμανση της διαδικασίας $\underline{x}_{\tau}^{(k)}$ είναι μια συνάρτηση της κλίμακας k , η οποία ονομάζεται κλιμακόγραμμα της διαδικασίας

$$\gamma_k := var [\underline{x}_{\tau}^{(k)}]$$

Στην περίπτωση που, η χρονοσειρά x_i , αντιπροσωπεύει τον λεγόμενο λευκό θόρυβο, δηλαδή μια καθαρά τυχαία διαδικασία, στην οποία όλα τα γεγονότα είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, το διπλό λογαριθμικό διάγραμμα του κλιμακογράμματος θα ήταν μια ευθεία γραμμή με κλίση -1 . Στις διεργασίες του πραγματικού κόσμου, η κλίση είναι διαφορετική από -1 και ορίζεται ως $2H - 2$, όπου H είναι η λεγόμενη παράμετρος Hurst που παίρνει τιμές στο διάστημα $(0, 1)$. Η περίπτωση που αυτή η κλίση είναι σταθερή για όλες τις χρονικές κλίμακες, καθώς και για μεγάλα k , μπορούμε να προσεγγίσουμε το κλιμακόγραμμα ως :

$$\gamma_k = \frac{\gamma_1}{k^{2-2H}}$$

Η διαδικασία αυτή ορίστηκε ως φαινόμενο Hurst ή συμπεριφορά Hurst-Kolmogorov (HK) (Koutsoyiannis, 2010), καθώς ο H.E. Hurst (1951) ήταν ο πρώτος που ανακάλυψε τη συμπεριφορά αυτή (μακροχρόνια εμμονή) στις φυσικές διεργασίες και στον A. Kolmogorov (1940) που ήταν ο πρώτος που την περιέγραψε μαθηματικά, εργαζόμενος σε αυτο-ομοιόμορφες διεργασίες, ενώ μελετούσε την τύρβη.

Η ποσότητα $2 - 2H$, απεικονίζεται ως η κλίση της διπλής αλγοριθμικής γραφικής παράστασης του κλιμακογράμματος για μεγάλες χρονικές κλίμακες. Σε μια τυχαία διαδικασία, προκύπτει ότι η παράμετρος Hurst αντιστοιχεί σε συμπεριφορά λευκού θορύβου (μηδενική αυτοσυσχέτιση) και αναμένεται να είναι περίπου $H=0.5$, καθώς η κλίση είναι -1 . Στις περισσότερες γεωφυσικές διεργασίες, ισχύει ότι $0.5 \leq H \leq 1$, υποδηλώνοντας μακροχρόνια εμμονή σε μεγάλες κλίμακες (θετικά συσχετισμένη), ενισχυμένη παρουσία μοτίβων και αβεβαιότητα (π.χ. σε μελλοντικές προβλέψεις). Για $0 \leq H \leq 0.5$, υποδεικνύεται μια εντελώς διαφορετική συμπεριφορά, που ονομάζεται αντιεμμονή (αντισυσχέτιση). Αυτό συχνά συγχέεται με μια περιοδική συμπεριφορά και ως εκ τούτου ονομάζεται οιονεί περιοδική (quasi-periodic) (επειδή η περίοδος των διακυμάνσεων δεν είναι σταθερή). Μια τέτοια συμπεριφορά είναι πολύ λιγότερο συχνή σε υδροκλιματικές διεργασίες.

Πίνακας 4-1 Ορισμός και εκφράσεις του κλιμακογράμματος για μια διαδικασία σε συνεχή και διακριτό χρόνο, καθώς και οι ιδιότητες του εκτιμητή του (Dimitriadis and Koutsoyiannis, 2015).

Κλιμακόγραμμα	
Συνεχής χρόνος	$\gamma(m) := \frac{\text{Var} \left[\int_t^{t+m} \underline{x}(\xi) d\xi \right]}{m^2} = \frac{\text{Var} \left[\int_0^m \underline{x}(\xi) d\xi \right]}{m^2} \text{ όπου } m \in \mathbb{R}^+$
Διακριτός χρόνος	$\gamma_d^{(\Delta)}(k) := \frac{\text{Var} \left[\sum_{l=k(i-1)+1}^{ki} \underline{x}_l^{(\Delta)} \right]}{k^2} = \frac{\text{Var} \left[\sum_{l=1}^k \underline{x}_l^{(\Delta)} \right]}{k^2} = \gamma(k\Delta)$ όπου $k \in \mathbb{N}$ είναι η αδιάστατη κλίμακα για μια ανέλιξη σε διακριτό χρόνο
Κλασική εκτιμήτρια	$\underline{\gamma}(k) = \frac{1}{n/k - 1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{k} \left(\sum_{l=k(i-1)+1}^{ki} \underline{x}_l^{(\Delta)} \right) - \frac{\sum_{l=1}^n \underline{x}_l^{(\Delta)}}{n/k} \right)^2$
Αναμένουσα τιμή της κλασικής εκτιμήτριας	$E \left[\underline{\gamma}_d^{(\Delta)}(k) \right] = \frac{1 - \gamma_d^{(\Delta)}(n)/\gamma_d^{(\Delta)}(k)}{1 - k/n} \gamma_d^{(\Delta)}(k)$

Καθώς οι αισθήσεις μας είναι περισσότερο εξοικειωμένες με χωρικά αντικείμενα παρά με χρονοσειρές, η κατανόηση της συμπεριφοράς της ΗΚ, γίνεται πιο άμεση και φυσική όταν το πεδίο μελέτης δεν είναι πλέον ο χρόνος αλλά ο δισδιάστατος χώρος. Ως εκ τούτου, στην παρούσα εργασία ανιχνεύεται η παρουσία της συμπεριφοράς της ΗΚ σε χωρικά υδρολογικά και γενικά γεωφυσικά πεδία, όπως αυτά της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας.

4.3. Μέθοδοι Χωρικής Παρεμβολής (Spatial Interpolation Methods)

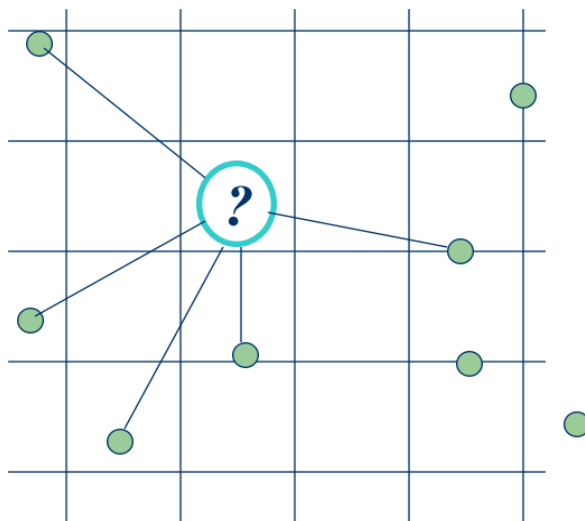
Για τις περιβαλλοντικές επιστήμες και τη διαχείριση υδρολογικών δεδομένων απαιτούνται συχνά χωρικά συνεχή δεδομένα περιβαλλοντικών μεταβλητών. Η βροχόπτωση και η θερμοκρασία, αποτελούν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι των υδρολογικών αυτών δεδομένων, τα οποία καταγράφονται ως δεδομένα παρατήρησης μέσω ολοκληρωμένα σχεδιασμένων δικτύων μετεωρολογικών σταθμών (Li & Hear, 2014). Ωστόσο, οι καταγραφές αυτών είναι συχνά ελλιπείς λόγω έλλειψης δεδομένων κατά την περίοδο μέτρησης ή λόγω ανεπαρκών σταθμών στην περιοχή μελέτης. Για να επιλυθεί το πρόβλημα σχετικά με αυτά τα δεδομένα, γίνεται εκτίμησή τους, μέσω τεχνικών χωρικής παρεμβολής (Chen & Liu, 2012). Για τον λόγο αυτό, μέθοδοι που παράγουν τέτοια χωρικά συνεχή δεδομένα με τη χρήση σημειακών δειγμάτων καθίστανται απαραίτητα εργαλεία.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των πιο κοινών μεθόδων έχουν συγκριθεί από τους Li και Hear (2008). Η χωρική παρεμβολή έχει εφαρμοστεί σε διάφορους κλάδους όπως η μεταλλευτική (Journel and Huijbregts, 1978) και οι περιβαλλοντικές επιστήμες (Goonaerts, 1997- Burrough and McDonnell, 1998 - Webster and Oliver, 2001). Μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (Zhou et al., 2007) έδειξε πως τα δέκα κυριότερα πεδία εφαρμογής γεωστατιστικών μεθόδων είναι 1) οι γεωεπιστήμες, 2) οι

υδάτινοι πόροι, 3) οι περιβαλλοντικές επιστήμες, 4) η γεωργία και η εδαφολογία, 5) τα μαθηματικά, 6) η στατιστική και οι 14 πιθανότητες, 7) η οικολογία, 8) η μελέτη και κατασκευή έργων, 9) η εξόρυξη πετρελαίου και 10) η λιμνολογία.

Ο όρος της χωρικής παρεμβολής αναφέρεται γενικά στη διαδικασία προσδιορισμού της τιμής μιας μεταβλητής z σε κάποιο σημείο (x, y) του χώρου, δεδομένου ότι είναι γνωστές οι τιμές της μεταβλητής αυτής σε ένα σύνολο σημείων, που είναι συνήθως τυχαία κατανομημένα στο χώρο. Με άλλα λόγια, πρόκειται για τη διαδικασία εκτίμησης της τιμής μιας παραμέτρου, σε σημεία όπου δεν έχουν γίνει δειγματοληψίες, βάσει τιμών που έχουν ληφθεί από τη γύρω περιοχή. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στη λογική, ότι γειτονικά στο χώρο σημεία είναι πιθανότερο να έχουν παραπλήσιες τιμές σε αντίθεση με σημεία που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους.

Βάσει των μεθόδων χωρικής παρεμβολής, οι οποίες και αποτελούν σημαντικό μέρος των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής (ΓΣΠ), η αρχική αποσπασματική πληροφορία που περικλείουν τα αρχικά σημεία για την υπό εξέταση παράμετρο, μετατρέπεται σε συνεχή πληροφορία που αντιπροσωπεύεται από μία συνεχή επιφάνεια / κανάβο. Η χωρική διακριτική ικανότητα του κανάβου (το μέγεθος των κελιών του) μπορεί να προσδιοριστεί πριν την εφαρμογή της μεθόδου, ενώ στην τελική συνεχή επιφάνεια που προκύπτει, σε κάθε κελί του κανάβου αντιστοιχεί μία προσομοιωμένη τιμή της υπό εξέταση παραμέτρου.



Σχήμα 4-2. Απεικόνιση της μεθόδου Χωρικής Παρεμβολής

Οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Δηλαδή, ως εξής :

→ **Επιφανειακές Μέθοδοι / Σημειακές Παρεμβολές (Areal / Point Interpolation)** :

- Επιφανειακές :

Δεδομένων των τιμών μιας παραμέτρου σε ένα σύνολο ζωνών / επιφανειών εκτιμάται η τιμή σε άλλες ζώνες.

- Σημειακές :

Δεδομένου ενός αριθμού σημείων γνωστής θέσης και τιμής μιας παραμέτρου, προσδιορίζονται οι τιμές σε άλλα σημεία στο χώρο.

Διάφοροι αλγόριθμοι σημειακής παρεμβολής έχουν αναπτυχθεί ανά καιρούς. Από αυτούς, δεν έχει

χαρακτηριστεί κανείς ως βέλτιστος, καθώς η κάθε μέθοδος παρεμβολής που θα επιλεγεί για χρήση, εξαρτάται άμεσα από τη συγκεκριμένη εφαρμογή, τον τύπο των δεδομένων και το βαθμό ακρίβειας που απαιτείται.

Οι μέθοδοι σημειακής παρεμβολής, επίσης, κατηγοριοποιούνται ως εξής :

→ **Σφαιρικές / Τοπικές Μέθοδοι (Global / Local Interpolators)** :

- Σφαιρικές :

Όλες οι τιμές της υπό εξέταση μεταβλητής στα αρχικά σημεία, όπου έχουν διεξαχθεί μετρήσεις πεδίου, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της τιμής της μεταβλητής σε ένα σημείο του χώρου. Προσδιορίζεται μια συνάρτηση και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό τιμών σε ολόκληρη την περιοχή. Παράγονται πιο εξομαλυμένες επιφάνειες, με πολύ μικρές απότομες μεταβολές.

- Τοπικές :

Ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται, παρουσιάζει τοπικό χαρακτήρα και εφαρμόζεται σε μια μικρή περιοχή της συνολικής έκτασης. Γίνεται χρήση μόνο εκείνων των τιμών που προέρχονται από αρχικά σημεία που είναι γειτονικά στο νέο σημείο. Τοπικές μέθοδοι οι οποίες εφαρμόζονται σε μεγάλες περιοχές, μπορούν να θεωρηθούν και ως σφαιρικές.

Ένας άλλος διαχωρισμός των μεθόδων παρεμβολής τις ταξινομεί, ανάλογα με το αν διατηρούνται ή όχι στην τελική επιφάνεια που προκύπτει οι τιμές της παραμέτρου στις θέσεις των αρχικών σημείων, σε :

→ **Ακριβείας / Προσεγγιστικές Μέθοδοι (Exact / Approximate Interpolators)** :

- Ακριβείας :

Στην επιφάνεια που προκύπτει, οι αρχικές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την παρεμβολή παραμένουν οι ίδιες στα αντίστοιχα σημεία (π.χ. Kriging, B-splines).

- Προσεγγιστικές :

Γίνεται χρήση τους όταν υπάρχει αμφιβολία σχετικά με τις αρχικές τιμές, η οποία σχετίζεται με το ότι ορισμένες επιφάνειες παρουσιάζουν μια σφαιρική τάση, η οποία μπορεί να μεταβάλλεται αργά αλλά να παρουσιάζει γρήγορα μικρές τοπικές μεταβολές. Ζητούμενο της μεθόδου, είναι η προκύπτουσα επιφάνεια να απαλλαχθεί από τις μικρές αυτές τοπικές μεταβολές, οι οποίες αλλοιώνουν το σφαιρικό χαρακτήρα του υπό περιγραφή φαινομένου.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές χωρικής παρεμβολής, οι οποίες έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε συναφείς τομείς. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να χωριστούν σε γεωγραφικές στατιστικές και μη γεωγραφικές στατιστικές (Chen & Liu, 2012). Παραδείγματα περιλαμβάνουν τον πλησιέστερο γείτονα (NN), τα πολύγωνα Thiessen, τα splines και τις τοπικές επιφάνειες τάσης, το παγκόσμιο πολυώνυμο (GP), το τοπικό πολυώνυμο (LP), την ανάλυση επιφάνειας τάσης (TSA), την ακτινική βασική συνάρτηση (RBF), την παρεμβολή αντιστρόφου βαρύνουσας απόστασης (IDW) και τη γεωγραφικά σταθμισμένη παλινδρόμηση που προτάθηκε από τους Fotheringham κ.ά. (2002), οι οποίες ταξινομούνται στις μη γεωγραφικές στατιστικές. Από την άλλη πλευρά, οι διάφορες μορφές της μεθόδου Kriging ταξινομούνται ως γεωγραφικές στατιστικές (Lam, 1983 - Jeffrey et al., 2001 - Price et al. 2000 - Li and Heap 2008- Yeh et al. 2011).

Οι μέθοδοι Inverse Distance Weighting (IDW), Ordinary Kriging (OK), and Ordinary Co-Kriging (OCK), είναι από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται πιο συχνά. Η ποικιλομορφία των δεδομένων είναι ένας κυρίαρχος παράγοντας επίδρασης και επηρεάζει σημαντικά την αποτελεσματικότητα των μοντέλων. Όσο η ποικιλία των τιμών αυξάνεται, η ακρίβεια όλων των μεθόδων μειώνεται και το ποσοστό της μείωσης αυτής εξαρτάται από τη μέθοδο. Η δειγματοληψία σε ακανόνιστες διάσπαρτες θέσεις ενδέχεται να βελτιώσει την ακρίβεια των εκτιμήσεων. Η επίδραση της πυκνότητας των δειγμάτων στην επίδοση των μεθόδων δεν είναι τόσο σημαντική (Jeffrey et al., 2001).

Στην παρούσα μελέτη γίνεται χρήση και ανάλυση των τοπικών μεθόδων σημειακής παρεμβολής IDW και Kriging, οι οποίες μέσω περιβάλλοντος GIS, αποτυπώνουν την κατανομή της βροχόπτωσης καθώς και θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης που έχει επιλεγεί.

4.3.1. Μέθοδος Παρεμβολής Αντιστρόφου Βαρύνουσας Απόστασης (Inverse Distance Weighted Interpolation Method)

Ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ντετερμινιστικά μοντέλα στη χωρική παρεμβολή είναι η μέθοδος παρεμβολής αντιστρόφου βαρύνουσας απόστασης (IDW), η οποία ανήκει στην κατηγορία των τοπικών μεθόδων παρεμβολής. Η συγκεκριμένη μέθοδος, βασίζεται στην έννοια του πρώτου νόμου του Tobler (πρώτος νόμος της γεωγραφίας), από το 1970. Ορίστηκε ως εξής: *“όλα σχετίζονται με όλα τα άλλα, αλλά τα κοντινά πράγματα σχετίζονται περισσότερο από τα μακρινά”*. Η IDW αναπτύχθηκε από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των ΗΠΑ το 1972 και ο χαρακτηρισμός της ως ντετερμινιστική μέθοδος οφείλεται στην έλλειψη απαίτησης κατά τον υπολογισμό να πληρούνται συγκεκριμένες στατιστικές παραδοχές και επομένως, διαφέρει από άλλες στοχαστικές μεθόδους (π.χ. Kriging και TRA). Η μέθοδος IDW είναι επίσης μια πολυμεταβλητή παρεμβολή, σχετικά γρήγορη και εύκολη στον υπολογισμό και απλή στην ερμηνεία (Chen & Liu, 2012).

Η μέθοδος έχει θεωρηθεί ως μία από τις τυπικές διαδικασίες χωρικής παρεμβολής στην επιστήμη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) (Burrough and McDonnell, 1998 - Longley et al., 2001) και έχει εφαρμοστεί σε πολλά πακέτα λογισμικού ΓΣΠ (GIS). Ως αποτέλεσμα, πολλοί χρήστες ΓΣΠ, χωρίς υπόβαθρο στη γεωστατιστική και χωρική στατιστική χρησιμοποιούν την IDW ως προεπιλεγμένη μέθοδο για τη δημιουργία μιας επιφάνειας, όταν οι τιμές των χαρακτηριστικών είναι διαθέσιμες μόνο σε δειγματοληπτικές θέσεις (Lu & Wong, 2008).

Η γενική παραδοχή της μεθόδου είναι ότι οι χαρακτηριστικές τιμές οποιουδήποτε δεδομένου ζεύγους σημείων σχετίζονται μεταξύ τους, αλλά η ομοιότητά τους είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης μεταξύ των δύο θέσεων (Lu and Wong 2008). Με άλλα λόγια, η βασική αρχή της συγκεκριμένης μεθόδου, είναι ότι κατά τον υπολογισμό μιας τιμής σε ένα συγκεκριμένο σημείο του χώρου, δίνεται μεγαλύτερο βάρος στις τιμές που αντιστοιχούν στα γειτονικά του αρχικά σημεία, όπου έχουν διεξαχθεί μετρήσεις, απ' ότι στα πιο απομακρυσμένα. Ωστόσο, πολλές μελέτες, ιδίως στη βιβλιογραφία της χωρικής αλληλεπίδρασης, έχουν δείξει ότι η μείωση της χωρικής σχέσης μεταξύ δύο οποιωνδήποτε θέσεων δεν είναι απλώς ανάλογη της απόστασης (π.χ. Fotheringham and O'Kelly, 1989). Ως αποτέλεσμα, για τη μοντελοποίηση της χωρικής αλληλεπίδρασης μεταξύ τόπων χρησιμοποιείται συχνά μια δυναμική ή εκθετική συνάρτηση που τροποποιεί το βάρος της απόστασης. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου IDW, μια τέτοια συνάρτηση λαμβάνεται συχνά υπόψη κατά την πρόβλεψη των άγνωστων χαρακτηριστικών τιμών σε ορισμένες θέσεις.

Παρά το πόσο διαδεδομένη είναι, η IDW πάσχει από διάφορους περιορισμούς, συμπεριλαμβανομένου του γεγονότος ότι οι παράμετροι στάθμισης επιλέγονται εκ των προτέρων, αλλά δεν προσδιορίζονται εμπειρικά. Επιπλέον, η IDW δεν μπορεί να εκτιμήσει τις αποκλίσεις των

προβλεπόμενων τιμών σε μη δειγματοληπτικές τοποθεσίες σε σύγκριση με αυτό που μπορούν να παρέχουν γεωστατιστικές μέθοδοι όπως η kriging (Burrough and McDonnell, 1998). Ένας άλλος περιορισμός είναι ότι η παράμετρος που καθορίζει την απομείωση με βάση την απόσταση (distance-decay parameter), εφαρμόζεται ομοιόμορφα σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η κατανομή των δεδομένων εντός αυτής. Με άλλα λόγια, η συνήθης εφαρμογή του IDW υποθέτει ότι η σχέση απομείωσης της απόστασης είναι σταθερή στο χώρο, αν και αυτό μπορεί να μην ισχύει. Μια σταθερή τιμή της σχέσης αυτής, θα μπορούσε να είναι μέρος του λόγου που η IDW παρέχει λιγότερο ακριβείς προβλέψεις σε σύγκριση με άλλες μεθόδους παρεμβολής (Goovaerts, 2000; Lloyd, 2005).

Η γενική σχέση στην οποία στηρίζεται η μέθοδος είναι η ακόλουθη:

$$f(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n w(d_i) \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n w(d_i)}$$

όπου,

- $f(x, y)$: η προσομοιωμένη τιμή της υπό εξέταση παραμέτρου στο σημείο (x, y)
- $w(d_i)$: η συνάρτηση βάρους
- z_i : η μετρημένη τιμή παραμέτρου στο σημείο i
- d_i : η απόσταση του σημείου i από το σημείο (x, y)
- n : ο αριθμός των γειτονικών / πιο κοντινών σταθμών δειγματοληψίας

Από την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου παρεμβολής, προκύπτει η συνεχής επιφάνεια, η οποία εξαρτάται άμεσα από τη συνάρτηση βάρους που θα χρησιμοποιηθεί και μπορεί να πάρει πολλές μορφές, με βασική όμως προϋπόθεση, να ισχύουν τα εξής.

Για $d \rightarrow 0, w(d_i) \rightarrow \infty$

Οι συναρτήσεις που ικανοποιούν αυτή την παραδοχή, είναι της μορφής :

$d^{-r} (r > 0), \exp(-ad)$ ή $\exp(-ad^2)$ κοκ.

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες συναρτήσεις είναι της μορφής $d^{-r} (r > 0)$, όπου όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του r , τόσο μεγαλύτερο βάρος δίνεται στα αρχικά σημεία που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το σημείο που θα γίνει παρεμβολή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η μέθοδος να αποκτά περισσότερο τοπικό χαρακτήρα, με αποτέλεσμα, η προκύπτουσα επιφάνεια να εμπεριέχει μεγαλύτερη λεπτομέρεια, αλλά λιγότερη εξομάλυνση. Συγκεκριμένα, η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη συνάρτηση βάρους, είναι η d^{-2} , η οποία αποδείχθηκε και η πιο αποτελεσματική.

Δεδομένου ότι $w(d_i) > 0$, για οποιοδήποτε σημείο που προκύπτει από την παρεμβολή ισχύει η σχέση :

$$\min(z_i) \leq f(x, y) \leq \max(z_i)$$

Αυτό θεωρείται ως μειονέκτημα της μεθόδου, λόγω του ότι η προκύπτουσα επιφάνεια δεν δύναται να προβλέψει με ακρίβεια τις θέσεις και τα μεγέθη των μεγίστων και ελαχίστων τιμών, εφόσον αυτές δεν συμπεριλαμβάνονται στα αρχικά δείγματα. Παρ' όλα αυτά, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ευρέως, καθώς αναδείχθηκε απλή, γρήγορη στους υπολογισμούς, εύκολη στον προγραμματισμό και με λογικά αποτελέσματα για διάφορους τύπους δεδομένων.

4.3.2. Μέθοδος Kriging

Το εργαλείο παρεμβολής IDW που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναφέρεται ως ντετερμινιστική μέθοδος παρεμβολής, διότι βασίζεται άμεσα στις περιβάλλουσες μετρημένες τιμές ή σε καθορισμένους μαθηματικούς τύπους που καθορίζουν την ομαλότητα της προκύπτουσας επιφάνειας. Μια δεύτερη οικογένεια μεθόδων παρεμβολής αποτελείται από γεωστατιστικές μεθόδους (kriging), οι οποίες βασίζονται σε στατιστικά μοντέλα που περιλαμβάνουν την αυτοσυσχέτιση, δηλαδή τις στατιστικές σχέσεις μεταξύ των μετρούμενων σημείων. Εξαιτίας αυτού, οι γεωστατιστικές τεχνικές, όχι μόνο έχουν τη δυνατότητα να παράγουν μια επιφάνεια πρόβλεψης αλλά και να παρέχουν κάποιο μέτρο της βεβαιότητας ή της ακρίβειας των προβλέψεων.

Το Kriging υποθέτει ότι η απόσταση ή η κατεύθυνση μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας αντανακλά μια χωρική συσχέτιση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξήγηση της μεταβολής στην επιφάνεια. Το εργαλείο Kriging προσαρμόζει μια μαθηματική συνάρτηση σε έναν καθορισμένο αριθμό σημείων ή σε όλα τα σημεία εντός μιας καθορισμένης ακτίνας, για να καθορίσει την τιμή εξόδου για κάθε θέση. Πρόκειται για μια διαδικασία πολλών βημάτων, περιλαμβάνει διερευνητική στατιστική ανάλυση των δεδομένων, μοντελοποίηση του βαριογράμματος, δημιουργία της επιφάνειας και (προαιρετικά) διερεύνηση μιας επιφάνειας διακύμανσης. Θεωρείται καταλληλότερο όταν είναι γνωστό ότι υπάρχει μια χωρικά συσχετισμένη απόσταση ή μια κατευθυντική προκατάληψη στα δεδομένα. Το πρόβλημα έγκειται στο να βρεθεί η αναμενόμενη τιμή μιας χωρικής διαδικασίας με βάση το σύνολο των τιμών σε διαφορετικές θέσεις στο χώρο. Χρησιμοποιείται συχνά στην επιστήμη του εδάφους και τη γεωλογία.

Η θεωρία Kriging, είναι αποτέλεσμα της προσπάθειας του μηχανικού μεταλλείων D. G. Krige το 1950 περίπου, πρωτοπόρου στον τομέα της γεωστατιστικής, ο οποίος ανέπτυξε μια σειρά από εμπειρικές τεχνικές για να υπολογίσει αποθέματα κοιτασμάτων χρυσού στη Νότιο Αφρική με βάση δεδομένα δειγματοληψίας περιεκτικότητας χρυσού σε κάρναβο γεωτρήσεων. Για τον λόγο αυτό, η θεωρία αυτή αποκαλείται συνήθως «Kriging» προς αναγνώριση του θεμελιωτή της ιδέας αυτής. Η χωρική παρεμβολή kriging στις διάφορες μορφές της, έχει μια πληθώρα εφαρμογών και έτσι έχει αξιοποιηθεί σε διάφορους τομείς. Ενδεικτικά, οι Gilbert and Simpson, (1983) χρησιμοποίησαν το kriging για την εκτίμηση των χωρικών προτύπων επικίνδυνων ουσιών στο έδαφος, ενώ ο Wartenberg (1993) αναφέρει τη χρήση του kriging σαν εργαλείο εκτίμησης και απεικόνισης της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η μεθοδολογία kriging περιλαμβάνει μια οικογένεια παρεμβολών. Οι πιο συνηθισμένες στις υδροεπιστήμες είναι οι μεθοδολογίες Ordinary Kriging (OK) και Universal Kriging (UK). Η Kriging χαρακτηρίζεται ως ο “Καλύτερος Γραμμικός Αμερόληπτος Εκτιμητής - Best Linear Unbiased Estimator (BLUE)”. Ο εκτιμητής Kriging είναι μια σταθμισμένη γραμμική συνάρτηση των δεδομένων με βάρη που προκύπτουν από τον περιορισμό της αμεροληψίας (δηλαδή μηδενικό μέσο σφάλμα εκτίμησης) και τη συνθήκη ελάχιστου τετραγωνικού σφάλματος. Το προκύπτον σύστημα γραμμικών εξισώσεων επιλύεται για τον προσδιορισμό των βαρών του εκτιμητή (Varouchakis et al., 2012).

Οι συντελεστές των εξισώσεων εξαρτώνται από το ημιβαριόγραμμα του μοντέλου, το οποίο προκύπτει από την προσαρμογή του εμπειρικού ημιβαριογράμματος σε θεωρητικά μοντέλα ή μέσω της μεθόδου εκτίμησης μέγιστης πιθανοφάνειας (Kitanidis 1997, Ahmed 2007). Το ημιβαριόγραμμα μετρά τον βαθμό της χωρικής συσχέτισης ως συνάρτηση της απόστασης ή/και της κατεύθυνσης μεταξύ των σημείων δεδομένων, ενώ το ημιβαριόγραφο καθορίζει τα βάρη του kriging και συνεπώς ελέγχει την ποιότητα των εκτιμήσεων (Mouser et al. 2005 - Ahmed, 2007).

- Εκτίμηση ημιβαριογράμματος

Πρόκειται για το κύριο εργαλείο στη γεωστατιστική μοντελοποίηση, το οποίο ουσιαστικά εκφράζει τη χωρική εξάρτηση μεταξύ γειτονικών παρατηρήσεων. Το εμπειρικό ημιβαριόγραμμα, $\hat{\gamma}(r)$ ορίζεται ως η μέση τετραγωνική διαφορά των τιμών πεδίου μεταξύ σημείων που χωρίζονται από το διάνυσμα υστέρησης r . Ο εκτιμητής του ημιβαριογράμματος με τη μέθοδο Matheron-of-moments δίνεται από τη σχέση:

$$\hat{\gamma}(r) = \frac{1}{2N(r)} \sum_{i=1}^{N(r)} \{[z(s_i) - z(s_i + r)]^2\}$$

όπου,

- $N(r)$: ο αριθμός των ζευγών στην υστέρηση r

Εάν δεν υπάρχουν διακριτές ανισοτροπίες, εκτιμάται το εμπειρικό ημιβαριόγραμμα και στη συνέχεια προσαρμόζεται σε μια συνάρτηση μοντέλου (Deutsch and Journel 1992). Τα κλασικά μοντέλα ημιβαριογράμματος (πίνακας 4-2) περιλαμβάνουν τη σφαιρική, τη γκαουσιανή, την εκθετική, τη power-law και τη γραμμική συνάρτηση (π.χ. Lantuejoul 2002). Οι ιστροπικές εκδοχές των ανωτέρω μοντέλων περιλαμβάνουν το πολύ δύο παραμέτρους, δηλαδή τη διακύμανση και το μήκος συσχέτισης.

Πίνακας 4-2. Κατάλογος θεωρητικών συναρτήσεων ημιβαριογράμματος, όπου σ_z^2 είναι η διακύμανση, $|r|$ είναι η Ευκλείδεια νόρμα του διανύσματος υστέρησης r και ξ είναι το χαρακτηριστικό μήκος. (E. A. Varouchakis et al. 2012)

Semivariogram models	
Exponential:	$\gamma_z(\mathbf{r}) = \sigma_z^2 \left[1 - \exp\left(-\frac{ \mathbf{r} }{\xi}\right) \right]$
Gaussian:	$\gamma_z(\mathbf{r}) = \sigma_z^2 \left[1 - \exp\left(-\frac{r^2}{\xi^2}\right) \right]$
Spherical:	$\gamma_z(\mathbf{r}) = \sigma_z^2 \left[1.5 \frac{ \mathbf{r} }{\xi} - 0.5 \left(\frac{ \mathbf{r} }{\xi}\right)^3 \right] \theta(\xi - \mathbf{r})$ if $\xi - \mathbf{r} < 0$, $\theta = 0$, else if $\xi - \mathbf{r} > 0$, $\theta = 1$
Power-law:	$\gamma_z(\mathbf{r}) = c \mathbf{r} ^{2H}$, $0 < H < 1$ c is the coefficient and H the Hurst exponent
Linear:	$\gamma_z(\mathbf{r}) = c \mathbf{r} $

Ανά τα χρόνια, έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές της τεχνικής kriging, οι οποίες είναι βασισμένες στην απλή μέθοδο (Simple) kriging, όπου αποτελεί την πλέον κλασική μέθοδο. Όλες οι υπόλοιπες αποτελούν τροποποιήσεις αυτής. Ουσιαστικά, υπολογίζει την τιμή της άγνωστης μεταβλητής, προϋποθέτοντας ότι η μέση τιμή των δειγμάτων είναι γνωστή.

Από τις υπόλοιπες μεθόδους που έχουν προέλθει από την απλή μέθοδο kriging, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι πιο συνηθισμένες στις υδροεπιστήμες είναι οι Ordinary Kriging (OK) και η Universal Kriging (UK).

1. Κανονικό (Ordinary) kriging :

Η Κανονική μέθοδος kriging (OK), είναι η πιο γενική και ευρέως χρησιμοποιούμενη από τις μεθόδους kriging και εφαρμόζεται συνήθως ως προεπιλογή. Βασίζεται στο ημι-βαριόγραμμα ώστε να προβλεφθεί η τιμή μιας μεταβλητής σε κάποιο σημείο, ενώ υποθέτει ότι ο σταθερός μέσος όρος των δειγμάτων είναι άγνωστος, αλλά σταθερός μέσα στην περιοχή εκτίμησης. Αυτή είναι μια λογική παραδοχή, εκτός αν υπάρχει επιστημονικός λόγος να απορριφθεί. Προϋποθέτει πως το δείγμα ακολουθεί την κανονική κατανομή ενώ, λόγω της συνθήκης αμεροληψίας το άθροισμα των σταθμικών συντελεστών (weights) που υπεισέρχονται στην εξίσωση παρεμβολής είναι ίσο με την μονάδα.

- Γενικευμένο (Universal) Kriging :

Η Γενικευμένη μέθοδος Kriging (UK), είναι μια παραλλαγή του kriging και χρησιμοποιείται όταν ο πληθυσμός των δεδομένων παρουσιάζει κάποια «τάση» (trend) και μπορεί να μοντελοποιηθεί από μια ντετερμινιστική συνάρτηση, ένα πολυώνυμο. Αυτό το πολυώνυμο αφαιρείται από τα αρχικά σημεία μέτρησης και η αυτοσυσχέτιση μοντελοποιείται από τα τυχαία σφάλματα. Μόλις το μοντέλο προσαρμοστεί στα τυχαία σφάλματα και πριν από την πρόβλεψη, το πολυώνυμο προστίθεται ξανά στις προβλέψεις για να δώσει ουσιαστικά αποτελέσματα. Το καθολικό kriging θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο όταν είναι γνωστό ότι υπάρχει τάση στα δεδομένα και είναι δυνατόν να δοθεί μια επιστημονική αιτιολόγηση για να περιγραφεί.

Όλες οι μορφές του kriging περιγράφονται από τη γενική εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης :

$$[Z_k^*(x) - m(x)] = \sum_{i=1}^n w_i(x) [Z(x_i) - m(x_i)]$$

όπου,

- $Z_k^*(x)$: η εκτιμώμενη τιμή της μεταβλητής στο σημείο x
- $m(x)$: η αναμενόμενη (μέση) τιμή, που εξαρτάται όμως από την θέση x της μεταβλητής
- $Z(x_i)$: η γνωστή τιμή της μεταβλητής στο σημείο x

Για το Κανονικό Kriging (OK), με την παραδοχή ότι η χωρική τυχαία μεταβλητή είναι στάσιμη (stationary), δηλαδή ότι, οι στατιστικές ιδιότητες της είναι αναλλοίωτες στο χώρο, επιτρέπει τον υπολογισμό μιας άγνωστης τιμής Z , σε ένα σημείο x_i , χρησιμοποιώντας μία σταθμισμένη μέση εκτιμήτρια (weighted average). Έτσι με την υπόθεση πως η μέση τιμή $m = E\{Z(x)\}$, είναι σταθερή σε όλη την περιοχή ενδιαφέροντος (υπόθεση ή αρχή της σταθερότητας), από την παραπάνω γενική σχέση, προκύπτει η ακόλουθη :

$$Z_k^*(x) = \sum w_i Z(x_i)$$

όπου,

- $Z_k^*(x)$: η προβλεφθείσα τιμή της μεταβλητής
- w_i : οι σταθμισμένοι συντελεστές του kriging
- $Z(x_i)$: οι μετρηθείσες τιμές της μεταβλητής στα σημεία x_1, \dots, x_n

Η μέθοδος Kriging διαφοροποιείται από τις κλασικές μεθόδους καθώς παρέχει και εκτιμήσεις που είναι είτε μικρότερες είτε μεγαλύτερες από τις τιμές των δειγμάτων. Οι παραδοσιακές τεχνικές περιορίζονται στο εύρος των τιμών της δειγματοληψίας. Δεύτερον, εκεί που οι παραδοσιακές μέθοδοι χρησιμοποιούν την Ευκλείδεια γεωμετρία για να υπολογίσουν τα βάρη των διαθέσιμων δειγμάτων, το Kriging εκμεταλλεύεται τόσο την απόσταση όσο και τη γεωμετρία. Τρίτον, σε αντίθεση με τις κλασικές μεθόδους, το Kriging επιχειρεί να ελαχιστοποιήσει τη διακύμανση του αναμενόμενου σφάλματος (Βούλγαρης, 2015). Το σφάλμα είναι η διαφορά μεταξύ της πραγματικής και της εκτιμώμενης τιμής. Είναι προφανές βεβαίως πως η πραγματική τιμή δεν μπορεί να είναι κυριολεκτικά γνωστή και έτσι το Kriging εφαρμόζει ένα πιθανολογικό τυχαίο μοντέλο λειτουργίας των πραγματικών τιμών (Isaaks and Srivastava, 1989). Οι μη γεωστατιστικές μέθοδοι χωρικής παρεμβολής δεν μπορούν να μας δώσουν απευθείας εκτιμήσεις για την ποιότητα της πρόβλεψης, καθώς επίσης και για το αν η επιλογή των τιμών των παραμέτρων είναι η καλύτερη δυνατή ή αν το μέγεθος της περιοχής αναζήτησης είναι το κατάλληλο. Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο είναι ασφαλώς πως οι μη γεωστατιστικές μέθοδοι χωρικής παρεμβολής δεν λαμβάνουν υπ' όψη τους τη χωρική εξάρτηση των τιμών των μεταβλητών.

Ένα πλεονέκτημα του kriging σε σύγκριση με τις ντετερμινιστικές προσεγγίσεις είναι ότι επιτρέπει την εκτίμηση του σφάλματος παρεμβολής σε μη μετρημένα σημεία (Deutsch and Journel 1992). Τα βέλτιστα αποτελέσματα kriging επιτυγχάνονται εάν η κατανομή πιθανότητας των δεδομένων είναι σταθερή στο χώρο (χωρικά ομοιογενής). Τα ασύμμετρα (skewed) ή ακανόνιστα δεδομένα μπορούν συχνά να γίνουν πιο κατάλληλα για γεωστατιστική μοντελοποίηση με κατάλληλο μετασχηματισμό. Μια κανονική κατανομή για την υπό μελέτη μεταβλητή είναι επιθυμητή στη γραμμική γεωστατιστική (Clark and Harper 2000). Παρόλο που οι ήπιες αποκλίσεις από την κανονικότητα δεν προκαλούν προβλήματα, οι σημαντικές αποκλίσεις, π.χ. λόγω υψηλής ασυμμετρίας και ακραίων τιμών, έχουν ανεπιθύμητες επιπτώσεις στη δομή του ημιβαριογράμματος και στις εκτιμήσεις kriging (Gringarten & Deutsch, 2001 - Ouyang et al., 2006). Η μέθοδος OK είναι γνωστό ότι είναι βέλτιστη όταν τα δεδομένα έχουν πολυμεταβλητή κανονική κατανομή και το πραγματικό ημιβαριόγραμμα είναι γνωστό.

Επομένως, μπορεί να απαιτείται μετασχηματισμός των δεδομένων πριν από το kriging για την κανονικοποίηση της κατανομής των δεδομένων, την απαλοιφή των ακραίων τιμών και τη βελτίωση της στασιμότητας των δεδομένων (Deutsch and Journel 1992 - Armstrong 1998). Στη συνέχεια, η εκτίμηση εκτελείται στο πεδίο Gauss, πριν από τον αντίστροφο μετασχηματισμό των εκτιμήσεων στο αρχικό πεδίο. Ένα πλεονέκτημα της γκαουσιανής κατανομής είναι ότι η χωρική μεταβλητότητα είναι ευκολότερο να μοντελοποιηθεί, επειδή μειώνει τις επιδράσεις των ακραίων τιμών παρέχοντας πιο σταθερά ημιβαριογράμματα (Goovaerts 1997 - Armstrong 1998 - Pardo-I & Dowd, 2005).

Το Kriging αναπαριστά τη μεταβλητότητα μόνο μέχρι τη δεύτερη κεντρική ροπή (συνδιακύμανση), επομένως το τυχαίο πεδίο της μετασχηματισμένης μεταβλητής πρέπει να είναι γκαουσιανό για να προκύψουν αμερόληπτες εκτιμήσεις σε μη δειγματοληπτικές θέσεις (Deutsch and Journel 1992 - Goovaerts et al., 2005).

5. Ανάλυση Δεδομένων & Αποτελέσματα

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής και στοχαστικής ανάλυσης, καθώς και των μεθόδων χωρικής παρεμβολής που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο για το νησί της Κρήτης, στο πλαίσιο της χωρο-χρονικής απεικόνισης της διακύμανσης των κλιματικών παραμέτρων της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, για τα υδρολογικά έτη της περιόδου 1950 - 2021.

Αρχικά, αφού πραγματοποιήθηκε συλλογή και οργάνωση των ημερήσιων δεδομένων για κάθε έναν σταθμό της περιοχής μελέτης, δημιουργήθηκαν οι μηνιαίες και οι ετήσιες χρονοσειρές. Από αυτές βρέθηκαν για κάθε μια κλίμακα (ημερήσια, μηνιαία, ετήσια) και για κάθε σταθμό, η μέση τιμή (μ) και τυπική απόκλιση (σ), καθώς και η μέγιστη ετήσια τιμή των κλιματικών αυτών διεργασιών.

5.1. Αποτελέσματα σημειακής ανάλυσης

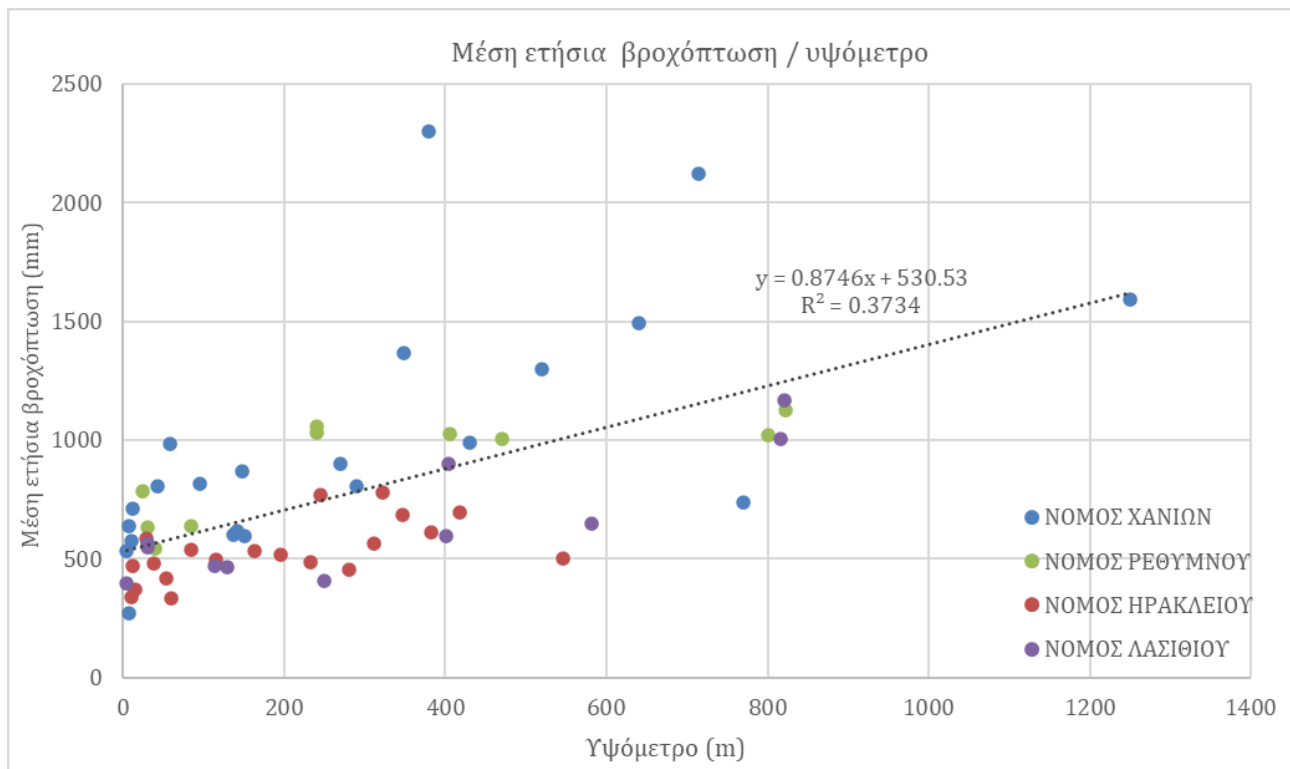
Στις ακόλουθες υποενότητες παρουσιάζονται διαγραμματικά η επίδραση του υψομέτρου στη μέση τιμή και στην τυπική απόκλιση της βροχόπτωσης και αντίστοιχα της θερμοκρασίας, καθώς και η σχέση που αναπτύσσουν μεταξύ τους, τα στατιστικά αυτά μέτρα κάθε παραμέτρου, για όλους τους σταθμούς, οι οποίοι κρίθηκαν κατάλληλοι για την ανάλυση. Στη συνέχεια, στο πλαίσιο της σημειακής ανάλυσης, παρουσιάζεται σε ετήσια, 10-ετή και 30-ετή κλίμακα, η κλιματική διακύμανση των υδροκλιματικών δεδομένων καθώς και τα κλιμακογράμματα για τους σταθμούς με επαρκή δεδομένα.

5.1.1. Επίδραση υψομέτρου στη βροχόπτωση

Στην παρούσα υποενότητα, παρατίθενται στα παρακάτω σχήματα (5-1, 5-2, 5-3, 5-4) τα αποτελέσματα της ανάλυσης, σχετικά με την επίδραση του υψομέτρου στους στατιστικούς δείκτες της μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης για τη διεργασία της βροχόπτωσης. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιείται για τους σταθμούς με δεδομένα τουλάχιστον 5 ετών και άνω (με εξαίρεση τον σταθμό Ασή Γωνιά στον νομό Χανίων με περίοδο λειτουργίας 4 ετών), ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα σύγκρισης. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που χορηγήθηκαν από την Ε.Μ.Υ., με περίοδο έναρξης του παλαιότερου σταθμού το 1950, καθώς και τα δεδομένα από Ε.Α.Α. και Α.Δ.Κ. με περίοδο εκκίνησης από το 2006 και ύστερα.

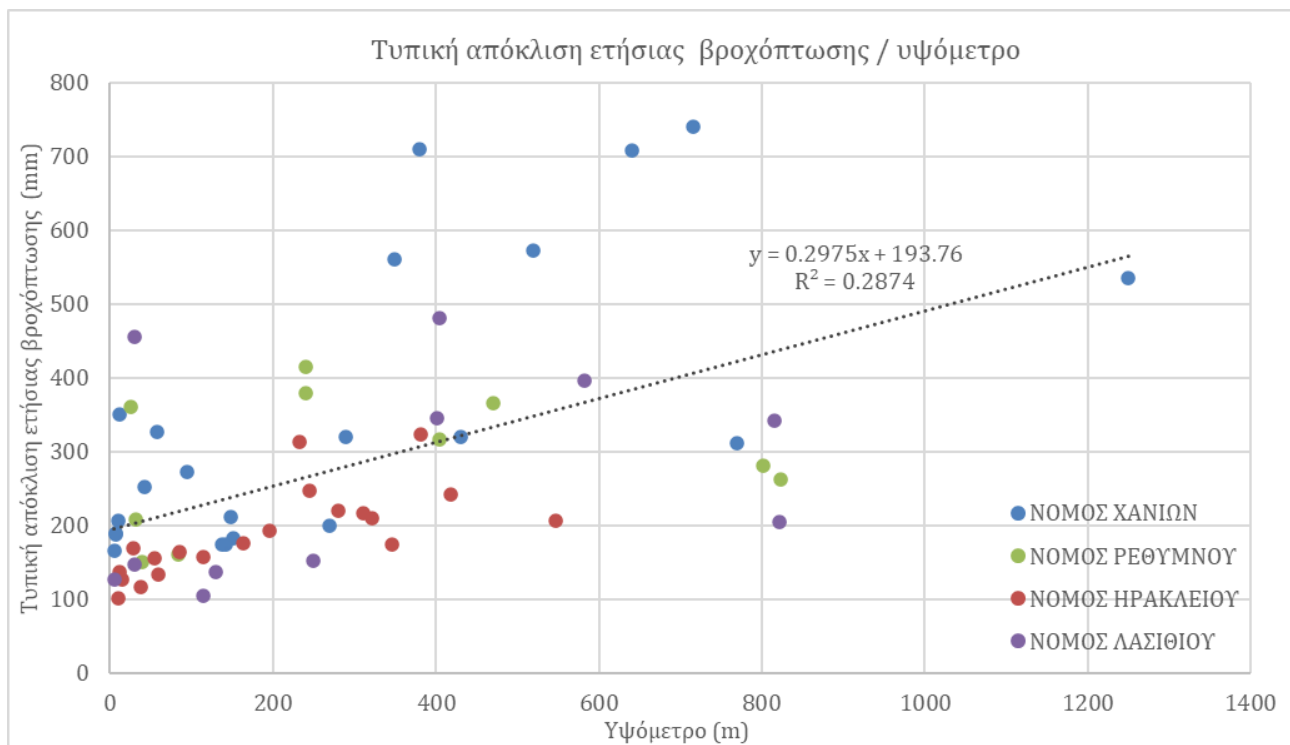
Για το παρακάτω σχήμα 5-1, που παρουσιάζεται η μέση ετήσια βροχόπτωση για κάθε έναν σταθμό την περίοδο 1950 - 2021, προκύπτει ότι το μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης παρατηρείται στον σταθμό Ασή Γωνιά Χανίων που βρίσκεται σε υψόμετρο 380 m, με μέσο ετήσιο ύψος βροχής 2302,08 mm, ενώ ακολουθεί ο σταθμός Ασκύφου Χανίων σε υψόμετρο 715 m, μέσου ετήσιου ύψους βροχής 2125,83 mm.

Από την άλλη, η χαμηλότερη βροχόπτωση, παρατηρείται στον σταθμό Τυμπάκι Ηρακλείου υψομέτρου 60 m, με μέση ετήσια βροχόπτωση 333,3 mm και ακολούθως ο σταθμός Λέντας Ηρακλείου, υψομέτρου 15 m με μέση ετήσια βροχόπτωση 370,78 m. Ο σταθμός μεγαλύτερου υψομέτρου στην Κρήτη, είναι ο σταθμός Σαμαριά Χανίων (1250 m), με μέσο ετήσιο ύψος βροχής 1594,26 mm, ενώ με το χαμηλότερο υψόμετρο οι σταθμοί Παλαιόχωρα Χανίων (5 m) και Ιεράπετρα Λασιθίου (5 m), με μέσο ετήσιο ύψος βροχής 534,49 mm και 395 mm αντίστοιχα.



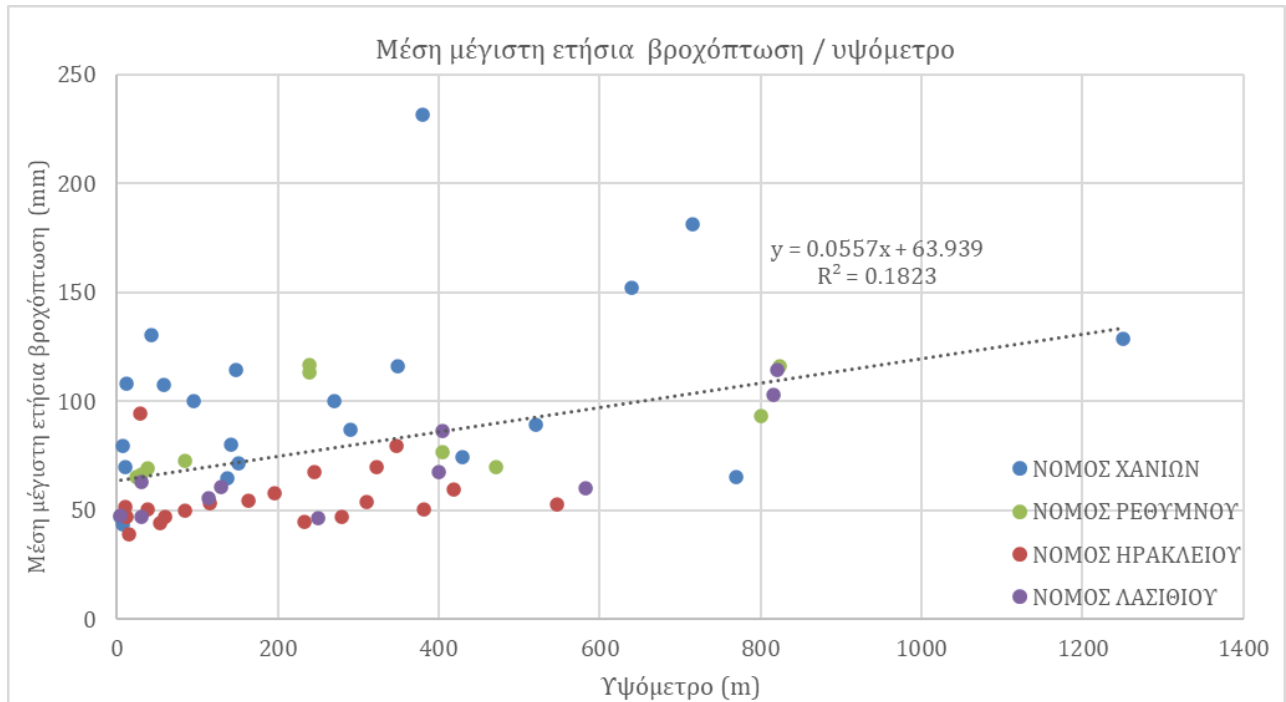
Σχήμα 5-1. Μέση ετήσια βροχόπτωση συναρτήσει του υψομέτρου στο νησί της Κρήτης.

Αντίστοιχα, όπως προκύπτει από το σχήμα 5-2, οι τιμές με την υψηλότερη τυπική απόκλιση της ετήσιας βροχόπτωσης, εντοπίζονται κυρίως στους σταθμούς που παρουσίασαν παραπάνω την υψηλότερη μέση βροχόπτωση, καθώς πρόκειται για μια μεταβλητή θετικά ασύμμετρη, όπου οι μεγάλες ακραίες τιμές, αντιστοιχούν σε μεγάλη τυπική απόκλιση.

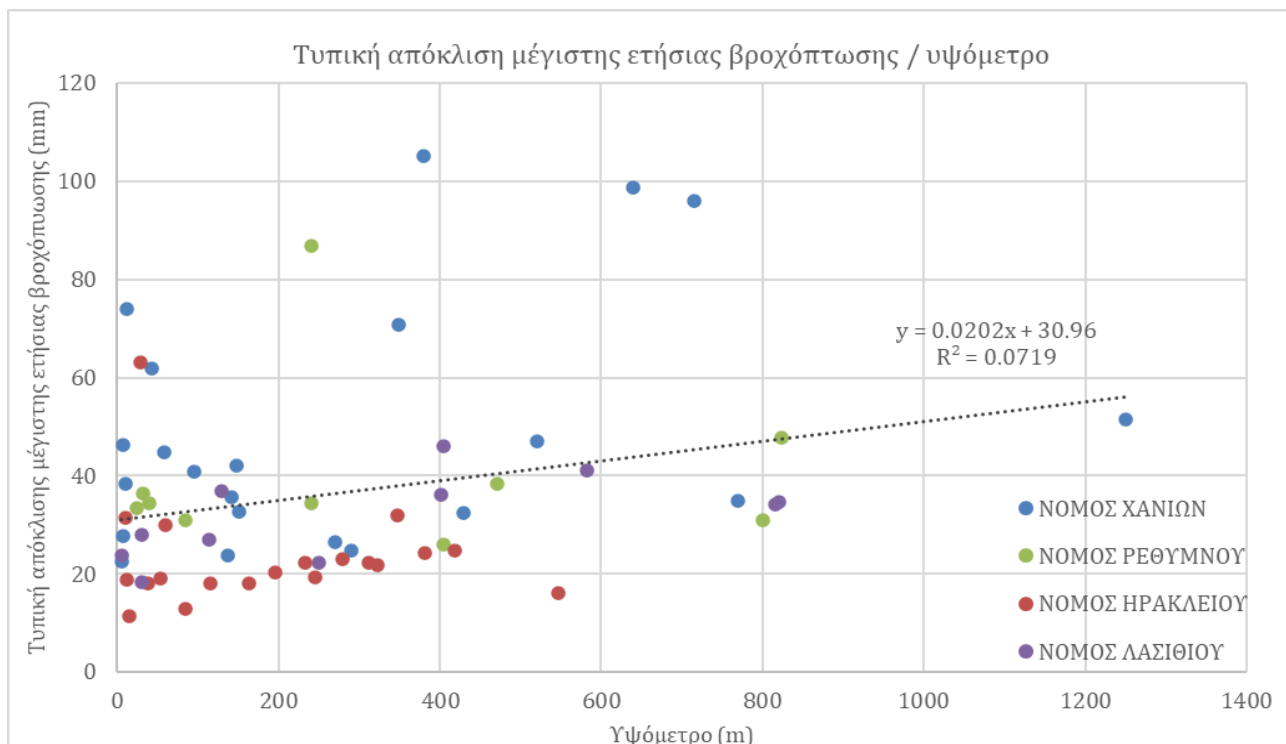


Σχήμα 5-2. Τυπική απόκλιση ετήσιας βροχόπτωσης συναρτήσει του υψομέτρου στο νησί της Κρήτης.

Ομοίως, στο παρακάτω σχήμα 5-3 προκύπτει, ότι η υψηλότερη μέση μέγιστη ετήσια βροχόπτωση, εντοπίζεται εξίσου στον σταθμό Ασή Γωνιά Χανίων (380 m) και ακολούθως στο Ασκύφου Χανίων (715 m), με τιμές μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης στα 232 mm και 181,66 mm αντίστοιχα. Αντιθέτως, τα χαμηλότερα ύψη μέσης μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης για το έτος αντιστοιχούν στους σταθμούς, Λέντας Ηρακλείου (15 m) και Παλαιόχωρα Χανίων (7 m), με μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση στα 38,94 mm και 43,64 mm αντίστοιχα. Παρομοίως, στο σχήμα 5-4, που συγκρίνεται επίσης η τυπική απόκλιση της μέγιστης ετήσιας βροχόπτωσης συναρτήσει του υψόμετρου, εξακολουθεί να εντοπίζεται η υψηλότερη τιμή τυπικής απόκλισης, κυρίως στους σταθμούς με τα ακραία επεισόδια.



Σχήμα 5-3. Μέση μέγιστη βροχόπτωση του έτους συναρτήσει του υψόμετρου στο νησί της Κρήτης.



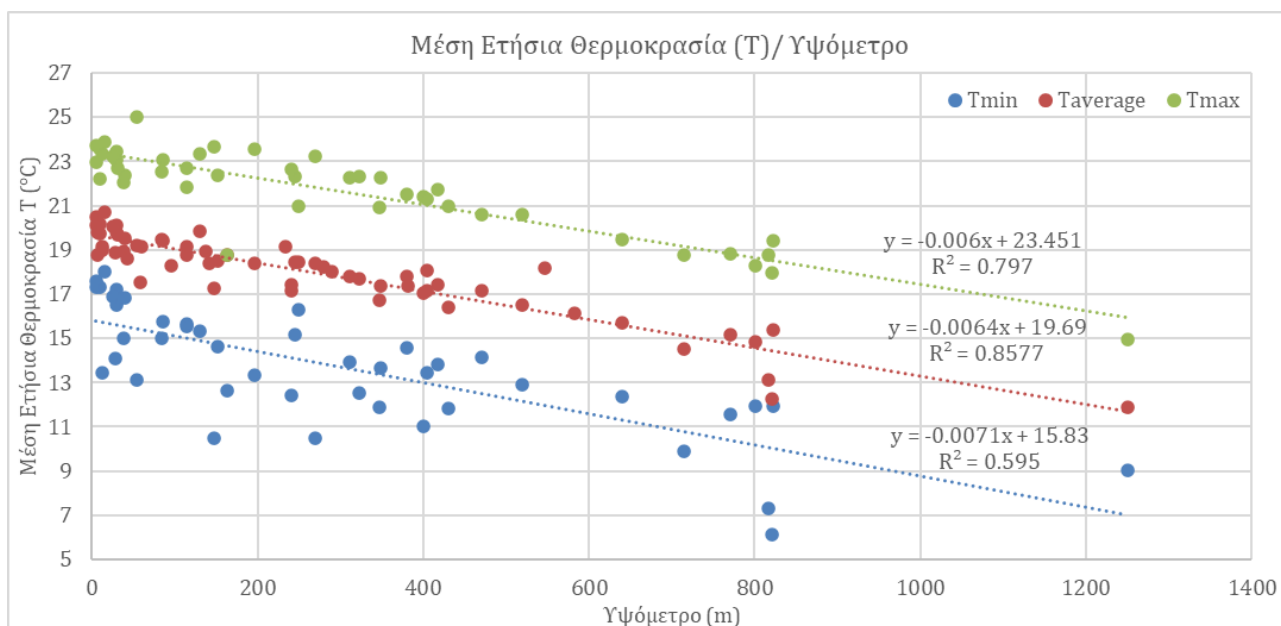
Σχήμα 5-4. Τυπική απόκλιση μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης του έτους συναρτήσει του υψόμετρου στο νησί

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, ότι υπάρχει μεγάλη σχέση ανάμεσα στο υψόμετρο κάθε σταθμού και στη στάθμη της βροχόπτωσης που δέχεται και κατ' επέκταση στη τυπική απόκλιση αυτής, καθώς σταθμοί μεγάλου υψόμετρου δέχονται σημαντική ποσότητα βροχής και αντιστρόφως. Παρ' όλα αυτά, φαίνεται ότι την περισσότερη βροχόπτωση την δέχεται εμφανώς η Δυτική Κρήτη, με τις υψηλότερες στάθμες ετησίως, ενώ τα περισσότερα ακραία επεισόδια, εντοπίζονται στον νομό Χανίων.

5.1.2. Επίδραση υψόμετρου στη θερμοκρασία

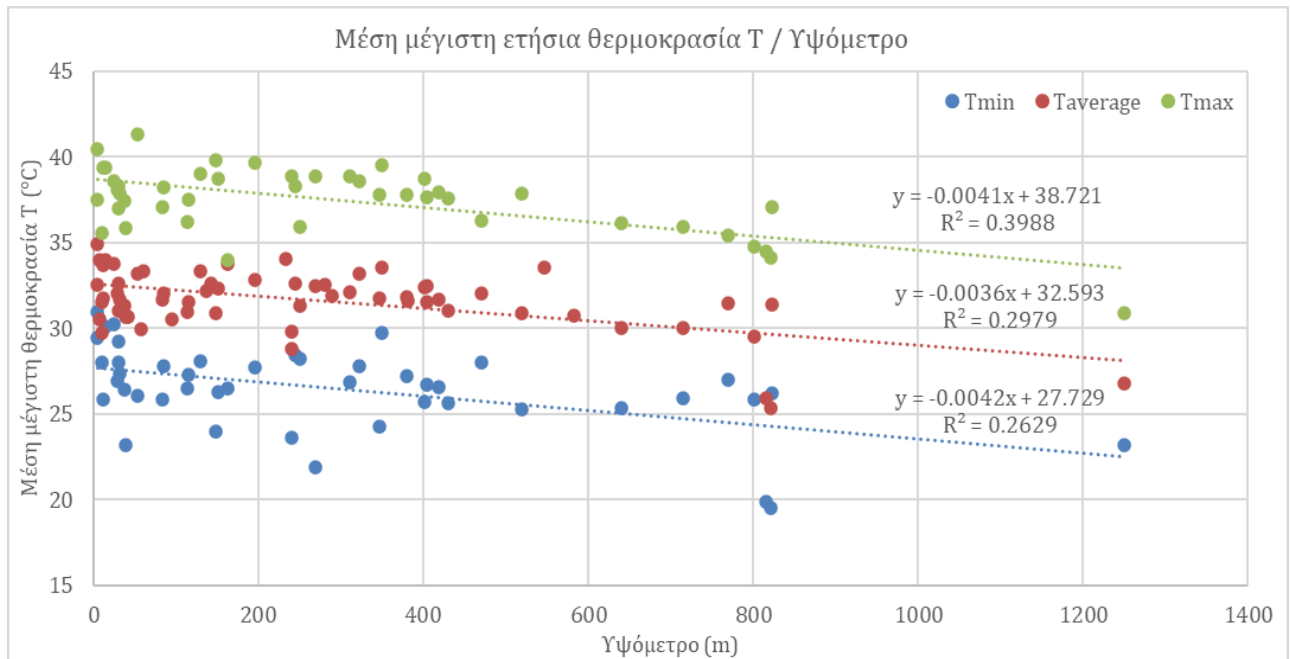
Αντιστοίχως με παραπάνω, στη συγκεκριμένη υποενότητα παρατίθενται τα διαγράμματα με την επίδραση του υψόμετρου στην θερμοκρασία. Το αποτέλεσμα που προκύπτει, σχετικά με τη μέση ετήσια θερμοκρασία (Σχήμα 5-5), τεκμηριώνει το συμπέρασμα, ότι η θερμοκρασία είναι αντιστρόφως ανάλογη του υψόμετρου, ενώ στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η πτωτική αυτή τάση να πραγματοποιείται με ομοιόμορφο τρόπο και για τις τρεις παραμέτρους (T_{min} , $T_{average}$, T_{max}), με κλίση περίπου στο 0.0065, που αντιστοιχεί στην προβλεπόμενη τιμή του ρυθμού μεταβολής της θερμοκρασίας με το υψόμετρο. Τυπικά, για αύξηση του υψόμετρου κατά 1000 m, έχει παρατηρηθεί μείωση της θερμοκρασίας κατά 6.5 °C, δηλαδή $6.5 \text{ }^\circ\text{C} / 1000 \text{ m} = 0.0065 \text{ }^\circ\text{C} / \text{m}$. Βεβαίως, η τιμή αυτή μεταβάλλεται γεωγραφικά και χρονικά (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 2016).

Με πολύ μικρή διαφορά τη μεγαλύτερη κλίση την έχει η ελάχιστη θερμοκρασία αναδεικνύοντας ότι είναι εκείνη που επηρεάζεται περισσότερο όσο το υψόμετρο αυξάνει, ενώ σταδιακά ακολουθεί η μέση και ύστερα η μέγιστη με πολύ μικρή διαφορά στην κλίση.



Σχήμα 5-5. Μέση ετήσια θερμοκρασία (T_{min} , $T_{average}$, T_{max}) συναρτήσει του υψόμετρου για το νησί της Κρήτης.

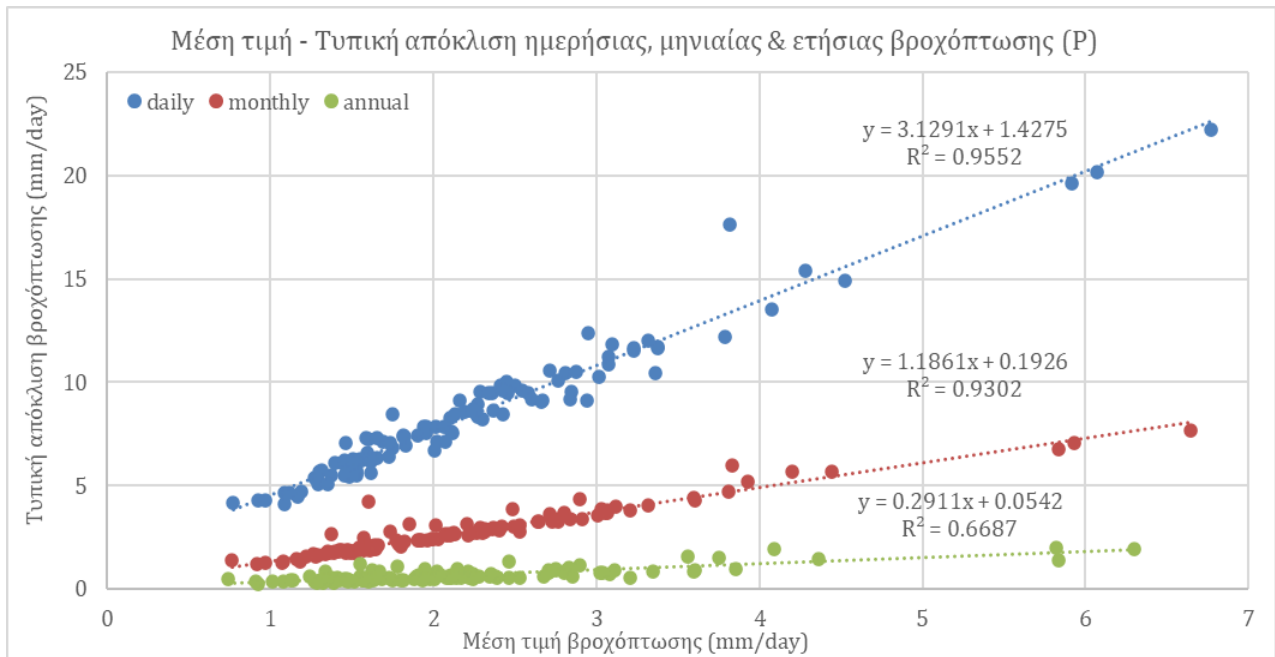
Όπως προκύπτει και από το παρακάτω Σχήμα 5-6, τα αποτελέσματα της μέσης μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας, σχετικά με το υψόμετρο, ακολουθούν το ίδιο μοτίβο με αυτά της μέσης ετήσιας. Η κλίση παρουσιάζει μια μείωση, αναδεικνύοντας ότι οι μέγιστες τιμές της θερμοκρασίας επηρεάζονται επίσης από το υψόμετρο, με ελαφρώς μικρότερη επίδραση συγκριτικά με τις μέσες ετήσιες θερμοκρασίες.



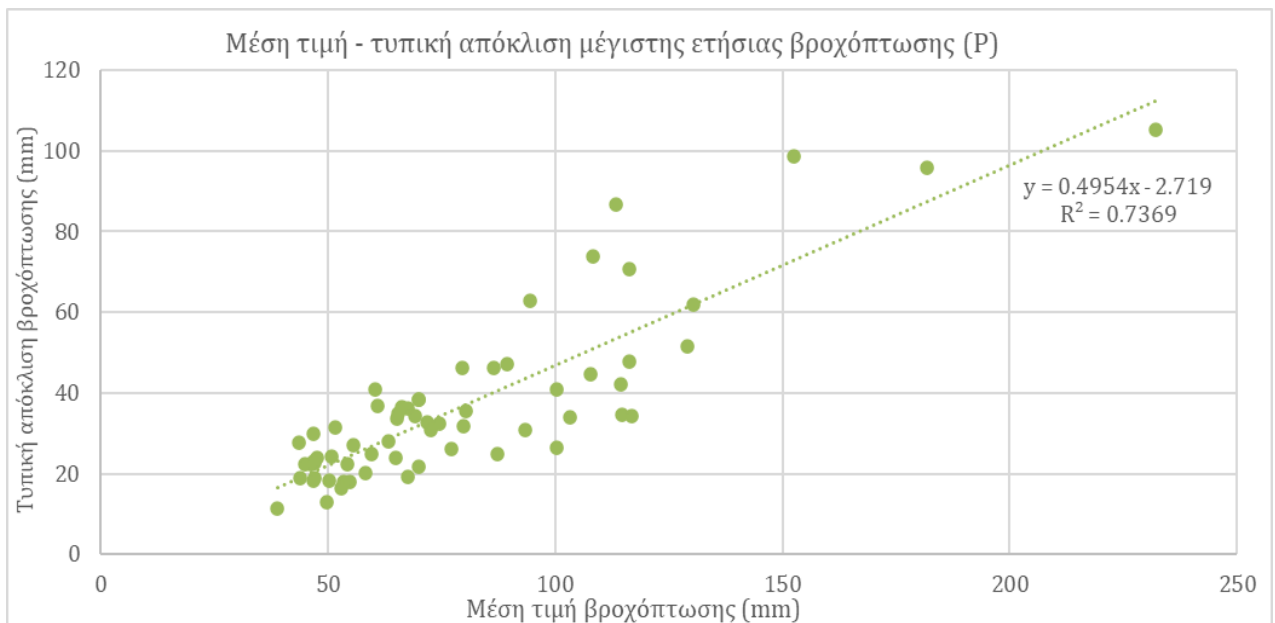
Σχήμα 5-6. Μέση μέγιστη ετήσια θερμοκρασία (T_{min} , $T_{average}$, T_{max}) συναρτήσεως του υψόμετρου για το νησί της Κρήτης.

5.1.3. Σχέση μέσης τιμής (μ) - τυπικής απόκλισης (σ) σχετικά με τη βροχόπτωση

Στο παρόν υποκεφάλαιο, παρουσιάζεται η σχέση που αναπτύσσει η μέση τιμή σε σύγκριση με τη τυπική απόκλιση της βροχόπτωσης, σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια κλίμακα (Σχήμα 5-7), καθώς επίσης και της μέγιστης ετήσιας βροχόπτωσης (Σχήμα 5-8). Δεδομένου ότι η τυπική απόκλιση είναι ένα μέτρο που μελετά τη μεταβλητότητα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μεγάλες τιμές της αντιστοιχούν σε ακραίες τιμές της παραμέτρου. Αυτό επιβεβαιώνεται, όπως φαίνεται στα ακόλουθα διαγράμματα, όπου όσο μεγαλύτερη παρουσιάζεται η μέση τιμή της βροχόπτωσης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η τυπική της απόκλιση. Προκύπτει λοιπόν, ότι υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο αυτών στατιστικών δεικτών για τη συγκεκριμένη παράμετρο, κάτι που αποδεικνύεται και από τον δείκτη προσδιορισμού R^2 (coefficient of determination), ο οποίος ερμηνεύει το ποσοστό της διασποράς των τιμών που εξηγείται από τη σχέση που προκύπτει. Και στα δύο διαγράμματα, ο R^2 είναι αρκετά υψηλός, ενώ όσο αυξάνεται η κλίμακα, από ημερήσια σε μηνιαία και ετήσια, τόσο αυτός μειώνεται, καθώς μειώνεται η σχέση που προκύπτει μεταξύ της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί καθώς οι ακραίες τιμές της βροχόπτωσης εντοπίζονται κυρίως σε ημερήσια βάση και έτσι είναι πιο ισχυρή η σχέση που αναπτύσσει με την τυπική της απόκλιση, ενώ όσο η κλίμακα αυξάνεται, εξομαλύνεται και η ακραία συμπεριφορά της.



Σχήμα 5-7. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ημερήσιας, μηνιαίας και ετήσιας βροχόπτωσης στην Κρήτη.



Σχήμα 5-8. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ετήσιας μέγιστης βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης.

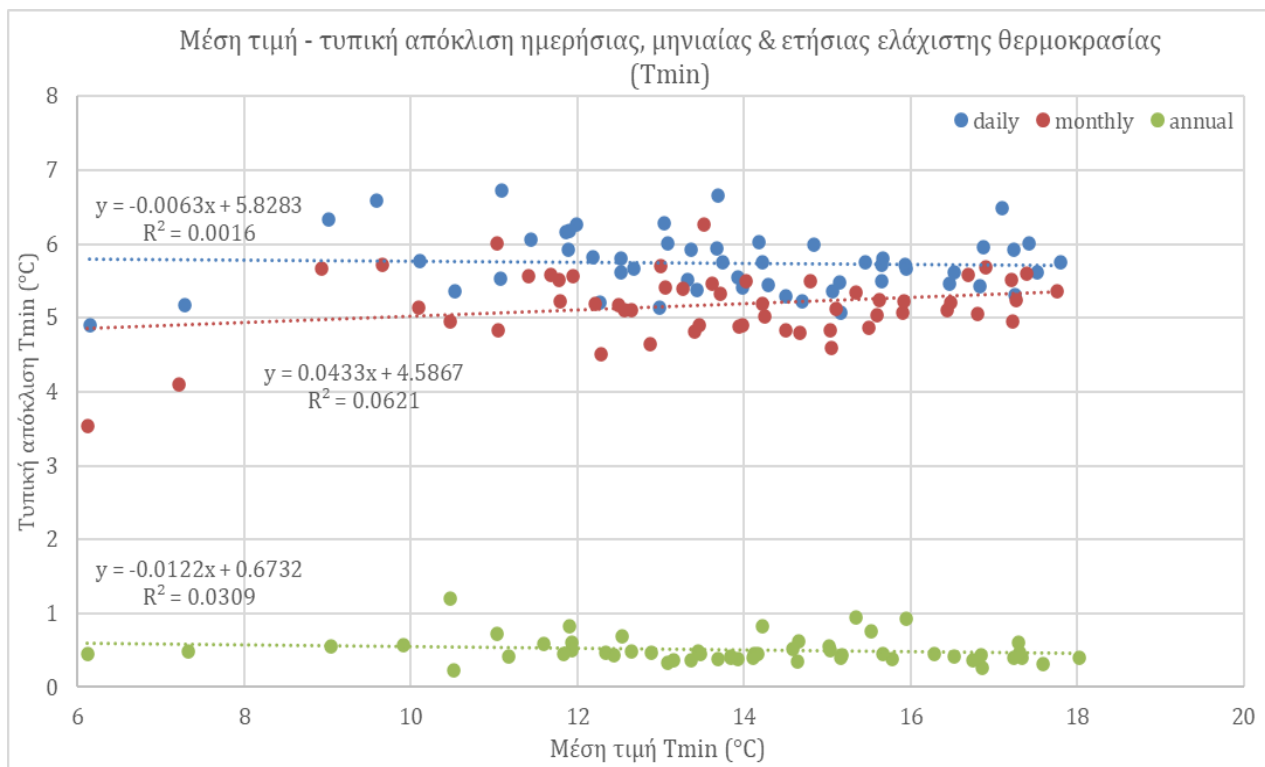
5.1.4. Σχέση μέσης τιμής (μ) - τυπικής απόκλισης (σ) σχετικά με τη θερμοκρασία

Συνεχίζοντας, στα ακόλουθα σχήματα (5-9, 5-10, 5-11, 5-12), εξετάζεται η σχέση ανάμεσα στη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση για την ελάχιστη (T_{\min}), τη μέση (T_{average}) και τη μέγιστη (T_{\max}) θερμοκρασία αντίστοιχα, για κάθε έναν σταθμό της μελέτης σε ημερήσια, μηνιαία και ετήσια κλίμακα.

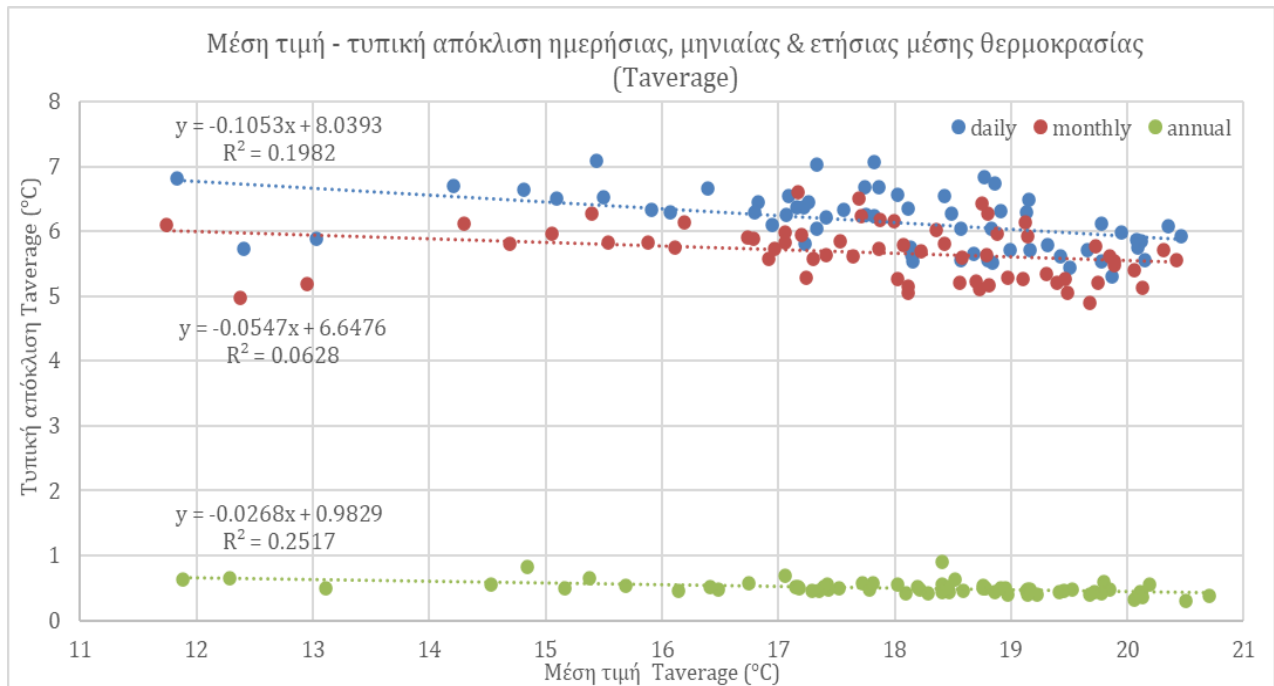
Καταδεικνύεται ότι, η τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας για κάθε ένα διάγραμμα παρουσιάζει ελάχιστη μετατόπιση, με τις τιμές της να κυμαίνονται εντός συγκεκριμένου εύρους για κάθε κλίμακα του χρόνου που εξετάζεται. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί, καθώς η θερμοκρασία είναι μια κλιματική παράμετρος, σε άμεση συνάρτηση με την εποχικότητα, με σχεδόν δεδομένες ανά περίοδο του έτους, αποδεικνύοντας τη περιοδικότητα που τη διακατέχει. Αυτό, μπορεί να εντοπιστεί και στην χρονική για το παρακάτω διαγράμματα, καθώς οι ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας για κάθε έναν σταθμό, είναι εκείνες με τις μεγαλύτερες τιμές τυπικής απόκλισης, λόγω των ακραίων θερμοκρασιών (είτε υψηλών είτε χαμηλών σε επίπεδο περιόδου), που μπορεί να προκύψουν.

Η τυπική απόκλιση της μηνιαίας θερμοκρασίας παίρνει τιμές πολύ κοντά σε εκείνες της ημερήσιας, καθώς εξακολουθεί να επικρατεί ο παράγοντας της εποχικότητας, ενώ η τυπική απόκλιση της ετήσιας θερμοκρασίας, παίρνει πολύ χαμηλές τιμές που πλησιάζουν τις μηδενικές, κάνοντας σαφές ότι η θερμοκρασία είναι μια παράμετρος που χαρακτηρίζεται από περιοδικότητα, ενώ σε ετήσια κλίμακα οι ακραίες τιμές που δύναται να προκύψουν ανά περίοδο εξομαλύνονται και δεν επηρεάζουν σημαντικά σε επίπεδο έτους.

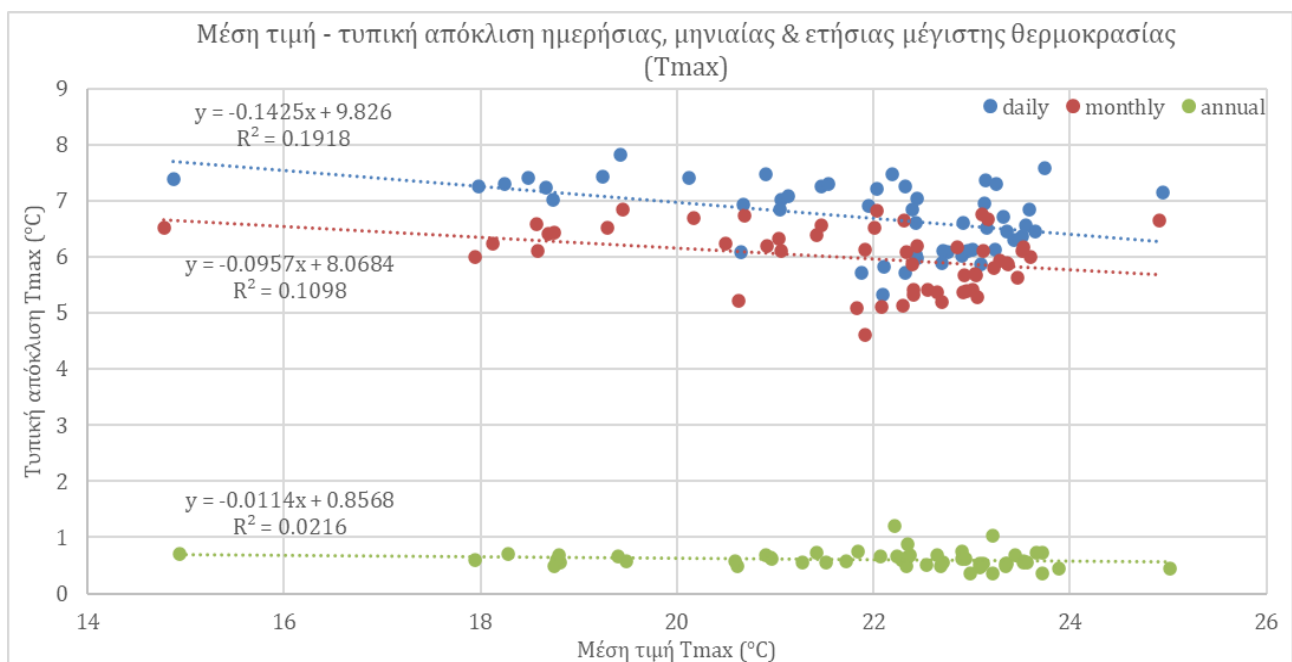
Η σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ της μέσης τιμής της θερμοκρασίας και της τυπικής απόκλισης, επίσης εξηγείται από τον δείκτη προσδιορισμού R^2 , καθώς επίσης και από την κλίση τις ευθείας, όπου σε όλες τις περιπτώσεις λαμβάνουν τιμές πολύ κοντά στο μηδέν, αναδεικνύοντας έτσι ότι δεν αναπτύσσεται καμία γραμμική σχέση μεταξύ τους.



Σχήμα 5-9. Μέση τιμή συναρτήσεως τυπικής απόκλισης της ημερήσιας, μηνιαίας και ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{\min}) για το νησί της Κρήτης.

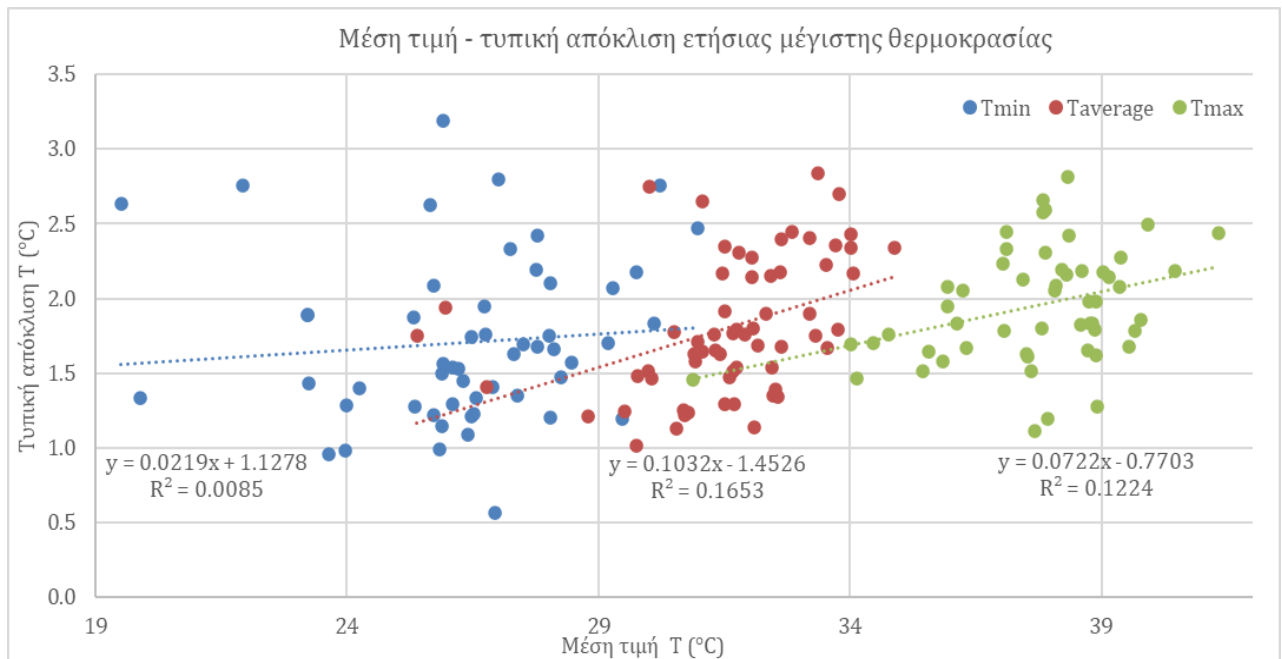


Σχήμα 5-10. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ημερήσιας, μηνιαίας και ετήσιας μέσης θερμοκρασίας (Taverage) για το νησί της Κρήτης.



Σχήμα 5-11. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ημερήσιας, μηνιαίας και ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (Tmax) για το νησί της Κρήτης.

Και στο παρακάτω Σχήμα (5-12), παρουσιάζεται η σχέση που αναπτύσσεται μεταξύ της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας για T_{\min} , T_{average} και T_{\max} .

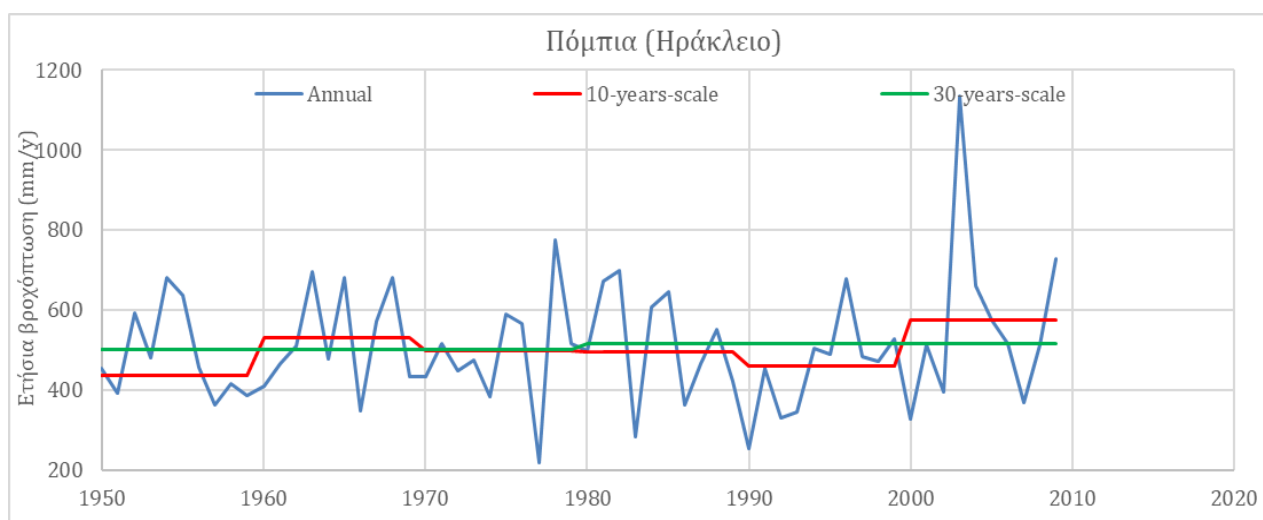


Σχήμα 5-12. Μέση τιμή συναρτήσει τυπικής απόκλισης της ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (T_{\min} , T_{average} και T_{\max}) για το νησί της Κρήτης.

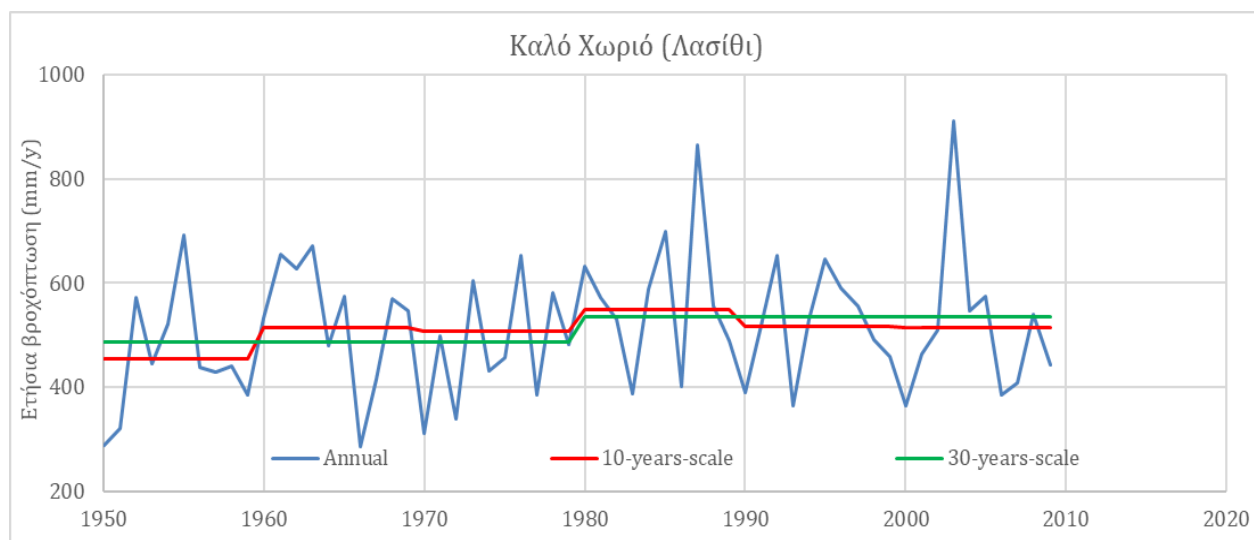
5.1.5. Κλιματική διακύμανση της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας στην Κρήτη

Στα ακόλουθα σχήματα (5-13, 5-14, 5-15, 5-16), εξετάζεται η κλιματική διακύμανση της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, σε ετήσια κλίμακα, καθώς και σε χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών, για την περίοδο 1950 - 2009. Η συγκεκριμένη ανάλυση, πραγματοποιήθηκε για σταθμούς οι οποίοι διαθέτουν μόνο δεδομένα βροχόπτωσης, κοντά στα 60 έτη, και η περίοδος αυτή επιλέχθηκε ώστε να υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για όλους τους σταθμούς, ενώ μετά το 2010 οι περισσότεροι είχαν ελλείψεις ή και καθόλου δεδομένα. Καθώς η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για πολλούς σταθμούς βροχόπτωσης της συγκεκριμένης περιόδου, τα υπόλοιπα διαγράμματα παρατίθενται στο Παράρτημα Α.

Από τα διαγράμματα παρατηρείται, ότι δεν εντοπίζονται έντονες μεταβολές στη συμπεριφορά της βροχόπτωσης, οι οποίες επίσης με τη πάροδο του χρόνου μοιάζουν ασήμαντες, γεγονός που υποδηλώνει στασιμότητα, με απουσία σημαντικών κλιματικών τάσεων (Ιλιουρούλου & Κουτσογιάννης, 2020). Φαίνεται λοιπόν, ότι η μεταβλητότητα και τα ακραία μειώνονται όσο η χρονική κλίμακα αυξάνεται, ποτέ όμως δε μηδενίζεται. Αυτό έχει αποδειχθεί ότι ισχύει ακόμη και για χρονικές κλίμακες εκατομμυρίων ετών (Κουτσογιάννης, 2013).

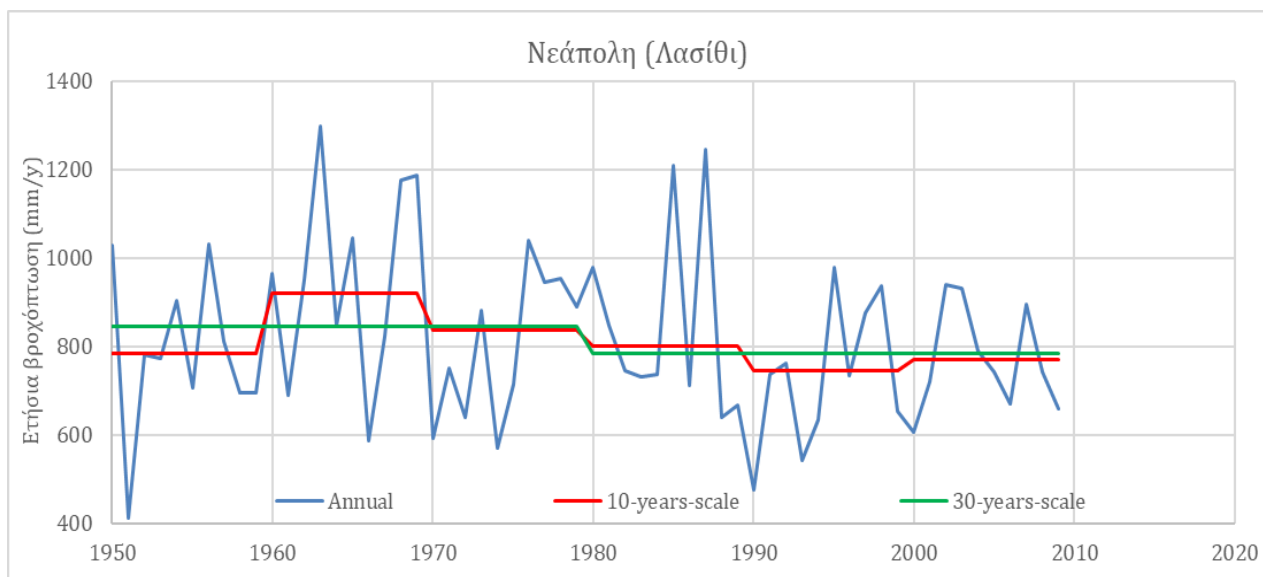


Σχήμα 5-13. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό της Πόμπιας Ηρακλείου.

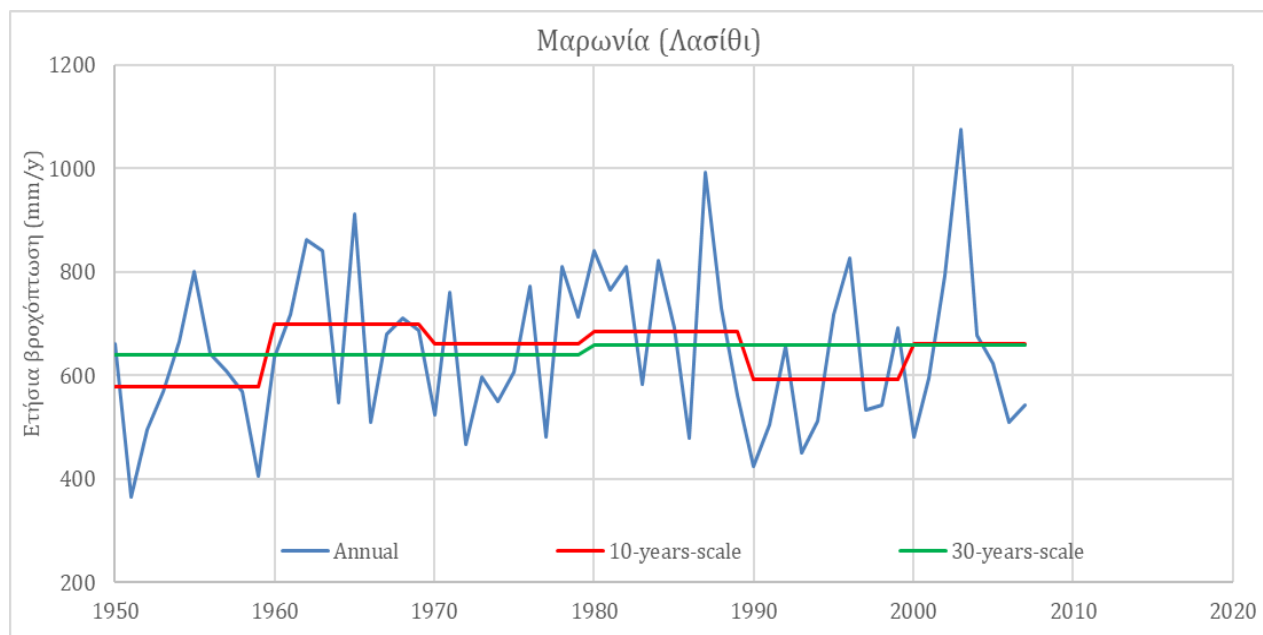


Σχήμα 5-14. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική

κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό του Καλού Χωριού Λασιθίου.



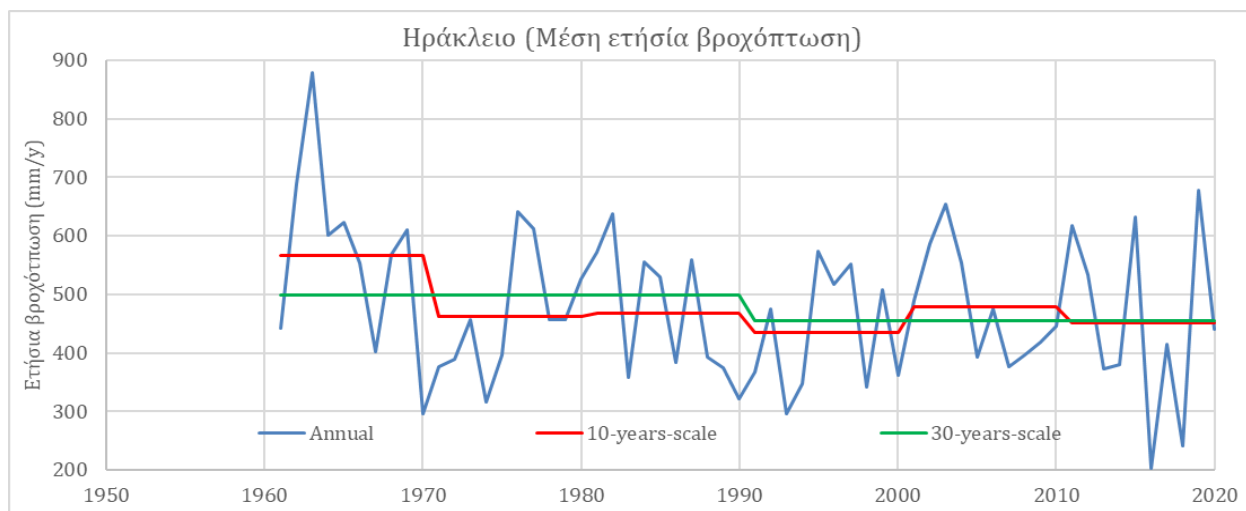
Σχήμα 5-15. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό της Νεάπολης Λασιθίου.



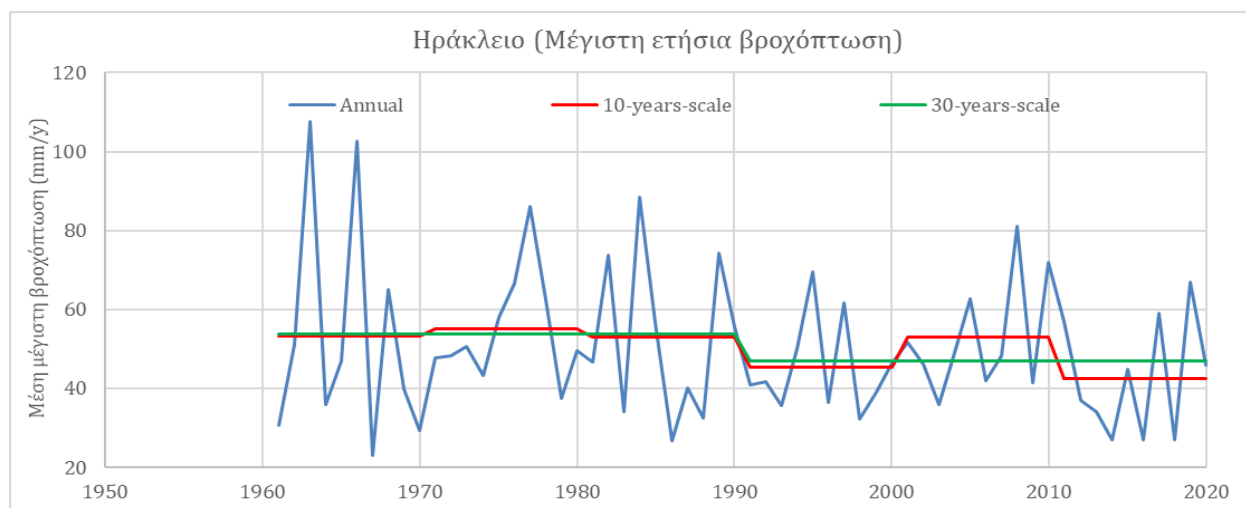
Σχήμα 5-16. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό της Μαρωνίας Λασιθίου.

Καθώς τα δεδομένα έχουν χορηγηθεί από διαφορετικούς φορείς, οι παραπάνω μετεωρολογικοί σταθμοί περιόδου περίπου 60 ετών, δεν εμπειρεύσαν τη θερμοκρασία στα δεδομένα τους. Παρακάτω, παρατίθενται τα σχήματα κλιματικής μεταβλητότητας (5-17, 5-18, 5-19, 5-20) για τον σταθμό του Ηρακλείου της Ε.Μ.Υ., για τον οποίο έχουμε δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, από το 1955 έως και το 2021, ενώ αποτελεί τον μόνο σταθμό με τόσο μεγάλη χρονοσειρά και με ελάχιστη απουσία μετρήσεων. Για τον συγκεκριμένο σταθμό, προκειμένου να εξεταστεί η κλιματική διακύμανση των κλιματικών διεργασιών, επιλέχθηκε η περίοδος 1961-2020 (60ετία), ώστε η ανάλυση να είναι όσο πιο επίκαιρη και τα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται στο κλίμα των προσφάτων ετών.

Για τα επόμενα σχήματα 5-17 και 5-18, σχετικά με τη βροχόπτωση στον σταθμό του Ηρακλείου, παρατηρείται όπως και για τους παραπάνω σταθμούς, ότι με τη πάροδο των χρόνων, ενώ εντοπίζονται διακυμάνσεις στη συμπεριφορά της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης καθώς και στις μέγιστες ετήσιες, δεν θεωρούνται σημαντικές σε επίπεδο μεγάλης κλίμακας, υποδηλώνοντας στασιμότητα.



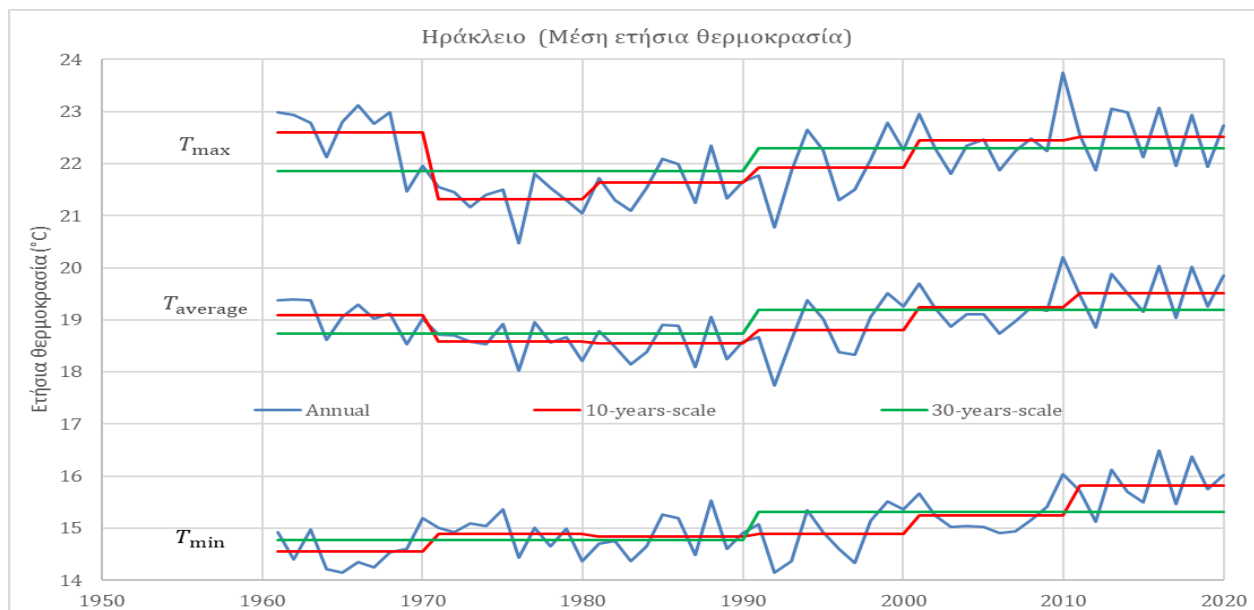
Σχήμα 5-17. Εξέλιξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό του Ηρακλείου.



Σχήμα 5-18. Εξέλιξη της μέγιστης ετήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό του Ηρακλείου.

Από το σύνολο των ημερήσιων χρονοσειρών της ελάχιστης, της μέσης και της μέγιστης θερμοκρασίας, τις οποίες τυποποιούμε ως προς την ετήσια, την 10ετή και 30ετή μεταβλητότητα κάθε καταγραφής (Σχήμα 5-19), παρατηρείται ότι και οι τρεις μετρήσεις της θερμοκρασίας παρουσιάζουν ασταθή συμπεριφορά, με έντονες διακυμάνσεις στην κλιματική κλίμακα κατά τη διάρκεια των ετών. Παρ' όλα αυτά, ομοίως με τη βροχόπτωση, φαίνεται, ότι όσο η χρονική κλίμακα αυξάνεται, οι μεταβολές αυτές μειώνονται. Τα αποτελέσματα δείχνουν, ότι από το έτος 1990 και ύστερα, η θερμοκρασία τείνει να αυξάνεται ελαφρώς, κάτι που προκύπτει καλύτερα από τις κλίμακες της 10ετίας και 30ετίας, με την ελάχιστη θερμοκρασία (T_{\min}), να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αύξηση αναλογικά με την μέγιστη (T_{\max}), της τάξης των περίπου 0,55 °C σε επίπεδο 30 ετών. Επικεντρωνόμαστε στις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες, επειδή μετρώνται πιο αξιόπιστα από τη μέση τιμή, αλλά αναλύονται πολύ σπάνια στη βιβλιογραφία. (Glynis et. al., 2021).

Παρατηρείται δηλαδή, ότι η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή αύξηση είναι στις ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας, καταδεικνύοντας ότι ο ρυθμός αύξησης της ελάχιστης θερμοκρασίας είναι πιο σημαντικός, ενώ προκύπτει το συμπέρασμα ότι δεν αυξάνονται τόσο οι μέγιστες θερμοκρασίες, όσο μειώνονται οι ελάχιστες.



Σχήμα 5-19. Εξέλιξη της μέσης ετήσιας ελάχιστης (T_{min}), μέσης ($T_{average}$) και μέγιστης (T_{max}) θερμοκρασίας, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό του Ηρακλείου.

Σχετικά με τις μέγιστες ετήσιες θερμοκρασίες, που παρουσιάζονται στο παρακάτω Σχήμα 5-20, προκύπτει ότι η μέση και μέγιστη θερμοκρασία είναι εκείνες με τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις στη συμπεριφορά τους ανά τα χρόνια λαμβάνοντας αρκετά υψηλές και αντίστοιχα χαμηλές τιμές, οι οποίες, όμως όσο η κλίμακα μεγαλώνει φαίνεται να μειώνονται σημαντικά. Από την άλλη οι μέγιστες ετήσιες τιμές της ελάχιστης θερμοκρασίας, παρουσιάζουν μικρότερες διακυμάνσεις σε επίπεδο έτους, με εμφανή σημαντική ανοδική αύξηση τα τελευταία έτη στην 30ετή κλίμακα (από το 1990 και ύστερα) της τάξεως του 1 °C.

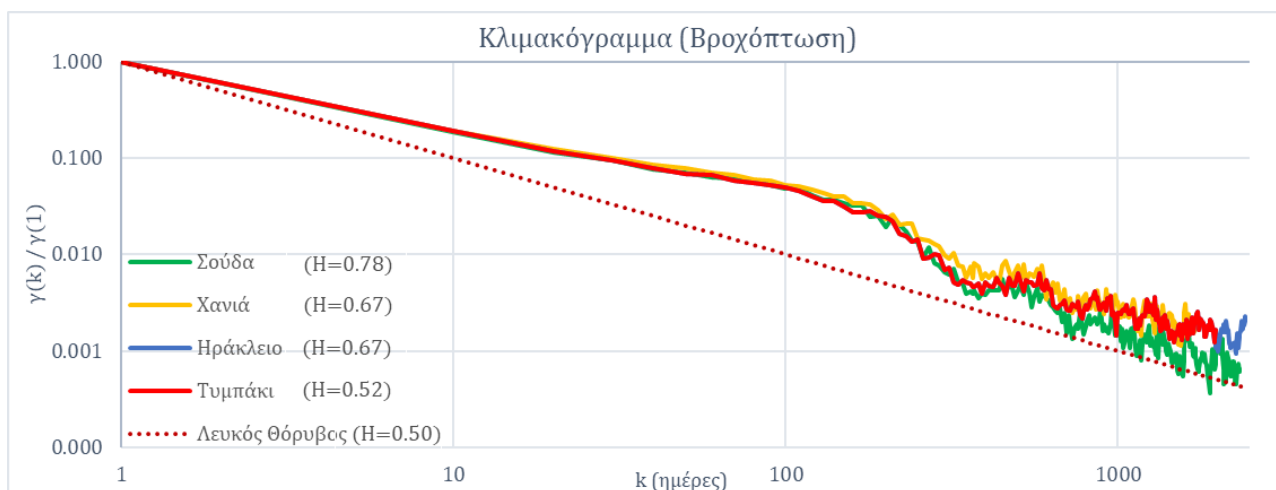


Σχήμα 5-20. Εξέλιξη της μέγιστης ετήσιας ελάχιστης (T_{min}), μέσης ($T_{average}$) και μέγιστης (T_{max}) θερμοκρασίας του έτους, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό του Ηρακλείου.

5.1.6. Κλιμακογράμματα

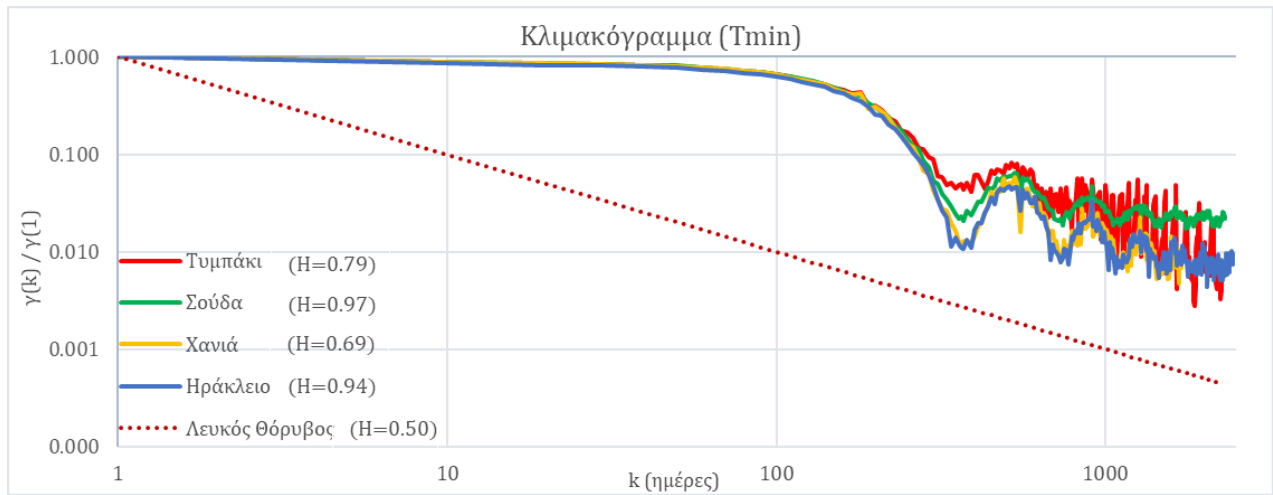
Ακολουθως, σειρά έχει η στοχαστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του κλιμακογράμματος για τη βροχόπτωση και τη θερμοκρασία (T_{\min} , T_{average} , T_{\max}), για κάθε έναν σταθμό που επιλέχθηκε, με στόχο να διερευνηθεί η ύπαρξη μακροπρόθεσμης εμμονής για κάθε μια φυσική διεργασία. Μέσω της κλίσης του κλιμακογράμματος, η οποία αντιστοιχεί στη σχέση $2 - 2H$, προσδιορίζεται η παράμετρος *Hurst* (H). Για να λειτουργήσει σωστά το μοντέλο και για να είναι αξιόπιστα τα αποτελέσματα, παρά το γεγονός ότι τα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται σε ημερήσια κλίμακα, η παράμετρος H εκτιμάται από το κλιμακόγραμμα ετήσιας κλίμακας για κάθε σταθμό και παράμετρο που μελετάται.

Όπως αναμενόταν, για τη βροχόπτωση (Σχήμα 5-21), όπως και για τις περισσότερες φυσικές διεργασίες, η παράμετρος *Hurst* κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1. Συγκεκριμένα, για τα ετήσια δεδομένα βροχόπτωσης των 4 σταθμών για τους οποίους υπάρχουν τα περισσότερα δεδομένα (> 30 έτη), τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ασθενή μακροχρόνια εμμονή (μέσου όρου $H = 0.66$), τιμή κοντινή στην παγκόσμια μέση τιμή για τη βροχόπτωση ($H = 0.59$), η οποία γίνεται ισχυρότερη όσο η κλίμακα αυξάνει (Iliorouliou et al., 2018). Καταδεικνύεται έτσι, ότι με την πάροδο του χρόνου, οι βροχοπτώσεις αφενός βασίζονται στην τυχειότητα, ωστόσο φαίνεται ότι υπάρχει αυξημένη παρουσία μοτίβων και αβεβαιότητας καθώς αυξάνεται η παράμετρος.

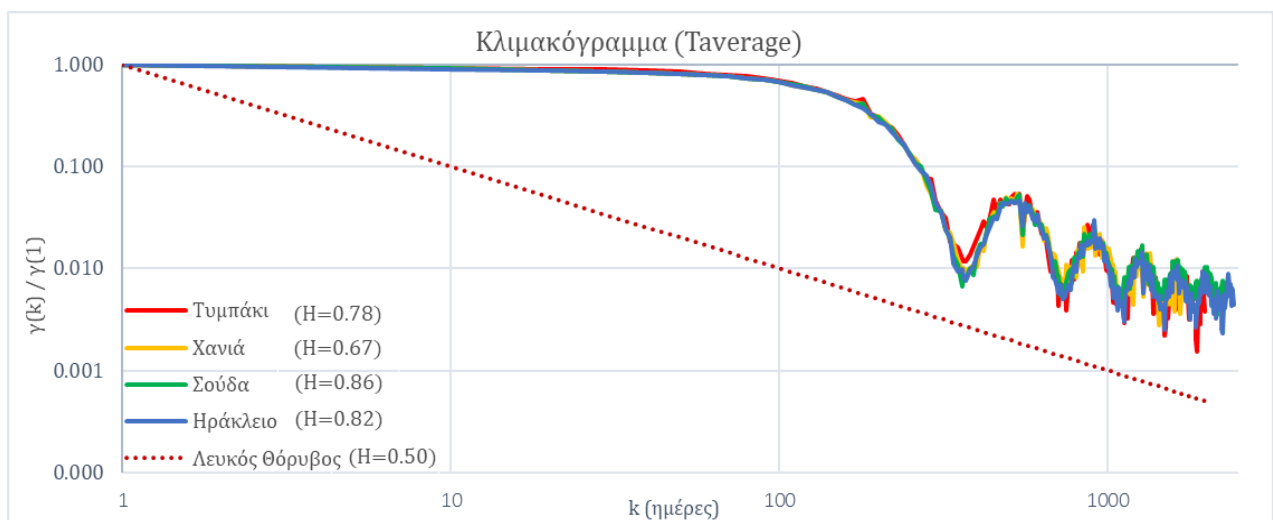


Σχήμα 5-21. Κλιμακόγραμμα βροχόπτωσης ημερήσιας κλίμακας (k), για τους σταθμούς Σούδα, Χανιά, Ηράκλειο, Τυμπάκι στο νησί της Κρήτης.

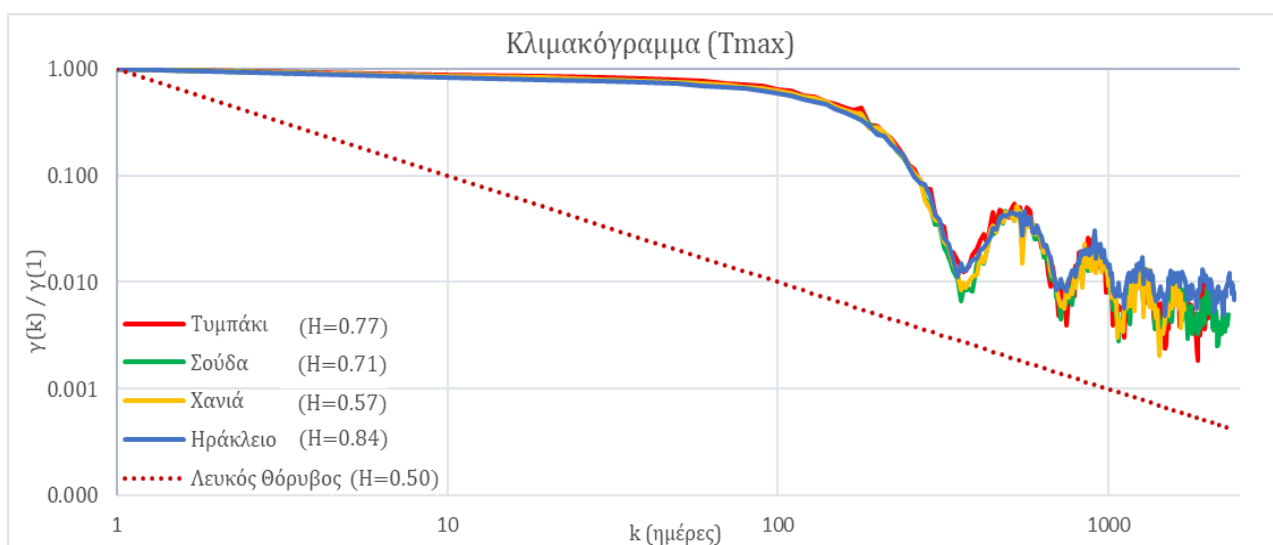
Παρακάτω, στα Σχήματα 5-22, 5-23 και 5-24, παρουσιάζονται τα κλιμακογράμματα της ελάχιστης, της μέσης και της μέγιστης θερμοκρασίας σε ημερήσια κλίμακα. Σχετικά με τη θερμοκρασία, και στα τρία αυτά διαγράμματα από τη κλίμακα $k = 365$ και ύστερα που υποδηλώνει το έτος, είναι εμφανές ότι δημιουργούνται κυματισμοί, που φανερώνουν κυκλοστασιμότητα, δηλαδή την εποχικότητα που υπάρχει στη διεργασία της θερμοκρασίας. Έτσι, προκειμένου να βρεθεί η παράμετρος H , λαμβάνονται υπόψη τα κλιμακογράμματα των ετήσιων χρονοσειρών όπου και η περιοδικότητα αυτή έχει εξαλειφθεί.



Σχήμα 5-22. Κλιμακόγραμμα ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{min}) ημερήσιας κλίμακας (k), για τους σταθμούς Σούδα, Χανιά, Ηράκλειο, Τυμπάκι στο νησί της Κρήτης.



Σχήμα 5-23. Κλιμακόγραμμα ελάχιστης θερμοκρασίας ($T_{average}$) ημερήσιας κλίμακας (k), για τους σταθμούς Σούδα, Χανιά, Ηράκλειο, Τυμπάκι στο νησί της Κρήτης.



Σχήμα 5-24. Κλιμακόγραμμα ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{max}) ημερήσιας κλίμακας (k), για τους σταθμούς Σούδα, Χανιά, Ηράκλειο, Τυμπάκι στο νησί της Κρήτης.

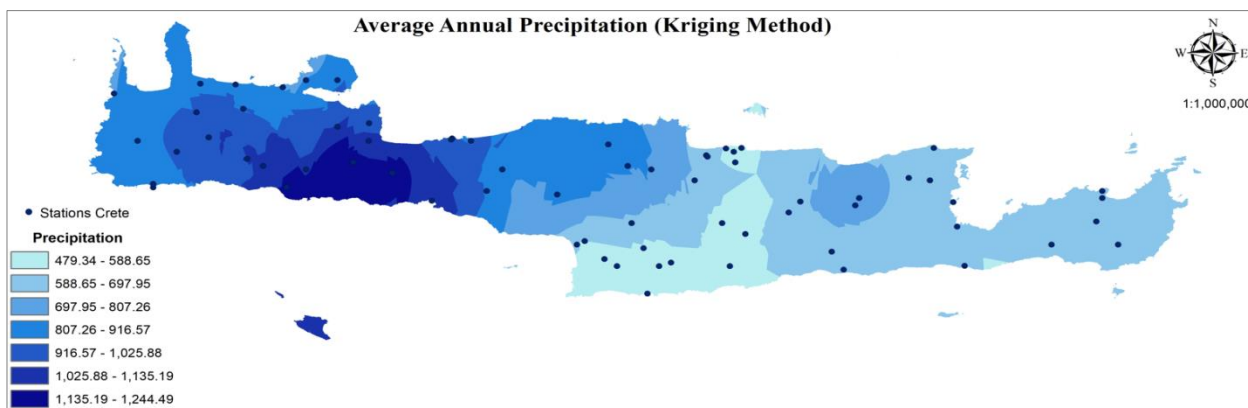
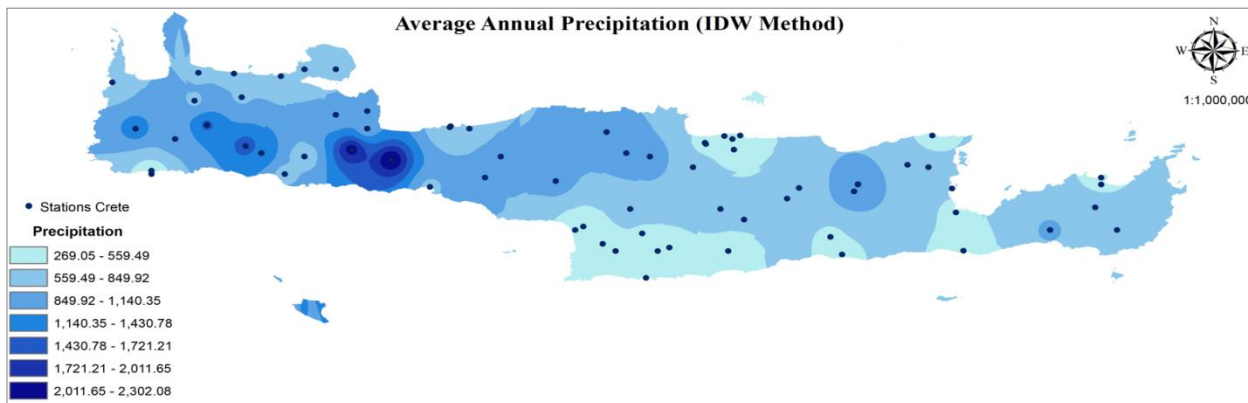
Συμπερασματικά, από τα παραπάνω διαγράμματα εκτιμάται η παράμετρος H , για το ελάχιστο, το μέσο και το μέγιστο κλιμακόγραμμα των τριών διεργασιών της θερμοκρασίας. Προκύπτει, ότι όλες οι διεργασίες παρουσιάζουν συμπεριφορά μακροχρόνιας εμμονής, καθώς ισχύει ότι $H > 0.5$, όπως στις περισσότερες φυσικές διεργασίες, με μέση τιμή της παραμέτρου *Hurst*, ίση με $H_{\text{average}} = 0.78$, όπως έχει αποδειχθεί ότι ισχύει για τη διεργασία της θερμοκρασίας (Glynis et. al., 2021 , Dimitriadis et. al., 2021). Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό, δεδομένου ότι τη θερμοκρασία την χαρακτηρίζει η εποχικότητα, η οποία προκαλεί περιοδικότητα σε επίπεδο έτους, υποδηλώνοντας έτσι παρουσία μακροχρόνιας εμμονής στις μεγάλες κλίμακες με έντονη τη παρουσία μοτίβων και αβεβαιότητα εμφανώς μικρότερη της βροχόπτωσης.

5.2. Αποτελέσματα Χωρικής ανάλυσης

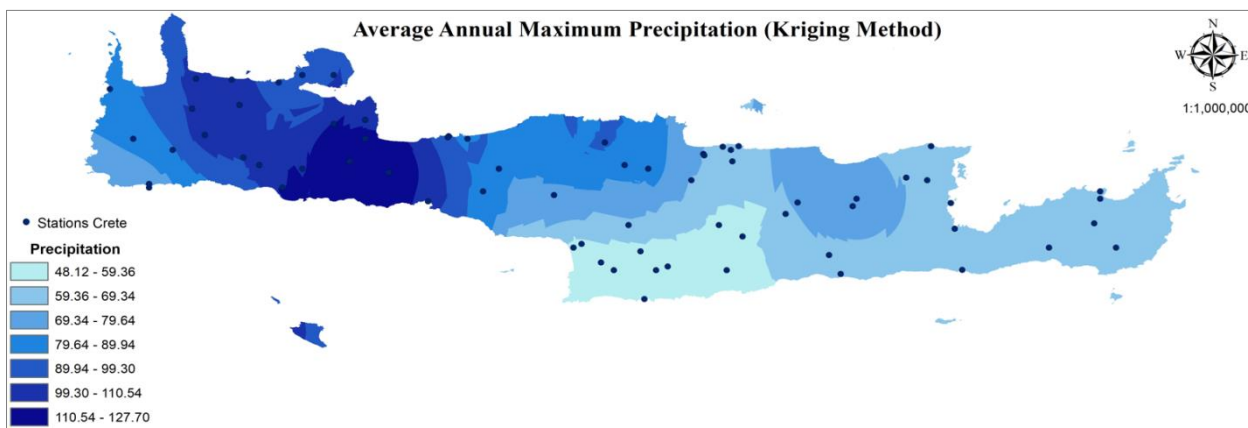
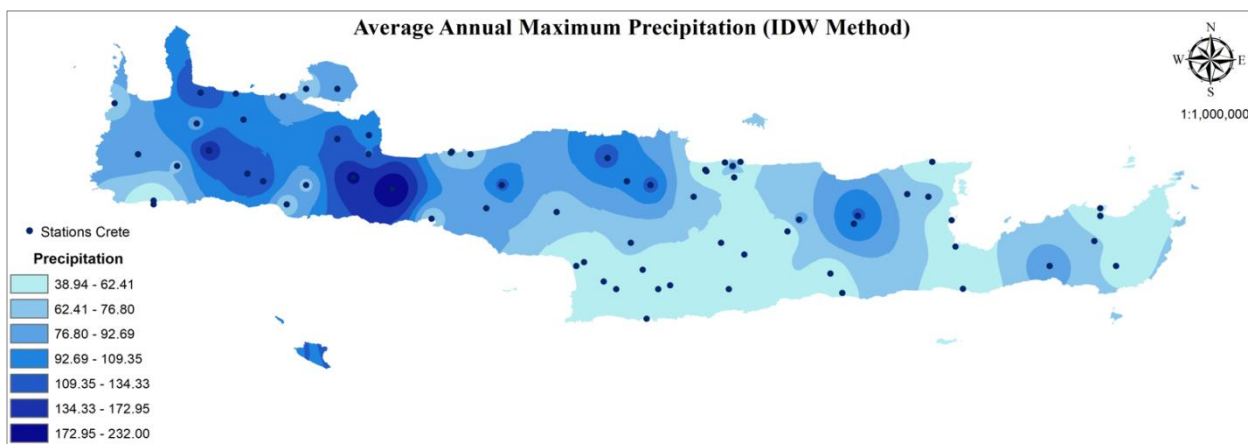
Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής των κλιματικών παραμέτρων της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης, για τους στατιστικούς δείκτες που μελετήθηκαν και παραπάνω, της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης και της μέγιστης ετήσιας τιμής. Η συγκεκριμένη ανάλυση, πραγματοποιείται στα πλαίσια χαρτογράφησης σε περιβάλλον GIS, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής IDW και (Ordinary) Kriging. Τα δεδομένα εισόδου είναι ακριβώς τα ίδια και για τις δύο μεθόδους, καθώς και ο αριθμός των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν. Σκοπός της συγκεκριμένης ανάλυσης, είναι η απεικόνιση του κλίματος μέσω δύο χωρικών μοντέλων, ώστε να προκύψουν ενδεικτικά συμπεράσματα για το νησί της Κρήτης, ώστε να διερευνηθούν τα αποτελέσματα και όχι να πραγματοποιηθεί σύγκριση των μεθόδων αυτών.

5.2.1. Χάρτες μέσης βροχόπτωσης

Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αποτύπωσης των μεθόδων χωρικής παρεμβολής IDW και Kriging, για τη μέση ετήσια βροχόπτωση (Σχήμα 5-25), καθώς και για τη μέση μέγιστη ετήσια βροχόπτωση (Σχήμα 5-26), στο νησί της Κρήτης.



Σχήμα 5-25. Απεικόνιση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.



Σχήμα 5-26. Απεικόνιση της μέσης μέγιστης ετήσιας βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) Kriging.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα για τη βροχόπτωση, προκύπτει πως και οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν μικρές διαφορές σχετικά με τον τρόπο απεικόνισης της παραμέτρου, δίνοντας ξεκάθαρη εικόνα της κατανομής της και των περιοχών οι οποίες δέχονται τα μεγαλύτερα ποσοστά βροχής. Είναι εμφανές, ότι η Δυτική Κρήτη δέχεται συνολικά τα μεγαλύτερα ύψη βροχής σε ετήσια βάση, ενώ από τους χάρτες για τη μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση στο έτος προκύπτει ότι το Δυτικό τμήμα του νησιού είναι και αυτό που δέχεται τα μεγαλύτερα ακραία.

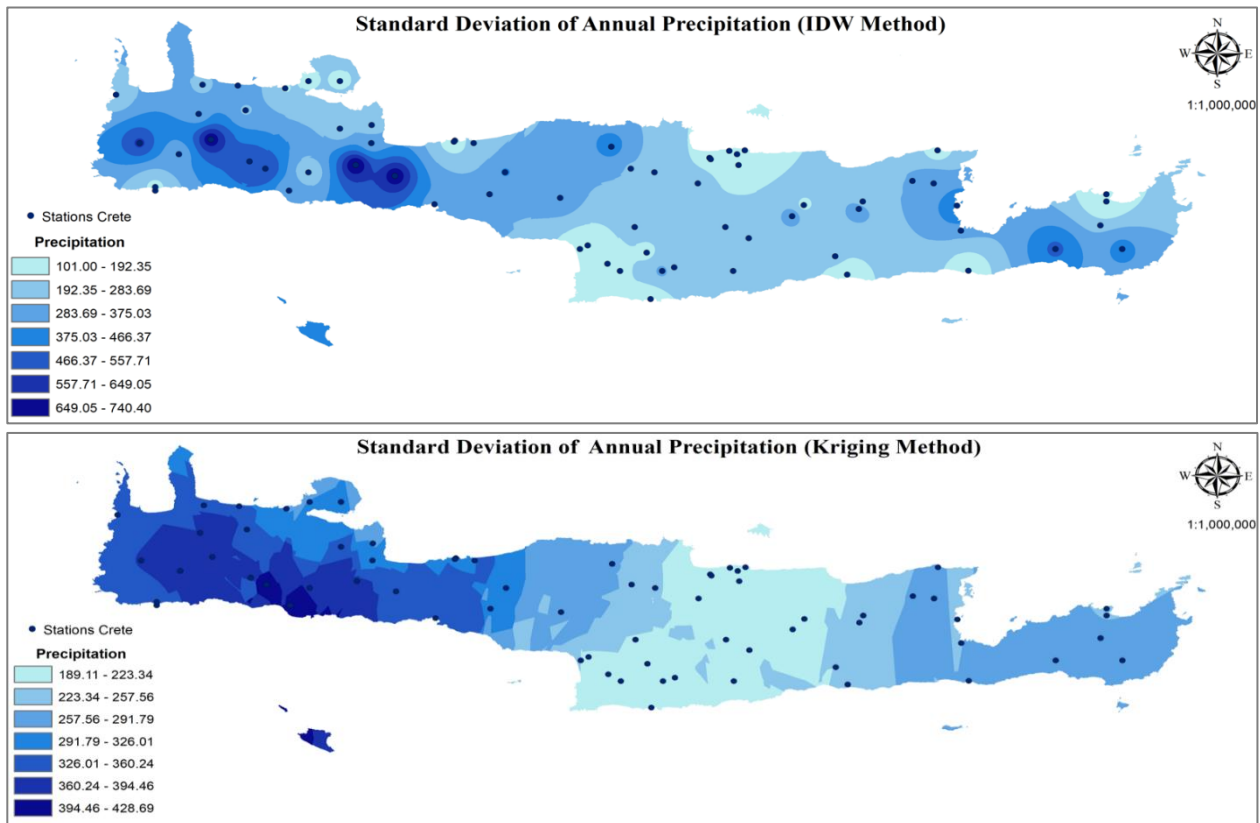
Σύμφωνα με τη μέθοδο IDW, για να υπολογιστεί το ύψος βροχόπτωσης σε οποιοδήποτε σημείο χρησιμοποιούνται οι τιμές που έχουν καταγραφεί στους βροχομετρικούς σταθμούς, δίνοντας μεγαλύτερο ή μικρότερο βάρος σε κάθε σταθμό ανάλογα με το πόσο κοντά ή μακριά βρίσκεται στο εν λόγω σημείο. Αυτό, είναι φανερό και από τους παραπάνω χάρτες, καθώς οπτικοποιείται με μεγάλη ευκρίνεια η ποσότητα βροχόπτωσης που αντιστοιχεί σε κάθε σταθμό και στις περιοχές γύρω από αυτόν, ενώ φαίνεται να δημιουργεί «ζώνες» γύρω από κάθε έναν ή για τις περιοχές που δέχονται βροχόπτωση ίδιας τάξης μεγέθους, κάνοντας ομαλή και αντιληπτή στο μάτι, τη μετάβαση από τη μια τάξη στην άλλη.

Αντιθέτως, η μέθοδος Kriging, ενώ έχει ρυθμιστεί να οπτικοποιεί τα αποτελέσματά της με τον ίδιο αριθμό κλάσεων με την IDW και ενώ αναδεικνύει ευκρινώς την χωρική κατανομή της βροχόπτωσης σε επίπεδο νησιού (από περιοχή σε περιοχή), σε μικρότερη κλίμακα του χώρου, δηλαδή, γύρω από τους σταθμούς, δεν εμφανίζει την ίδια ομαλότητα στα αποτελέσματα, από τον ένα σταθμό στον άλλο, ή για τις περιοχές με απουσία μετρήσεων.

Προκύπτει λοιπόν, ότι η μέθοδος IDW, οπτικοποιεί με μεγαλύτερη ευκρίνεια τα αποτελέσματα των δεδομένων που επεξεργάζεται, δημιουργώντας κυματισμούς γύρω από τους σταθμούς, με τα διαθέσιμα δεδομένα, μεταβαίνοντας ομαλά και σταδιακά από τη μια ζώνη στην άλλη. Η μέθοδος Kriging, από την άλλη, δημιουργεί μεγαλύτερης επιφάνειας χρωματικές ζώνες, καθώς έχει λιγότερες διαβαθμίσεις, κάτι που υποδεικνύει ότι οι αλλαγές είναι πιο απότομες.

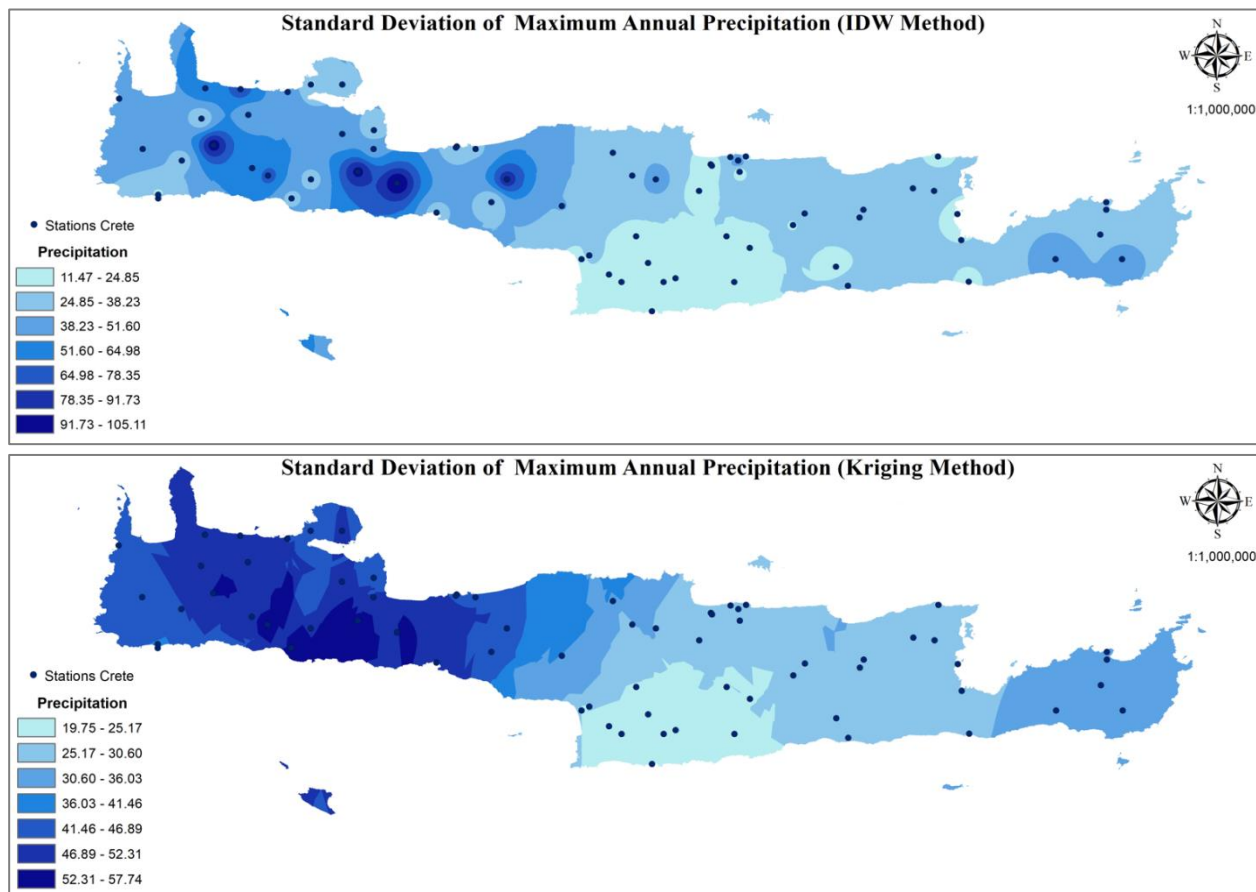
5.2.2. Χάρτες τυπικής απόκλισης βροχόπτωσης

Συνεχίζοντας, παρατίθενται οι χάρτες χωρικής παρεμβολής για τη τυπική απόκλιση της ετήσιας βροχόπτωσης (Σχήμα 5-27) και της μέγιστης ετήσιας βροχόπτωσης (Σχήμα 5-28) στο νησί της Κρήτης.



Σχήμα 5-27. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της ετήσιας βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, η τυπική απόκλιση είναι ένα μέτρο, το οποίο σχετίζεται με τη μεταβλητότητα. Έτσι, καθώς η βροχόπτωση είναι μια φυσική διεργασία θετικά ασύμμετρη, συνήθως αυτό συμβολίζει ότι, υψηλές τιμές τυπικής απόκλισης, αντιστοιχούν και σε μεγάλες ακραίες τιμές βροχόπτωσης. Συνεπώς, δεδομένου ότι εντοπίστηκαν οι μεγαλύτερες ποσότητες μέσης βροχόπτωσης στην Δυτική Κρήτη, όπως αναδείχθηκε και από τα αντίστοιχα διαγράμματα του Κεφαλαίου 5.1, σε αυτές τις περιοχές θα αναμένονταν και οι μεγαλύτερες τιμές της τυπικής απόκλισης, κάτι που επιβεβαιώνεται από τους χάρτες. Επίσης, οι περιοχές όπου εμφανίζονται τα εντονότερα ακραία επεισόδια, δηλαδή οι μέγιστες ετήσιες βροχοπτώσεις, είναι και οι περιοχές με τη μεγαλύτερη της τυπική απόκλιση.

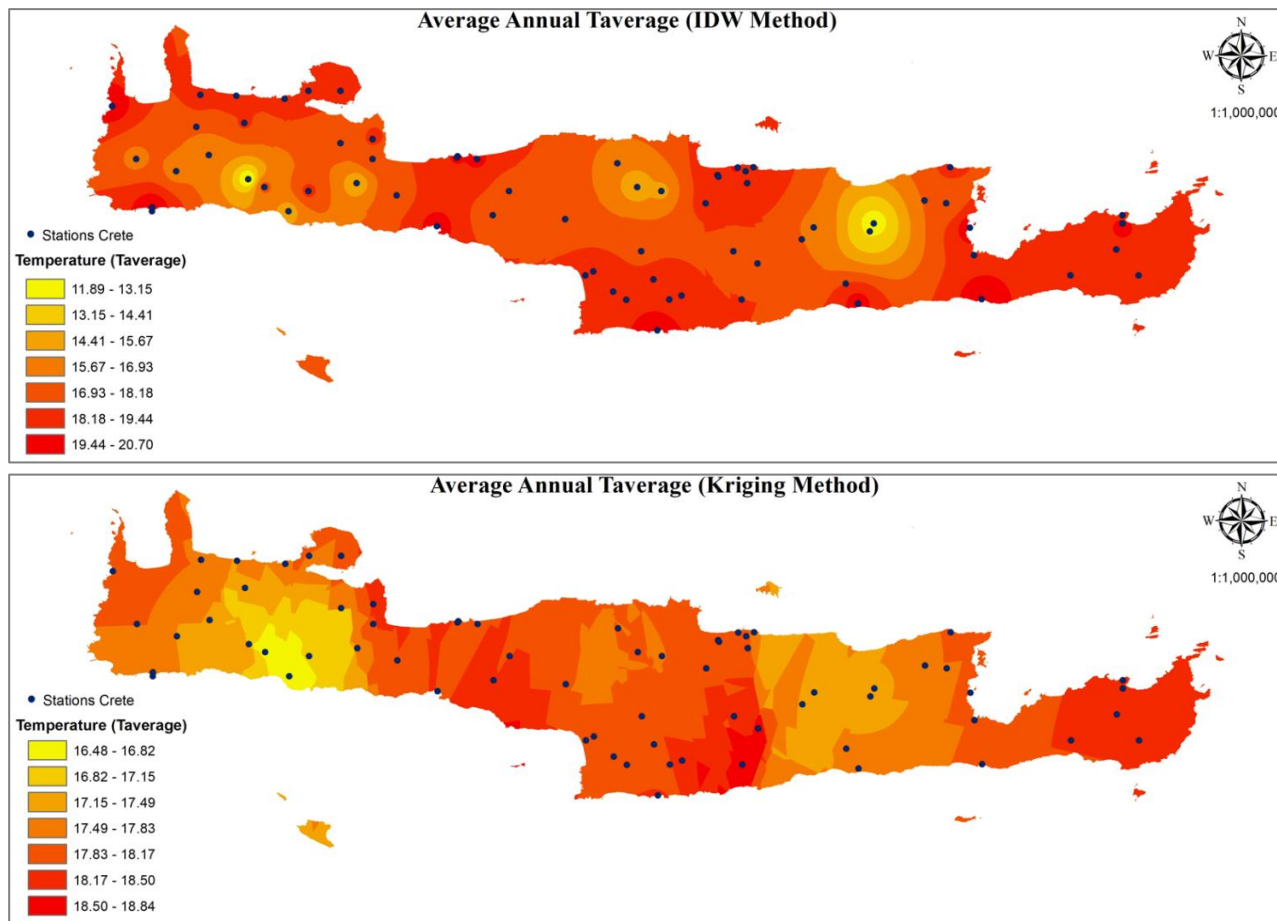


Σχήμα 5-28. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της μέγιστης ετήσιας βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.

Από τους χάρτες της υποενότητας αυτής, προέκυψε σχετικά με τις δύο διαφορετικές μεθόδους χωρικής παρεμβολής, ότι και η μέθοδος αντιστρόφου βαρύνουσας απόστασης (IDW) και η μέθοδος Kriging, απεικονίζουν με μεγάλη ευκρίνεια την κατανομή της βροχόπτωσης χωρικά σε επίπεδο νησιού. Παρ' όλα αυτά η IDW, όπως παρατηρήθηκε, αναπαριστά με μεγαλύτερη σαφήνεια το ύψος βροχόπτωσης που δέχεται κάθε σταθμός, καθώς και οι περιοχές γύρω από αυτόν, όπου υπάρχει απουσία μετρήσεων, ενώ η μέθοδος Kriging δημιουργεί πιο διευρυμένες ζώνες, απεικονίζοντας την τάξη μεγέθους της βροχόπτωσης που δέχεται κάθε περιοχή, χωρίς όμως να εντοπίζεται με ευκρίνεια από ποιο σταθμό προέρχεται το μέγεθος αυτό.

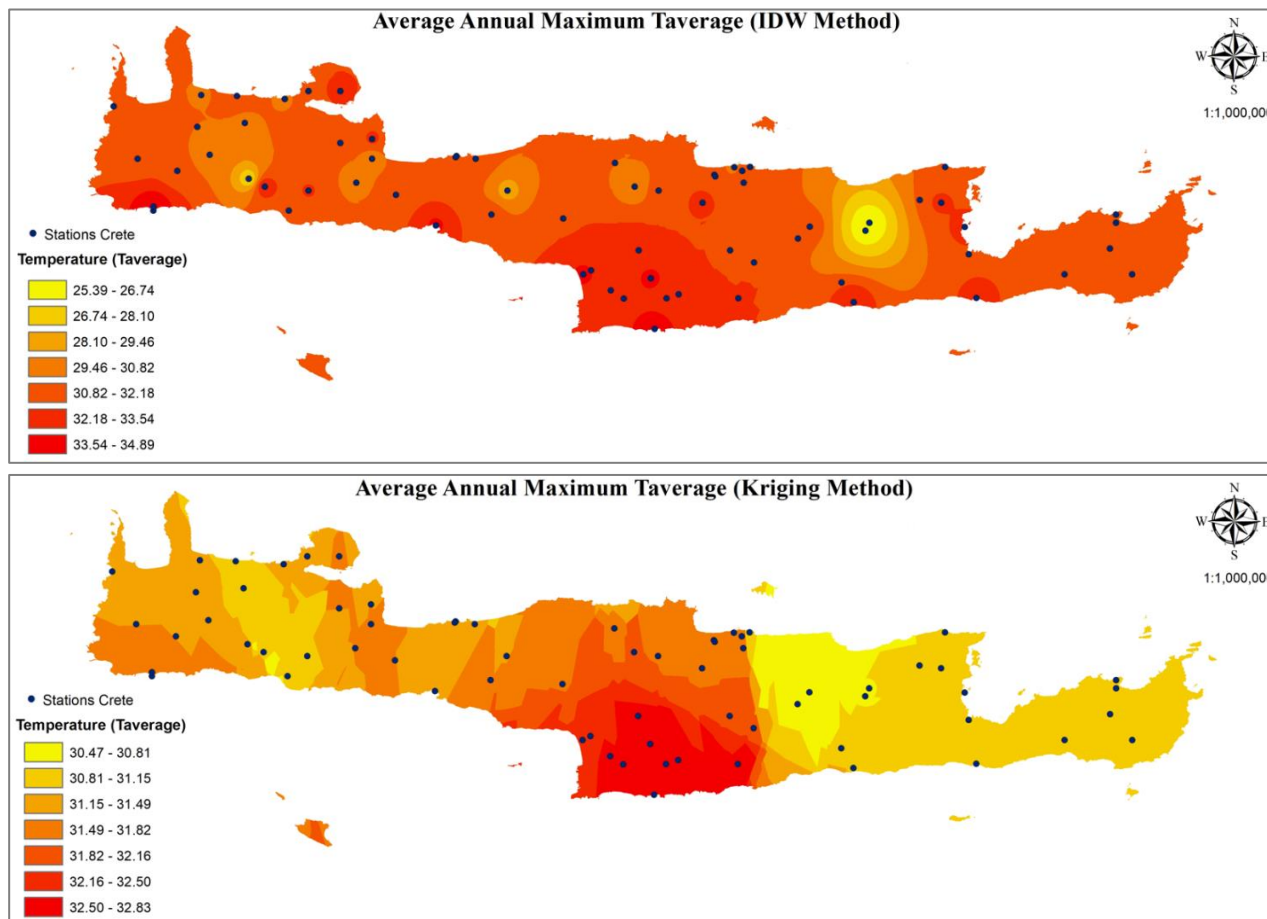
5.2.3. Χάρτες μέσης θερμοκρασίας

Σε αυτήν την υποενότητα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου IDW και Kriging για τη μέση τιμή της ετήσιας (Σχήμα 5-29) καθώς και της μέγιστης ετήσιας (Σχήμα 5-30) μέσης θερμοκρασίας ($T_{average}$), για το νησί της Κρήτης. Να σημειωθεί ότι οι χάρτες αυτοί έχουν δημιουργηθεί επιπλέον για την ελάχιστη (T_{min}), καθώς και για τη μέγιστη ($T_{average}$) θερμοκρασία, ενώ τα αποτελέσματα παρατίθενται στο Παράρτημα Β.



Σχήμα 5-29. Απεικόνιση της μέσης ετήσιας μέσης θερμοκρασίας ($T_{average}$) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.

Στο παραπάνω σχήμα, γίνεται αντιληπτό, και από τις δύο μεθόδους ότι, τις μεγαλύτερες τιμές της μέσης θερμοκρασίας, τις δέχονται οι περιοχές που βρίσκονται στα παράκτια του νησιού, ενώ τα σημεία που εμφανίζονται οι χαμηλές μέσες θερμοκρασίες, αντιστοιχούν σε ορεινές περιοχές. Ομοίως με τη βροχόπτωση, σχετικά με την οπτικοποίηση της μέσης θερμοκρασίας, η μέθοδος IDW δημιουργεί μια πιο ξεκάθαρη εικόνα σχετικά με την τιμή που αντιστοιχεί γύρω από κάθε σταθμό και στην ευρύτερη περιοχή λόγω των «ζωνών» που εμφανίζονται, οι οποίες όσο μεγαλώνει η απόσταση τόσο ομαλά αλλάζει και η απόχρωση, καθιστώντας εμφανή τη σταδιακή αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας. Από την άλλη, η μέθοδος Kriging, σε μικρή κλίμακα του χώρου, δηλαδή στην ευρύτερη περιοχή γύρω από τους σταθμούς, δεν εμφανίζει με την ίδια ευκρίνεια την αυξομείωση αυτή της θερμοκρασίας.

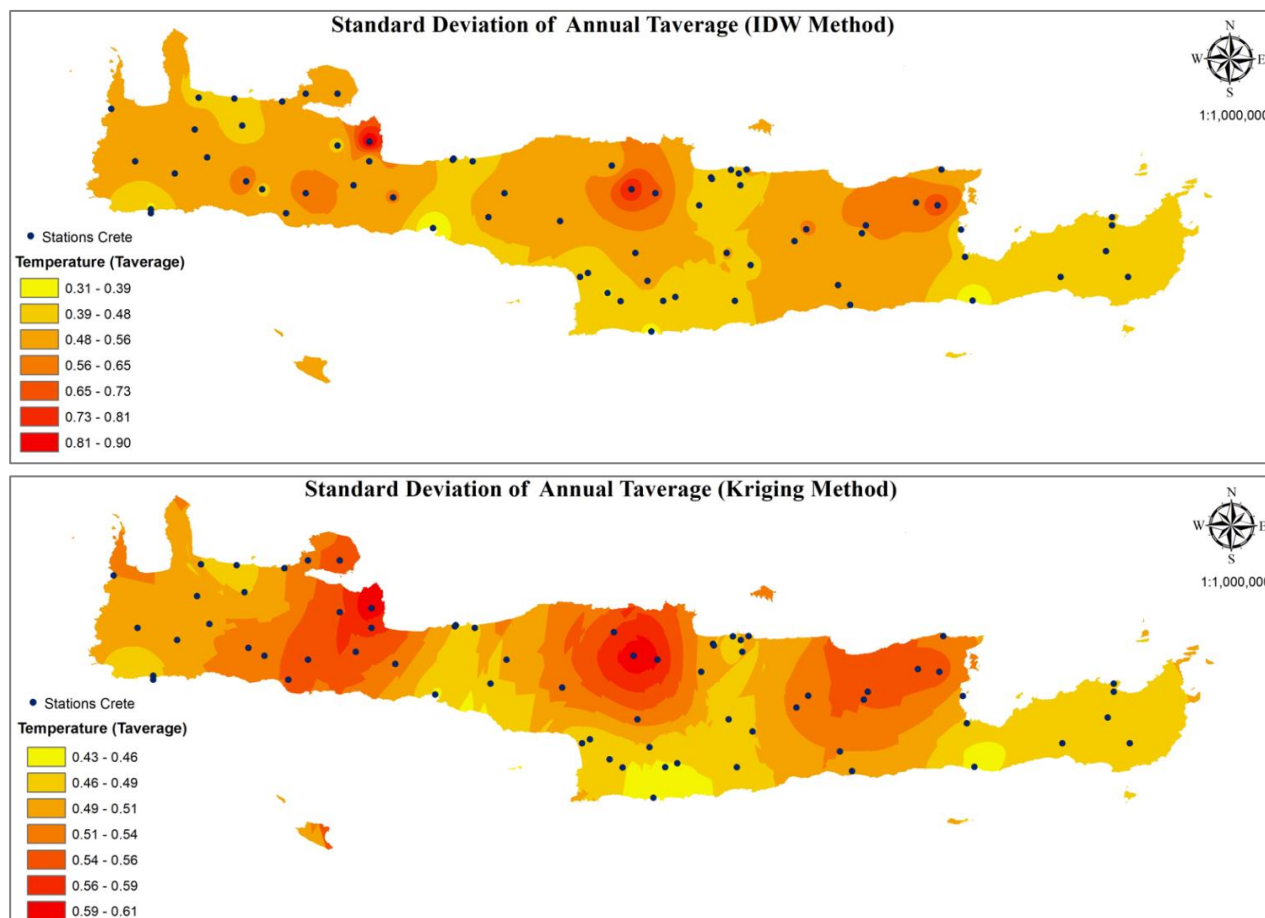


Σχήμα 5-30. Απεικόνιση της μέσης ετήσιας μέσης θερμοκρασίας ($T_{average}$) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.

Αντίστοιχα αποτελέσματα παρουσιάζονται και στο παραπάνω Σχήμα 5-30, όπου εμφανίζεται, και για τις δύο μεθόδους, η μέση τιμή της μέγιστης ετήσιας μέσης θερμοκρασίας ($T_{average}$). Στη συγκεκριμένη ανάλυση προκύπτει από την IDW, επίσης ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες εντοπίζονται στα παράκτια τμήματα του νησιού (κυρίως στα νότια), με έμφαση στο νότιο τμήμα του Ηρακλείου και συγκεκριμένα στη πεδιάδα της Μεσσαράς, ενώ παρατηρείται μείωση των μεγίστων προς τα ορεινά. Από την άλλη, η Kriging εντοπίζει εξίσου τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο ίδιο τμήμα του νότιου Ηρακλείου, επικεντρώνοντας τα μέγιστα κυρίως στη συγκεκριμένη περιοχή, με μειωμένη πληροφορία σχετικά με τις υπόλοιπες παράκτιες περιοχές.

5.2.4. Χάρτες τυπικής απόκλισης θερμοκρασίας

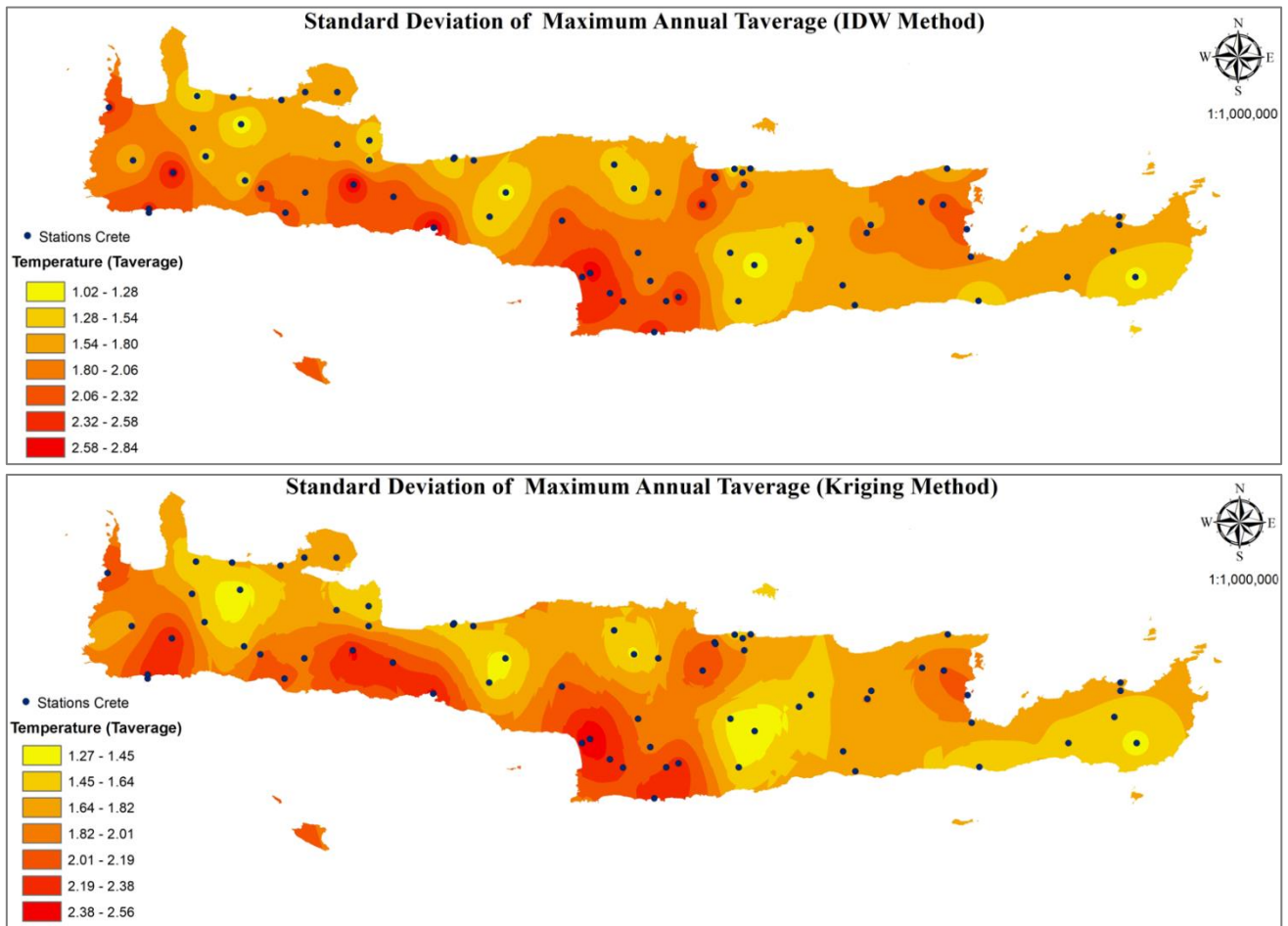
Τέλος, παρατίθενται στους ακόλουθους χάρτες η τυπική απόκλιση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας (Σχήμα 5-31) και της μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας (Σχήμα 5-32).



Σχήμα 5-31. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας ($T_{average}$) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.

Στους συγκεκριμένους χάρτες σχετικά με την τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας οι δύο μέθοδοι παρουσιάζουν ελάχιστες διαφορές μεταξύ τους, σε σχέση με τις προηγούμενες υποενότητες, με τη μέθοδο Kriging, αυτή τη φορά, να δίνει πιο ξεκάθαρα αποτελέσματα ως προς την χωρική αυξομείωση της θερμοκρασίας, που θυμίζουν αυτά της μεθόδου IDW.

Όπως προέκυψε και από τα αποτελέσματα του Κεφαλαίο 5.1.3., για τη σχέση που αναπτύσσουν μεταξύ τους, η μέση τιμή με τη τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας, εντοπίστηκε πολύ μικρή τιμή του δείκτη προσδιορισμού R^2 , που υποδηλώνει την μη ύπαρξη γραμμικής σχέσης μεταξύ των δύο στατιστικών δεικτών της σχετικής παραμέτρου. Αυτό εκδηλώνεται και από το παραπάνω σχήμα, καθώς οι υψηλότερες τιμές της τυπικής απόκλισης της ετήσιας μέσης θερμοκρασίας δεν εντοπίζονται στις περιοχές που εντοπίστηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες, κάτι που αντιθέτως, αναδείχθηκε ότι συμβαίνει με τη βροχόπτωση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση (Σχήμα 5-31), φαίνεται ότι οι υψηλότερες τιμές της τυπικής απόκλισης εντοπίζονται στις περιοχές όπου αλλάζει σταδιακά το υψόμετρο, δηλαδή και η θερμοκρασία, καθώς είναι μια παράμετρος που όπως έχει αναλυθεί, σχετίζεται άμεσα με τη μεταβλητότητα.



Σχήμα 5-32. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της μέγιστης ετήσιας μέσης θερμοκρασίας ($T_{average}$) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.

Σχετικά με την τυπική απόκλιση της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας, για τον ίδιο λόγο με παραπάνω, προκύπτει ότι οι μέγιστες τιμές της εντοπίζονται στις περιοχές όπου εμφανίστηκαν και οι υψηλότερες μέγιστες ετήσιες θερμοκρασίες και συγκεκριμένα στις νότιες παράκτιες περιοχές κυρίως του Ηρακλείου και των Χανίων, που εκδηλώνουν και τις ακραίες τιμές του έτους, τιμές δηλαδή που αποκλίνουν από τις μέσες ετήσιες τιμές που έχουν παρατηρηθεί.

6. Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε χωροχρονική ανάλυση της υδροκλιματικής μεταβλητότητας για το νησί της Κρήτης, όπου αναλύθηκαν συγκεκριμένα οι διεργασίες της βροχόπτωσης, καθώς και της ελάχιστης, μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας, με χρήση στατιστικών και στοχαστικών μεθόδων, καθώς και με χρήση μεθόδων χωρικής παρεμβολής.

Από την ανάλυση αυτή, προέκυψαν κάποια γενικά συμπεράσματα για τη χρονική περίοδο που ελέγχθηκε, τόσο για τη χρονική κατανομή των διεργασιών που μελετώνται, δηλαδή της διακύμανσής τους συναρτήσει του χρόνου, όσο και για τη χωρική κατανομή των διεργασιών στο νησί. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι σε αρκετές περιοχές του νησιού, παρουσιάζονται ελλείψεις στα υδροκλιματικά δεδομένα για ορισμένα έτη. Για τον λόγο αυτό, είναι πιθανό να υπάρχουν σφάλματα στα αποτελέσματα που προκύπτουν, παρ' όλα αυτά η μελέτη πραγματοποιείται ως έχει, με όσα δεδομένα είναι διαθέσιμα. Οι ελλείψεις αυτές, οφείλονται κυρίως στη μη επαρκή κάλυψη των περιοχών αυτών από δίκτυα μετεωρολογικών σταθμών καθώς και σε δυσλειτουργία των οργάνων συλλογής των μετρήσεων για ορισμένο χρονικό διάστημα.

Από τη χωροχρονική ανάλυση, για τη χρονική περίοδο 1950-2021, επιβεβαιώνεται ότι υπάρχει ισχυρή ανισοκατανομή του ετησίου όγκου βροχόπτωσης, τόσο γεωγραφικά (με αύξηση από τα ανατολικά προς τα δυτικά, όσο και φυσιογραφικά (από τις πεδινές προς τις ορεινές περιοχές), εμφανίζοντας βροχοβαθμίδα από τις μεγαλύτερες της Ελλάδας. Το μεγαλύτερο ύψος μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για τη περίοδο μελέτης εντοπίστηκε στον σταθμό Ασή Γωνιά Χανίων (380 m), ο οποίος να σημειωθεί ότι εξετάστηκε για περίοδο λειτουργίας μόνο τεσσάρων ετών, καθώς η χρονολογία έναρξής του είναι από το 2017. Παρ' όλα αυτά για τα μόλις τέσσερα χρόνια λειτουργίας του προκύπτει ότι ξεπερνά τον σταθμό Ασκύφου Χανίων (715 m), που αποτελεί τον ακριβώς επόμενο σταθμό που δέχεται τόσο μεγάλα ύψη βροχής σε ετήσια βάση. Με παρόμοιο τρόπο εντοπίστηκε ότι συμπεριφέρεται και η μέγιστη ετήσια βροχόπτωση, που αντιστοιχεί στις ακραίες τιμές που δέχεται κάθε σταθμός στο έτος, με τις υψηλότερες τιμές επίσης να εντοπίζονται στην Ασή Γωνιά και ακολούθως στο Ασκύφου.

Δεδομένου ότι η τυπική απόκλιση είναι ένα μέτρο που μελετά τη μεταβλητότητα, προέκυψε ότι οι περιοχές που δέχονται τα μεγαλύτερα ύψη βροχής ετησίως, καθώς και τα πιο ακραία επεισόδια της διεργασίας αυτής, είναι και οι περιοχές που εμφανίζεται να έχουν τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση της βροχόπτωσης. Από όλα τα παραπάνω αποτελέσματα, καθίσταται σαφές ότι στην Δυτική Κρήτη εντοπίζονται κατά μεγάλο βαθμό τα μεγαλύτερα ύψη βροχής ετησίως, καθώς και τα περισσότερα ακραία, συγκριτικά με την Ανατολική, με το υψόμετρο να αποτελεί καθοριστικό παράγοντα, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι η υψηλότερη περιοχή της Κρήτης, δέχεται το μεγαλύτερο ποσοστό βροχής από όλες τις υπόλοιπες και αντιθέτως.

Στη συνέχεια της ανάλυσης, επιβεβαιώθηκε διερευνώντας την επίδραση του υψομέτρου στην θερμοκρασία, ότι αυτή μειώνεται όσο το υψόμετρο αυξάνεται, με ομοιόμορφη πτωτική τάση και για την ελάχιστη (T_{\min}), τη μέση (T_{average}) και μέγιστη (T_{\max}) θερμοκρασία, η οποία αντιστοιχεί στην προβλεπόμενη τιμή του ρυθμού μεταβολής της θερμοκρασίας με το υψόμετρο (μείωση της θερμοκρασίας κατά $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ανά αύξηση υψομέτρου κατά 1000 m (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 2016).

Ακολούθως, από τη μελέτη της σχέσης μέσης τιμής (μ) και τυπικής απόκλισης (σ), για ημερήσια, μηνιαία και ετήσια δεδομένα, επιβεβαιώθηκε η μεγάλη σχέση που αναπτύσσουν για τη διεργασία της βροχόπτωσης, κάτι που γίνεται αντιληπτό και από τις υψηλές τιμές που προέκυψαν για τον δείκτη προσδιορισμού R^2 (coefficient of determination), καθώς παρουσιάζουν μεταξύ τους γραμμική σχέση. Εντοπίστηκε ότι, όσο αυξάνεται η κλίμακα του χρόνου, από ημερήσια σε μηνιαία

και ετήσια, τόσο μειώνεται η σχέση που αναπτύσσουν μεταξύ τους, καθώς εξομαλύνονται τα ακραία επεισόδια βροχόπτωσης.

Αντιθέτως, για τη θερμοκρασία, προέκυψε ότι μεταξύ της μέσης τιμής και τυπικής απόκλισής της, δεν αναπτύσσεται σχέση, κάτι που εντοπίστηκε και από το R^2 , που λαμβάνει τιμές κοντά στο μηδέν και για τις τρεις κλίμακες του χρόνου που μελετήθηκαν, καθώς και για τις τρεις περιπτώσεις της θερμοκρασίας (T_{\min} , T_{average} , T_{\max}), δεδομένου ότι πρόκειται για μια μεταβλητή, με ελάχιστες μεταβολές ανά τα χρόνια. Επίσης, καταδείχθηκε ότι οι μηνιαίες τιμές της τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας παρουσιάζουν τιμές πολύ κοντινές σε αυτές της ημερήσιας, κάτι που μπορεί να δικαιολογηθεί διότι, σε επίπεδο μήνα εξακολουθεί να επικρατεί ο παράγοντας της εποχικότητας, με τη θερμοκρασία να αποτελεί μια παράμετρο που χαρακτηρίζεται από την περιοδικότητα για κάθε εποχή του χρόνου.

Ακολούθως, καθώς εξετάστηκε η κλιματική διακύμανση της βροχόπτωσης και θερμοκρασίας στην Κρήτη, σε κλίμακες ετήσιας βάσης, 10ετίας και 30ετίας, προέκυψε ότι στη συμπεριφορά της βροχόπτωσης (τόσο της μέσης όσο και της μέγιστης ετήσιας), δεν εντοπίστηκαν έντονες μεταβολές (trends), οι οποίες με την πάροδο του χρόνου μοιάζουν ασήμαντες, γεγονός που υποδηλώνει στασιμότητα. Καταδεικνύεται λοιπόν, ότι η μεταβλητότητα και τα ακραία, μειώνονται όσο η χρονική κλίμακα αυξάνεται.

Σχετικά με τη θερμοκρασία της περιόδου 1961-2020, παρατηρήθηκε ότι και οι τρεις μετρήσεις της θερμοκρασίας παρουσιάζουν ασταθής συμπεριφορά, με έντονες διακυμάνσεις στην κλιματική κλίμακα κατά τη διάρκεια των ετών, οι οποίες όμως μειώνονται όσο η χρονική κλίμακα αυξάνεται. Εντοπίστηκε από το έτος 1990 και ύστερα, μια μικρή ανοδική τάση στις τιμές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και για τις τρεις μετρήσεις της (T_{\min} , T_{average} , T_{\max}), με τη μεγαλύτερη αύξηση αναλογικά με τις υπόλοιπες να εντοπίζεται στην ελάχιστη θερμοκρασία, της τάξεως των περίπου $0.55\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε επίπεδο 30ετίας. Αντίστοιχα, η μέγιστη ετήσια θερμοκρασία, παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή της μέσης ετήσιας, με τη τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας, να είναι αυτή μόνο που παρουσιάζει ανοδική τάση από το έτος 1990 και ύστερα, της τάξεως του $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Παρατηρείται δηλαδή, ότι η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή αύξηση είναι στις ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας, καταδεικνύοντας ότι ο ρυθμός αύξησης της ελάχιστης θερμοκρασίας είναι πιο σημαντικός, ενώ προκύπτει το συμπέρασμα ότι δεν αυξάνονται τόσο οι μέγιστες θερμοκρασίες, όσο μειώνονται οι ελάχιστες.

Κατά την στοχαστική ανάλυση, μέσω της μεθόδου του κλιμακογράμματος, για τους τέσσερις σταθμούς όπου βρέθηκαν διαθέσιμα δεδομένα άνω των 30 χρόνων (Ηράκλειο, Σούδα, Χανιά, Τυμπάκι), προέκυψε ότι η παράμετρος Hurst, λαμβάνει τιμές άνω του 0.5, όπως και αναμένεται για τις περισσότερες φυσικές διεργασίες. Για τη βροχόπτωση συμπεραίνεται ότι, με τη πάροδο του χρόνου αφενός αποτελεί μια παράμετρο που βασίζεται στην τυχαιότητα, κάτι που καταδεικνύεται και από τις τιμές της, οι οποίες πλησιάζουν αυτή του λευκού θορύβου ($H = 0.5$), και αφετέρου η συμπεριφορά της αναπτύσσει αυξημένη παρουσία μοτίβων και αβεβαιότητας. Για τη θερμοκρασία, εντοπίστηκαν ακόμα υψηλότερες τιμές του H , υποδηλώνοντας έτσι παρουσία μακροχρόνιας εμμονής σε μεγάλες κλίμακες, αποτέλεσμα που θεωρείται λογικό, δεδομένου της εποχικότητας που τη χαρακτηρίζει, η οποία προκαλεί μια επαναλαμβανόμενη συμπεριφορά.

Τέλος, κατά την χωρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS, μέσω χαρτογράφησης για τις μεθόδους χωρικής παρεμβολής αντιστρόφου βαρύνουσας απόστασης (IDW) και Kriging για το νησί της Κρήτης, καθίσταται σαφές και από τις δύο μεθόδους, ότι το Δυτικό τμήμα του νησιού, συγκριτικά με το Ανατολικό, είναι αυτό που δέχεται τα μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης, καθώς και τα περισσότερα ακραία επεισόδια. Το ίδιο ισχύει και για τη τυπική απόκλιση της βροχόπτωσης, δεδομένου ότι αναπτύσσεται μεταξύ τους μια γραμμική σχέση. Όσων

αφορά τη θερμοκρασία, και οι δύο μέθοδοι δείχνουν ότι τα παράκτια τμήματα του νησιού, είναι αυτά που δέχονται τις υψηλότερες τιμές, με έμφαση στο νότιο κομμάτι, ενώ η μέγιστη ετήσια θερμοκρασία εντοπίζεται στο νότιο Ηράκλειο και συγκεκριμένα στη πεδιάδα της Μεσσαράς.

Στους χάρτες που αναλύθηκαν, οι περιοχές με την ελάχιστη θερμοκρασία, είναι αυτές που αντιστοιχούν σε ορεινές περιοχές, που επιβεβαιώνοντας το συμπέρασμα, ότι οι τιμές της θερμοκρασίας είναι αντιστρόφως ανάλογες του υψομέτρου. Οι χάρτες τυπικής απόκλισης της θερμοκρασίας δεν ακολουθούν το ίδιο μοτίβο με εκείνους της μέσης θερμοκρασίας, με τις υψηλότερες τιμές να εντοπίζονται γύρω από περιοχές που το υψόμετρο αυξάνει, καθώς πρόκειται για περιοχές που εντοπίζεται μεγάλη διακύμανση της θερμοκρασίας.

Κλείνοντας, και συγκρίνοντας τις δύο μεθόδους, προκύπτει ότι, σχετικά με τη βροχόπτωση, αυτές αντικατοπτρίζουν με μεγάλη ευκρίνεια τη χωρική διακύμανσή της σε όλο το νησί, καθώς και την κατανομή της από περιοχή σε περιοχή. Η μέθοδος IDW εμφανίζει πιο πλήρη αποτελέσματα σε τοπικό επίπεδο, δηλαδή γύρω από κάθε σταθμό, ενώ προσομοιώνει με σαφήνεια και τις γύρω περιοχές στις οποίες υπάρχει απουσία μετρήσεων, δημιουργώντας χρωματικές ζώνες, που υποδηλώνουν τη μετάβαση από τη μια τάξη μεγέθους στην άλλη, ενώ η μέθοδος Kriging, σε επίπεδο νησιού, επίσης δείχνει ξεκάθαρα την αυξομείωση της βροχόπτωσης από τα ανατολικά στα δυτικά και από τα πεδινά στα ορεινά, δημιουργώντας πιο μεγάλες επιφάνειες.

Ομοίως με τη βροχόπτωση, η διακύμανση της θερμοκρασίας, οπτικοποιείται με μεγάλη ευκρίνεια και για τις 2 μεθόδους σε όλο το σύνολο του νησιού, με τη μέθοδο IDW να δημιουργεί ζώνες, οι οποίες όσο αλλάζει σταδιακά η θερμοκρασία, τόσο ομαλά αλλάζει και η απόχρωση, ενώ η μέθοδος Kriging δημιουργεί πιο διευρυμένες επιφάνειες γύρω από τους σταθμούς, δίνοντας εξίσου σαφή πληροφορία.

7. Αναφορές

- Agou, V. D., Varouchakis, E. A., & Hristopoulos, D. T. (2019). Geostatistical analysis of precipitation in the island of Crete (Greece) based on a sparse monitoring network. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-24.
- Ahmed, S. (2007). Application of geostatistics in hydrosociences. *Groundwater: resource evaluation, augmentation, contamination, restoration, modeling and management*, 78-111.
- Akoumianaki, O., Iliopoulou, T., Dimitriadis, P., Varouchakis, E., & Koutsoyiannis, D. (2021, April). Stochastic analysis of the spatial stochastic structure of precipitation in the island of Crete, Greece. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-4640).
- Apaydin, H., Anli, A. S., & Ozturk, F. (2011). Evaluation of topographical and geographical effects on some climatic parameters in the Central Anatolia Region of Turkey. *International Journal of Climatology*, 31(9), 1264-1279.
- Armstrong, M. (1998). Basic linear geostatistics. Springer Science & Business Media.
- Blöschl, G., Ardoin-Bardin, S., Bonell, M., Dorninger, M., Goodrich, D., Gutknecht, D., ... & Szolgay, J. (2007). At what scales do climate variability and land cover change impact on flooding and low flows?. *Hydrological processes*, 21(9), 1241-1247.
- Burrough P A and McDonnell R A 1998 Principles of Geographical Information Systems. Oxford, Oxford University Press.
- Chen, F. W., & Liu, C. W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment*, 10, 209-222.
- Clark, I. and Harper, W.V., 2000. Practical geostatistics 2000. Columbus, OH: Ecosse North America Llc.
- CLC 2012, CORINE Land Cover, 2012. (Available at [https:// land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012](https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012)).
- Delbari, M., Afrasiab, P., & Jahani, S. (2013). Spatial interpolation of monthly and annual rainfall in northeast of Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 122, 103-113.
- Deutsch, C. V., & Journel, A. G. (1992). Geostatistical software library and user's guide. Oxford University Press, 8(91), 0-1.
- Dimitriadis, P., & Koutsoyiannis, D. (2015). Climacogram versus autocovariance and power spectrum in stochastic modelling for Markovian and Hurst–Kolmogorov processes. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 29, 1649-1669.
- Dimitriadis, P., Koutsoyiannis, D., Iliopoulou, T. and Papanicolaou, P., 2021. A global-scale investigation of stochastic similarities in marginal distribution and dependence structure of key hydrological-cycle processes. *Hydrology*, 8(2), p.59.
- Donta, A. A., Lange, M. A., & Herrmann, A. (2005). Water on Mediterranean Islands: Current conditions and prospects for sustainable management, Report on Crete. In *ZUF0-Reports* (Vol. 5).
- Fotheringham AS, Brunson C, Charlton M (2002) Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationship. Wiley, New York
- Fotheringham, A. S., & O'Kelly, M. E. (1989). Spatial interaction models: formulations and applications (Vol. 1, p. 989). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Georgakakos, K. P., & Bras, R. L. (1984). A hydrologically useful station precipitation model: 1. Formulation. *Water Resources Research*, 20(11), 1585-1596.
- Gilbert, R. O., Simpson, J. C., Kinnison, R. R., & Engel, D. W. (1983). Statistics for NAEG: past efforts, new results, and future plans (No. PNL-SA-11423; CONF-830610-1). Pacific Northwest Lab., Richland, WA (USA).
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical research letters*, 33(8).
- Giorgi, F., & Lionello, P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and planetary change*, 63(2-3), 90-104.
- Glynis, K. G., Iliopoulou, T., Dimitriadis, P., & Koutsoyiannis, D. (2021). Stochastic investigation of daily air temperature extremes from a global ground station network. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 35, 1585-1603.
- Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of hydrology*, 228(1-2), 113-129.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press on Demand.
- Gringarten, E., & Deutsch, C. V. (2001). Teacher's aide variogram interpretation and modeling. *Mathematical Geology*, 33, 507-534.
- Heine, G. W. (1986). A controlled study of some two-dimensional interpolation methods. *COGS Computer Contributions*, 3(2), 60-72.
- Hurst HE (1951) Long term storage capacities of reservoirs. *Trans. Am. Soc. Civil Engrs.* 116, 776–808.
- Hutchinson, M.F., Nix, H.A., McMahon, J.P., Ord, K.D. (1996). The development of a topographic and climate database for Africa. In *Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*; Santa Fe, NM (pp. 210–222). Santa Barbara: national center for geographic information analysis, University of California.
- Iliopoulou, T., Papalexiou, S. M., Markonis, Y., & Koutsoyiannis, D. (2018). Revisiting long-range dependence in annual precipitation. *Journal of Hydrology*, 556, 891-900.
- IPCC. (2007) . Summary for Policymakers, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge.
- Iliopoulou, T. and Koutsoyiannis, D., 2020. Projecting the future of rainfall extremes: Better classic than trendy. *Journal of Hydrology*, 588, p.125005.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). *Applied geostatistics* (Vol. 561). New York: Oxford university press.
- Jeffrey, S. J., Carter, J. O., Moodie, K. B., & Beswick, A. R. (2001). Using spatial interpolation to construct a comprehensive archive of Australian climate data. *Environmental Modelling & Software*, 16(4), 309-330.
- Journel, A. G. (1978). Huijbregts. Ch. J. *Mining geostatistics.*, 324-343.
- Karlin, Samuel, and William J. Studden. *Tchebycheff systems: With applications in analysis and statistics*. Vol. 15. Interscience Publishers, 1966.
- Kitanidis, P. K. (1997). *Introduction to geostatistics: applications in hydrogeology*. Cambridge

university press.

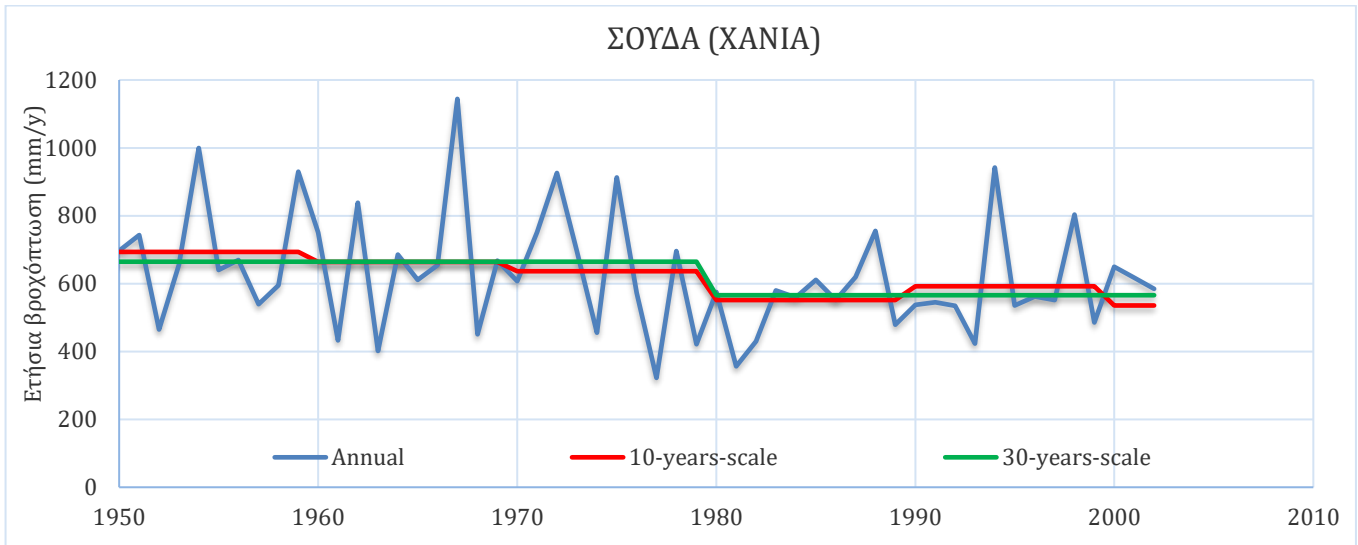
- Kolmogorov, A. N. (1940). Wiener'sche spiralen und einige andere interessante kurven in hilbertschen raum, cr (doklady). *Acad. Sci. URSS (NS)*, 26, 115-118.
- Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2015). Groundwater contamination risk assessment in Crete, Greece, using numerical tools within a GIS framework. *Hydrological Sciences Journal*, 60(1), 111-132.
- Koutroulis, A. G., Vrohidou, A. E. K., & Tsanis, I. K. (2011). Spatiotemporal characteristics of meteorological drought for the island of Crete. *Journal of Hydrometeorology*, 12(2), 206-226.
- Koutsoyiannis, D., & Kundzewicz, Z. W. (2020). Atmospheric temperature and CO₂: hen-or-egg causality?. *Sci*, 2(4), 83.
- Koutsoyiannis, D. (2003). Climate change, the Hurst phenomenon, and hydrological statistics. *Hydrological Sciences Journal*, 48(1), 3-24.
- Koutsoyiannis, D. (2013). Encolpion of stochastics: Fundamentals of stochastic processes. *Lecture Notes of Stochastics, Version*, 5.
- Koutsoyiannis, D. (2013). Hydrology and change. *Hydrological Sciences Journal*, 58(6), 1177-1197.
- Koutsoyiannis, D. (2010). HESS Opinions" A random walk on water". *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(3), 585-601.
- Koutsoyiannis, D. (2021). Rethinking climate, climate change, and their relationship with water. *Water*, 13(6), 849.
- Koutsoyiannis, D. "Stochastics of Hydroclimatic Extremes." (2020).
- Koutsoyiannis, D. (2002). The Hurst phenomenon and fractional Gaussian noise made easy. *Hydrological Sciences Journal*, 47(4), 573-595.
- Kozanis, S., Christofides, A., Mamassis, N., Efstratiadis, A., & Koutsoyiannis, D. (2010). Hydrognomon—open source software for the analysis of hydrological data. *Proceedings of the European Geosciences Union (EGU) General Assembly, Vienna, Austria*, 2(7).
- Li, J., & Heap, A. D. (2008). A review of spatial interpolation methods for environmental scientists.
- Li, J., & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*, 53, 173-189.
- Lloyd, C. D. (2005). Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain. *Journal of Hydrology*, 308(1-4), 128-150.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2001). *Geographic Information Systems and Science* Wiley.
- Lu, G. Y., & Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & geosciences*, 34(9), 1044-1055.
- Luterbacher, J., Xoplaki, E., Casty, C., Wanner, H., Pauling, A., Küttel, M., ... & Ladurie, E. L. R. (2006). Mediterranean climate variability over the last centuries: a review. *Developments in Earth and environmental Sciences*, 4, 27-148.
- Malamos, N., & Koutsoyiannis, D. (2016). Bilinear surface smoothing for spatial interpolation with optional incorporation of an explanatory variable. Part 1: Theory. *Hydrological Sciences*

Journal, 61(3), 519-526.

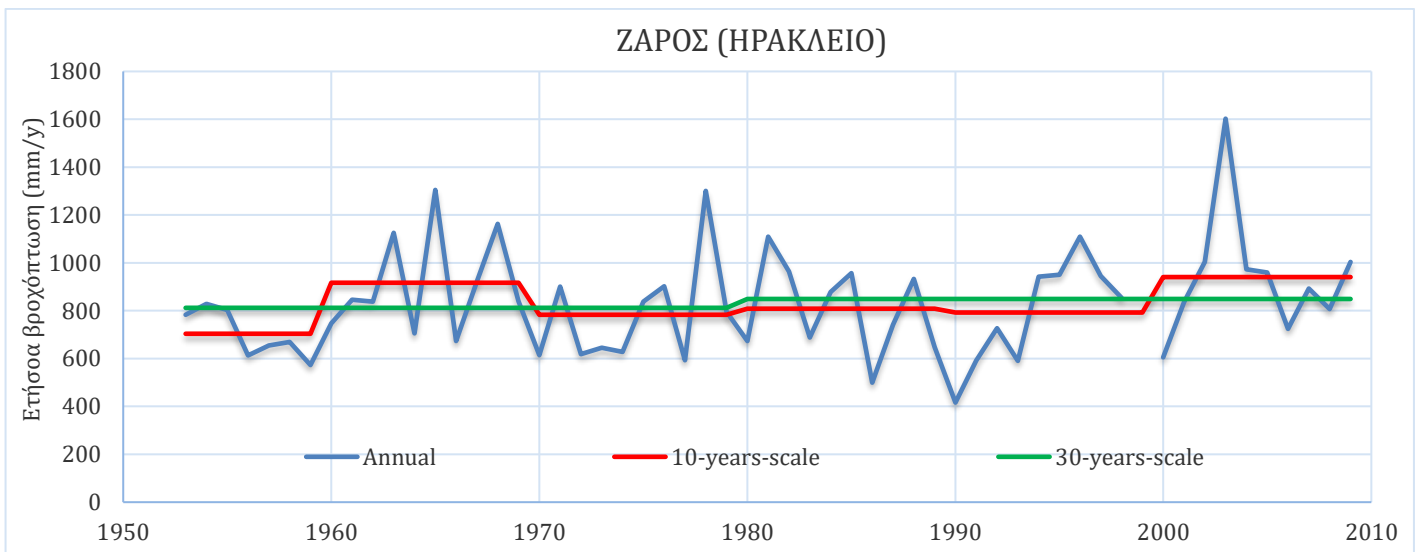
- McBratney, A. B., & Webster, R. (1986). Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Journal of Soil Science*, 37(4), 617-639.
- Oliver, M. A., & Webster, R. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 4(3), 313-332.
- Ouyang, Y., Zhang, J. E., & Ou, L. T. (2006). Temporal and spatial distributions of sediment total organic carbon in an estuary river. *Journal of Environmental Quality*, 35(1), 93-100.
- Papoulis A (1991) Probability, random variables and stochastic processes, 3rd edn. McGraw Hill, New York.
- Pardo-Igúzquiza, E., & Dowd, P. A. (2005). Empirical maximum likelihood kriging: The general case. *Mathematical Geology*, 37, 477-492.
- Press, W. H., Vetterling, W. T., Teukolsky, S. A., & Flannery, B. P. (1988). *Numerical recipes*. Cambridge University Press, London, England.
- Royle, A. G. (1981). PRACTICAL UNIVERSAL KRIGING AND AUTOMATIC CONTOURING.
- Tessier, Y., Lovejoy, S., Schertzer, D. (1993). Universal multifractals: theory and observations for rain and clouds. *Journal of Applied Meteorology*, 32, 223-250.
- Tsaknias, D., Bouziotas, D., & Koutsoyiannis, D. (2016). Statistical comparison of observed temperature and rainfall extremes with climate model outputs in the Mediterranean region. *ResearchGate*.
- Tsanis, I. K., Koutroulis, A. G., Daliakopoulos, I. N., & Jacob, D. (2011). Severe climate-induced water shortage and extremes in Crete: A letter. *Climatic Change*, 106, 667-677.
- Varouchakis, E. A., Hristopulos, D. T., Karatzas, G. P., Corzo Perez, G. A., & Diaz, V. (2021). Spatiotemporal geostatistical analysis of precipitation combining ground and satellite observations. *Hydrology Research*, 52(3), 804-820.
- Varouchakis, E. A., Kolosionis, K., Karatzas, G. P., & Hristopulos, T. (2015). Groundwater level spatial variability distribution and risk assessment in a sparsely gauged basin using the Spartan covariance function and auxiliary information.
- Wartenberg, D. (1993). Some epidemiologic applications of kriging. *Geostatistics Tróia'92: Volume 1*, 911-922.
- Webster, R., & Oliver, M. A. (2001). *Geostatistics for environmental scientists*. (John Wiley: Chichester, UK).
- Zhou, L., Wu, W. P., & Luo, X. (2007). Internationalization and the performance of born-global SMEs: the mediating role of social networks. *Journal of international business studies*, 38, 673-690.
- Αγκαθέρης, Ν. (2020). Μοντελοποίηση ακραίων βροχοπτώσεων σε παγκόσμια κλίμακα με τη χρήση εύγνωστων ροπών (Bachelor's thesis).
- Ακουμιανάκη, Ο (2019). Χωροχρονική ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων της νήσου Κρήτης με χρήση στατιστικών μεθόδων (Bachelor's thesis).
- Βούλγαρης, Γ. (2015). Χωρική Ανάλυση και Χωρική Παρεμβολή Εδαφολογικών Δεδομένων Πεδινών Εκτάσεων του Βορείου Αμβρακικού Κόλπου (Bachelor's thesis).

- Γουρνάρη, Π. Μ. (2017). Η πιθανοτική κατανομή του κλιμακογράμματος με χρήση τεχνικής Monte Carlo για εφαρμογή σε ανελιξίες μακροπρόθεσμης εμμονής (Bachelor's thesis).
- 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.
- Κουτσογιάννης, Δ., & Ξανθόπουλος, Θ. (2016). Τεχνική υδρολογία.
- Παπαρηγορίου, Σ., Καϊμάκη, Σ., Περλέρος, Β., Παπαγεωργίου, Ν., Λαζαρίδης, Λ & Νιάδας, Ι. , 2002, «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης» , Περιφέρεια Κρήτης.
- Περλέρος Β., Παπαμαστοράκης Δ., Κριτωτάκης Μ., Δρακοπούλου Ε. και Παναγόπουλος Α. Υπόγειο υδατικό δυναμικό Κρήτης, προβλήματα και προοπτικές, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. ΧΧΧVI, 2004, Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004.
- Μαργαρίτης, Ε. (2007). Μεθοδολογικό πλαίσιο χωρικής ανάλυσης ατμοσφαιρικής ρύπανσης αστικών περιοχών με τη χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών: χωροθέτηση σταθμών μέτρησης στην πόλη του Βόλου (Bachelor's thesis).
- Μελέτη Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κρήτης, 2010, «Φάση Α', Στάδιο Α.1.2. Συλλογή Δεδομένων», Παρατηρητήριο Νερού της Ανατολικής Μεσογείου».
- Στεργίου, Β. (2005). Διερεύνηση της Στοχαστικής Δομής του Διαλείποντος Φαινομένου της Βροχής (Bachelor's thesis).
- ΥΠΑΝ, Ε., & ΙΓΜΕ, Κ. (2003). Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων της Χώρας. Αθήνα, Ιανουάριος.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2017«1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL13)», Προσχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών, 43.

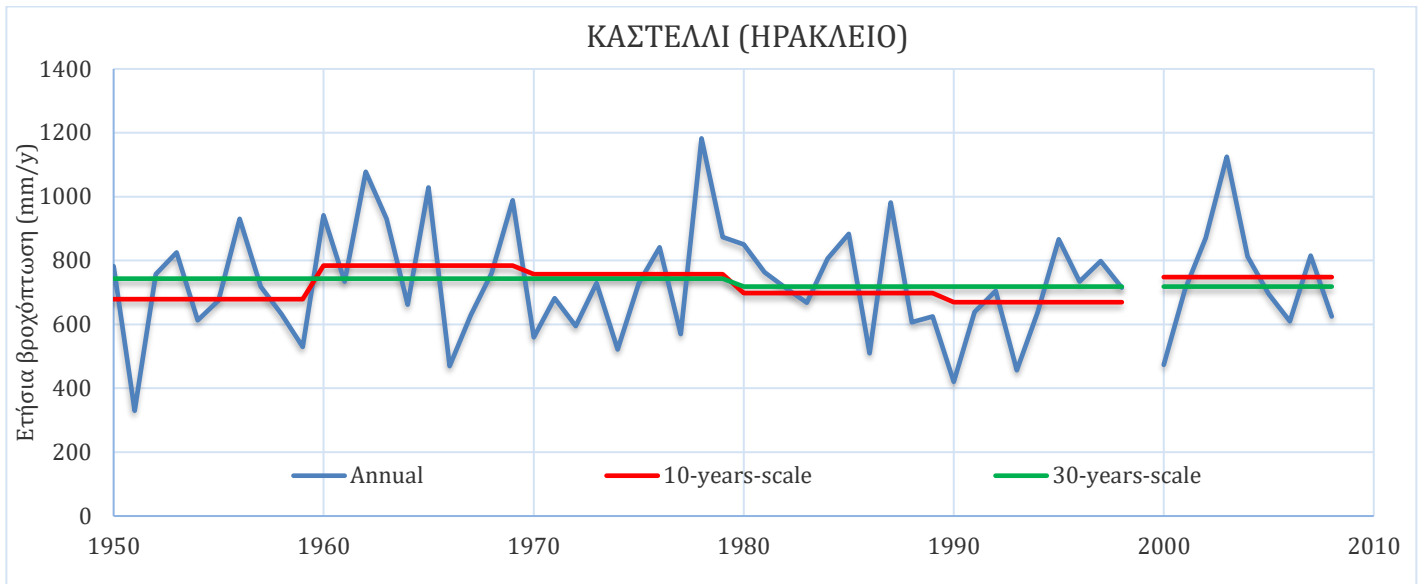
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.



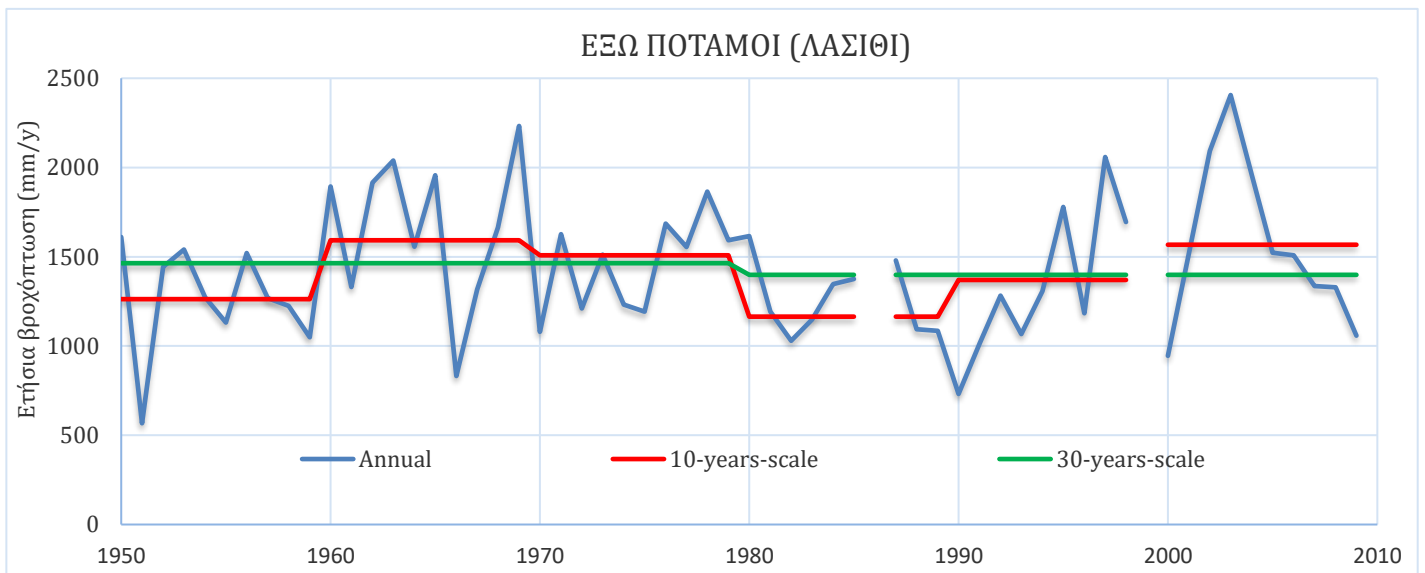
Σχήμα Α- 1. Εξέλιξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό Σούδα Χανίων.



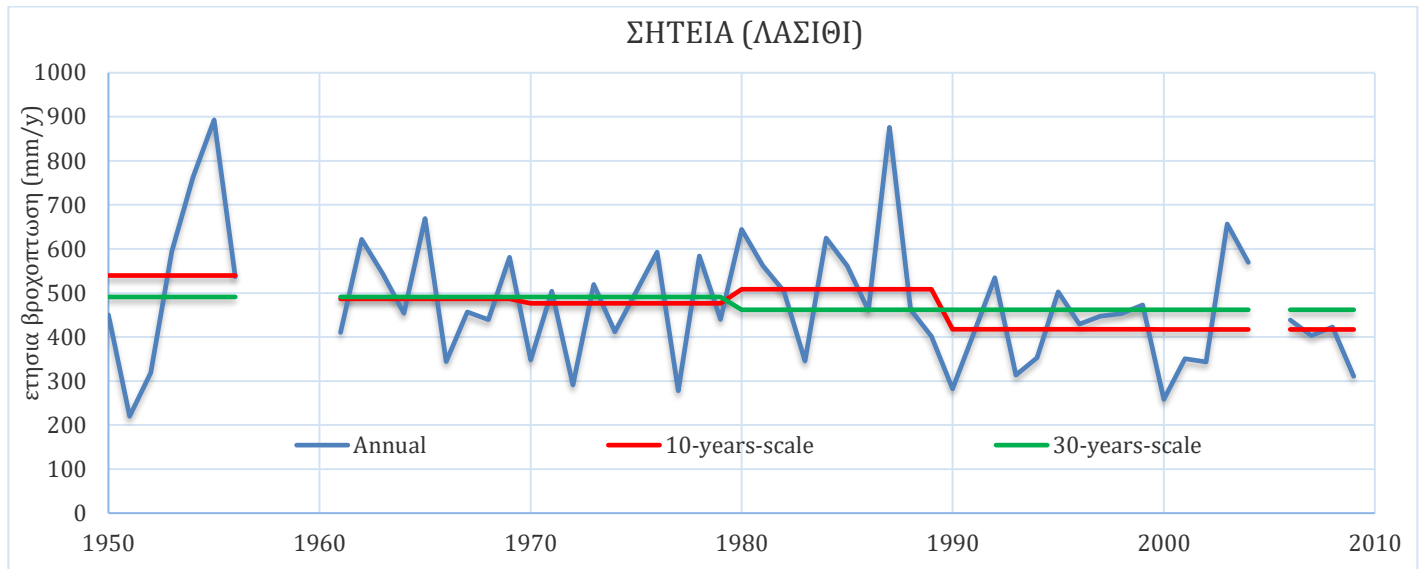
Σχήμα Α- 2. Εξέλιξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό Ζάρος Ηρακλείου.



Σχήμα Α- 3. Εξέλιξη της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό Καστέλλι Ηρακλείου.

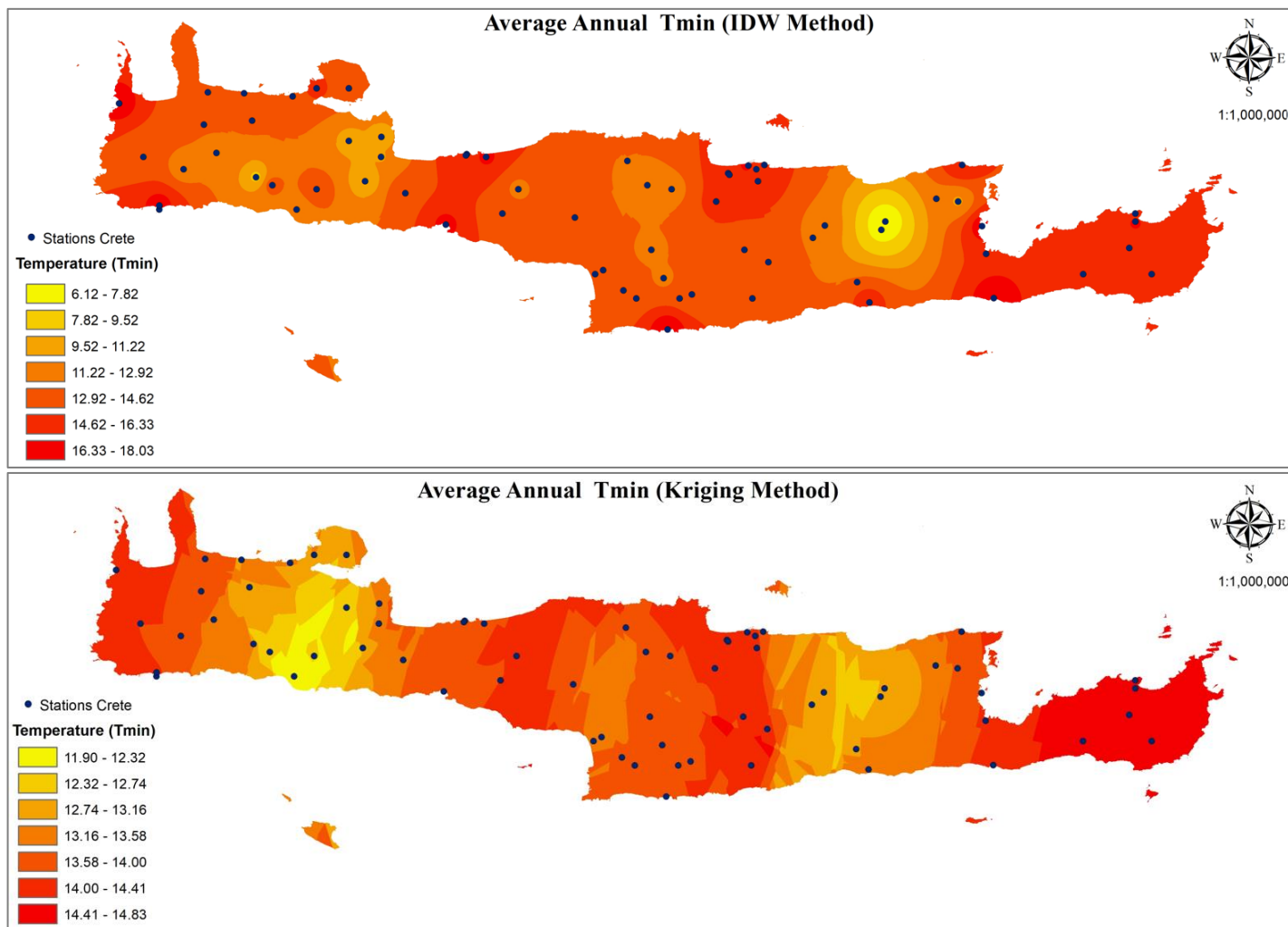


Σχήμα Α- 4. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό Έξω Ποταμοί Λασιθίου.

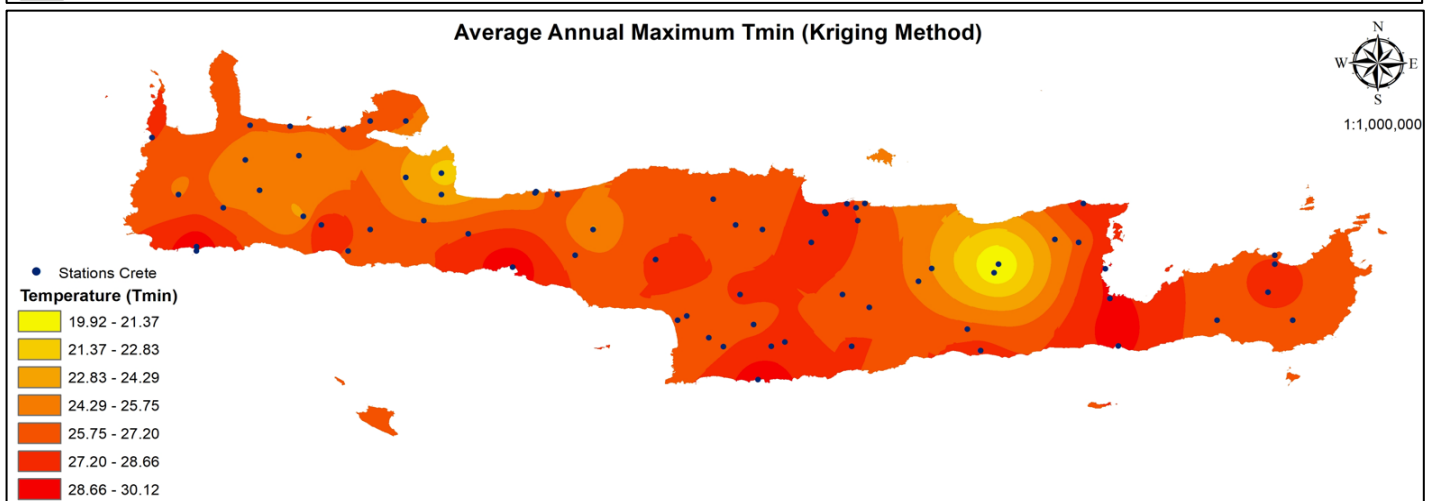
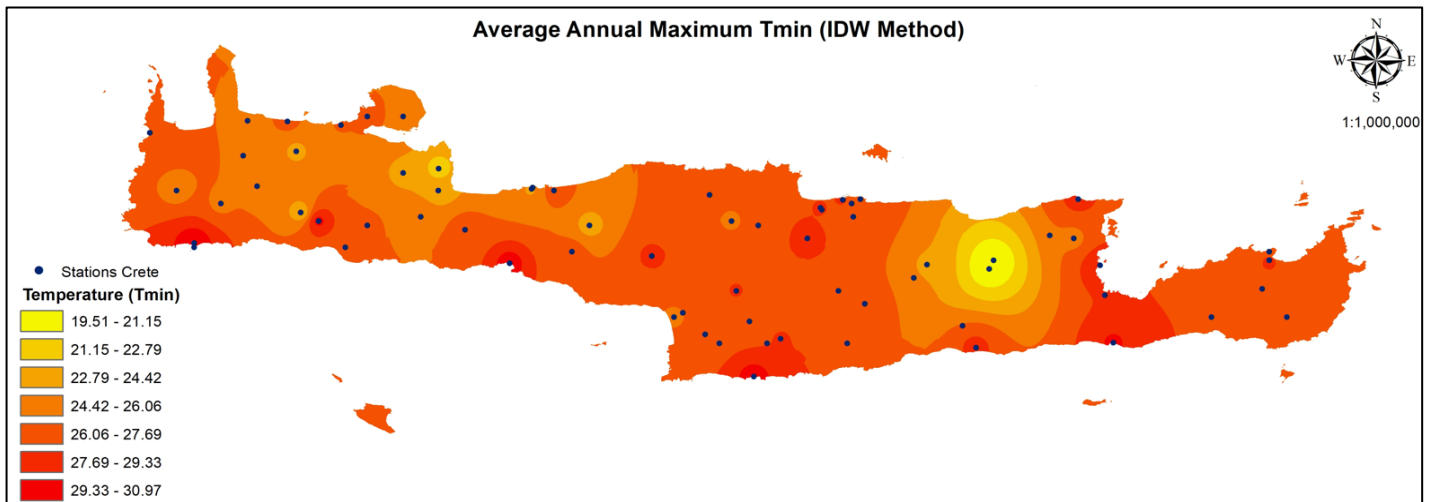


Σχήμα Α- 5. Εξέλιξη της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης, ως κλιματικό στοιχείο, σε ετήσια και κλιματική χρονική κλίμακα 10 και 30 ετών για τον σταθμό Σητεία Λασιθίου.

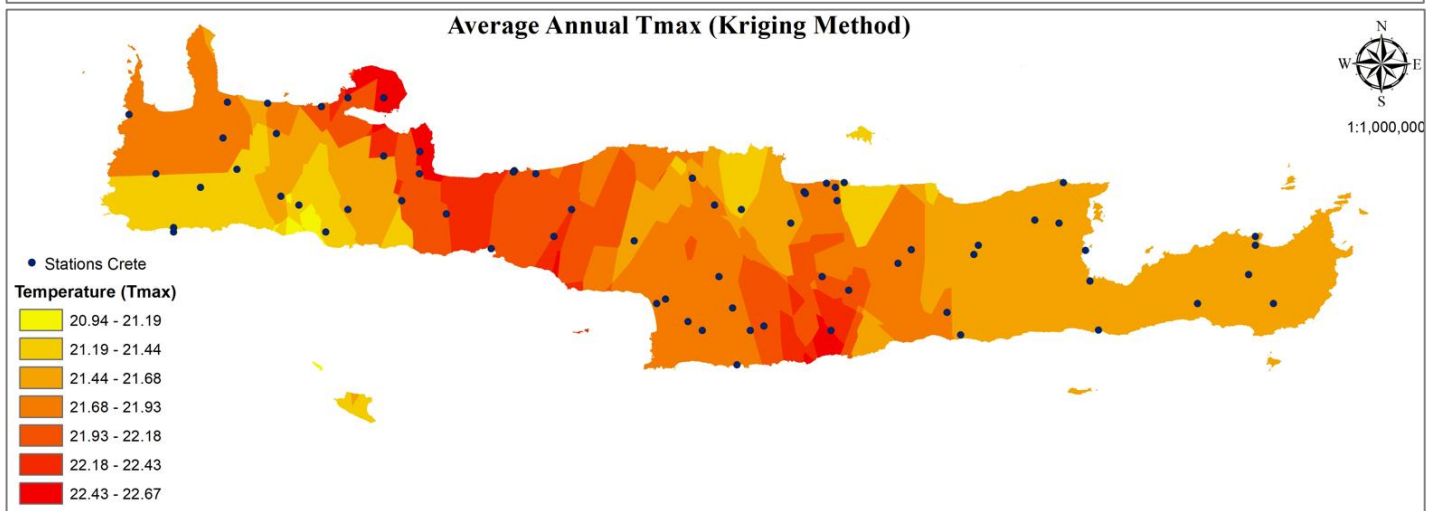
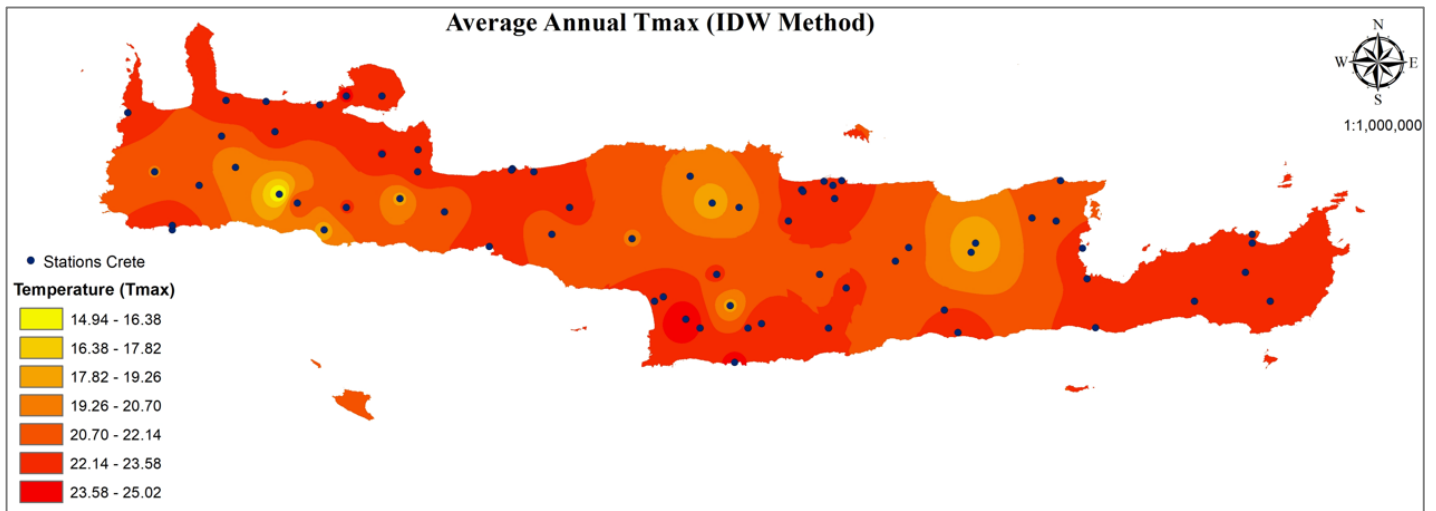
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.



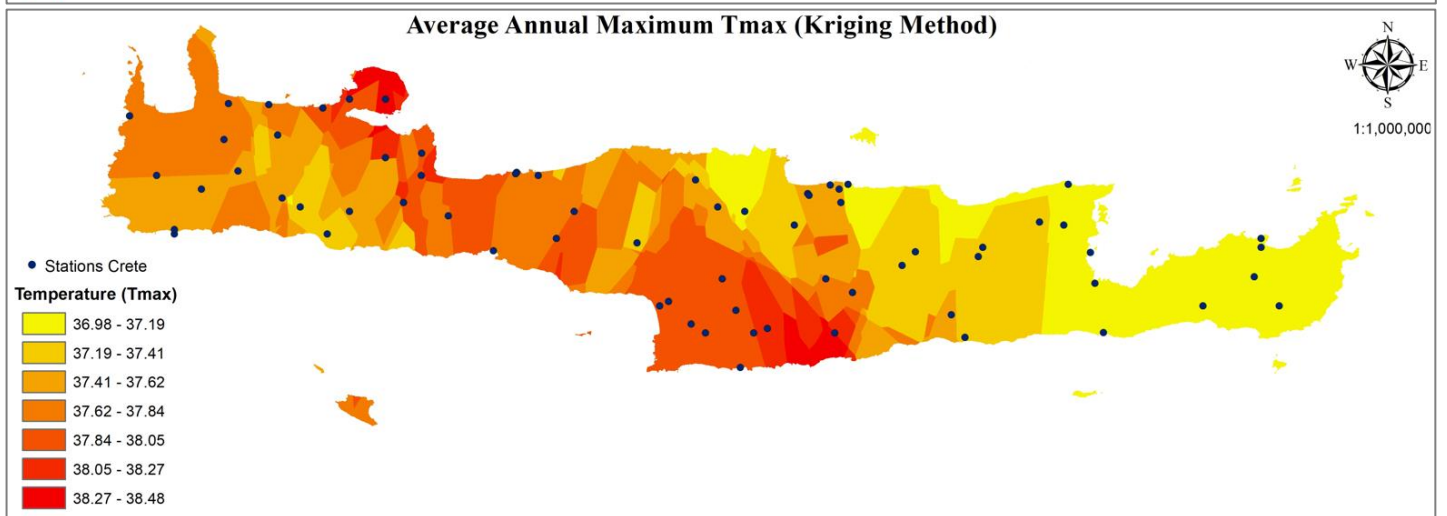
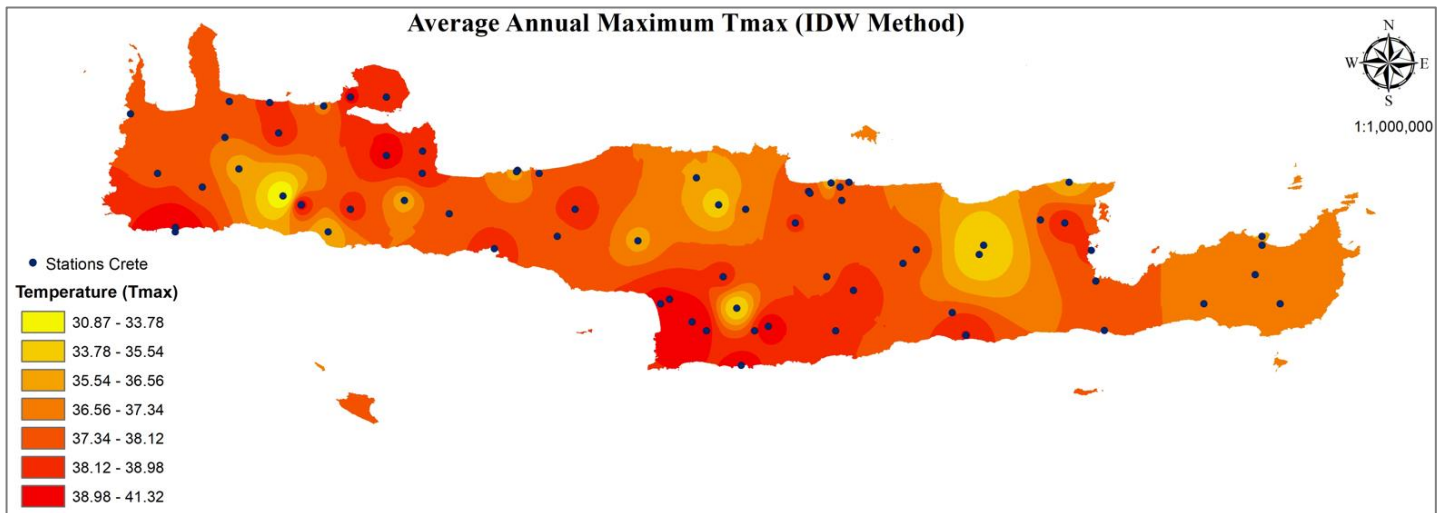
Σχήμα Β- 1. Απεικόνιση της μέσης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{min}) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.



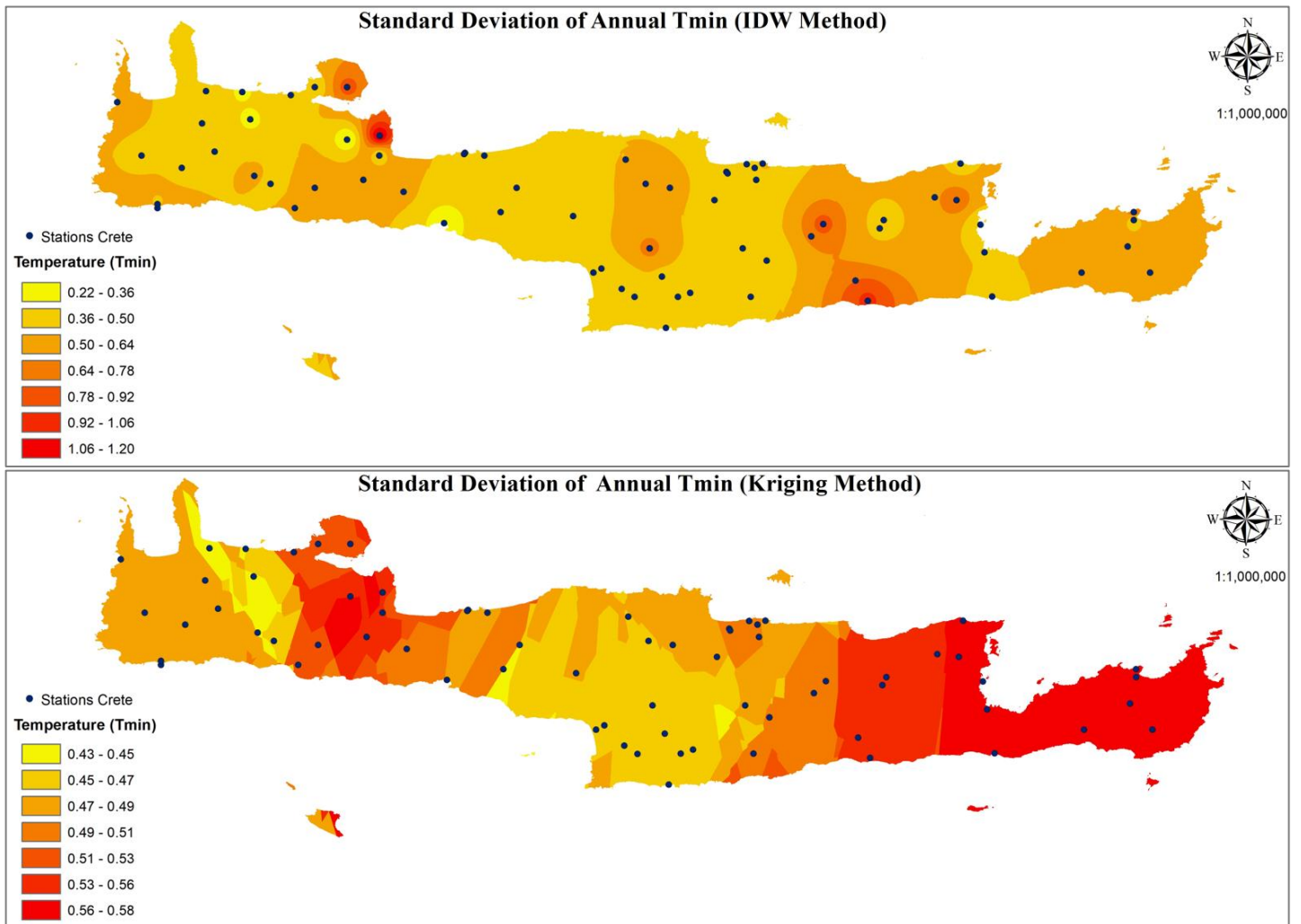
Σχήμα Β- 2. Απεικόνιση της μέσης μέγιστης ελάχιστης ετήσιας θερμοκρασίας (T_{min}) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.



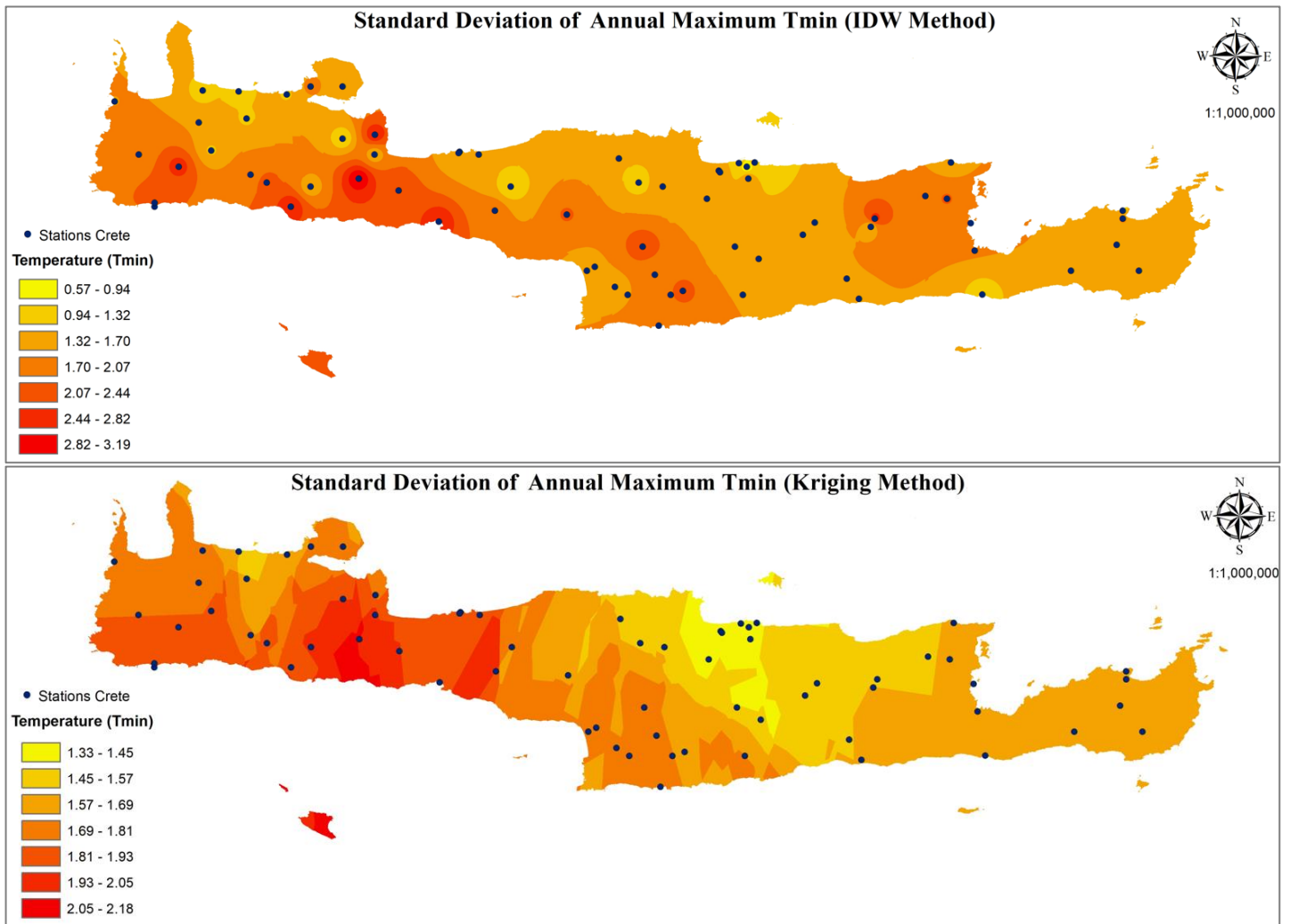
Σχήμα Β- 3. Απεικόνιση της μέσης μέγιστης ετήσιας (T_{max}) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.



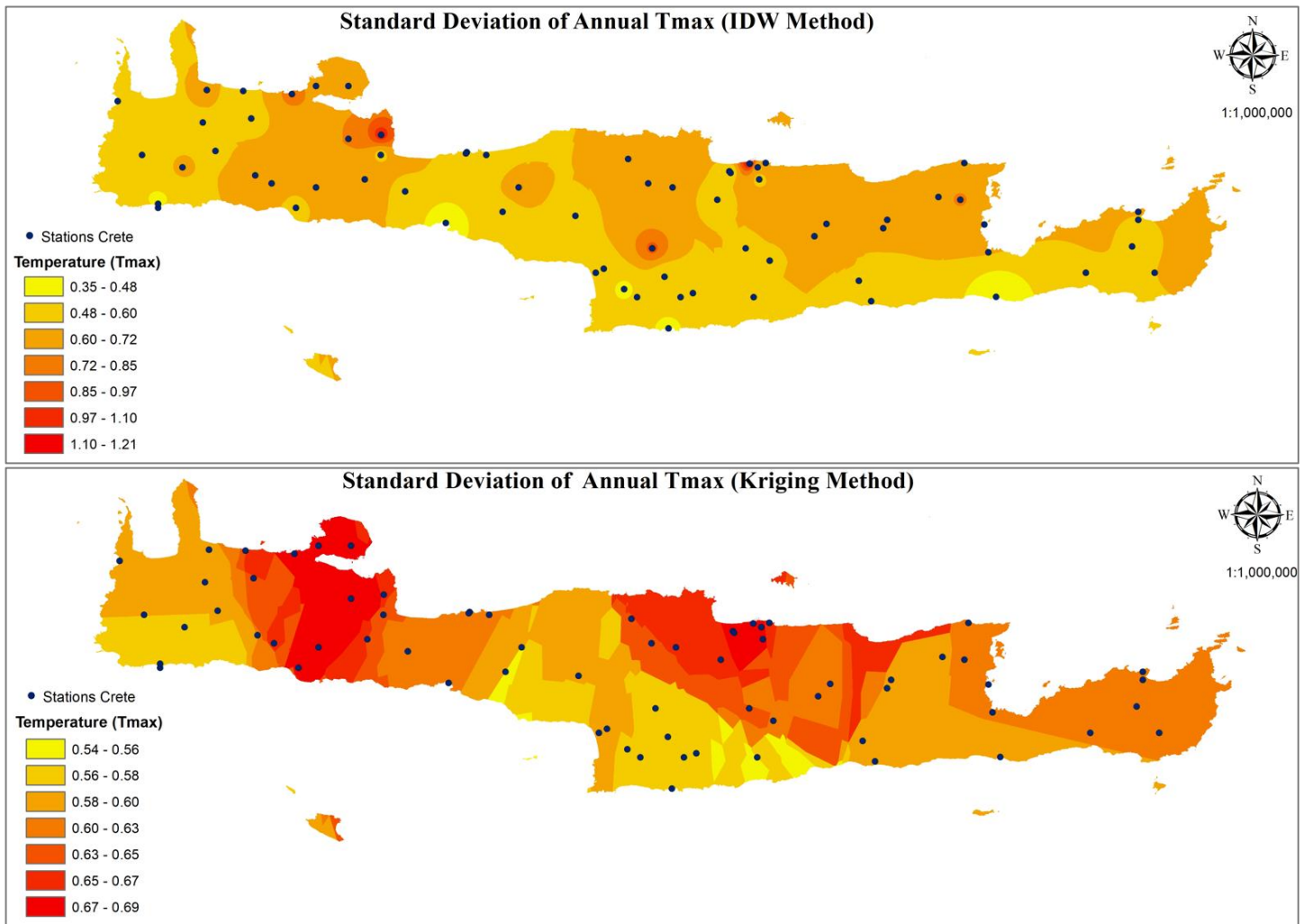
Σχήμα Β- 4. Απεικόνιση της μέσης μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας (T_{max}) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.



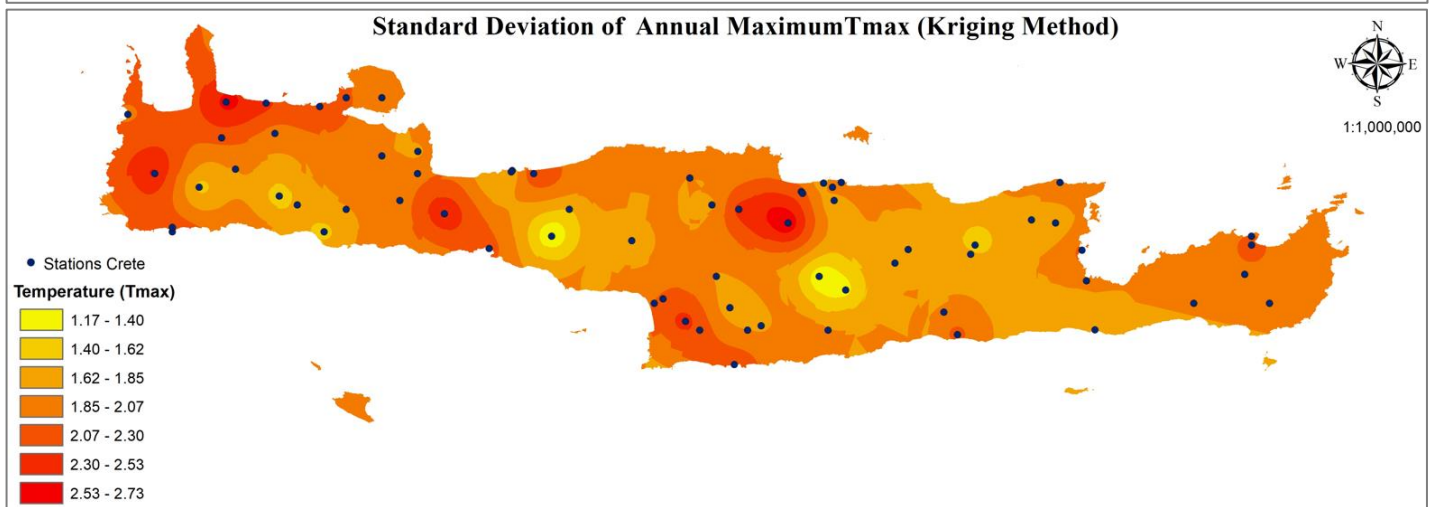
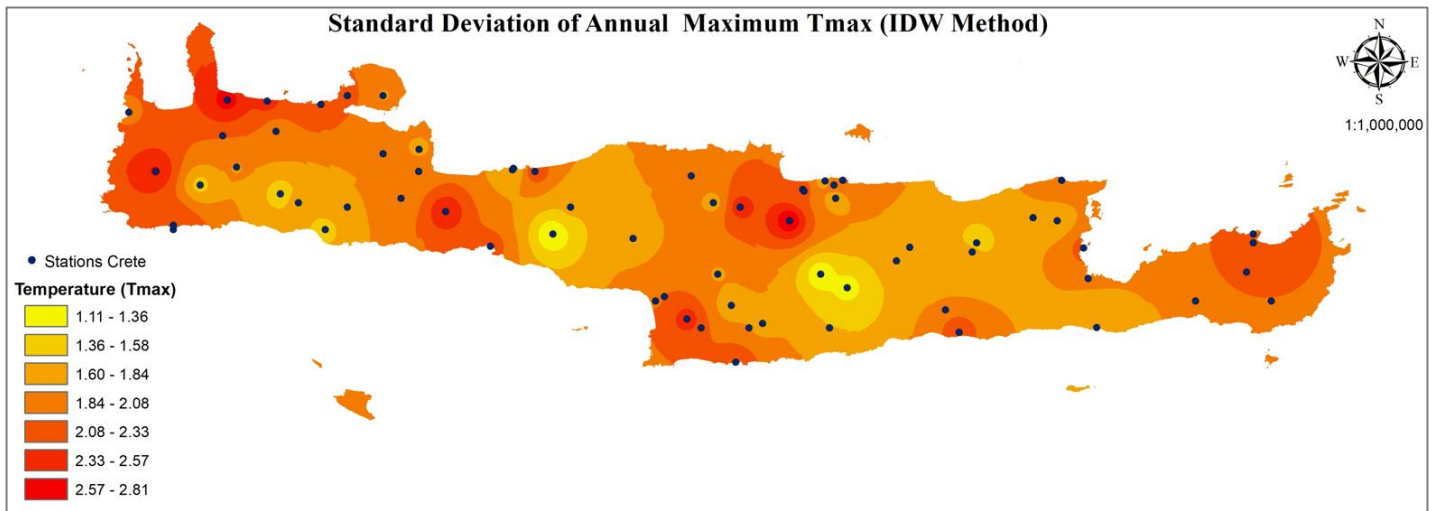
Σχήμα Β- 5. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{min}) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.



Σχήμα Β- 6. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της μέγιστης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{min}) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.



Σχήμα Β- 7. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (T_{max}) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.



Σχήμα Β- 8. Απεικόνιση της τυπικής απόκλισης της μέγιστης ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (T_{max}) στο νησί της Κρήτης, με χρήση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής α) IDW και β) (Ordinary) Kriging.