



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

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

**«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΥΤΩΝ ΜΕ ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΕ
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ»**

Μαστροκόστα Αγγελική

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ
ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»**

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2016

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο δεν θα μπορούσα να παραλείψω όλους εκείνους που συνέβαλαν, ο καθένας με το δικό του τρόπο, στην πραγματοποίηση και ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Μπαλτά Ευάγγελο, Καθηγητή της σχολής των Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, για την αμέριστη βοήθεια και τη διαρκή καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου. Οι επιστημονικές γνώσεις που μου παρείχε ήταν ιδιαίτερα χρήσιμες, τόσο κατά τη διάρκεια της εργασίας, όσο και του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Αισθάνομαι ιδιαίτερα την ανάγκη να ευχαριστήσω την Δίδα Φελώνη Ελισσάβητ, υποψήφια Διδάκτωρ της Σχολής των Πολιτικών Μηχανικών, για τις πολύτιμες συμβουλές της, καθώς και το χρόνο που διέθετε, παρά το φόρτο εργασίας της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω μαζί με τον κ. Μπαλτά Ευάγγελο και τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής. Τον κ. Δέρκα Νικόλαο, Αναπληρωτή Καθηγητή του ΓΠΑ και τον κ. Μακρόπουλο Χρήστο, Επίκουρο Καθηγητή της σχολής των Πολιτικών Μηχανικών για τη συμμετοχή τους, καθώς και για τη γνώση και την εμπειρία που μου προσέφεραν.

Επιπλέον ευχαριστώ τον κ. Λόη Κωνσταντίνο απ' τη διεύθυνση τεχνικών ελέγχων και την κα Κονοβέση Κωνσταντίνα απ' τη διεύθυνση πληροφορικής, της κεντρικής υπηρεσίας του ΟΠΕΚΕΠΕ, για την παραχώρηση των δεδομένων των καλλιεργειών. Όπως επίσης και την ΕΜΥ για την παραχώρηση των μετεωρολογικών της δεδομένων.

Κλείνοντας οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ, στο σύντροφό μου, που με τη βοήθεια, κατανόηση και συμπαράστασή του, συνέβαλλε στην πραγματοποίηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού, καθώς και της μεταπτυχιακής μου εργασίας, όπως επίσης και την οικογένεια μου που όλα αυτά τα χρόνια στέκεται αρωγός και συμπαράστατης στα όνειρά μου.

Περιεχόμενα

Extended Summary	vii
Introduction	vii
Study Area and Data Used	vii
Methodology	ix
Results	xii
Discussion and Conclusion	xvii
Selected References.....	xix
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά	1
1.1.1 Η ξηρασία: Ορισμοί και Δείκτες.....	1
1.1.2 Άρδευση και Διαχείριση Αρδευτικού Νερού.....	6
1.2 Αντικείμενο της εργασίας.....	13
1.3 Διάρθρωση της εργασίας	15
2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	16
2.1 Γεωγραφικά-Διοικητικά χαρακτηριστικά.....	16
2.1.1 Δήμος Τρίπολης	16
2.1.2 Δήμος Καλαμάτας.....	17
2.1.3 Δήμος Ηρακλείου- Δήμος Χερσονήσου	19
2.2 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά.....	20
2.2.1 Κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen.....	20
2.2.2 Θερμοϋγρογραφήματα και Ομβροθερμικό πηλίκιο	24
2.3 Κατανομή Καλλιεργειών	27
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	31
3.1 Επεξεργασία Χρονοσειρών Θερμοκρασίας και Βροχόπτωσης.....	31
3.2 Υπολογισμός Εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite	32
3.3 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών με τη μέθοδο Blaney-Criddle	36

3.4	Εκτίμηση Δεικτών Ξηρασίας.....	44
3.4.1	Δείκτης Ξηρότητας (AI).....	44
3.4.2	Δείκτης Τυποποιημένης Βροχόπτωσης (SPI)	49
3.4.3	Συνδυαστικός Δείκτης Pinna.....	55
4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	58
4.1	Στατιστική Επεξεργασία Δεδομένων.....	58
4.2	Ποιοτική Σύγκριση Κλιματικών Τάσεων Χρονοσειρών	71
4.3	Παραγωγή Συνθετικών Χρονοσειρών	74
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	84
5.1	Σύνοψη	84
5.2	Γενικά Συμπεράσματα.....	84
5.3	Ειδικά Συμπεράσματα	86
5.4	Μελλοντική έρευνα	87
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	89

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών και η συσχέτιση αυτών με δείκτες ξηρασίας σε συγκεκριμένες περιοχές της νότιας Ελλάδας. Η περιοχή μελέτης αφορά τρεις περιοχές · τον καλλικρατικό δήμο Τρίπολης, τον καλλικρατικό δήμο Καλαμάτας, και τους δήμους Ηρακλείου και Χερσονήσου οι οποίοι μελετήθηκαν μαζί, περιοχές που στο σύνολό τους παρουσιάζουν έντονο καλλιεργητικό και αρδευτικό ενδιαφέρον. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν συνοψίζονται σε χρονοσειρές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης κατά τη χρονική περίοδο 1957-2004, όπως επίσης και την κατανομή των καλλιεργειών στις εν λόγω περιοχές με βάση την πιο πρόσφατη διαθέσιμη γεω-πληροφορία (για το έτος 2015).

Αρχικά υπολογίστηκαν οι αρδευτικές ανάγκες και εν συνεχεία, ο δείκτης ξηρότητας Aridity Index (AI), οι δείκτες τυποποιημένης βροχόπτωσης (SPI3 και SPI6), καθώς και ο συνδυαστικός δείκτης Pinna. Ακολούθως πραγματοποιήθηκε σύγκριση των παραπάνω δεδομένων, για τη διερεύνηση της συσχέτισής τους, απ' την οποία προέκυψε ότι μόνο στην περιοχή του Ηρακλείου και της Χερσονήσου υπάρχει συσχέτιση των αρδευτικών αναγκών με όλους τους δείκτες ξηρασίας, τόσο στην ξηρή όσο και στη συνολική περίοδο σε επίπεδο έτους.

Αποσκοπώντας σε περαιτέρω διερεύνηση της εν λόγω σχέσης μεταξύ των αρδευτικών αναγκών και των δεικτών ξηρασίας, θέλοντας να εξεταστεί η ευαισθησία των τελευταίων σε ενδεχόμενη κλιματική μεταβολή, πραγματοποιήθηκε παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, για επιπλέον 80 χρόνια, σύμφωνα με τα ομοιώματα AR(1), AR(1)_Cs, AR(2) και ARMA(1,1). Από αυτά επιλέχθηκε το καλύτερο στατιστικά κατά περίπτωση, και έπειτα εφαρμόστηκε ένα μετριοπαθές κλιματικό σενάριο (A1B, IPCC). Σύμφωνα με αυτά προκύπτει ότι ενώ οι αρδευτικές ανάγκες τείνουν μελλοντικά να αυξάνονται, και στις τρεις περιοχές δεν παρατηρείται το ανάλογο φαινόμενο σε όλους τους δείκτες και για όλους τους μήνες.

Extended Summary

Introduction

Agriculture is one of the most important sectors in Greece, as our country produces and exports its products all over the world. The irrigation water needs in Greece require the greatest amount of water, which represents 84% of consumer uses (Koutsoyiannis, 2007). Irrigation is associated with climatological conditions and any climate variability. The goal of this research work is the estimation of irrigation needs in a detailed spatial scale and the correlation between those needs and drought indices, in selected areas of southern Greece, in a monthly basis.

The monthly timeseries of air temperature and precipitation were analyzed for the period from 1957 to 2004. The potential evapotranspiration was calculated according to Thornthwaite's method. Additionally, the irrigation needs were estimated by the Blaney - Criddle method. Three drought indices (AI, SPI, PINNA) were used, in order to evaluate the drought conditions in a monthly basis. The corresponding results depict a slight association with the trends of irrigation needs and drought indices timeseries. Finally, an appropriate autoregressive model was applied in combination with a climate change scenario (A1B, IPCC) in order to investigate differences in the sensitivity of drought indices in several climate variances, between the three selected areas.

Study Area and Data Used

Three areas in the southern Greece were selected with the purpose of investigating any spatial different patterns in the trends of temperature and precipitation timeseries and drought indices. The first area is the municipality of Tripolis, the capital of Arcadia, located in the central part of Peloponnese (SW Greece). The second area is the municipality of Kalamata, the capital of Messenia prefecture, in the southwestern part of Peloponnese. The third area is the merged municipalities of Heraklion and Hersonissos, belonging to Heraklion prefecture, located in the northern part of the island of Crete, in southern Greece. Heraklion and Hersonissos are bordered by the Aegean Sea.

The above mentioned areas are mainly agricultural, especially in the lowlands. Kalamata is internationally renowned for olives and the production of olive oil. Tripolis produces cereals in large amounts, such as wheat, maize, barley. Heraklion and Hersonissos are similar to Kalamata concerning agricultural production, but their agricultural land covers a large area because of the favorable climate conditions.

Three timeseries were analyzed and finally used for calculation of potential evapotranspiration and the drought indices; the crops distribution, a database included the information of the crop type per field, provided by the Payment and Control Agency for Guidance and Guarantee Community Aid (PCAGGC, or OPEKEPE in Greek) and the temperature and precipitation timeseries provided by the Hellenic National Meteorological Service (HNMS). The Digital Terrain Model (DTM), as well as the crop distribution of the selected areas is illustrated on Figure 1.

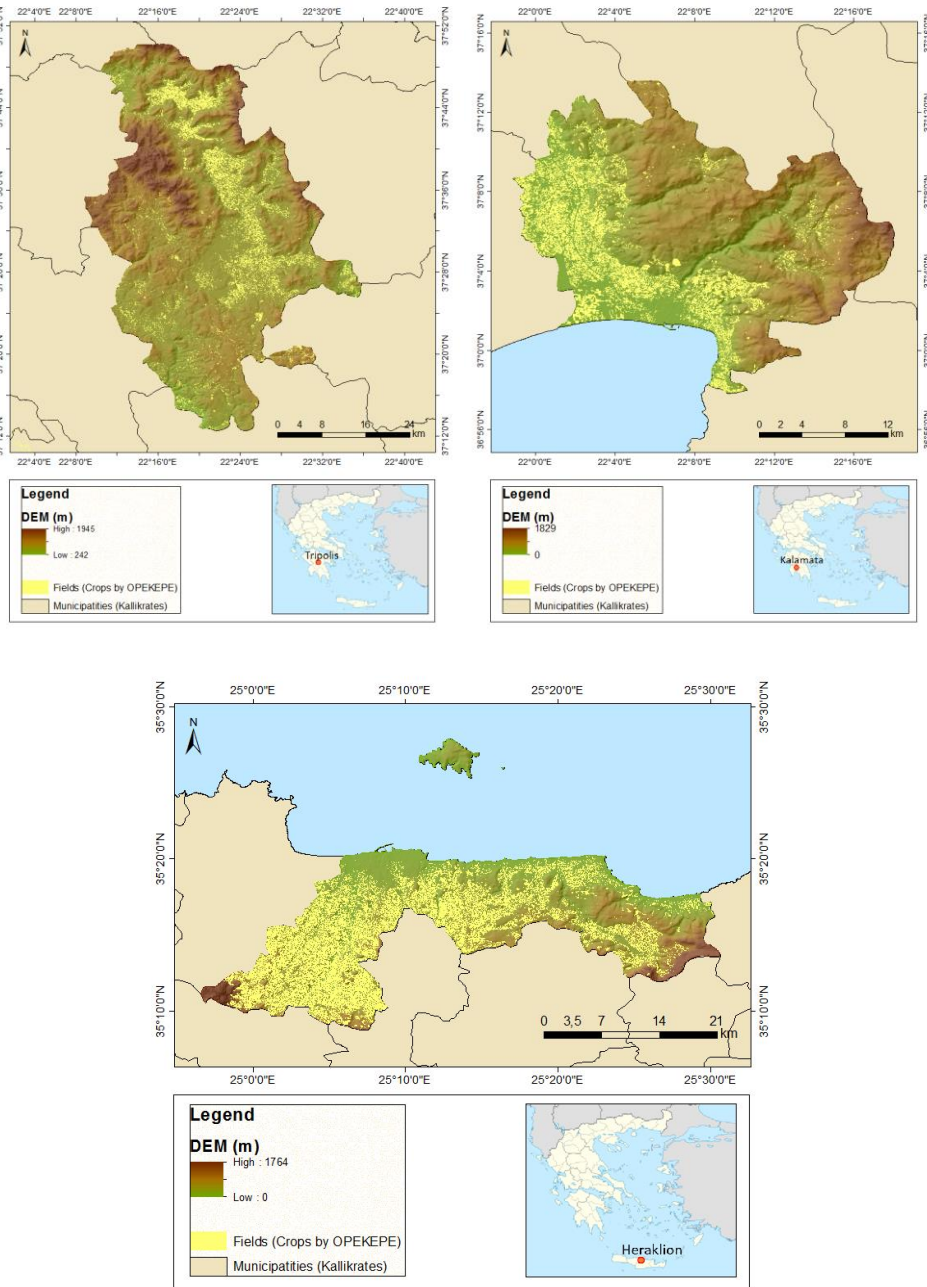


Figure 1 Digital Terrain Model (DTM) and crop distribution of municipalities of Tripolis, Kalamata and Heraklion-Hersonissos.

Methodology

At the beginning of this study, the daily data of air temperature and precipitation were respectively averaged and aggregated in a monthly step. According to these data, the monthly and averaged monthly potential evapotranspiration were calculated by Thornthwaite' s method (Equation 1) for each of the three regions.

$$E_p = 16 \left(\frac{10t_i}{J} \right)^\alpha \frac{\mu N}{360} \quad (1)$$

Where:

- E_p , is the potential evapotranspiration (mm/month)
- t_i , average monthly temperature ($^{\circ}\text{C}$)
- μ , number of days
- N , mean astronomical day
- J , annual temperature indicator
- α , an empirical parameter depending on the J index and calculated by the Equation 2:

$$\alpha = 0.016 \cdot J + 0.5 \quad (2)$$

In the next step, the irrigation needs were estimated by Blaney-Criddle method, the calculation of which includes three stages:

In the first stage, the average topographic elevation of each parcel was estimated using the digital elevation model and finally this information for each parcel was exported to an excel file, including the elevation means (in m), the surface area (in m^2) and the culture code (cropcode). In those cases, where every parcel has more than one cropcodes (coculture), the different cropcodes were distinguished with their corresponding monthly crop coefficients k_c , and finally calculated the average k_c for each parcel per month. From geospatial data of OPEKEPE resulted 37 categories of crops, each of which has its own k_c . An extended literature study (Koutsoyiannis, 2000; Ministry of Agriculture, 1992; Maris, 2013; Mimikou and Baltas, 2012; Papamihail and Georgiou, 2005; Terzidis and Papazafiriou, 1997; <http://www.fao.org/>) was done for the estimation of the monthly k_c . Then, a grouping of crops, that include the same types, was conducted and finally 27 categories emerged. They are shown in Figure 2, where cereals are the dominant culture about Tripolis, with percentage 35% and olive groves are the dominant culture about Kalamata and Heraklion-Hersonissos with percentage 84% and 72% respectively.

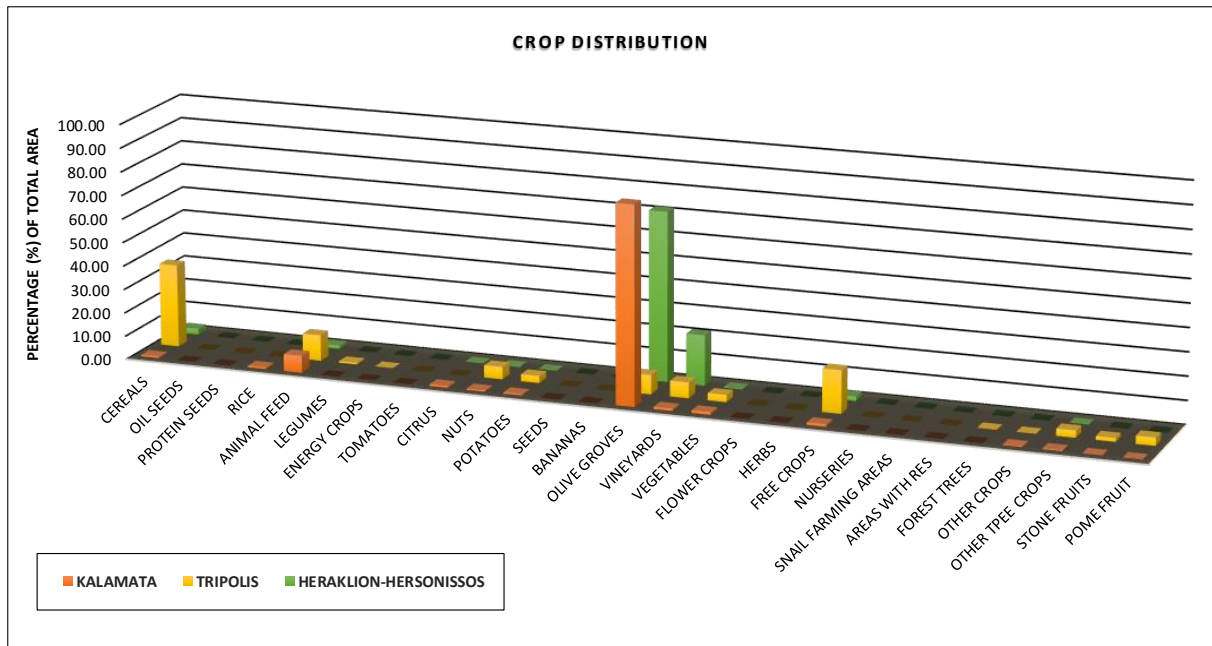


Figure 2 Crop Distribution of Kalamata, Tripolis and Heraklion-Hersonissos.

In the second stage of irrigation needs estimation, the temperature correction of each parcel per month was conducted, according to the lapse rate, for the purpose of estimation local monthly temperature per field. As lapse rate is defined the decrease in air temperature in the unit of the height and was calculated according to the following Equation 3:

$$\gamma = -\frac{\partial T}{\partial z} \quad (3)$$

So, the temperature was calculated according to the Equation (4), which resulted by the integration of the previous one.

$$T_{(z)} = T_{(z_0)} - \gamma(z - z_0) \quad (4)$$

Where:

- z is the mean elevation (m) per parcel
- z_0 , elevation of station ($z_{0,Tripolis}=652$ m, $z_{0,Kalamata}=11$ m, $z_{0,Heraklion}=39$ m)
- $T_{(z)}$, the air temperature in the height z
- $T_{(z_0)}$, the air temperature in the height z_0
- γ , is the lapse rate, the values of which illustrated in the Table 1.

Table 1 Mean Values of lapse rate ($^{\circ}\text{C}$ per 100m) in Greece (by Flocas et al. 1983)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0.70	0.64	0.59	0.50	0.47	0.55	0.67	0.70	0.63	0.64	0.66	0.64

Following the previous procedure, the local temperature of each parcel was estimated.

In the third stage, the monthly irrigation needs were calculated per area, with the method of Blaney and Criddle. This method is the connection between potential evapotranspiration, mean temperature and average percentage of daytime per month. The Blaney-Criddle equation is the following (Equation 5):

$$ET = kF = k_c \frac{(1.8T + 32)p}{3.94} \quad (5)$$

Where:

- ET, is the monthly potential evapotranspiration (mm)
- k_c , an empirical coefficient, which refers to the particular crop (crop coefficient)
- T, average monthly temperature in °C
- p, average percentage of daytime per month (%), the values of which were derived from table (Mimikou and Baltas, 2012).

Afterwards, the drought indices AI, SPI3, SPI6 and PINNA were calculated.

The Aridity Index (AI) is a climatic index, which is useful for monitoring of the evolution of drought phenomenon. It is calculated by the Equation (6):

$$AI = \frac{P_i}{PET_i} \quad (6)$$

where, P is the monthly precipitation and PET the monthly evapotranspiration, which has been estimated by Thornthwaite's method. When AI is under 0.05, the index represents hyper-arid conditions, when it is between 0.05-0.2 arid, 0.2-0.5: semi-arid, 0.5-0.65: sub-humid and when it is greater than 0.65: humid.

The Standardized Precipitation Index (SPI) is also an indicator for the specification of drought phenomenon. It refers to the correlation of the total precipitation specified time period with the mean precipitation of the same time period. The SPI provides drought severity over various timeframes, including 1-, 3-, 6-, 9-, 12-, 24- and 48-month periods. In this study, SPI3 and SPI6 were calculated, which are the most representative indices. Firstly, SPI3 and SPI6 were estimated by the software DrinC, which was produced at the Centre for the Assessment of Natural Hazards & Proactive Planning and the Laboratory of Reclamation Works & Water Resources Management of the National Technical University of Athens (<http://drinc.ewra.net/>). Secondly, the data of the above mentioned indicators SPI3 and SPI6

derived from the European Climate Assessment and Dataset (www.ecad.eu). SPI3 refers to precipitation in the previous 3-month period, while SPI6 refers to precipitation in the previous 6-month period. The positive values of SPI indices represent wet period, in contrast with negative values, which represent dry period.

The last indicator used is Pinna (I_p), which is appropriate for irrigated regions. The climate of a region is characterized as dry when the value of indicator I_p is lower than 10 ($I_p < 10$) and as semiarid Mediterranean with typical Mediterranean vegetation when the value of index I_p is between 10 and 20 ($10 \leq I_p \leq 20$) (Baltas, 2006). Pinna is given by the following Equation (7) (Zambakas, 1992):

$$I_p = \frac{1}{2} \left(\frac{P}{T + 10} + \frac{12P'_d}{T'_d + 10} \right) \quad (7)$$

where P is the mean precipitation, T mean air temperature, P'_d precipitation of driest month and T'_d air temperature of driest month.

In order to investigate the sensitivity of these drought indices in possible climate variances, 20 synthetic timeseries of 80 years length were generated using three different autoregressive models (AR(1), AR(1)_Cs, AR(2), ARMA(1,1)), according to the datasets' historical temperature and precipitation statistical characteristics. For each timeseries and area, the most appropriate model was selected by using the Anderson test and by checking the monthly means. After that, a moderate climate change scenario (A1B, IPCC 2007) was applied in the synthetic timeseries, using the results of a study (Kapsomenakis et al., 2013) in which a spatial distribution of ensemble mean seasonal and annual air temperature and precipitation change was estimated in a grid of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ size for the period 2021-2100. The new timeseries were used for the calculation of the irrigation needs and the drought indices. After that, a comparison between the historical and synthetic (i) monthly mean values and (ii) trends of timeseries of irrigation needs and drought indices took place, of which results are described in the next section.

Results

The statistical analysis of precipitation, temperature, potential evapotranspiration (PET-Thornthwaite), irrigation needs (Blaney-Cridde) and drought indices data was accomplished by the creation of boxplots. Boxplot is a standardized way of displaying the basic statistics of a timeseries based on the following information: minimum, first quartile, median, third quartile, maximum, interquartile range and outliers.

According to the above mentioned analysis, it is shown that Tripolis and Kalamata follow the same pattern in monthly means of P and T. August is statistically the warmest month in Tripolis and Kalamata, while both July and August are in the merged region of Heraklion and Hersonissos. The maximum precipitation depth is observed in December in Tripolis and Kalamata, and in January in Heraklion-Hersonissos. July is statistically the month with the maximum potential evapotranspiration observed in all regions. Concerning to the irrigation needs of crops, the maximum values for Tripolis were remarked in May and in July for Kalamata and Heraklion, as it is shown on Figure 3.

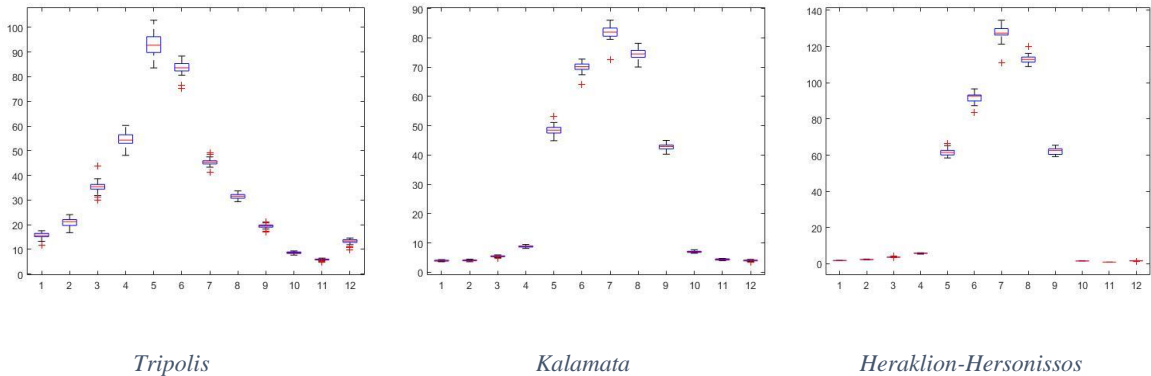


Figure 3 Boxplots of monthly Irrigation Needs

The minimum Aridity Index values are observed in the period from April to October in Tripolis and Kalamata and between June and August in Heraklion. In these months, the interquartile range of AI takes zero values, which means drought conditions. Comparing the three areas, Heraklion and Hersonissos have lower values of AI, following Kalamata and Tripolis. The results are depicted in Figure 4.

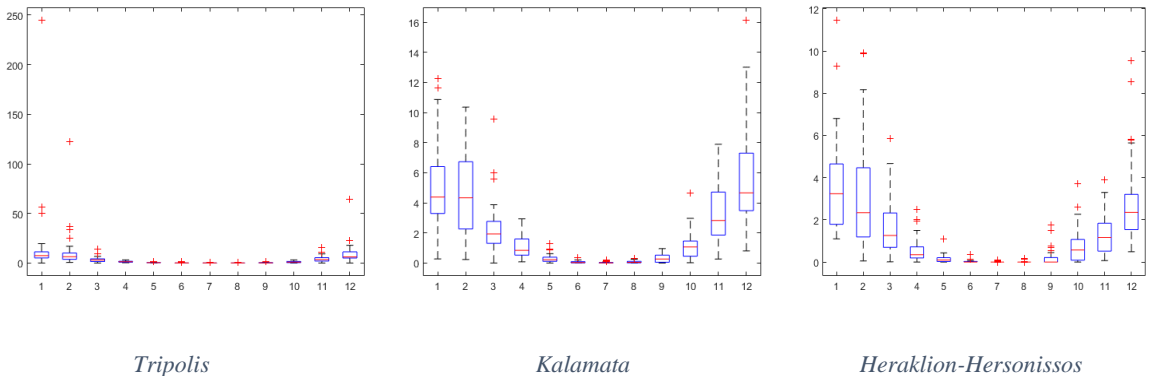


Figure 4 Boxplots of monthly AI

The minimum values of SPI3 (Figure 5) were observed in October in Tripolis and Kalamata and in April in Heraklion-Hersonissos. Most months have positive values of SPI3, an attribute that reveals there are no drought conditions. The minimum values of moving SPI6 (Figure 6)

were observed in Tripolis in January, in Kalamata in June, and in Heraklion-Hersonissos in May, with negative skewness in all cases. Most months have positive values of SPI6, such as SPI3.

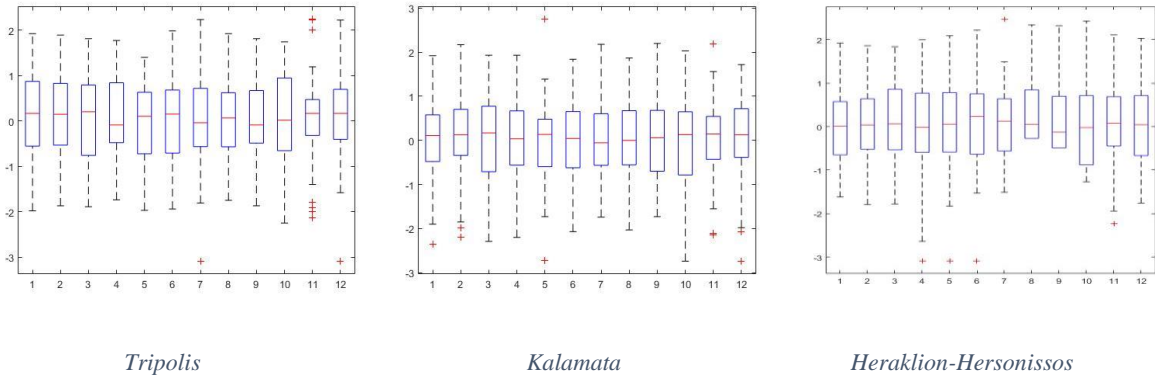


Figure 5 Boxplots of monthly SPI3 (using the ECA&D and E-OBS data)

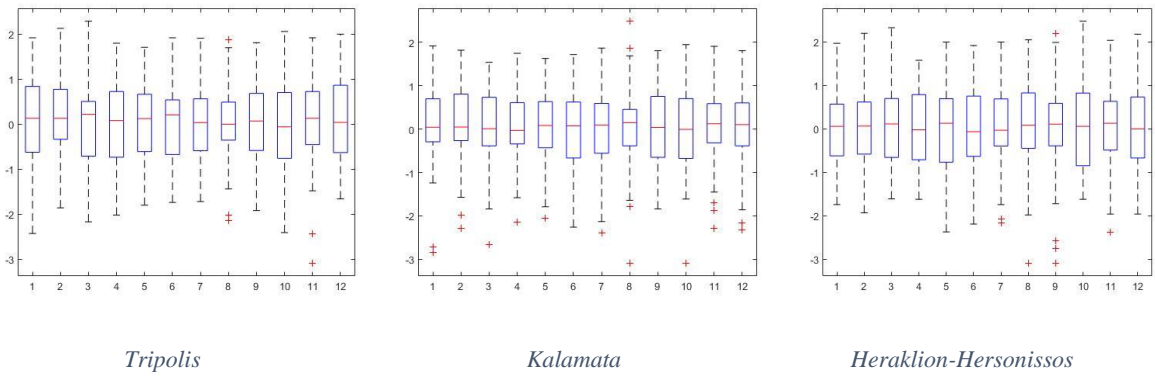


Figure 6 Boxplots of monthly SPI6 (using the ECA&D and E-OBS data)

In reference of indicator PINNA, the lowest values are: in Tripolis about to 15 (semi-arid-Mediterranean), in Kalamata among 10 and 15 (semi-arid-Mediterranean) and in Heraklion below 10 (arid), as illustrated in Figure 7.

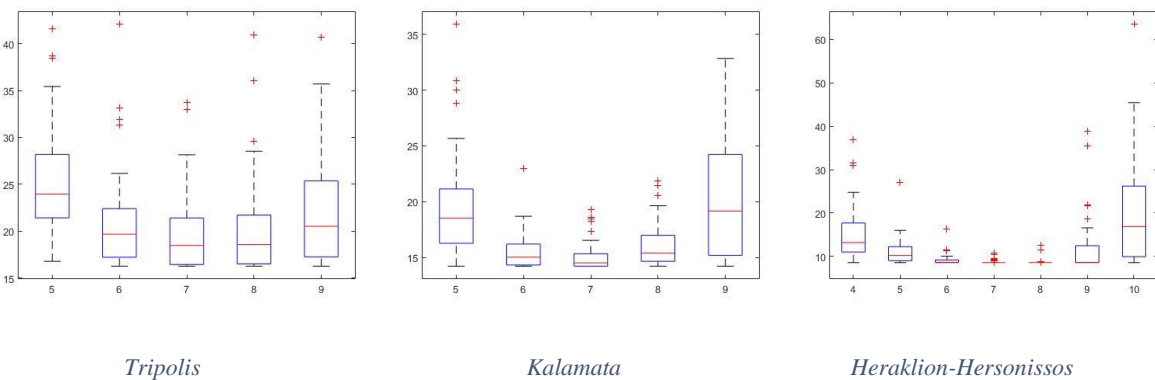


Figure 7 Boxplots of monthly Pinna (in the months of the corresponding dry period)

Moreover, a qualitative comparison of climate trends of all data was conducted in both the total (1957-2004) and dry periods. Same trends seem to exist in Tripolis and Kalamata, while Heraklion - Hersonissos region presents different trends among the timeseries of temperature, AI, PET and Irrigation Needs. AI tends to a rise in Tripolis and Kalamata, and to a decrease in Heraklion and Hersonissos. SPI3 and SPI6 show negative trends to all regions. Irrigation needs show a negative slope in Tripolis and Kalamata and positive in Heraklion and Hersonissos. As a result, there is an obvious correlation between the AI and irrigation needs. In dry period, AI, PINNA and SPI6 present negative trend in all regions, while the SPI3 trend is negative only in Tripolis and Heraklion. Likewise, irrigation needs show negative trend in Tripolis and Kalamata, and a positive one in Heraklion. This leads to a correlation of AI, PINNA and SPI6.

By the comparison of historical and synthetic averaged values and trends, the following results are generated. Regarding to the irrigation needs, a slight but general increase is observed to future timeseries compared with historical (Figure 8). In Kalamata and Heraklion, maximum values were remarked on July, and Tripolis on May. Future irrigation needs tend to a slight increase in all regions. The future AI increases in dry period in all the three regions studied, compared to the historical AI (Figure 9). The fact of increasing AI during the dry season is probably due to the increase of future precipitation or/and decreased future temperature. Generally, the future Aridity Index decreases in the most of the months.

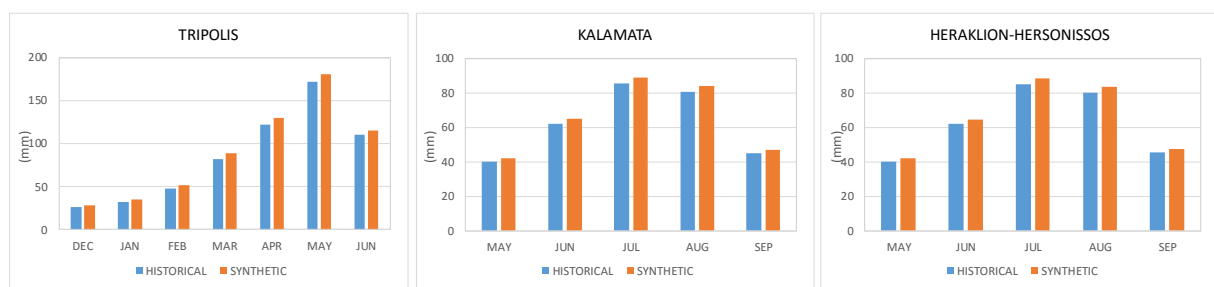


Figure 8 Average monthly values of irrigation needs

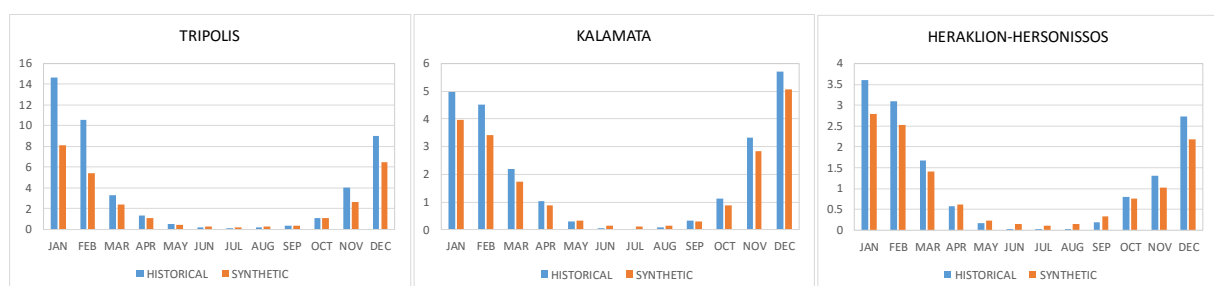


Figure 9 Average monthly values of AI

In Tripolis, future PINNA decreases on May, June and September (comparing the historic and future mean values), however its values are higher than 20, a value that is not in accordance with drought conditions (Figure 10). Also during the dry period, its future trend is negative. In Kalamata, future monthly means of Pinna are decreasing on May and September, and are estimated as lower than 20, so the regional future conditions can be characterized as semiarid Mediterranean. Future Pinna trends are negative in June, July, and August. In Heraklion and Hersonissos, mean Pinna increases during the dry period in future and its values are between 10 and 20 (semiarid Mediterranean climate). Negative trends are observed in most of the months.

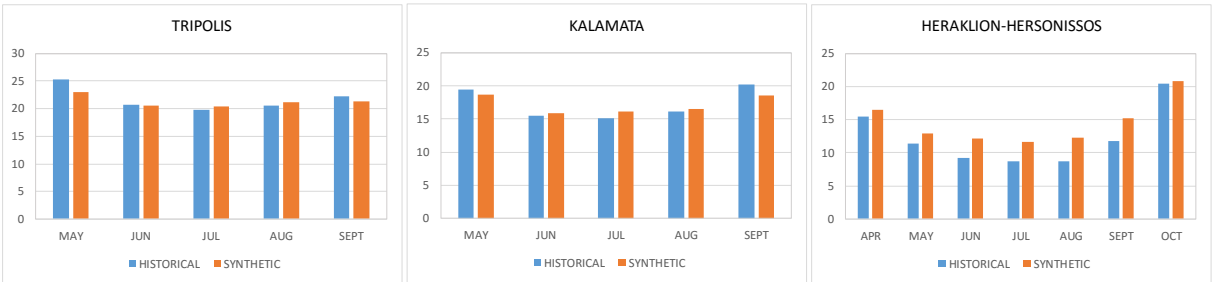


Figure 10 Average monthly values of PINNA

Figure 11 shows the correlation between historical and synthetic values of SPI3, which were calculated by the software DrinC[®] (Tigkas, 2013). The future values of SPI3 are decreasing comparing with the corresponding historical. The minimum value is observed in October, for both Tripolis and Kalamata (SPI3=0), while for Heraklion and Hersonissos in January with negative value. The values of SPI3 characterize the three regions, as regions with normal precipitation.

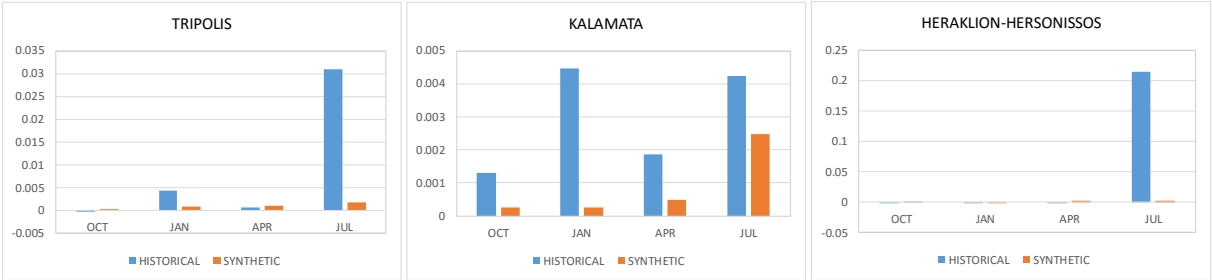


Figure 11 Average monthly values of SPI3

Figure 12 shows the correlation between historical and synthetic values of SPI6, which were calculated by software DrinC. Future values tend to a decrease in Tripolis and Kalamata, in contrast with Heraklion and Hersonissos where an increase can be shown. The minimum values are observed on October in Tripolis and Heraklion, while in April in Kalamata.

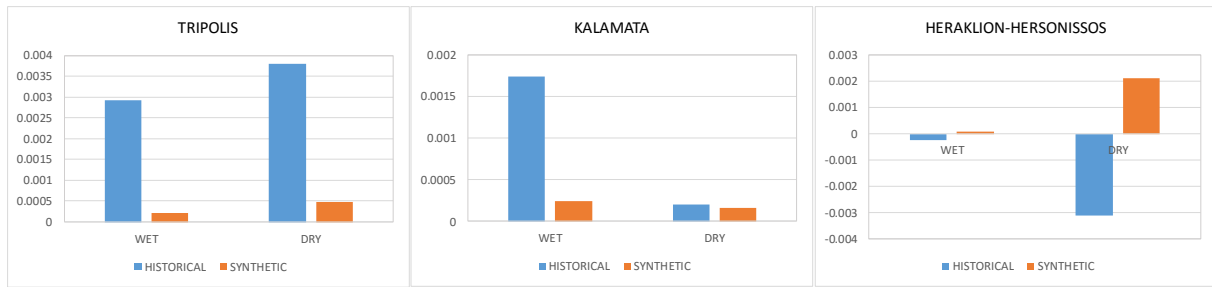


Figure 12 Average monthly values of SP6

Discussion and Conclusion

This study aims to the estimation of irrigation needs and investigation of their correlation with the drought indices, in selected areas of southern Greece, during the period 1957-2004. Furthermore, the future trend of drought indices through several climate variances is examined. The data which were used are air temperature, precipitation and crop distribution per area, in order to estimate potential evapotranspiration, irrigation needs, Aridity Index, Standardized Precipitation Index (SPI3, SPI6) and Pinna. The study area refers to municipalities of Tripolis, Kalamata, Heraklion and Hersonissos.

The main findings are summarized as follows:

- The irrigation needs show a decrease in Tripolis and Kalamata, and an increase in Heraklion and Hersonissos, during annual and dry period.
- The Aridity Index, in total period, increases in Tripolis and Kalamata and decreases in Heraklion and Hersonissos. In dry period the AI decreases in the three areas.
- SPI3 and SPI6 tend to a decrease, both in annual and dry period, in all of the above mentioned areas. Except for Kalamata, where SPI3 tends to an increase during the dry period.
- The Pinna indicator shows a negative trend to the three regions, during dry period.

According to the above conclusions, there is a correlation among the irrigation needs and all drought indices, only in the area of Heraklion, during the total and dry period.

The main findings of future trends to irrigation needs and drought indices are summarized as follows:

- Future irrigation needs trend to increase in all areas. It is a remarkable fact that in Kalamata irrigation needs trend to decrease in all months during the historical period, but the future trend seems to be rising in all months.

- AI tends to decrease in Tripolis in all months except for October, in Kalamata it decreases in all months except for June and September, in Heraklion and Hersonissos it decreases in all months except for June and July.
- SPI3 and SPI6 tend to decrease on all regions, except for Heraklion, where SPI3 tends to increase on July.
- Pinna indicator trend decreases in Tripolis in all months, in Kalamata in May, July, August and in Heraklion in April, May, August, September, October.

According to the average monthly values, the specific conclusions about the historical period 1957-2004 are summarized as follows:

- The maximum values of irrigation needs were shown during the dry period in all areas, with the highest value for Tripolis in May, while for Kalamata and Heraklion in July. Tripolis has the higher values in winter months, which is probably due to the fact that the cereals in this area consist the greatest percentage of cultivated land.
- The values of AI during the dry period, in Tripolis ranges from 0.2 to 0.5 (Semi-arid climatic zone), in Kalamata 0.03-0.3 (Hyper-arid, Semi-arid, and Arid climatic zone), in Heraklion from 0.006 to 0.2 (Hyper-arid and Arid climatic zone).
- SPI3 and SPI6 show periods with normal precipitation, for all three areas, because their values range from -0.99 to 0.99.
- In Tripolis, the values of Pinna indicator are higher than 20, in Kalamata between 10 and 20, and Heraklion between 10 and 20, except for June, July, August where Ip is lower than 10.

The specific conclusions about the future period, after applying A1B scenario are summarized as follow:

- The maximum values of irrigation needs were observed in July in Kalamata and Heraklion, and in May in Tripolis.
- According to the AI values, during the dry period, Tripolis belongs to the semi-arid climatic zone, Kalamata and Heraklion belong to the arid and the semi-arid climatic zone, respectively.
- SPI3 tends to a decrease, which means normal precipitation for the three regions. SPI6 also tends to a decrease in Tripolis and Kalamata, in contrast with Heraklion and Hersonissos where tends to an increase. Additionally, those values of SPI6 characterize areas with normal precipitation.

- Pinna indicator in Tripolis takes values higher than 20, in Kalamata and Heraklion-Hersonissos between 10 and 20, so as their climate can be characterized semiarid Mediterranean.

Selected References

- Koutsoyiannis D., Water and Agriculture, 2007, Notes of a graduate course: “Water Resources Management”, Department of Civil Engineering, National Technical University of Athens (NTUA), IPPS: “Water Resources Science and Technology”.
- Koutsoyiannis, D., Hydrometeorology, Evaporation and Transpiration, Department of Water Resources, National Technical University of Athens, Athens 2000.
- Ministry of Agriculture, 1992.
- Maris, F., P., 2013. Technical Hydrology, Department of Forestry & Environmental & Natural Resources Management, Laboratory of Settlement Mountain Water and Risk Management, undergraduate program, DUT.
- Mimikou, M.A., and Baltas, E.A., Engineering Hydrology, 5th Edition, Papasotiriou Publishing, Athens 2012.
- Papamihail D. M., Georgiou P. E. 2005. “Principles and Practice of Irrigation”, as Teaching Notes.
- Terzidi, G.A., Z.G. Papazafiriou, Agricultural Hydraulics, Ziti, Thessaloniki 1997.
- <http://www.fao.org/>
- Flocas A.A., Courses of Meteorology and Climatology, Ziti Publishing, Thessaloniki 1997.
- <http://drinc.ewra.net/>
- www.ecad.eu
- Applied Meteorology, Ziti, 2006, ISBN 960-456-038-7, ISBN-13 978-960-456-038-7
- Zambakas J. 1992. General Climatology. Department of Geology, National & Kapodistrian University of Athens: Athens, Greece.
- Kapsomenakis, J., Nastos, P.T., Douvis, K., Philandras, C.M., Tselioudis, G. and Zerefos, C.S., 2013. Regional Climate Models’ Future Simulations of Mean Air Temperature in Greece. In *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics* (pp. 493-499). Springer Berlin Heidelberg.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

1.1.1 Η ξηρασία: Ορισμοί και Δείκτες

Το νερό αποτελεί πηγή ζωής τόσο για τους ζωικούς όσο και για τους φυτικούς οργανισμούς. Είναι ένα από τα σημαντικότερα αγαθά που μας δίνει απλόχερα η φύση και η έλλειψη ή η μείωση των ποσοτήτων του έχει δυσμενείς επιπτώσεις. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει σημαντική αύξηση το φαινόμενο της ξηρασίας, το οποίο έχει γίνει αντικείμενο μελέτης και έρευνας, τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Χαρακτηρίζεται ως ένα ακραίο-κλιματικό φαινόμενο, το οποίο μπορεί να εμφανιστεί σε ανύποπτη χρονική στιγμή, σε οποιαδήποτε περιοχή και με απροσδιόριστη διάρκεια (Μπαλτάς, 2006).

Η εμφάνιση της ξηρασίας είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων και διαφέρει από τις άλλες ακραίες μετεωρολογικές καταστάσεις σε πολλά σημεία. Θεωρείται ως «έρπον φαινόμενο», καθώς η εμφάνισή της παρουσιάζει υστέρηση από τη στιγμή που θα παρατηρηθεί απουσία βροχοπτώσεων, ενώ τα καταστροφικά της αποτελέσματα μπορούν να συνεχιστούν και μετά την εμφάνιση κάποιων βροχοπτώσεων. Για το λόγο αυτό είναι δύσκολο να ορίσουμε την έναρξη και τη λήξη ενός επεισοδίου ξηρασίας. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος επιστημονικών ορισμών σχετικά με την ξηρασία, καθώς κάθε περιοχή χαρακτηρίζεται από διαφορετική κλιματολογία και τοπογραφία (Μπαλτάς, 2006). Γενικότερα, ο όρος ξηρασία χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια μακρά χρονική περίοδο, όπου η παρουσία του γλυκού νερού σε μια γεωγραφική περιοχή είναι σημαντικά μικρότερη από την αναμενόμενη, όπως αυτή έχει προσδιοριστεί με βάση το κλιματικό καθεστώς αλλά και τις απαιτήσεις νερού για την κάλυψη των τοπικών αναγκών (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 2007).

Εδώ αξίζει να γίνει σαφής διαχωρισμός μεταξύ των φαινομένων της ξηρασίας, της λειψυδρίας και της ερημοποίησης, τα οποία πολλές φορές παρουσιάζουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα να παρερμηνεύονται.

- Ως ξηρασία νοείται μια περιστασιακή και προσωρινή μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (π.χ. βροχοπτώσεων) και της διαθεσιμότητας του νερού σε σχέση με τις φυσιολογικές τιμές. Είναι φυσικό φαινόμενο, αναφέρεται σε μια μεγάλη χρονική περίοδο και καλύπτει μια ευρεία περιοχή (Nastos et al., 2013).
- Λειψυδρία χαρακτηρίζεται η κατάσταση κατά την οποία η ζήτηση του νερού υπερβαίνει, σε συνθήκες αειφορίας, τους εκμεταλλεύσιμους υδατικούς πόρους

(Επιτροπή των Περιφερειών, 2008). Σε αντίθεση με την ξηρασία, η λειψυδρία είναι ανθρωπογενές φαινόμενο. Έτσι προβλήματα διαθεσιμότητας νερού, εμφανίζονται συχνά σε περιοχές που εκτός από χαμηλά επίπεδα βροχοπτώσεων, παρατηρείται αυξημένος αριθμός πληθυσμού, εντατική άρδευση, καθώς και βιομηχανική δραστηριότητα. Επίσης φαινόμενα λειψυδρίας εντοπίζονται και σε περιπτώσεις υποβαθμισμένης ποιότητας νερού από διάφορες πηγές ρύπανσης (<http://ec.europa.eu/>).

- Σαν ερημοποίηση νοείται η διαδικασία κατά την οποία η γόνιμη γη υποβαθμίζεται και σταδιακά εξαφανίζεται, δημιουργώντας κηλίδες απογυμνωμένων περιοχών, που εξαπλώνονται και πιθανά ενοποιούνται, διαμορφώνοντας περιοχές μικρής παραγωγικότητας. Η σημαντικότερη διεργασία που είναι υπεύθυνη για το φαινόμενο της ερημοποίησης είναι η διάβρωση, η οποία αποτελεί τον μεγαλύτερο κίνδυνο υποβάθμισης των εδαφών, καθώς προκαλεί δραστική μείωση του βάθους, της γονιμότητας και της παραγωγικότητας των εδαφών, όπως και της βλάστησης (Kosmas et al., 1999). Η επίδραση του ανθρώπου στο περιβάλλον, σύμφωνα με τις κοινωνικοοικονομικές και πολιτικές συνθήκες έχει όλο και περισσότερες αρνητικές επιπτώσεις, με αποτέλεσμα την ερημοποίηση της γης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περιοχή της Λέσβου, όπου πριν από 45-50 χρόνια, περιοχές που καλλιεργούνταν με σιτηρά, αμπέλια και ελιές εγκαταλείφθηκαν λόγω της χαμηλής παραγωγικότητας. Μετά την εγκατάλειψη, η περιοχή χρησιμοποιήθηκε για μέτρια βόσκηση και οι θάμνοι που αναπτύσσονταν καταστρέφονταν περιστασιακά από πυρκαγιές. (Κοσμάς, 2009)

Η ξηρασία διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες: τη μετεωρολογική, τη γεωργική, την υδρολογική και την κοινωνικοοικονομική ξηρασία (Wilhite and Glantz, 1985). Η μετεωρολογική ξηρασία (meteorological drought) ορίζεται με βάση τη σύγκριση των βροχοπτώσεων με τις κανονικές ή τις μέσες τιμές της βροχόπτωσης. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO, 1986), σε κάθε χώρα ή περιοχή, η ξηρασία καθορίζεται ως το 60% ή λιγότερο του κανονικού ετήσιου νετού για περισσότερο από δύο συνεχόμενα έτη σε έκταση μεγαλύτερη του 50% της περιοχής.

- Η μετεωρολογική ξηρασία παρουσιάζει ιδιαίτερο τοπικό χαρακτήρα και η έντασή της, καθώς και η διάρκειά της, είναι τα κύρια χαρακτηριστικά της.
- Η γεωργική ξηρασία (agricultural drought) ορίζεται με βάση τις επιπτώσεις που έχει η μετεωρολογική ξηρασία στη γεωργία, εστιάζοντας κυρίως στην απουσία

βροχοπτώσεων, στη διαφορά μεταξύ πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, στο εδαφικό νερό, κ.α. Η ανάγκη ενός φυτού σε νερό είναι άμεσα συνυφασμένη με τις καιρικές συνθήκες, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του είδους του, το στάδιο ανάπτυξής του, καθώς και με τις φυσικές και βιολογικές ιδιαιτερότητες του εδάφους. Έτσι για παράδειγμα, αν παρατηρηθεί ξηρή περίοδος κατά τη διάρκεια χειμερινής περιόδου μπορεί να έχει μικρές ή και ανύπαρκτες επιπτώσεις. Στην περίπτωση όμως που συνεχιστεί και κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, οι επιπτώσεις θα είναι σημαντικές, αφού οι μικρές ποσότητες βροχόπτωσης σε συνδυασμό με τη χαμηλή περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία, αποτέλεσμα της ξηρασίας κατά τη χειμερινή περίοδο, έχουν ως αποτέλεσμα την έλλειψη υγρασίας στο έδαφος κατά την εαρινή περίοδο, και εν συνεχεία αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών.

- Ως υδρολογική ξηρασία (hydrological drought) χαρακτηρίζεται εκείνη η οποία σχετίζεται με τα αποτελέσματα που έχει μια περίοδος με ύψος βροχής μικρότερο από τη μέση τιμή, σε συνδυασμό με τα χαμηλά υδατικά αποθέματα του εδάφους και του υπεδάφους, όπως για παράδειγμα η πτώση στάθμης στους ταμιευτήρες. Συνήθως η υδρολογική ξηρασία παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνιση της σε σύγκριση με τη μετεωρολογική και γεωργική ξηρασία, με την πρώτη να εμφανίζεται αμέσως μόλις καταγραφεί η έλλειψη βροχής και τη δεύτερη να εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους.
- Η κοινωνικοοικονομική ξηρασία (socioeconomic drought) ουσιαστικά εκφράζει τη συσχέτιση των αποθεμάτων νερού με τις απαιτήσεις της κοινωνίας σε οικονομικά αγαθά ή υπηρεσίες, σε συνδυασμό με τις προαναφερθείσες μορφές ξηρασίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ανάγκες των αγαθών γίνονται εντονότερες όσο τα αποθέματα μειώνονται, γεγονός που έχει σοβαρές επιπτώσεις στην κοινωνική και οικονομική κατάσταση μιας περιοχής.

Οι παράμετροι που διαφοροποιούν τα διάφορα επεισόδια ξηρασίας μεταξύ τους είναι η ένταση, η διάρκεια και η χωρική κατανομή. Η ένταση της ξηρασίας αναφέρεται στην ελάττωση της βροχόπτωσης και στη σημαντικότητα των επιπτώσεων της ελάττωσης αυτής. Αναφορικά με τη διάρκεια, ένα επεισόδιο ξηρασίας μπορεί να παρουσιάζει υστέρηση σε σχέση με την πρώτη ελάττωση ή την πλήρη απουσία βροχόπτωσης, ενώ στη συνέχεια μπορεί να διατηρείται για μήνες ή για χρόνια, παρά το γεγονός ότι στο διάστημα αυτό μπορεί να καταγραφούν βροχοπτώσεις μικρής όμως σημαντικότητας. Τέλος, όσον αφορά τη χωρική

κατανομή, οι περιοχές που επηρεάζονται από ακραία φαινόμενα ξηρασίας αυξάνουν σταδιακά όσο η ξηρασία διατηρείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες, οι οποίες εξηγούν τα αίτια της εμφάνισης του φαινομένου της ξηρασίας. Οι αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας είναι δυνατόν να προκαλέσουν το εν λόγω φαινόμενο. Ειδικότερα, κατά τους Bryson και Murray (1977), η ξηρασία στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και της βόρειας Αφρικής οφείλεται κατά κύριο λόγο στη θέση των κυμάτων Rossby. Ακόμα αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία μπορεί να προκαλέσει και η εισαγωγή μεγάλης ποσότητας ηφαιστειακής τέφρας ή λεπτόκοκκου κονιορτού από τις ερήμους. Το φαινόμενο Ελ Νίνιο (El Niño) μπορεί να αποτελέσει μία εξήγηση για την εμφάνιση της ξηρασίας, σύμφωνα με το οποίο παρατηρείται συσσώρευση θερμού νερού στον ανατολικό Ειρηνικό, καθιστώντας αδύνατη την ανύψωση, των ψυχρών και πλούσιων σε τροφή νερών, από τα βαθύτερα στρώματα στις παράκτιες περιοχές της Αμερικής, με αποτέλεσμα την αποξυγόνωση των θαλάσσιων ειδών της περιοχής. Και το αντίθετο όμως με αυτό φαινόμενο, το γνωστό ως Λα Νίνια (La Niña), δηλαδή φαινόμενο το οποίο χαρακτηρίζεται από ψυχρές επιφανειακές ωκεάνιες μάζες στον Ειρηνικό ωκεανό, αποτελεί μία από τις αιτίες της ξηρασίας. Τέλος, διάφοροι αστρονομικοί παράγοντες, όπως οι ηλιακές κηλίδες και οι σεληνιακοί κύκλοι συμβάλλουν στο παραπάνω φαινόμενο.

Για τον υπολογισμό της έντασης και της έκτασης της ξηρασίας, καθώς και για την αναγνώριση και δυνατότητα αξιολόγησής της, τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε μια ευρύτερη περιοχή, χρησιμοποιούνται διάφοροι δείκτες ξηρασίας.

- Ο δείκτης SPI (Standardized Precipitation Index) χρησιμοποιείται με κύριο σκοπό την ανίχνευση της έναρξης και την παρακολούθηση των επεισοδίων ξηρασίας (McKee et al, 1993). Η διαφορά του από τους υπόλοιπους δείκτες έγκειται στο γεγονός ότι αναγνωρίζει έγκαιρα τα διάφορα επεισόδια ξηρασίας. Υπολογίζεται συγκρίνοντας το συνολικό ύψος των κατακρημνίσεων μιας περιοχής, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, με τη μέση τιμή του ύψους κατακρημνίσεων της ίδιας χρονικής περιόδου που προκύπτει από ιστορικές χρονοσειρές.
- Ο δείκτης PDSI (Palmer Drought Severity Index) δημιουργήθηκε με σκοπό τη μέτρηση της υγρασίας και υπολογίζεται σύμφωνα με τα δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας, καθώς και το διαθέσιμο νερό του εδάφους. Αποτελεί έναν μετεωρολογικό δείκτη ξηρασίας, ο οποίος εκφράζει τη διάρκεια ενός ξηρού ή υγρού επεισοδίου.

- Άλλον έναν δείκτη αποτελεί το ποσοστό της μέσης τιμής βροχόπτωσης (normal), ο οποίος υπολογίζεται διαιρώντας το ύψος της βροχόπτωσης με τη μέση τιμή αυτής και πολλαπλασιάζοντας με το 100. Οι υπολογισμοί αυτού του δείκτη αφορούν είτε έναν μήνα, είτε ένα σύνολο μηνών.
- Επιπρόσθετα στους δείκτες ξηρασίας περιλαμβάνεται και ο δείκτης παροχής επιφανειακού νερού (Surface Water Supply Index-SWPI), ο οποίος αποτελεί ένα είδος μέτρου του επιφανειακού νερού και εξαρτάται από το νερό που απορρέει από τα βουνά, όπου το χιόνι παίζει σημαντικό ρόλο. Το πάχος χιονιού, η παροχή, η βροχόπτωση και το πλεόνασμα νερού (απόθεμα), τα οποία διαφοροποιούνται ανάλογα με την χρονική περίοδο μελέτης, είναι απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό αυτού του δείκτη.
- Επίσης, ο δείκτης υγρασίας σοδειάς (Crop Moisture Index-CMI) ανιχνεύει την κατάσταση υγρασίας μιας σοδειάς από εβδομάδα σε εβδομάδα, με μετεωρολογική προσέγγιση. Εκτιμά μικρής διάρκειας καταστάσεις υγρασίας, κυρίως για αγροτικές περιοχές, και για τον υπολογισμό του απαιτούνται οι μέσες θερμοκρασίες και το ύψος βροχόπτωσης για κάθε εβδομάδα, καθώς και οι τιμές του συγκεκριμένου δείκτη της προηγούμενης εβδομάδας.
- Ακόμα έναν δείκτη ξηρασίας αποτελεί και ο Εθνικός Δείκτης Βροχόπτωσης (National Rainfall Index-RI), ο οποίος συγκρίνει τιμές βροχόπτωσης με έντονη διακύμανση σε ηπειρωτική κλίμακα στην Αφρική. Ο δείκτης αυτός συνδέεται και με την παραγωγή αγροτικών προϊόντων.
- Επιπλέον, ο δείκτης ξηρότητας (Aridity Index-AI) συμβάλλει στην κατανόηση της εξέλιξης του φαινομένου της ξηρασίας. Είναι ένας κλιματικός δείκτης, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και πρόβλεψη του φαινομένου της ξηρασίας, ενώ ο υπολογισμός του πραγματοποιείται μέσω της επεξεργασίας μετεωρολογικών δεδομένων, όπως θερμοκρασία αέρα, βροχόπτωση και εξατμισοδιαπνοή. Ο δείκτης αυτός κατατάσσει τον τύπο του κλίματος σε σχέση με τη διαθεσιμότητα του νερού, με αποτέλεσμα μια περιοχή να μπορεί να χαρακτηριστεί ως υπερβολικά ξηρή, ξηρή, ημίξηρη, ύφυγη και υγρή (Nastos et al., 2013).
- Τέλος, ο δείκτης ξηρασίας Pinna (I_p) θεωρείται κατάλληλος για τις περιοχές και εποχές όπου είναι απαραίτητη η άρδευση. Κι αυτό γιατί εμπεριέχει την κατακρήμνιση και τη θερμοκρασία του αέρα του ξηρότερου μήνα. Το κλίμα μιας περιοχής χαρακτηρίζεται ως ξηρό όταν η τιμή του δείκτη I_p είναι μικρότερη από 10 ($I_p < 10$),

ενώ όταν η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20 ($10 \leq I_p \leq 20$), το κλίμα θεωρείται ως ημίξηρο Μεσογειακό με τυπική μεσογειακή βλάστηση (Μπαλτάς, 2006).

1.1.2 Άρδευση και Διαχείριση Αρδευτικού Νερού

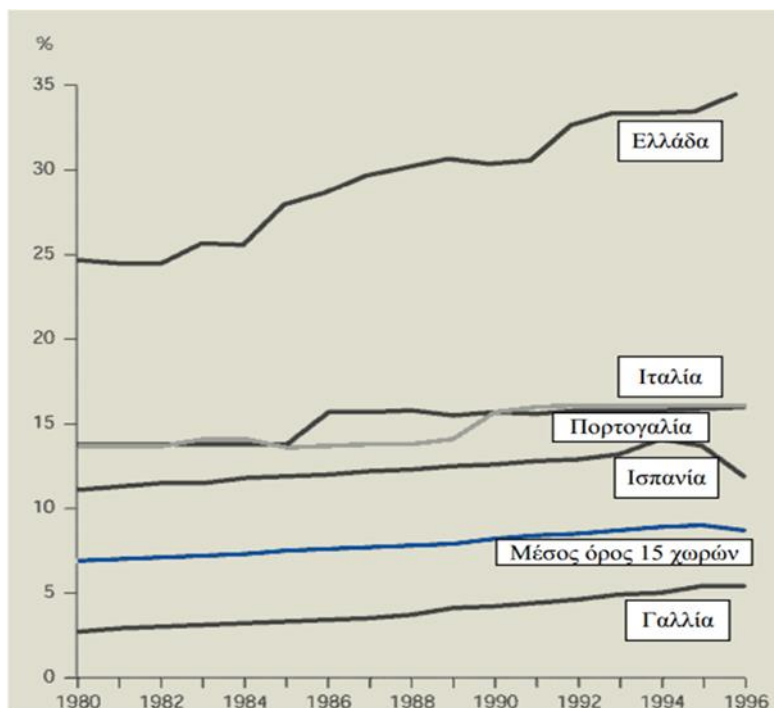
Στις περιοχές που υποφέρουν από φαινόμενα ξηρασίας η χαμηλή περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό αποτελεί τον πιο περιοριστικό παράγοντα της απόδοσης των φυτών. Ακόμη όμως και σε υγρές περιοχές, πολύ σπάνια οι συνθήκες της εδαφικής υγρασίας σε όλη την περίοδο ανάπτυξης των φυτών είναι οι βέλτιστες δυνατές, με αποτέλεσμα οι αποδόσεις τους να είναι σημαντικά χαμηλότερες από τις μέγιστες δυνατές. Από πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί σε χώρες με αυξημένη υγρασία, όπως η Αγγλία, έχει αποδειχτεί πως η συμπληρωματική εφαρμογή ύδατος προκαλεί σημαντική αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών, ακόμα και σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας, όπως ο σίτος (Πουλοβασίλης, 1986). Έτσι λοιπόν για την βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή διαφόρων μεθόδων άρδευσης.

Με τη διαδικασία της άρδευσης επιτυγχάνεται ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο, για την κανονική τους ανάπτυξη, νερό και η μεγιστοποίηση της απόδοσης τους σε συνδυασμό με την υψηλή ποιότητα των προϊόντων. Το φυτό που βρίσκεται στη φάση ανάπτυξης, προσλαμβάνει την απαραίτητη ποσότητα νερού και διαλυμένων σε αυτό θρεπτικών συστατικών, από το ριζικό του σύστημα και διαμέσου των φυτικών ιστών καταλήγει στα φύλλα. Εκεί όταν τα στομάτια των φύλλων είναι ανοιχτά το νερό αποβάλλεται με τη μορφή υδρατμών στην περιβάλλουσα ατμόσφαιρα και έτσι πραγματοποιείται η διαδικασία της διαπνοής. Ποσότητα νερού επίσης μπορεί να απομακρυνθεί και από το χωράφι με τη διαδικασία της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους, όταν αυτή έχει αυξημένη περιεκτικότητα σε υγρασία. Το ποσοστό του νερού που χάνεται από τον αγρό με τις παραπάνω διαδικασίες αποτελεί την εξατμισοδιαπνοή.

Οι ανάγκες σε νερό μιας καλλιέργειας εκφράζουν την ποσότητα του νερού που απαιτείται για την κανονική ανάπτυξή της και τη βέλτιστη απόδοσή της και αντιπροσωπεύονται από την λεγόμενη «εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας». Η εξατμισοδιαπνοή αυτή θεωρείται η ποσότητα του νερού που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια, η οποία είναι ελεύθερη από κάθε είδους φυτικές ασθένειες, αναπτύσσεται σε μεγάλα χωράφια, χωρίς περιορισμούς στη διαθεσιμότητα του νερού και των θρεπτικών συστατικών και επιτυγχάνει το μέγιστο της απόδοσης κάτω από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αποτελεί ουσιαστικά τη μέγιστη

εξατμισοδιαπνοή. Το νερό που χρησιμοποιείται από μια καλλιέργεια κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες του χωραφιού (εδαφική υγρασία, ασθένειες, γονιμότητα εδάφους, κ.α.) ονομάζεται πραγματική εξατμισοδιαπνοή, η οποία έχει ως μέγιστη τιμή τη μέγιστη εξατμισοδιαπνοή που είναι ισοδύναμη με την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. (Τερζίδης & Παπαζαφειρίου, 1997)

Στην Ελλάδα ο πρωτογενής τομέας αποτελεί τον κυριότερο καταναλωτή νερού. Η ποσότητα του νερού που προορίζεται για αρδευτικούς σκοπούς αντιστοιχεί σε ποσοστό 84% των καταναλωτικών χρήσεων. Στη χώρα μας το ποσοστό της αρδευόμενης έκτασης επί της συνολικής ξεπερνά κατά πολύ τον ευρωπαϊκό μέσο όρο αλλά και εκείνο των άλλων μεσογειακών χωρών της Ευρώπης, κατατάσσοντάς τη έτσι στην πρώτη θέση (Σχήμα 1.1). Αυτή η διαφοροποίηση έγκειται στην επικράτηση διαφορετικών κλιματολογικών συνθηκών σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες και όχι σε χαμηλό επίπεδο οικονομικής ανάπτυξης συγκριτικά π.χ. με χώρες του Ευρωπαϊκού Βορρά, όπως πολλοί ισχυρίζονται. Στις χώρες του Βορρά, λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών και υψηλότερου ύψους βροχοπτώσεων, το καλοκαίρι οι αρδευτικές ανάγκες είναι πολύ περιορισμένες ή και μηδενικές. Μόνο στις χώρες του Νότου οι αρδευτικές ανάγκες είναι σημαντικές (Κουτσογιάννης, 2007).



Σχήμα 1.1 Αρδευόμενη επιφάνεια ως ποσοστό της συνολικής για διάφορες χώρες της Ευρώπης (Πηγή: FAO, Eurostat/NewCronos)

Συγκεκριμένα, το ποσοστό των γεωργικών γαιών που αρδεύονται στην Ελλάδα κατέχει το 32% του συνόλου, ενώ το αντίστοιχο των αρδευόμενων πεδινών εδαφών το 60% (Ελληνική Επιτροπή για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης, 2001). Ειδικότερα, το 40% της

συνολικά αρδευόμενης έκτασης αρδύεται από τα συλλογικά εγχειοβελτιωτικά έργα αρμοδιότητας του Υπουργείου Γεωργίας, δηλαδή 5.200.000 στρέμματα επί συνόλου 13.200.000. Από αυτά το 35–40% με επιφανειακές μεθόδους, το 50–55% με συστήματα καταιονισμού, και το 10% με στάγδην άρδευση και λοιπά συστήματα μικροαρδύσεων (Υπουργείο Γεωργίας, 2002). Το υπόλοιπο 60% των αρδευόμενων εκτάσεων της χώρας αρδύεται από ιδιωτικά αρδευτικά έργα (Υπουργείο Γεωργίας, 2002). Παρά το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξημένη χρήση του καταιονισμού και της στάγδην άρδευσης (π.χ. στην Κρήτη η στάγδην άρδευση φτάνει το 80%, Περιφέρεια Κρήτης, 2002), η αποτελεσματικότητα των αρδύσεων έχει ακόμα σημαντικά περιθώρια βελτίωσης.

Σήμερα στη χώρα μας λειτουργούν αρδευτικά έργα και δίκτυα σε μεγάλες και μικρές πεδιάδες σε συνολική έκταση αναλογικά μεγαλύτερη από κάθε άλλη ευρωπαϊκή χώρα. Παρόλα αυτά πολλές εκτάσεις παραμένουν χωρίς αρδευτική υποδομή, για τις οποίες έχουν γίνει μελέτες ή προχωρεί η κατασκευή έργων, αλλά με σχετικά αργούς ρυθμούς. Η αρχική ένταση κατασκευής νέων εγχειοβελτιωτικών έργων υποχώρησε από τη δεκαετία του 1980 και μετά, ενώ τη δεκαετία του 1990 δόθηκε έμφαση σε μικρής κλίμακας έργα συλλογής νερού (λιμνοδεξαμενές) (Κουτσογιάννης, 2007).

Πηγές υδροδότησης των συλλογικών έργων αποτελούν τα επιφανειακά νερά, σχεδόν αποκλειστικά, ενώ των ιδιωτικών αρδευτικών έργων είναι κυρίως τα υπόγεια. Τα έργα αυτά χαρακτηρίζονται συνήθως ως υψηλού κόστους και λειτουργίας επενδυτικές δραστηριότητες απόληψης-μεταφοράς και κατανομής των υδατικών πόρων με την υπάρχουσα νομοθεσία αδειών και επιδότησής τους. Παράλληλα όμως λειτουργεί σημαντικός αριθμός παράνομων αντλήσεων-γεωτρήσεων στα όρια δικαιοδοσίας των συλλογικών εγχειοβελτιωτικών έργων, αλλά και των ιδιωτικών έργων, με αποτέλεσμα την ποσοτική και ποιοτική υποβάθμιση των νερών, ιδιαίτερα σε μακρές περιόδους υψηλών αναγκών (ξηρασίας) και σε περιοχές εδαφών μη αναστρέψιμων συνθηκών (αλατούχων, αλατούχων-αλκαλιωμένων, αλκαλιωμένων με νάτριο) (Περγιαλιώτης, 2001).

Οι αρμόδιοι φορείς για τη διοίκηση, λειτουργία και συντήρηση των συλλογικών εγχειοβελτιωτικών έργων ανέρχονται στους 419. Συγκεκριμένα είναι 11 Γενικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (ΓΟΕΒ), 384 Τοπικοί Οργανισμοί Εγγείων Βελτιώσεων (ΤΟΕΒ), 2 Ειδικοί Οργανισμοί (Αυτόνομος Οργανισμός Στυμφαλίας Ασωπού Κορινθίας και Οργανισμός Κωπαΐδας), 22 Προσωρινές Διοικούσες Επιτροπές και 6 Τοπικές Επιτροπές Άρδευσης (Υπουργείο Γεωργίας, 2002).

Κάθε μέθοδος άρδευσης θεωρείται ότι είναι επιτυχημένη όταν η ποσότητα του αρδευτικού νερού που αποθηκεύεται σε κάθε αγροτεμάχιο είναι ίση με το καθαρό ύψος των αρδευτικών αναγκών και με τέτοιο τρόπο ώστε οι απώλειες σε βαθειά διήθηση και επιφανειακή απορροή να είναι οι ελάχιστες δυνατές. Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός θα πρέπει το νερό να εφαρμόζεται όσο το δυνατόν ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του αγρού και να παραμείνει όσο χρόνο απαιτείται για την αποθήκευση του παραπάνω ύψους νερού (Τσακίρης, 2006).

Οι τρόποι με τους οποίους παρέχεται το νερό στο χωράφι ορίζονται σαν μέθοδοι άρδευσης. Ανάλογα, λοιπόν με τον τρόπο εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο αγροτεμάχιο διακρίνουμε τέσσερις κύριες μεθόδους άρδευσης. Αυτές είναι η επιφανειακή άρδευση, η άρδευση με εκτοξευτήρες (κλασικός καταιονισμός), η άρδευση με αυτοπροωθούμενα συστήματα καταιονισμού και η μικροάρδευση. Εν συνεχεία αναλύονται οι συγκεκριμένες μέθοδοι (Τσακίρης, 2006).

- Στη μέθοδο της επιφανειακής άρδευσης διακρίνονται τρεις υποκατηγορίες μεθόδων, η μέθοδος της κατάκλυσης (ή μέθοδος των λεκανών), η μέθοδος με περιορισμένη διάχυση (ή μέθοδος των λωρίδων) και η μέθοδος με αυλάκια. Στην επιφανειακή άρδευση το νερό εφαρμόζεται, είτε με σταθερό σύστημα, είτε με κινούμενο. Στην πρώτη περίπτωση, όπου πρακτικά η επιφάνεια του αγρού έχει μηδενική κλίση, η άρδευση ονομάζεται οριζόντια και εκεί ανήκει η μέθοδος των λεκανών. Στη δεύτερη περίπτωση, όπου η επιφάνεια του αγρού παρουσιάζει κλίση, η οποία επιτρέπει την κίνηση του νερού προς τα κάτω, η άρδευση ονομάζεται κεκλιμένη και εκεί ανήκει η μέθοδος των παράλληλων λωρίδων, καθώς και η μέθοδος των αυλακιών. Αναφορικά με τη μέθοδο της κατάκλυσης ή των λεκανών ο αγρός χωρίζεται με αναχώματα σε σχεδόν οριζόντιες λεκάνες, όπου παροχετεύεται το νερό σε ένα ή περισσότερα σημεία, μέχρι να φτάσει σε βάθος ίσο με το ολικό ύψος άρδευσης, οπότε διακόπτεται η παροχή και το νερό αφήνεται να διηθηθεί. Με τη μέθοδο αυτή αρδεύονται συνήθως καλλιέργειες σε πυκνή σπορά, όπως η μηδική, διάφορες άλλες χορτοδοτικές καλλιέργειες και το ρύζι. Για να είναι επιτυχής η εφαρμογή της άρδευσης με κατάκλυση, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ελαχιστοποίηση της βαθειάς διήθησης, η οποία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υποστράγγισης. Στην άρδευση με λωρίδες ή περιορισμένη διάχυση το χωράφι χωρίζεται σε λωρίδες με την κατασκευή παράλληλων αναχωμάτων κατά τη μέγιστη κλίση. Με αυτή τη μέθοδο αρδεύονται καλλιέργειες σε πυκνή σπορά, όπως η μηδική και όλες οι χορτοδοτικές καλλιέργειες, εκτός από το ρύζι και τις καλλιέργειες που αναπτύσσονται σε λιμνάζοντα νερά.

Επίσης, μπορούν να αρδευτούν τα δημητριακά, οι οπωρώνες και οι αμπελώνες. Τέλος, η άρδευση με αυλάκια εφαρμόζεται κυρίως σε γραμμικές καλλιέργειες, όπου ο αγρός διαμορφώνεται σε αυλάκια συνήθως με κατεύθυνση προς τη μέγιστη κλίση, στο πάνω μέρος των οποίων παροχετεύεται νερό με μικρή σχετικά παροχή. Η μέθοδος αυτή μειονεκτεί έναντι των άλλων δύο, καθώς ο διάβρωση του εδάφους είναι μεγαλύτερη. Κι αυτό γιατί στα αυλάκια το νερό έρχεται σε άμεση επαφή με το έδαφος, ενώ στις άλλες δύο μεθόδους η επιφάνεια του εδάφους προστατεύεται ήδη από την καλλιέργεια.

- Στην άρδευση με τη μέθοδο του καταιονισμού ή των εκτοξευτήρων, η μεταφορά και διανομή του νερού πραγματοποιείται μέσω δικτύου κλειστών σωληνωτών αγωγών υπό πίεση. Βέβαια δεν αποκλείονται και οι περιπτώσεις μεταφοράς του νερού μέσω δικτύων ανοιχτών αγωγών και το δίκτυο εφαρμογής να χρησιμοποιεί αντλητικό συγκρότημα για τη λειτουργία των εκτοξευτήρων. Η μέθοδος αυτή διαφέρει απ' την αντίστοιχη της επιφανειακής άρδευσης στο ότι απαιτεί κάποιο υδραυλικό φορτίο για τη λειτουργία των εκτοξευτήρων και την εφαρμογή του αρδευτικού νερού. Το νερό εφαρμόζεται σε όλη την επιφάνεια του χωραφιού ως τεχνητή βροχή, που διηθείται στο έδαφος κατακόρυφα υπό ακόρεστες συνθήκες ροής. Αν το σύστημα σχεδιαστεί σωστά η κατανομή του νερού πάνω στο έδαφος είναι αρκετά ομοιόμορφη, με αποτέλεσμα να μην παρατηρείται επιφανειακή συγκράτηση στις κοιλότητες και η επιφανειακή απορροή να είναι μηδενική (Pillsbury, 1968, ASAE, 1974, Addink κ.ά., 1983, USDA, 1984a, Benami και Ofen, 1984, Karmeli κ.α., 1985, Τσακίρης, 1986, James, 1988, Hoffman κ.α., 1990, Παπαζαφειρίου και Παπαμιχαήλ, 1996). Η άρδευση με τη μέθοδο του καταιονισμού εφαρμόζεται σε όλες σχεδόν τις καλλιέργειες και ιδιαίτερα σε ανομοιόμορφα εδάφη, αβαθή, πολύ διαπερατά, με υψηλή υπόγεια στάθμη, μεγάλη κλίση και ανώμαλη τοπογραφία, καθώς και όταν η διατιθέμενη παροχή είναι σχετικά μικρή. Ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης και λειτουργίας, τα συστήματα καταιονισμού διακρίνονται σε μόνιμα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την άρδευση καλλιεργειών μεγάλης αξίας και χορτοταπήτων, αφού η δαπάνη εγκατάστασής τους είναι μεγάλη, σε ημιμόνιμα με τα οποία αρδεύονται οι οπωρώνες και σε μεταφερόμενα τα οποία αρδεύουν πολλές ετήσιες καλλιέργειες, καθώς και μηδική.
- Η τρίτη μέθοδος άρδευσης, με αυτοπροωθούμενα συστήματα καταιονισμού, κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος έναντι του κλασικού καταιονισμού, καθώς η μετακίνηση των υλικών του τελευταίου στα αγροτεμάχια καθίσταται δύσκολη και κοπιαστική. Ο αυτοκινούμενος εκτοξευτήρας υψηλής πίεσης (καρούλι) είναι ένας μεγάλος υψηλής

πίεσης εκτοξευτήρας που τροφοδοτείται με νερό μέσω ενός εύκαμπτου σωλήνα από πολυαιθυλένιο και κινείται από το ένα άκρο του χωραφιού μέχρι το άλλο αρδεύοντας μια λωρίδα εδάφους. Σ' αυτό το είδος της άρδευσης ανήκει η υποκατηγορία της άρδευσης με ράμπα, όπου ο αυτοκινούμενος εκτοξευτήρας υψηλής πίεσης αντικαθίσταται με αυτοκινούμενη ράμπα η οποία φέρει αριθμό μικροεκτοξευτήρων. Η τελευταία μέθοδος άρδευσης εφαρμόζεται σε ετήσιες καλλιέργειες, στα αρχικά τους όμως στάδια, αφού η μεγάλη δύναμη πρόσκρουσης των σταγόνων στους αυτοκινούμενους εκτοξευτήρες υψηλής πίεσης είναι επιβλαβής στα νεαρά φυτά και στο έδαφος.

- Στην τελευταία μέθοδο άρδευσης, αυτήν της μικροάρδευσης διακρίνονται τρεις υποκατηγορίες μεθόδων, η άρδευση με σταγόνες ή στάγδην άρδευση (trickle or drip irrigation), η άρδευση με μικροεκτοξευτήρες (microsprayers) και η υπόγεια άρδευση με σταγόνες (subsurface drip irrigation). Πρόκειται για διαφορετικές μεθόδους άρδευσης, με κοινό χαρακτηριστικό το γεγονός ότι κατά τη λειτουργία τους απαιτείται σχετικά χαμηλή πίεση στο δίκτυο και το νερό εφαρμόζεται σε μικρές ποσότητες, έτσι που κάθε φυτό χωριστά να εφοδιάζεται με την απαραίτητη υγρασία για την κανονική του ανάπτυξη και απόδοση. Οι μικροαρδεύσεις παρουσιάζουν αυξημένη ζήτηση τα τελευταία χρόνια, καθώς συνεπάγονται σημαντική οικονομία νερού και εργατικών χεριών, με σημαντικότερα πλεονεκτήματα την αξιοποίηση μικρών ποσοτήτων νερού και την εφαρμογή τους σε περιοχές με ανώμαλο ανάγλυφο, χωρίς την ανάγκη ισοπέδωσης. Συγκεκριμένα η στάγδην άρδευση αρχικά εφαρμόστηκε σε καλλιέργειες λαχανικών, οπωρώνων και αμπελώνων, αλλά στη συνέχεια επεκτάθηκε στις περισσότερες γραμμικές καλλιέργειες (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούν και τα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα, τα οποία αναπτύχθηκαν διαχρονικά μαζί με τις μεθόδους άρδευσης σε μια σχέση αλληλοεξάρτησης. Ως συλλογικά αρδευτικά δίκτυα νοούνται υδραυλικά συστήματα, τα οποία έχουν σκοπό να μεταφέρουν το νερό από το σημείο υδροληψίας (φυσική ή τεχνητή λίμνη, εκτροπή ποταμού, γεώτρηση) στην αρδευτική περίμετρο και να το διανείμουν στις διάφορες αρδευτικές μονάδες.

Μέχρι τα μέσα του 20ού αιώνα ήταν δίκτυα ανοιχτών αγωγών και η άρδευση πραγματοποιείτο με επιφανειακές μεθόδους (άρδευση με αυλάκια, με λωρίδες ή με λεκάνες). Το νερό από την υδροληψία έφτανε μέχρι τα αγροτεμάχια με τη βαρύτητα, ενώ στην πλειοψηφία τους τα δίκτυα αυτά δεν ήταν τεχνολογικά εξελιγμένα (συνήθως οι διώρυγες

ήταν χωμάτινες, η ρύθμιση της λειτουργίας ήταν χειροκίνητη, η πυκνότητα του δικτύου διανομής ήταν χαμηλή). Μετά το 1970 όμως κατασκευάστηκαν δίκτυα με κλειστούς αγωγούς υπό πίεση και έτσι η εφαρμογή του νερού γινόταν με το σύστημα του καταιονισμού καθώς και της μικροάρδευσης.

Τα επιφανειακά συστήματα μεταφοράς, διανομής και εφαρμογής νερού είναι στενά συνυφασμένα με τη μέθοδο της εκ περιτροπής διανομής, κατά την οποία οι διώρυγες έχουν οργανωθεί σε ομάδες και σύμφωνα με προκαθορισμένο πρόγραμμα κάθε ομάδα λειτουργεί ορισμένες ημέρες. Αντίθετα, στα δίκτυα υπό πίεση αναπτύχθηκε η μέθοδος διανομής με ελεύθερη ζήτηση, σύμφωνα με την οποία οι αγρότες είναι εκείνοι που καθορίζουν το χρόνο και τη διάρκεια άρδευσης του αγροτεμαχίου τους. Η τελευταία μέθοδος αποδείχθηκε πιο αποδοτική, κυρίως σε περιπτώσεις πολυκαλλιέργειας.

Στα δίκτυα με βαρύτητα η μεταφορά πραγματοποιείται με τις προσαγωγούς διώρυγες και η διανομή με τις πρωτεύουσες, δευτερεύουσες και τριτεύουσες διώρυγες. Οι τελευταίες ονομάζονται και διώρυγες εφαρμογής, καθώς μέσω αυτών οι αγρότες παίρνουν νερό και το εφαρμόζουν στον αγρό. Βασικό πλεονέκτημα των επιφανειακών δικτύων είναι ότι δεν απαιτούν ενέργεια για τη μεταφορά και τη διανομή του νερού, ενώ η μειωμένη αποτελεσματικότητα χρήσης νερού αποτελεί το κύριο μειονέκτημά τους.

Τα δίκτυα υπό πίεση αποτελούν συστήματα αγωγών με ακτινωτή διάταξη (σε αντίθεση με τα κλειστά δίκτυα ύδρευσης), τα οποία μεταφέρουν το νερό από το σημείο υδροδότησης με άντληση ή με βαρύτητα υπό πίεση μέχρι τα σημεία διανομής του νερού κοντά στις αρδευτικές μονάδες. Στα σημεία διανομής υπάρχουν οι υδροληψίες που φέρουν ένα έως τέσσερα υδροστόμια, τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες να συνδέουν τα ατομικά τους συστήματα άρδευσης και να αρδεύουν τις καλλιέργειές τους με καταιονισμό ή μικροάρδευση. Βασικό πλεονέκτημα αυτού του συστήματος θεωρείται η δυνατότητα χρήσης όλων των σύγχρονων μεθόδων άρδευσης, ενώ ως κύριο μειονέκτημά τους είναι το υψηλό κόστος λειτουργίας εξαιτίας κυρίως του ενεργειακού κόστους.

Η πολυπλοκότητα των μελετών των συλλογικών αρδευτικών δικτύων έχει καταστήσει την ανάγκη εκτέλεσής τους από επιτελεία συνδυασμού διαφόρων ειδικοτήτων, όπως μηχανικών, γεωπόνων, οικονομολόγων, κ.ά. Τα αναγκαία στοιχεία για τη σύνταξη των μελετών τους αφορούν στο φυσικό περιβάλλον (τοπογραφία, γεωλογία, εδαφολογία, εδαφομηχανική, μετεωρολογία, υδρολογία και υδρογεωλογία), στο κτηματολόγιο της περιοχής, καθώς και στην οικονομικό-τεχνική κατάσταση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων (διαθέσιμοι

οικονομικοί πόροι, εξοπλισμός, χρησιμοποιούμενη τεχνολογία), στις κοινωνικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή του έργου (ηλικιακή πυραμίδα, μορφωτικό επίπεδο, διαθέσιμο εργατικό δυναμικό, κ.λπ.). (Τσακίρης και Δέρκας, 2006)

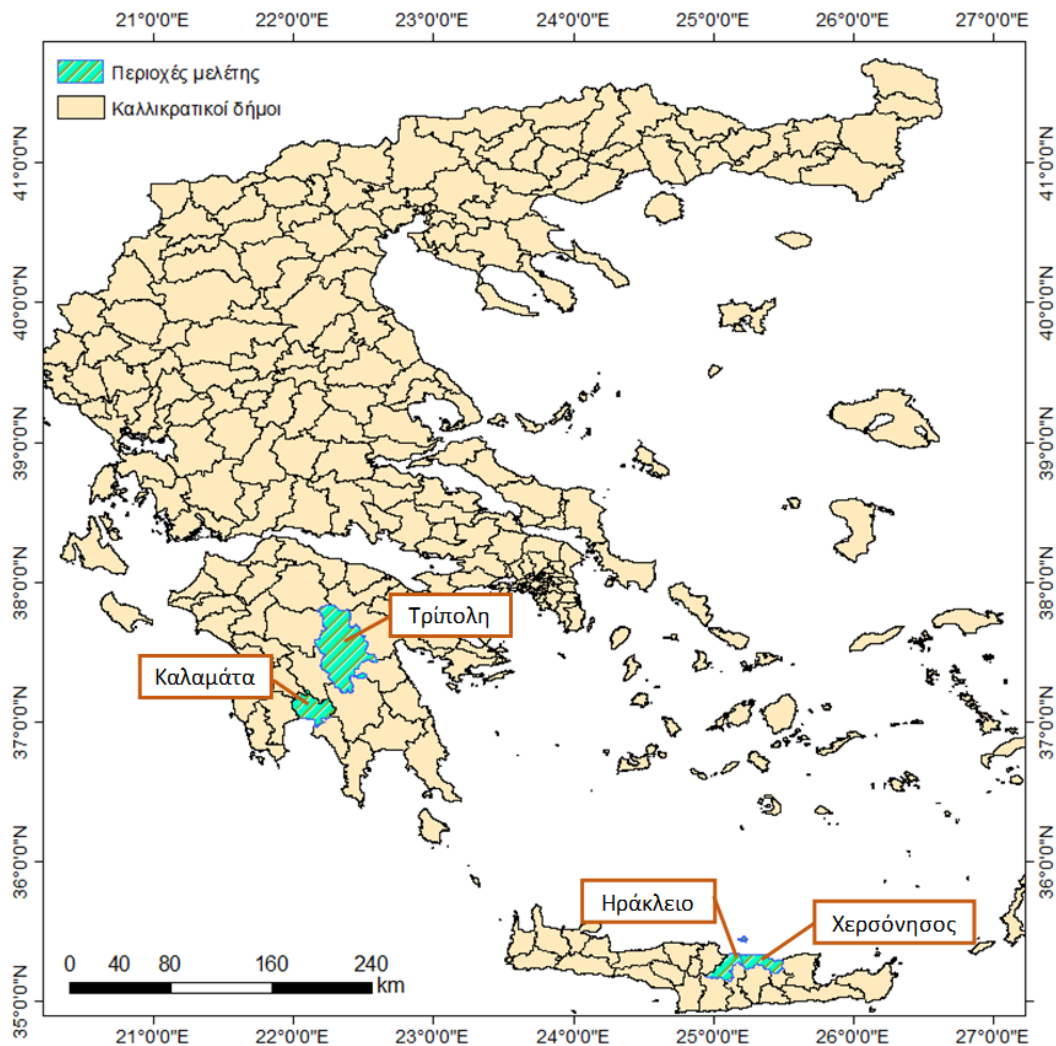
1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Η περιοχή της Μεσογείου, που βρίσκεται στο νοτιότερο άκρο της βόρειας ζώνης των μέσων γεωγραφικών πλατών, φαίνεται να είναι πιο ευάλωτη στις αλλαγές εξαιτίας της υπερθέρμανσης του πλανήτη, με σημαντικές επιπτώσεις στις βροχοπτώσεις της περιοχής. Όπως προκύπτει από τη χρήση μακροπρόθεσμων χρονοσειρών, αρνητική τάση στις χειμερινές βροχοπτώσεις παρατηρείται απ' τη δεκαετία του 1960, η οποία φαίνεται να είναι πρωτοφανής (Goodess and Jones, 2002; Chorlaki et al., 2004; Tselioudis et al., 2008; Philandras et al., 2010). Οι Nastos and Zerefos (2009), μετά από μελέτη των χωρικών και χρονικών κατανομών των διαδοχικών ξηρών και υγρών ημερών στην Ελλάδα, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι μεταβολές των διαδοχικών υγρών ημερών σε ετήσια βάση παρουσιάζουν αρνητικές τάσεις, κυρίως στις δυτικές περιοχές της Ελλάδας, ενώ θετικές τάσεις παρατηρήθηκαν στις διαδοχικές ξηρές ημέρες σε όλη σχεδόν την Ελλάδα και ιδιαίτερα στις νοτιοανατολικές περιοχές.

Κατά τους Nastos et al. (2013) μελετήθηκε η χωρική και χρονική μεταβλητότητα του δείκτη ξηρασίας στην Ελλάδα, για μια περίοδο 50 ετών, απ' το 1951 έως το 2000. Απ' αυτήν την ανάλυση προέκυψε μία βαθμιαία μετατόπιση του δείκτη ξηρασίας, από την «υγρή κλιματική ζώνη», η οποία χαρακτηρίζει την ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας, προς την «ημίξηρη κλιματική ζώνη», η οποία κυρίως εμφανίστηκε στην ανατολική Κρήτη, στις Κυκλάδες, στην κεντρική και νότια Εύβοια, στη δυτική Χαλκιδική, καθώς και στην ανατολική Αττική. Δηλαδή η «ημίξηρη κλιματική ζώνη» παρουσιάστηκε κυρίως στην ανατολική Ελλάδα. Κατόπιν, ερευνήθηκαν οι προβλεπόμενες αλλαγές στο συνολικό μέσο δείκτη ξηρασίας για τρεις περιόδους, 1961-1990 (περίοδος αναφοράς), 2021-2050 (εγγύς μέλλον) και 2071-2100 (μακρινό μέλλον). Έτσι προέκυψε ότι αναμένεται να εμφανιστούν μειώσεις στις τιμές του δείκτη ξηρασίας στο κοντινό και μακρινό μέλλον, με αποτέλεσμα την τάση προς ξηρότερες συνθήκες.

Λαμβάνοντας υπόψη τη βαρύτητα που έχει ο πρωτογενής τομέας για την Ελλάδα, καθώς και η σημασία του αρδευτικού νερού σε αυτόν, αξίζει να διερευνηθεί το φαινόμενο της ξηρασίας, το οποίο επιφέρει δυσμενή αποτελέσματα στην αγροτική παραγωγή. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε λεπτομερής εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών, οι

οποίες καταγράφηκαν κατά το έτος 2015, στα δημοτικά διαμερίσματα Τρίπολης, Καλαμάτας, Ηρακλείου και Χερσονήσου (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2 Χάρτης όπου απεικονίζονται οι δήμοι Τρίπολης, Καλαμάτας, Ηρακλείου και Χερσονήσου.

Οι συγκεκριμένες περιοχές της νότιας Ελλάδας επιλέχθηκαν, καθώς διαθέτουν έντονο ανάγλυφο, με διαφορετικά κλιματολογικά χαρακτηριστικά και καλλιεργητικό ενδιαφέρον. Οι αρδευτικές ανάγκες προέκυψαν από τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής σύμφωνα με τη μέθοδο Blaney-Griddle, για την οποία γίνεται εκτενής αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο. Εν συνεχεία υπολογίστηκαν ο δείκτης ξηρότητας (Aridity Index-AI), ο δείκτης τυποποιημένης βροχόπτωσης (SPI τάξης 3 και 6, στο εξής SPI3 και SPI6 αντίστοιχα) καθώς και ο συνδυαστικός δείκτης PINNA, για τη χρονική περίοδο 1957-2004. Σε αυτό το πλαίσιο διερευνήθηκαν τα αποτελέσματά τους και η συσχέτιση αυτών με τις αρδευτικές ανάγκες, με σκοπό την ανάδειξη των διαφοροποιήσεων από περιοχή σε περιοχή και από χρόνο σε χρόνο. Τέλος, με τη δημιουργία συνθετικών χρονοσειρών και την εφαρμογή ενός ενδεικτικού

κλιματικού σεναρίου, εξετάστηκαν οι μελλοντικές τάσεις των αρδευτικών αναγκών, καθώς και των δεικτών ξηρασίας, για μια μελλοντική περίοδο 80 ετών.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια εκ των οποίων το παρόν (Εισαγωγή) αναφέρεται στους ορισμούς της ξηρασίας και τους δείκτες της, καθώς και στις μεθόδους άρδευσης και τη διαχείριση του αρδευτικού νερού. Επίσης, περιγράφεται και το αντικείμενο της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται η περιγραφή των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, η ταξινόμηση του κλίματος, καθώς και η κατανομή των καλλιεργειών της.

Το τρίτο κεφάλαιο αναπτύσσει αναλυτικά τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής, των αρδευτικών αναγκών, καθώς και των δεικτών ξηρασίας. Περιγράφονται οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο επιχειρείται η στατιστική ανάλυση των παραπάνω αποτελεσμάτων από περιοχή σε περιοχή και η σύγκριση μεταξύ τους. Επίσης, παράχθηκαν συνθετικές χρονοσειρές για επιπλέον 80 χρόνια και εν συνεχεία συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα αυτών με των ιστορικών.

Το πέμπτο κεφάλαιο συνοψίζει τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν από τη συγκεκριμένη έρευνα.

Τέλος, γίνεται αναφορά στην επιστημονική βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τη συγγραφή της συγκεκριμένης εργασίας.

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γεωγραφικά-Διοικητικά χαρακτηριστικά

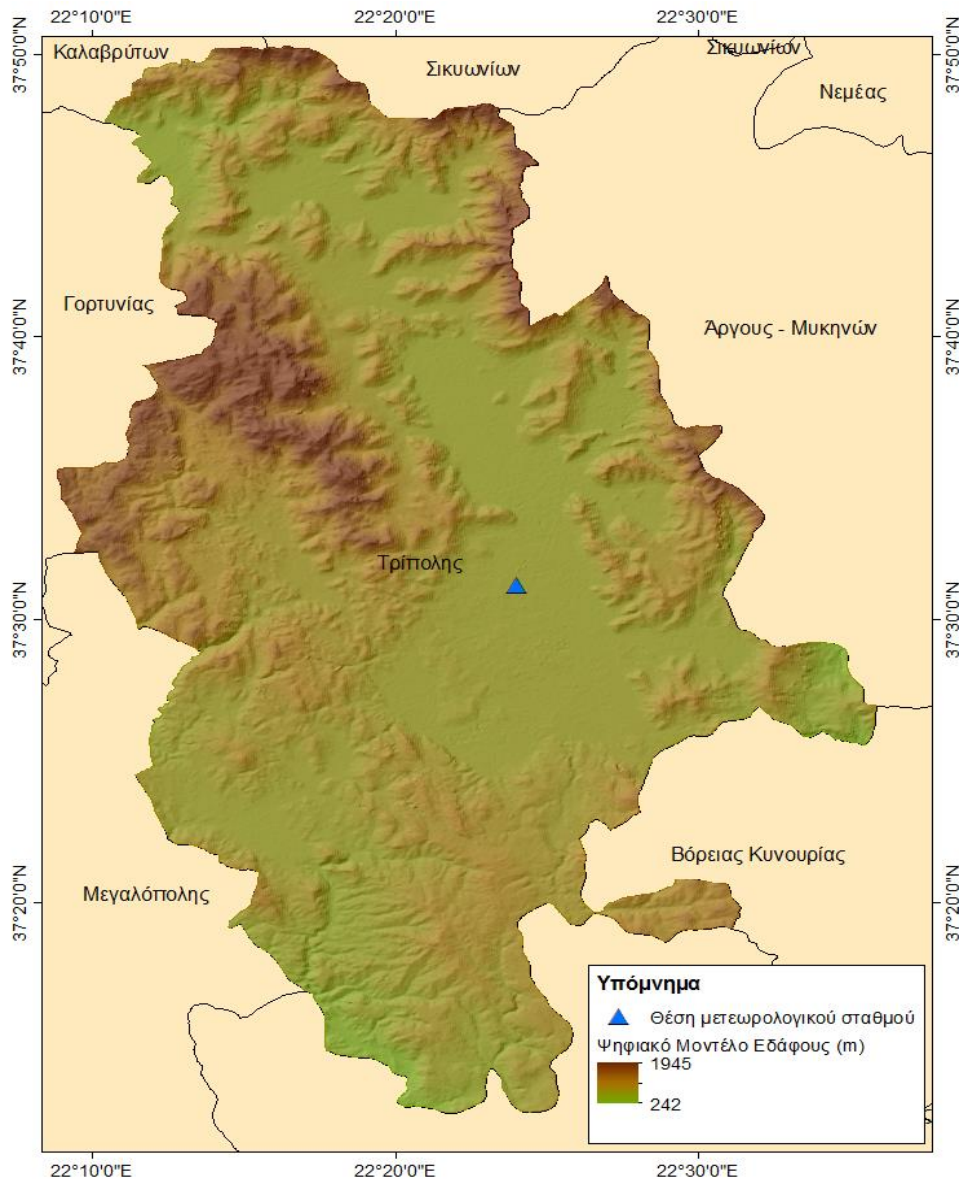
2.1.1 Δήμος Τρίπολης

Η Τρίπολη βρίσκεται στη νοτιοδυτική ηπειρωτική Ελλάδα, στην κεντρική Πελοπόννησο και αποτελεί πρωτεύουσα του Νομού Αρκαδίας και διοικητικό κέντρο της Περιφέρειας. Εκτείνεται κάτω από το όρος Μαίναλο και αποτελεί σταυροδρόμι των σημαντικών οδικών αξόνων της Πελοποννήσου. Ο ομώνυμος δήμος σήμερα καταλαμβάνει σε έκταση 1 476 km², ενώ ο πληθυσμός ανέρχεται σε 48 730 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (<http://www.tripolis.gr/>).

Ο δήμος της Τρίπολης με έδρα την Τρίπολη, σύμφωνα με το Πρόγραμμα Καλλικράτης, περιλαμβάνει τους πρώην δήμους Τρίπολης, Τεγέας, Σκιρίτιδας, Μαντινείας, Κορυθίου, Φαλάνθου, Λεβιδίου και Βαλτετσίου (Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Πρώτο, Αρ. Φύλλου 87, 7 Ιουνίου 2010, <http://www.ypes.gr>). Στην Τρίπολη, που παλαιότερα ήταν γνωστή με την ονομασία Τριπολιτσά και Τρομπολιτσά, έχουν καταγραφεί σημαντικά ιστορικά γεγονότα, όπως «η άλωση της Τριπολιτσάς». Η πόλη βρίσκεται σε υψόμετρο 660 m (el.wikipedia.org), ενώ το υψόμετρο του δήμου γενικότερα κυμαίνεται από 242 έως 1945 m, όπως φαίνεται και στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.1.

Απ' τα σημαντικότερα φυσικά αξιοθέατα της Τρίπολης αποτελεί το όρος Μαίναλο, στους πρόποδες του οποίου βρίσκεται η ομώνυμη πόλη, με υψόμετρο 1980 m, ενώ το οικοσύστημά του προστατεύεται απ' το δίκτυο Natura 2000. Το φυσικό του ανάγλυφο συμπληρώνεται από αρκετές πηγές και υδάτινες ροές, ιδιαίτερα στο δυτικό τμήμα του, λόγω στεγανότητας των πετρωμάτων (φλύσχης, σχιστόλιθοι), όπου σχηματίζεται μία πλούσια βιομάζα και ένας από τους μεγαλύτερους υπόγειους υδροφορείς της Πελοποννήσου (<http://mainaloski.gr/>). Επίσης, το δάσος Σκυρίτιδας αποτελεί ακόμη ένα απ' τα φυσικά αξιοθέατα της περιοχής. Θεωρείται ο πρώτος τεχνητός δρυμός της Ελλάδας και έργο του δασολόγου και συγγραφέα Τάσου Στεφάνου, ο οποίος έπεισε τους κατοίκους του χωριού Βλαχοκερασιά και των γύρω χωριών να ασχοληθούν με τη φύτευση πεύκων, ελάτων και καστανιών, συνθέτοντας ένα περιβάλλον απόλυτα φυσικό (<http://www.wondergreece.gr/>). Το άλσος του Αγίου Γεωργίου, πολύ κοντά στο κέντρο της πόλης και η λίμνη Τάκα, ένας από τους σημαντικότερους υδροβιότοπους της Αρκαδίας αλλά και της Πελοποννήσου, θεωρούνται επίσης δύο ακόμα σπουδαία αξιοθέατα του δήμου Τρίπολης. Μάλιστα η λίμνη Τάκα είναι κυρίως εποχιακή λίμνη και αποστραγγίζεται μέσα από ένα σύστημα από καταβόθρες σε υπόγειους ποταμούς. Έτσι το

καλοκαίρι αποστραγγίζεται ολοκληρωτικά, δημιουργώντας τέναγος, και το φθινόπωρο αρχίζει να γεμίζει πάλι ώσπου φτάνει σε πληρότητα το μεσοχειμώνα. Ως αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας το χωριό Βουνό, στις όχθες της Τάκας, το χειμώνα είναι παρόχθιο και το καλοκαίρι μεσόγειο. Η Τάκα είναι ο πάροχος νερού για τις καλλιέργειες του Τεγεατικού πεδίου (el.wikipedia.org, <http://www.traveltripolis.gr/>).

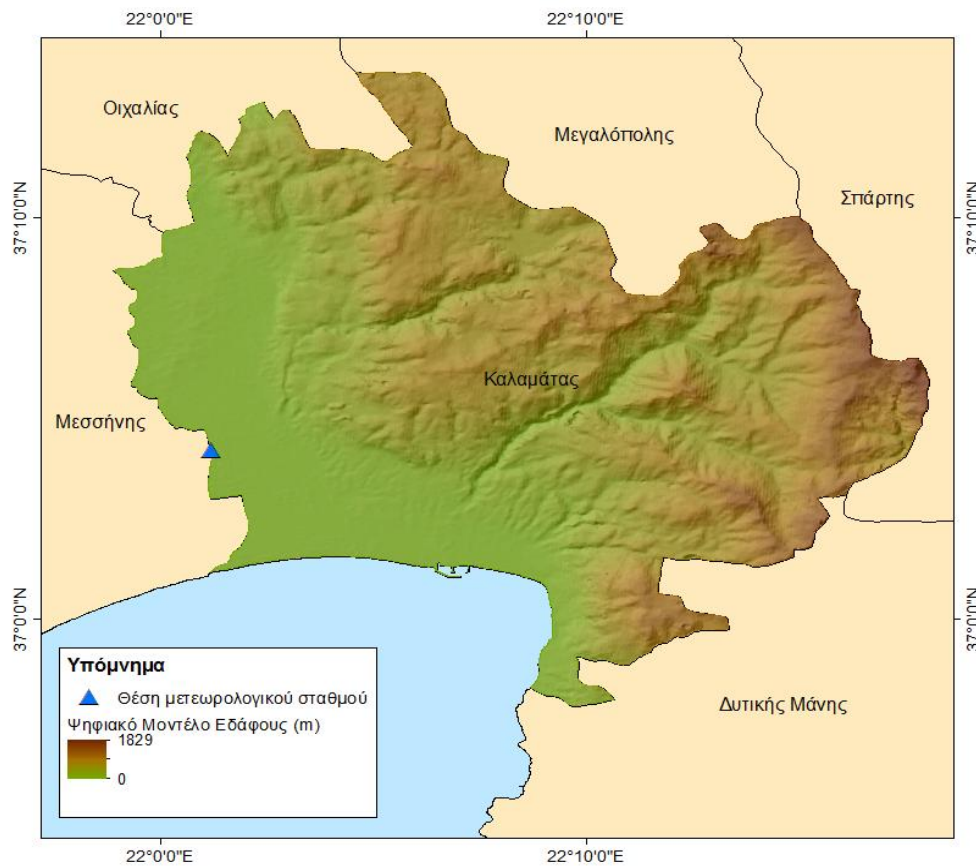


Σχήμα 2.1 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους δήμου Τρίπολης

2.1.2 Δήμος Καλαμάτας

Η Καλαμάτα, που παλαιότερα ονομαζόταν Καλάμαι ή, κατά την εποχή του Ομήρου Φαρές είναι πόλη της νοτιοδυτικής Πελοποννήσου, πρωτεύουσα του Νομού Μεσσηνίας και αποτελεί το εμπορικό και βιομηχανικό κέντρο της, καθώς και σημαντικό λιμάνι της νότιας ηπειρωτικής Ελλάδας. Η πόλη της Καλαμάτας έχει πληθυσμό 54 100 κατοίκους, ενώ ο Δήμος

της έχει πληθυσμό 69 849 κατοίκους, σύμφωνα με την Απογραφή του 2011. Είναι κτισμένη στους πρόποδες του όρους Καλάθι (παρυφή του Ταυγέτου), στην καρδιά του Μεσσηνιακού κόλπου και το υψόμετρο του δήμου φτάνει μέχρι και τα 1829 m (Σχήμα 2.2) (el.wikipedia.org).



Σχήμα 2.2 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους δήμου Καλαμάτας

Απέχει 223 km από την Αθήνα, 215 km από την Πάτρα και 715 km από τη Θεσσαλονίκη. Έχει εύκρατο μεσογειακό κλίμα, με ζεστό χειμώνα και ήπια καλοκαίρια. Καθημερινά στο ευρύτερο αστικό κέντρο της Καλαμάτας έρχονται και εργάζονται πάνω από 100 000 άνθρωποι από τις διπλανές πόλεις Μεσσήνη, Θουρία, Μελιγαλά, Άρι κ.α. Ο αγροτικός τομέας στην εν λόγω περιοχή παραμένει σημαντικός με κύρια προϊόντα τα σύκα, την σταφίδα, τα σταφύλια και το κρασί, τα πορτοκάλια, τις ελιές και το ελαιόλαδο (el.wikipedia.org).

Σύμφωνα με το Πρόγραμμα Καλλικράτης, ο δήμος Καλαμάτας, με έδρα την Καλαμάτα, αποτελείται από τους πρώην δήμους Άριος, Αρφαρών, Θουρίας και Καλαμάτας (Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Πρώτο, Αρ.Φύλλου 87, 7 Ιουνίου 2010, <http://www.ypes.gr>).

Το δήμο Καλαμάτας διασχίζουν τρία ποτάμια, ο Νέδων, ο Πάμισος και ο Άρις. Ο ποταμός Νέδοντας πηγάζει από τον Ταΰγετο, εκβάλλει στον Μεσσηνιακό κόλπο δυτικά της Καλαμάτας και έχει μήκος τριάντα χιλιόμετρα. Χαρακτηρίζεται ως περιβαλλοντικό πάρκο με αυστηρούς περιορισμούς στις επιτρεπόμενες χρήσεις του παραποτάμιου χώρου. Αναφορικά με τον ποταμό Πάμισο, πρόκειται για μεγάλη καρστική ανάβλυση, το ολικό μήκος του μετώπου της οποίας ξεπερνά τα 400 m και βρίσκεται σε υψόμετρο 40 m. Οι πηγές παρέχουν σταθερά τεράστιες ποσότητες καθαρού νερού, που κυμαίνεται από 6 000 έως 20 000 m³ την ώρα. Η περιοχή «Πηγές και εκβολές Παμίσου» έχει ενταχθεί στο δίκτυο Natura 2000. Στον ποταμό Πάμισο έχει κατασκευαστεί φράγμα, το οποίο έχει δημιουργήσει μια περιοχή με ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά, τόσο λιμναία, όσο και παραποτάμια, όπου φιλοξενούνται σημαντικά είδη άγριας ζωής πολλά από τα οποία προστατεύονται από την οδηγία 79/409 Ε.Ο.Κ. Τέλος, ο ποταμός Άρις έχει μέση παροχή 900 m³ ανά ώρα, τροφοδοτεί τα αρδευτικά έργα της περιοχής του Άρι, της Αιθαίας και της Άμφειας και χύνεται στη θαλάσσια περιοχή της Διασποράς (<http://www.kalamata.gr/>).

2.1.3 Δήμος Ηρακλείου- Δήμος Χερσονήσου

Οι δήμοι Ηρακλείου και Χερσονήσου ανήκουν στην περιφερειακή ενότητα του Ηρακλείου.

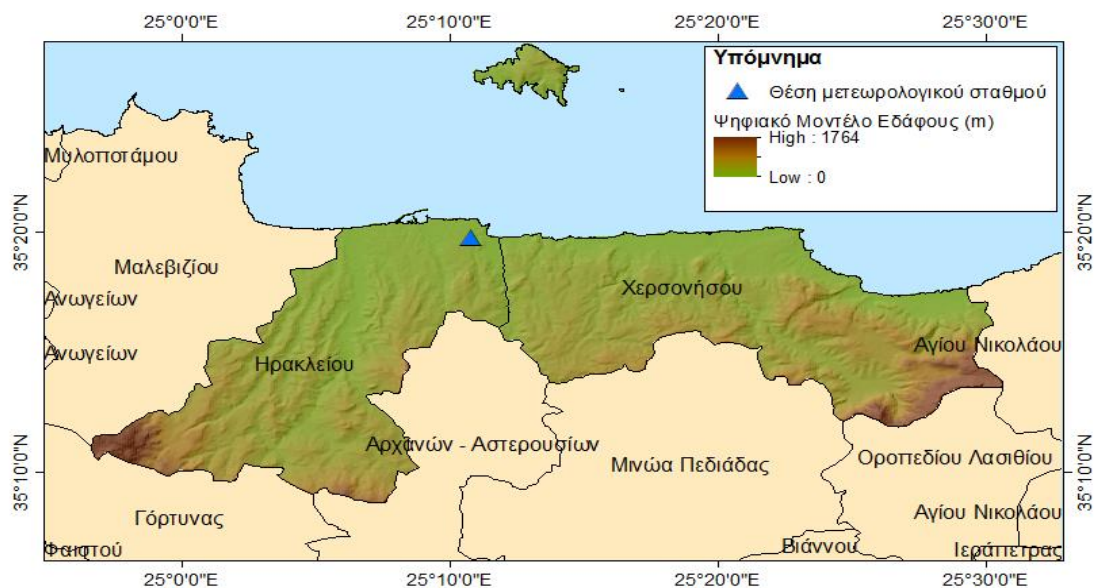
Ο δήμος Ηρακλείου είναι ο τέταρτος πολυπληθέστερος δήμος της χώρας. Η πόλη του Ηρακλείου αποτελεί τη μεγαλύτερη πόλη της Κρήτης, καθώς και το μεγαλύτερο λιμένα του νησιού. Ο πληθυσμός του δήμου ανέρχεται στους 173 993 κατοίκους (2011) (el.wikipedia.org). Σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης, ο συγκεκριμένος δήμος έχει έδρα το Ηράκλειο και ιστορική έδρα τη Νέα Αλικαρνασσό και αποτελείται από τους πρώην δήμους Ηρακλείου, Γοργοαΐνης, Τεμένους, Παλιανής και Νέας Αλικαρνασσού (Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Πρώτο, Αρ.Φύλλου 87, 7 Ιουνίου 2010, <http://www.ypes.gr>).

Το Ηράκλειο αποτελεί το εμπορικό και επιστημονικό κέντρο του νησιού. Κατέχει στρατηγική γεωπολιτική θέση στη νοτιοανατολική λεκάνη της Μεσογείου, συνδέοντας τρεις ηπείρους και πολλούς διαφορετικούς πολιτισμούς. Θεωρείται γενέτειρα του πρώτου ευρωπαϊκού πολιτισμού από την Μινωική Περίοδο 3000 π.Χ. με έδρα το Μινωικό Ανάκτορο της Κνωσού (<http://www.heraklion.gr/>). Κύριοι οικονομικοί τομείς της πόλης είναι ο τουρισμός, η γεωργία και το εμπόριο. Διαθέτει βιομηχανική περιοχή 4 km νοτιοανατολικά του κέντρου, καθώς και ένα από τα μεγαλύτερα σήμερα σε κίνηση αεροδρόμια της Ελλάδας, το αεροδρόμιο "Νίκος Καζαντζάκης" (el.wikipedia.org).

Ο Δήμος Χερσονήσου είναι δήμος της περιφέρειας Κρήτης, καταλαμβάνει έκταση 271 km² και ο πληθυσμός του ανέρχεται στους 26 717 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (el.wikipedia.org). Κατά το πρόγραμμα Καλλικράτης, έχει έδρα τις Γούρνες, και περιλαμβάνει τους πρώην δήμους Χερσονήσου, Γουβών, Μαλλίων και Επισκοπής (Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Πρώτο, Αρ.Φύλλου 87, 7 Ιουνίου 2010, <http://www.ypes.gr>). Ο εν λόγω δήμος απλώνεται επιβλητικά ξεκινώντας από τα βόρεια παράλια του κέντρου της Κρήτης, έως τις κορυφογραμμές των Λασιθιώτικων βουνών, λίγα μόλις χιλιόμετρα από το διεθνές αεροδρόμιο "Νίκος Καζαντζάκης" του Ηρακλείου (<http://www.hersonissos.gr/>).

Ο Δήμος Χερσονήσου διαθέτει πλούσιο φυσικό περιβάλλον, όπου συνδυάζει μεγάλους ορεινούς όγκους, πεδιάδες, ποτάμια και φαράγγια, δημιουργώντας ένα μοναδικό τοπίο. Στο βόρειο τμήμα του καταλήγουν οι μικροί ποταμοί, Καρτερός και Αποσελέμης, που εκβάλλουν στο Κρητικό πέλαγος.

Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους των δήμων Ηρακλείου και Χερσονήσου, με μέγιστο υψόμετρο τα 1764 m. Βόρεια του δήμου Ηρακλείου φαίνεται η νήσος Δία, η οποία δεν κατοικείται.



Σχήμα 2.3 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους δήμων Ηρακλείου και Χερσονήσου

2.2 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά

2.2.1 Κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen

Τα μετεωρολογικά δεδομένα, σύμφωνα με τα οποία διαμορφώνεται το κλίμα κάθε τόπου, κυμαίνονται γύρω από μια μέση τιμή. Η τιμή αυτή αναφέρεται σε μια αρκετά μεγάλη

χρονοσειρά μετεωρολογικών παρατηρήσεων, μήκους μεγαλύτερου των 30 ετών, με αποτέλεσμα το κάθε μετεωρολογικό στοιχείο να θεωρηθεί διακριτό και χαρακτηριστικό γνώρισμα του τόπου. Αν συνδυαστούν οι μέσες τιμές των διαφόρων μετεωρολογικών δεδομένων, δίνουν το κλίμα ενός τόπου. Δηλαδή, σαν «κλίμα» ορίζεται ο «μέσος καιρός» για μια ορισμένη περιοχή, που στηρίζεται όμως σε μια μεγάλη χρονοσειρά μετεωρολογικών παρατηρήσεων (Χρονοπούλου-Σερέλη, 1996).

Στην ταξινόμηση των κλιματικών τύπων της γης λαμβάνονται υπόψη οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαμόρφωση του κλίματος του κάθε τόπου, καθιστώντας έτσι την όλη διαδικασία ένα πολύ δύσκολο εγχείρημα. Οι σπουδαιότεροι από αυτούς είναι το γεωγραφικό πλάτος και η επίδραση του στη λαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία, οι επιδράσεις των αερίων μαζών, η θέση παγκόσμιων ζωνών υψηλών και χαμηλών πιέσεων, η ανταλλαγή θερμότητας από τα ωκεάνια ρεύματα, η κατανομή τοπογραφικών φραγμών (βουνά), η κατανομή ξηράς-θάλασσας και το υψόμετρο (Μπαλτάς, 2006).

Ο Γερμανός Βιολόγος Wladimir Köppen (1846-1940) επιχείρησε μια πρώτη κλιματική ταξινόμηση το 1900, συσχετίζοντας το κλίμα με τη βλάστηση. Κι αυτό γιατί κάποια είδη φυτών παρουσιάζουν περιορισμό στην εξάπλωσή τους, κάτω από την επικράτηση συγκεκριμένων συνθηκών θερμοκρασίας και βροχής. Αργότερα, το 1918, το κλιματικό πλαίσιο του Köppen, βασίστηκε, αφενός, στο ετήσιο ύψος βροχής με την κατανομή του μέσα στο έτος και, αφετέρου, στις μηνιαίες και ετήσιες θερμοκρασίες του αέρα. Από τότε η κλιματική αυτή ταξινόμηση βελτιώνεται συνεχώς.

Ο Köppen για να προσδιορίσει τους κύριους κλιματικούς τύπους που επικρατούν στη γη, χρησιμοποίησε τρία σύνολα συμβόλων-γραμμάτων. Στο πρώτο σύνολο περιλαμβάνονται τα σύμβολα A, B, C, D, E, H, τα οποία προσδιορίζουν γενικές θερμοκρασιακές καταστάσεις, εκτός από το B που προσδιορίζει αυτόματα τη βροχόπτωση σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας. Τα σύμβολα A, B, C, D, E συμβολίζουν τις πέντε βασικές κατηγορίες κλιμάτων, καθώς το H συμβολίζει μια παραλλαγή της κατηγορίας E. Τα κλίματα της κατηγορίας B θεωρούνται «ξηρά», καθώς η δυναμική εξατμισοδιαπνοή κατά τη διάρκεια ενός μέσου έτους υπερέχει της βροχόπτωσης. Αντίθετα, οι υπόλοιπες τέσσερις κατηγορίες (A, C, D, E) χαρακτηρίζονται σαν «υγρές», γιατί το ύψος βροχής σ' ένα μέσο έτος υπερέχει από αυτό της εξάτμισης. Στο δεύτερο σύνολο ανήκουν τα σύμβολα F, f, m, s, T, w, με τα οποία προσδιορίζονται τα βροχομετρικά χαρακτηριστικά, με εξαίρεση τα σύμβολα F και T, τα οποία αναφέρονται στη θερμοκρασία. Στο τρίτο και τελευταίο σύνολο ανήκουν τα σύμβολα a, b, c, d, h, k, με τα οποία προσδιορίζονται ειδικότερες θερμοκρασιακές καταστάσεις

(Φλόκας, 1997). Στη συνέχεια αναλύεται ο κλιματικός τύπος στον οποίο ανήκει κάθε μια απ' τις τέσσερις περιοχές της παρούσας εργασίας.

2.2.1.1 Τρίπολη

Η Τρίπολη έχει γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ}30'36.49''\text{B}$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ}22'21.52''\text{A}$. Σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen το κλίμα της ανήκει στον κλιματικό τύπο **Csa**, ο οποίος χαρακτηρίζει το κλίμα της ενδοχώρας της Μεσογείου (Μεσογειακό κλίμα), δηλαδή πολύ θερμά και ξηρά καλοκαίρια με ήπιους χειμώνες. Συγκεκριμένα, το C χαρακτηρίζει τα θερμά εύκρατα και βροχερά κλίματα με ήπιους χειμώνες, και ισχύει ότι η μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα (T_{θ}) ξεπερνά τους 10°C και παράλληλα η μέση θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα (T_{ψ}) είναι μεταξύ 0°C και 18°C ($T_{\theta}=22,25^{\circ}\text{C}$, $T_{\psi}=5,11^{\circ}\text{C}$). Το s συμβολίζει την ξηρή εποχή το θερινό εξάμηνο, με $40 > r_{\xi} < r_{\nu}/3$, όπου r_{ξ} η μέση βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα του έτους (mm) και r_{ν} η μέση βροχόπτωση του υγρότερου μήνα του έτους (mm) ($r_{\xi}=18,58$ mm και $r_{\nu}=130,63$ mm). Τέλος, το γράμμα a αναφέρεται στα χερσαία μεσογειακά κλίματα ξηρού και θερμού θέρους, αν η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα (T_{θ}) ξεπερνά τους 22°C ($T_{\theta}=22,25^{\circ}\text{C}$).

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο (www.hnms.gr). Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα της Τρίπολης, κατά την πρώτη περίοδο ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος, ενώ κατά τη δεύτερη περίοδο ως θερμότερος μήνας παρατηρείται ο Αύγουστος, με μέσες θερμοκρασίες $5,11^{\circ}\text{C}$ (T_{ψ}) και $22,25^{\circ}\text{C}$ (T_{θ}) αντίστοιχα. Ο μήνας με το μικρότερο ύψος βροχής προκύπτει ότι είναι ο Ιούλιος με μέση βροχόπτωση (r_{ξ}) 18,58 mm, ενώ το μεγαλύτερο ύψος παρατηρήθηκε τον Δεκέμβριο με μέση βροχόπτωση (r_{ν}) 130,63 mm.

Ο νομός Αρκαδίας, πρωτεύουσα του οποίου είναι η Τρίπολη, είναι η πιο ψυχρή περιοχή στην Πελοπόννησο, εξαιτίας του ανάγλυφου και της γεωγραφικής της θέσης. Το κλίμα της είναι ψυχρό το χειμώνα, με βροχές και χιόνια, και δροσερό το καλοκαίρι (www.hellenica.de). Η χαμηλότερη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε ποτέ στον νομό είναι -28°C στην πρωτεύουσα (Τρίπολη) τον Φεβρουάριο του 1903, που είναι μια απ' τις χαμηλότερες θερμοκρασίες που "πάγωσαν" ποτέ την Ελλάδα (el.wikipedia.org).

2.2.1.2 Καλαμάτα

Η Καλαμάτα με γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ}2'32.05''\text{B}$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ}6'50.86''\text{A}$ ανήκει επίσης στον κλιματικό τύπο **Csa**. Απ' τα μετεωρολογικά δεδομένα για τη συγκεκριμένη περιοχή, προκύπτει ότι ο θερμότερος μήνας είναι ο Αύγουστος με μέση θερμοκρασία θερμότερου μήνα (T_{θ}) $24,92^{\circ}\text{C}$, ενώ ο ψυχρότερος μήνας φαίνεται να είναι ο Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα (T_{ψ}) $10,45^{\circ}\text{C}$. Η μέση βροχόπτωση του ξηρότερου μήνα του έτους (r_{ξ}), δηλαδή του Ιουλίου είναι $5,04\text{ mm}$ και η μέση βροχόπτωση του υγρότερου μήνα του έτους (r_{υ}), δηλαδή του Δεκεμβρίου είναι $156,49\text{ mm}$.

Το κλίμα, που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Καλαμάτας, καθορίζεται τόσο από την επίδραση της θάλασσας όσο και από αυτή του Ταΰγετου. Επικρατεί λανθασμένη άποψη ότι η Καλαμάτα έχει πολύ υγρασία. Έχει υγρασία μεν, αλλά τις κρίσιμες βραδινές ώρες κυριαρχεί η απόγειος αύρα, αέρας Βορειοανατολικής συνιστώσας που κατέρχεται μέσω της κοιλάδας του ποταμού Νέδοντα, που πηγάζει από τον Ταΰγετο, γεγονός που μετριάξει την υγρασία και καθιστά πιο υγιεινό το κλίμα. Η ψυχρή περίοδος διαρκεί από το Νοέμβριο έως τον Απρίλιο και η θερμή από το Μάιο έως τον Οκτώβριο (www.kalamata.gr).

2.2.1.3 Ηράκλειο-Χερσόνησος

Το Ηράκλειο και η Χερσόνησος, όπως και οι δύο προηγούμενες πόλεις, ανήκουν στον κλιματικό τύπο **Csa** και έχουν γεωγραφικό πλάτος $35^{\circ}20'19.45''\text{B}$ και $35^{\circ}18'45.43''\text{B}$ αντίστοιχα και γεωγραφικό μήκος $25^{\circ}8'39.17''\text{A}$ και $25^{\circ}22'0.08''\text{A}$ αντίστοιχα. Απ' τα κλιματικά δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας παρατηρείται πως ο Αύγουστος είναι ο θερμότερος μήνας και ο Φεβρουάριος ο ψυχρότερος, με μέσες θερμοκρασίες $25,30^{\circ}\text{C}$ (T_{θ}) και $12,14^{\circ}\text{C}$ (T_{ψ}) αντίστοιχα. Ο μήνας με το μικρότερο ύψος βροχής προκύπτει ότι είναι ο Αύγουστος με μέση βροχόπτωση (r_{ξ}) $0,95\text{ mm}$, ενώ το μεγαλύτερο ύψος παρατηρήθηκε τον Ιανουάριο με μέση βροχόπτωση (r_{υ}) $92,81\text{ mm}$.

Το κλίμα του Ηρακλείου είναι πιθανόν το ηπιότερο της Ευρώπης. Κατά τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες, οι νοτιοδυτικοί άνεμοι, τα «μελτέμια», μετριάζουν τη ζεστή ατμόσφαιρα. Οι βροχοπτώσεις είναι πολύ σπάνιες κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Το φθινόπωρο είναι η φιλικότερη εποχή στο Ηράκλειο με θερμοκρασίες που συχνά ξεπερνούν αυτές της άνοιξης (nefeli.lib.teicrete.gr, Μπουγιάς Αντώνιος, 2008).

2.2.2 Θερμοϋγρογραφήματα και Ομβροθερμικό πηλίκο

Για τη σχεδίαση των θερμοϋγρογραφημάτων κάθε περιοχής, καθίσταται απαραίτητη η γνώση των μέσων μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης. Κατά τον Gausсен (1956) ένας μήνας χαρακτηρίζεται ως ξηρός όταν:

$$P' < 2T'$$

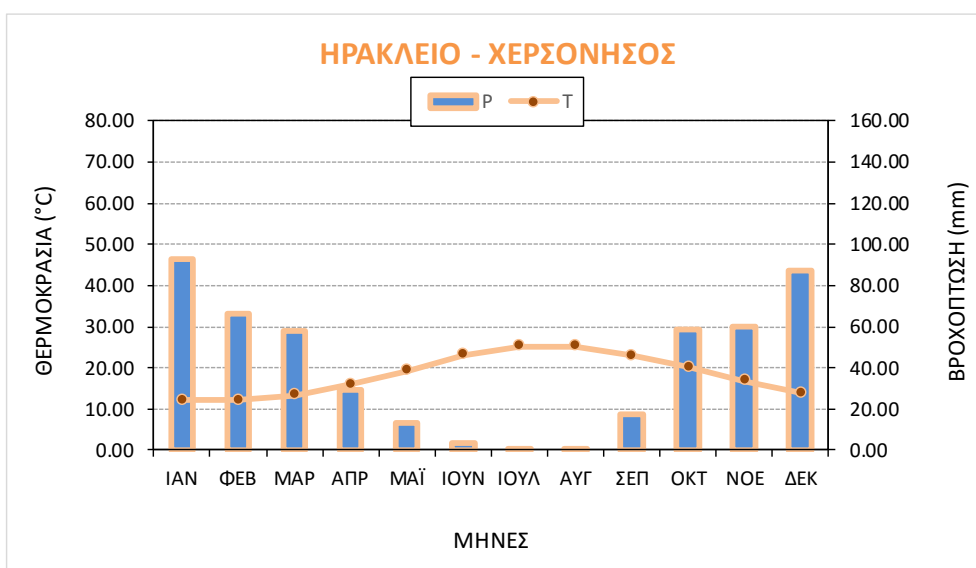
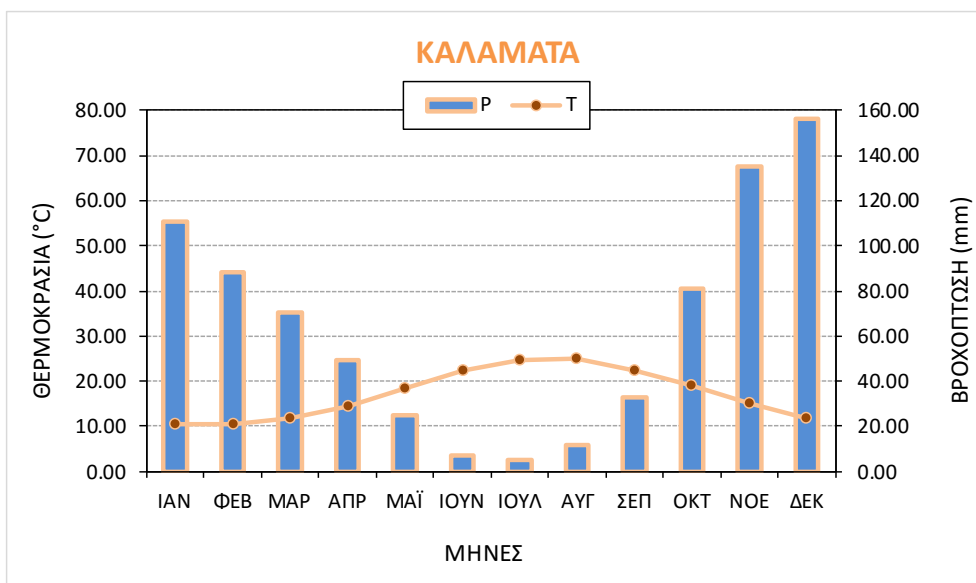
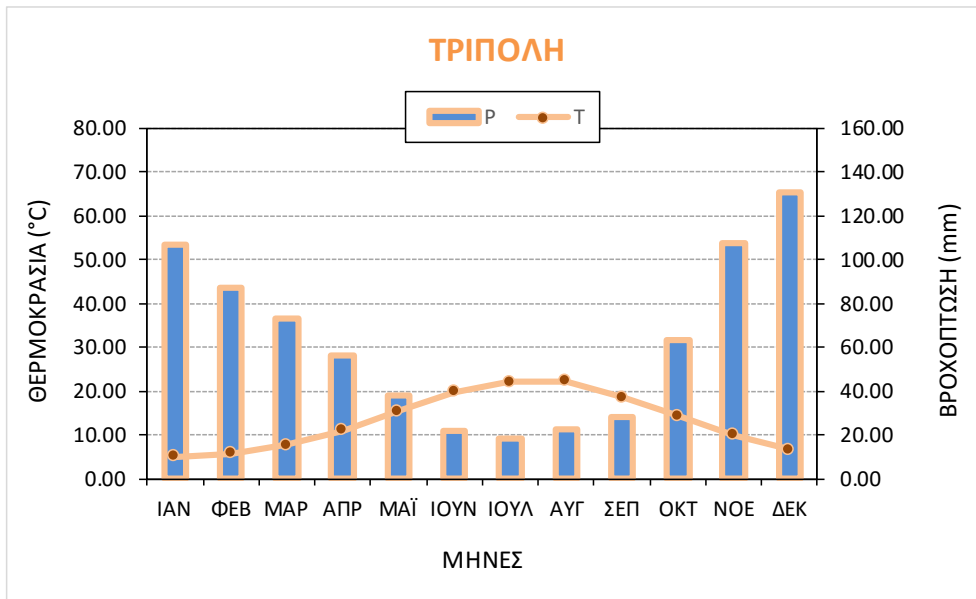
όπου P' και T' οι μέσες μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, σε mm και °C, αντίστοιχα.

Ο Gausсен, βασιζόμενος στο γεγονός ότι ο βαθμός της βιολογικής ξηρασίας εξαρτάται από την υγρασία του αέρα, συμπλήρωσε την παραπάνω εξίσωση και χαρακτήρισε ένα μήνα ως ξηρό, όταν το ύψος βροχόπτωσης είναι:

- i) Λιγότερο από 10 mm και η μέση μηνιαία θερμοκρασία είναι μικρότερη από 10°C.
- ii) Λιγότερο από 25 mm και η μέση μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 10 και 20°C.
- iii) Λιγότερο από 50 mm και η μέση μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 20 και 30°C.
- iv) Λιγότερο από 75 mm και η μέση μηνιαία θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 30°C.

Στη συνέχεια απεικονίζονται τα θερμοϋγρογραφήματα για τις περιοχές της Τρίπολης, Καλαμάτας και Ηρακλείου-Χερσονήσου (Σχήμα 2.4), τα οποία προέκυψαν απ' τις μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για κάθε περιοχή. Στον αριστερό κάθετο άξονα τοποθετείται η μέση μηνιαία θερμοκρασία και στον δεξιό κάθετο άξονα η μέση μηνιαία βροχόπτωση, με τις μονάδες μέτρησής της να είναι διπλάσιες απ' τις αντίστοιχες της θερμοκρασίας. Στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται οι μήνες του έτους.

Με τη συνδυασμένη αυτή απεικόνιση της θερμοκρασίας και των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ως "ξηρή περίοδος" χαρακτηρίζεται το τμήμα του διαγράμματος στο οποίο το διάγραμμα της θερμοκρασίας βρίσκεται πάνω από το αντίστοιχο της βροχόπτωσης, ενώ η αντίστροφη τοποθέτηση των διαγραμμάτων αντιπροσωπεύει την «υγρή περίοδο» (Χρονοπούλου-Σερέλη, 1996).



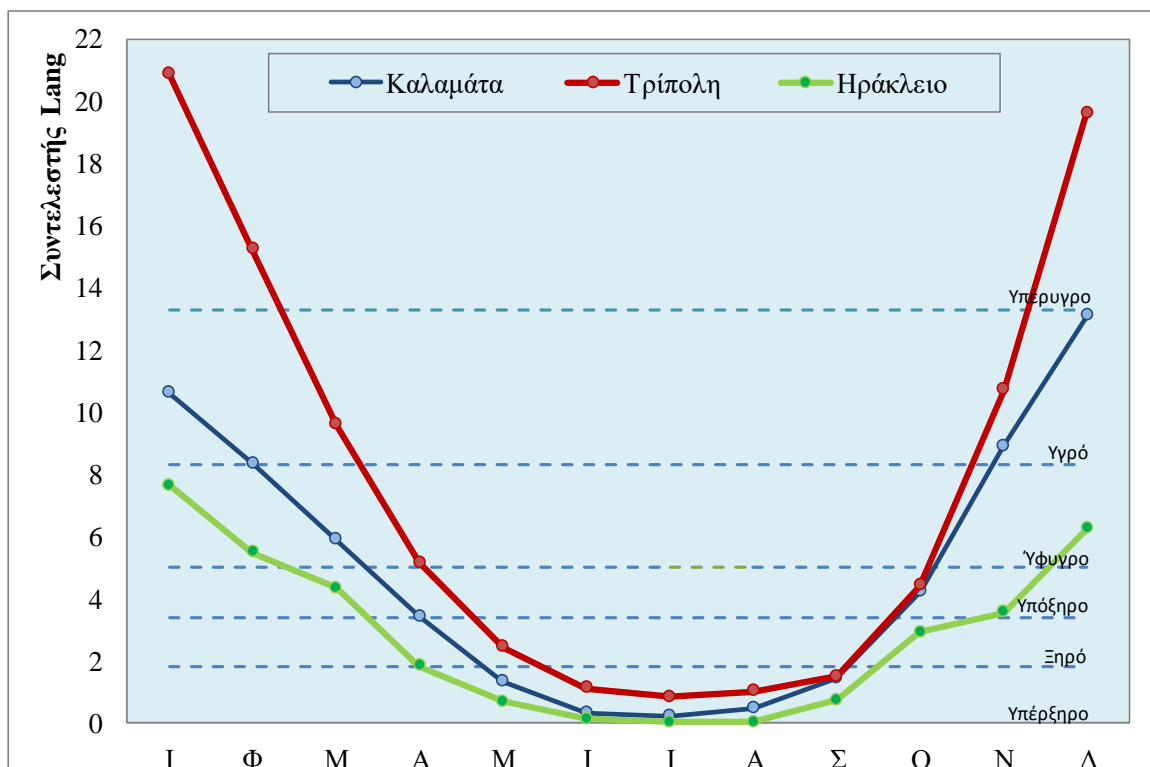
Σχήμα 2.4 Θερμοϋδρογραφήματα στις περιοχές της Τρίπολης, Καλαμάτας και Ηρακλείου-Χερσονήσου

Όσον αφορά την περιοχή της Τρίπολης, απ' το παραπάνω θερμοϋγρογράφημα φαίνεται ότι η ξηρή περίοδος συμπίπτει με το χρονικό διάστημα από τέλη Μαΐου μέχρι τέλη Σεπτεμβρίου, ενώ η υγρή περίοδος από Ιανουάριο μέχρι τέλη Μαΐου και από τέλη Σεπτεμβρίου μέχρι Δεκέμβριο. Την ξηρή περίοδο η Τρίπολη παρουσιάζει μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιοχές. Στην περιοχή της Καλαμάτας η ξηρή περίοδος εμφανίζεται κατά το χρονικό διάστημα από αρχές Μαΐου μέχρι τέλη Σεπτεμβρίου, δηλαδή αρχίζει λίγο νωρίτερα σε σύγκριση με την περιοχή της Τρίπολης και η υγρή περίοδος τους υπόλοιπους μήνες. Στους δήμους της Κρήτης, Ηράκλειο και Χερσόνησο, σύμφωνα με το αντίστοιχο θερμοϋγρογράφημα, η ξηρή περίοδος συναντάται περί τα μέσα Απριλίου μέχρι τις αρχές Οκτωβρίου, έχοντας έτσι μεγαλύτερη διάρκεια απ' τις αντίστοιχες ξηρές περιόδους των άλλων δύο περιοχών.

Για την εύρεση του ξηρότερου μήνα της περιοχής μελέτης εφαρμόστηκε η μέθοδος Lang – Gracamin. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ξηρασίας Lang (Trewartha & Horn, 1980), ο οποίος εκφράζει το λόγο της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης σε mm προς την αντίστοιχη μηνιαία θερμοκρασία σε °C. Τα αποτελέσματα του μηνιαίου συντελεστή Lang παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1 και ο τύπος του τοπικού κλίματος για τις περιοχές της Τρίπολης, Καλαμάτας και Ηρακλείου – Χερσονήσου, ανάλογα με την τιμή του συντελεστή Lang, στο Σχήμα 2.5.

Πίνακας 2.1 Μηνιαίος συντελεστής Lang

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΡΙΠΟΛΗ	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ - ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ
ΜΗΝΕΣ	Lang	Lang	Lang
ΙΑΝ	20.87	10.63	7.64
ΦΕΒ	15.26	8.36	5.49
ΜΑΡ	9.59	5.90	4.34
ΑΠΡ	5.15	3.41	1.83
ΜΑΪ	2.45	1.35	0.68
ΙΟΥΝ	1.12	0.31	0.14
ΙΟΥΛ	0.84	0.20	0.0379
ΑΥΓ	1.02	0.46	0.0375
ΣΕΠ	1.51	1.45	0.75
ΟΚΤ	4.42	4.24	2.91
ΝΟΕ	10.72	8.90	3.56
ΔΕΚ	19.64	13.12	6.26



Σχήμα 2.5 Κλιματική κατάταξη, με βάση τη διακύμανση του συντελεστή Lang.

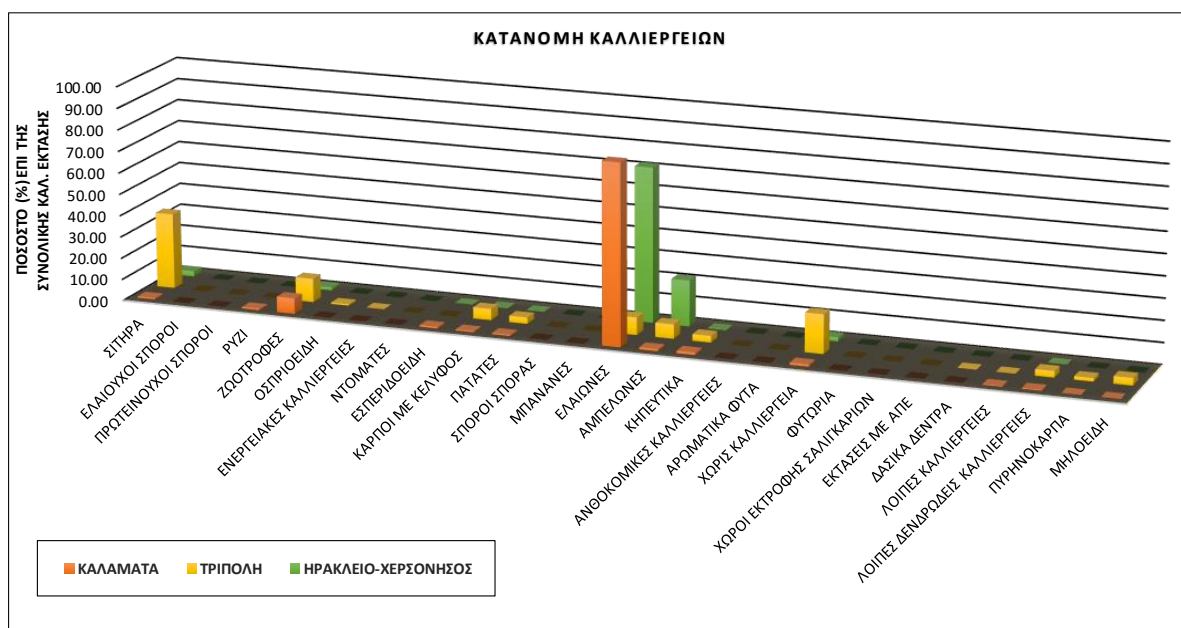
Όπως φαίνεται από τις παραπάνω τιμές του συντελεστή Lang, καθώς και από τα θερμοϋγρογραφήματα των τριών περιοχών, προκύπτει ότι ο ξηρότερος μήνας για την Τρίπολη είναι ο Ιούλιος, για την Καλαμάτα επίσης ο Ιούλιος και για τις περιοχές της Κρήτης, Ηράκλειο και Χερσόνησο, ο Αύγουστος. Κι αυτό γιατί σε αυτούς τους μήνες ο δείκτης Lang παρουσιάζει τις ελάχιστες τιμές.

2.3 Κατανομή Καλλιεργειών

Σύμφωνα με τα γεωχωρικά δεδομένα των δηλώσεων των γεωργικών καλλιεργειών (ΟΠΕΚΕΠΕ, 2015), προέκυψε η κατανομή των καλλιεργειών (Σχήμα 2.6) για τις περιοχές της Τρίπολης, της Καλαμάτας, του Ηρακλείου και της Χερσονήσου. Μετά την εξαγωγή των δεδομένων αυτών σε αρχείο excel, προκύπτουν 37 κατηγορίες καλλιεργειών. Κατόπιν πραγματοποιήθηκε ομαδοποίηση των καλλιεργειών που περιλαμβάνουν τα ίδια είδη και τελικά προέκυψαν 27 κατηγορίες, οι οποίες απεικονίζονται στο ιστόγραμμα που ακολουθεί. Αναλυτικά, οι καλλιέργειες και τα είδη τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.2):

Πίνακας 2.2 Ομαδοποίηση καλλιεργειών

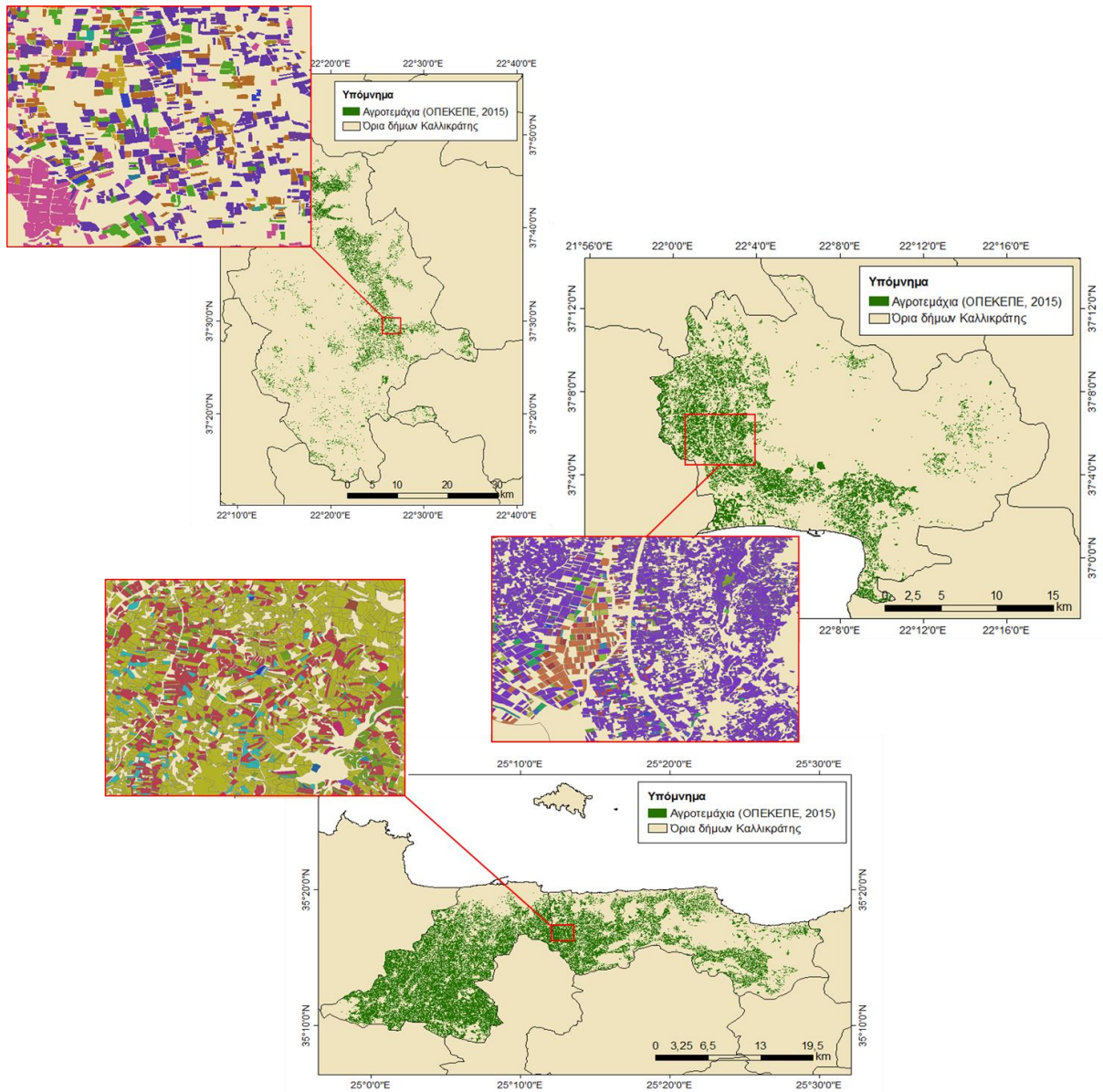
A/A	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
1	ΣΙΤΗΡΑ	ΚΡΙΘΑΡΙ, ΒΡΩΜΗ, ΣΙΤΟΣ, ΤΡΙΤΙΚΑΛΕ, ΣΟΡΓΟ, ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ
2	ΕΛΑΙΟΥΧΟΙ ΣΠΟΡΟΙ	ΣΟΥΣΑΜΙ, ΑΡΑΧΙΔΑ, ΗΛΙΑΝΘΟΣ, ΣΟΓΙΑ
3	ΠΡΩΤΕΙΝΟΥΧΟΙ ΣΠΟΡΟΙ	ΜΠΙΖΕΛΙ, ΛΟΥΠΙΝΑ, ΚΟΥΚΙΑ
4	ΡΥΖΙ	ΡΥΖΙ
5	ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ	ΣΑΝΟΣ ΚΡΙΘΑΡΙΟΥ, ΒΡΩΜΗΣ, ΒΙΚΟΥ, ΑΛΛΟΙ ΣΑΝΟΙ
6	ΟΣΠΡΙΟΕΙΔΗ	ΦΑΣΟΛΙΑ, ΦΑΒΑ, ΚΟΥΚΙΑ, ΦΑΚΕΣ, κ.α.
7	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΗΛΙΑΝΘΟΣ
8	ΤΟΜΑΤΕΣ	ΤΟΜΑΤΕΣ
9	ΕΣΠΕΡΙΔΟΕΙΔΗ	ΠΟΡΤΟΚΑΛΙΕΣ, ΛΕΜΟΝΙΕΣ, ΜΑΝΤΑΡΙΝΙΕΣ, ΓΚΡΕΪΠ ΦΡΟΥΤ
10	ΚΑΡΠΟΙ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ	ΚΑΡΥΔΙΕΣ, ΑΜΥΓΔΑΛΙΕΣ, ΦΟΥΝΤΟΥΚΙΕΣ, ΧΑΡΟΥΠΙΕΣ, ΦΙΣΤΙΚΙΕΣ
11	ΠΑΤΑΤΕΣ	ΠΑΤΑΤΕΣ
12	ΣΠΟΡΟΙ ΣΠΟΡΑΣ	ΚΡΙΘΑΡΙ, ΣΙΤΑΡΙ, ΜΠΙΖΕΛΙ, ΠΑΤΑΤΕΣ, ΤΡΙΦΥΛΛΙ
13	ΜΠΑΝΑΝΕΣ	ΜΠΑΝΑΝΕΣ
14	ΕΛΑΙΩΝΕΣ	ΕΛΑΙΩΝΕΣ
15	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ
16	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	ΤΟΜΑΤΑ, ΠΙΠΕΡΙΑ, ΜΕΛΙΤΖΑΝΑ, ΦΑΣΟΛΑΚΙΑ, ΑΝΗΘΟΣ, ΚΑΡΠΟΥΖΙ, ΠΕΠΟΝΙ, κ.α.
17	ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΟΛΕΣ
18	ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΦΥΤΑ	ΦΑΣΚΟΜΗΛΟ, ΡΙΓΑΝΗ, ΘΥΜΑΡΙ, ΤΣΑΪ ΤΟΥ ΒΟΥΝΟΥ
19	ΧΩΡΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΛΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ, ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ
20	ΦΥΤΩΡΙΑ	ΦΥΤΩΡΙΑ ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΩΝ, ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ, ΕΛΑΤΗΣ ΚΑΙ ΛΟΙΠΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ, ΚΑΡΠΟΦΟΡΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ ΚΑΙ ΘΑΜΝΩΝ
21	ΧΩΡΟΙ ΕΚΤΡΟΦΗΣ ΣΑΛΠΓΚΑΡΙΩΝ	ΟΛΟΙ
22	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΠΕ	ΟΛΕΣ
23	ΔΑΣΙΚΑ ΔΕΝΤΡΑ	ΑΚΑΚΙΕΣ ΚΑΙ ΛΕΥΚΕΣ
24	ΛΟΠΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΑΛΟΗ, ΜΕΛΙΣΣΟΧΟΡΤΟ, ΦΡΑΓΚΟΣΥΚΙΑ, ΜΑΝΙΤΑΡΙΑ, ΚΑΠΑΡΗ, ΙΠΠΟΦΑΕΣ
25	ΛΟΠΕΣ ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΡΟΔΙΕΣ, ΣΥΚΙΕΣ, ΚΑΣΤΑΝΙΕΣ, κ.α.
26	ΠΥΡΗΝΟΚΑΡΠΑ	ΡΟΔΑΚΙΝΙΕΣ, ΒΕΡΙΚΟΚΙΕΣ, ΚΕΡΑΣΙΕΣ, ΝΕΚΤΑΡΙΝΙΕΣ
27	ΜΗΛΟΕΙΔΗ	ΑΧΛΑΔΙΕΣ, ΜΗΛΙΕΣ



Σχήμα 2.6 Κατανομή Καλλιέργειών

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι το είδος της καλλιέργειας που καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση στο σύνολο είναι οι ελαιώνες και μάλιστα στην περιοχή της Καλαμάτας με ποσοστό που φτάνει το 84%. Επίσης, η συγκεκριμένη καλλιέργεια καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη καλλιεργήσιμη έκταση και στην περιοχή του Ηρακλείου και της Χερσονήσου, με ποσοστό 72%. Η δεύτερη μεγαλύτερη σε έκταση καλλιέργεια είναι τα σιτηρά στην περιοχή της Τρίπολης με ποσοστό 35%, τα οποία στην Καλαμάτα και στην περιοχή του Ηρακλείου και Χερσονήσου καταλαμβάνουν το 0,75% και το 2,5% αντίστοιχα της καλλιεργήσιμης έκτασης. Την τρίτη σε μέγεθος έκταση καταλαμβάνουν οι αμπελώνες σε Ηράκλειο και Χερσονήσο με ποσοστό 21%, όπου στην Καλαμάτα καταλαμβάνουν το 1,06% και στην Τρίπολη περίπου το 7%. Η συνολική έκταση που καταλαμβάνουν οι καλλιέργειες στην περιοχή της Καλαμάτας είναι 7 064 ha (70 640 στρ.), στην Τρίπολη 12 679 ha (126 790 στρ.) και στην περιοχή Ηρακλείου και Χερσονήσου 21 063 ha (210 630 στρ.).

Η συνολική έκταση του δήμου Τριπόλεως είναι 147 615 ha, του δήμου Καλαμάτας 44 171 ha, του δήμου Ηρακλείου 24 451 ha και του δήμου Χερσονήσου 27 093 ha. Η καλλιεργήσιμη έκταση στο δήμο Τρίπολης καταλαμβάνει το **8.6%** της συνολικής, στο δήμο Καλαμάτας το **16%** της συνολικής, ενώ στους δήμους Ηρακλείου και Χερσονήσου μαζί καταλαμβάνει ποσοστό **41%** επί της συνολικής έκτασης (Σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7 Καλλιεργήσιμη Έκταση δήμων Τρίπολης, Καλαμάτας, Ηρακλείου-Χερσονήσου.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Επεξεργασία Χρονοσειρών Θερμοκρασίας και Βροχόπτωσης

✓ Υπολογισμός Μηνιαίων P & T

Από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) χορηγήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας, από τρεις μετεωρολογικούς σταθμούς, της Τρίπολης, της Καλαμάτας και του Ηρακλείου. Τα δεδομένα αυτά αφορούν μια περίοδο 48 ετών από το 1957 έως το 2004. Οι αρχικές χρονοσειρές περιελάμβαναν, σε ημερήσιο βήμα, τιμές βροχόπτωσης σε mm, μία μέγιστη τιμή θερμοκρασίας και μία ελάχιστη σε °C. Η επεξεργασία τους πραγματοποιήθηκε με τη χρήση excel. Αρχικά υπολογίστηκε η μέση ημερήσια θερμοκρασία, από τη μέση τιμή της μέγιστης και ελάχιστης, η μηνιαία θερμοκρασία, καθώς και η μηνιαία βροχόπτωση για όλη τη χρονοσειρά.

✓ Υπολογισμός μέσων Μηνιαίων P & T

Έπειτα υπολογίστηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης των τριών περιοχών για τους 12 μήνες τους έτους. Τα τελικά αποτελέσματα που εξάχθηκαν από τους προαναφερθέντες υπολογισμούς φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.1).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων του Πίνακα 3.1 σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα θερμοϋγρογραφήματα για κάθε περιοχή, για τα οποία έγινε εκτενής αναφορά σε προηγούμενο κεφάλαιο. Από αυτά προέκυψε η ξηρή περίοδος, με την αντίστοιχη του Ηρακλείου να εμφανίζει τη μεγαλύτερη διάρκεια, έπειτα να ακολουθεί εκείνη της Καλαμάτας και τέλος της Τρίπολης.

Πίνακας 3.1 Μέσες Μηνιαίες τιμές Θερμοκρασίας και Βροχόπτωσης

ΜΕΣΕΣ ΜΗΝΙΑΙΕΣ Ρ – Τ						
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΡΙΠΟΛΗ		ΚΑΛΑΜΑΤΑ		ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	
ΜΗΝΕΣ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)
ΙΑΝ	5.11	106.71	10.45	111.08	12.15	92.81
ΦΕΒ	5.71	87.08	10.59	88.48	12.14	66.64
ΜΑΡ	7.66	73.48	11.95	70.54	13.29	57.60
ΑΠΡ	10.96	56.48	14.46	49.31	15.97	29.27
ΜΑΪ	15.46	37.86	18.40	24.75	19.26	13.06
ΙΟΥΝ	19.79	22.10	22.41	7.06	23.12	3.21
ΙΟΥΛ	22.15	18.58	24.64	5.04	25.21	0.96
ΑΥΓ	22.25	22.73	24.92	11.49	25.30	0.95
ΣΕΠ	18.61	28.17	22.45	32.65	22.99	17.16
ΟΚΤ	14.40	63.60	19.10	81.05	20.12	58.59
ΝΟΕ	10.05	107.82	15.19	135.27	16.88	60.19
ΔΕΚ	6.65	130.63	11.93	156.49	13.92	87.16

3.2 Υπολογισμός Εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα, μηνιαίες και μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας, υπολογίστηκε η δυνητική εξατμισοδιαπνοή, τόσο για τα μηνιαία δεδομένα όσο και για τα μέσα μηνιαία, σύμφωνα με τη μέθοδο Thornthwaite. Ο Thornthwaite (1948) δημιούργησε μια εξίσωση, η οποία χρησιμοποιείται για περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού. Σύμφωνα με αυτήν, εκτιμάται η μηνιαία εξατμισοδιαπνοή με βάση τη μέση μηνιαία θερμοκρασία και ορίζεται ως εξής:

$$E_p = 16 \left(\frac{10t_i}{J} \right)^\alpha \frac{\mu N}{360}$$

όπου E_p , η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm/μήνα

t_i , η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C

μ , ο αριθμός ημερών

N , η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας

J , ο ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας

α , μια εμπειρική παράμετρος που εξαρτάται από τον δείκτη J και η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με:

$$\alpha = 0.016 \cdot J + 0.5$$

Ο ετήσιος δείκτης θερμοκρασίας J , δίνεται από τη σχέση (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1997):

$$J = \sum_{i=1}^{12} j_i$$

Ο μηνιαίος δείκτης θερμοκρασίας j_i είναι συνάρτηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, όπως φαίνεται και από την εξίσωση που ακολουθεί:

$$j_i = 0.09t_i^{3/2}$$

Η μέση αστρονομική διάρκεια της ημέρας N υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$N = 1.46 \cdot P$$

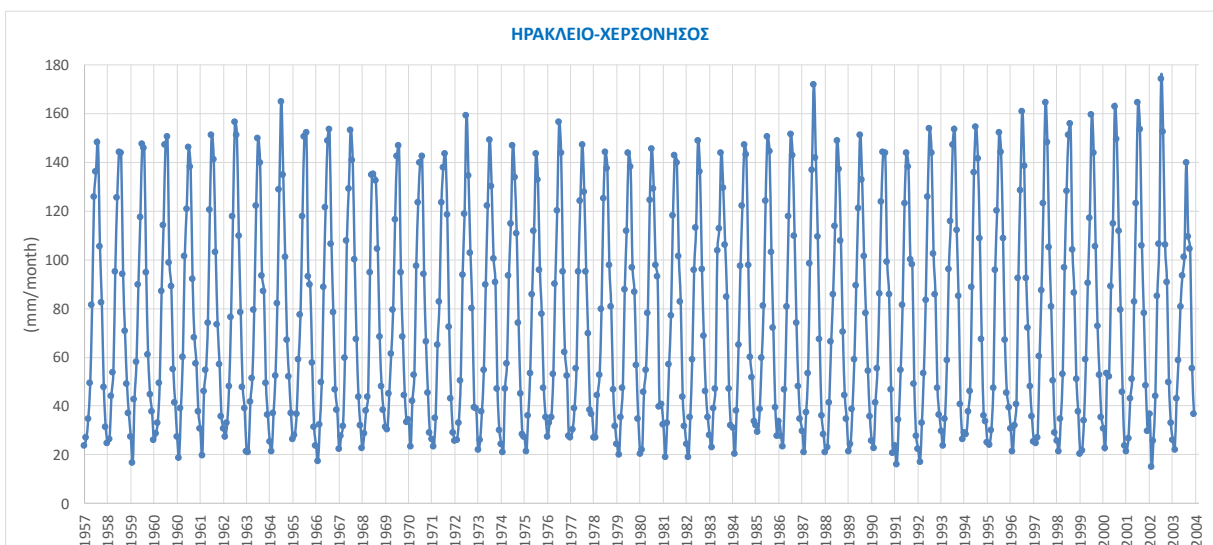
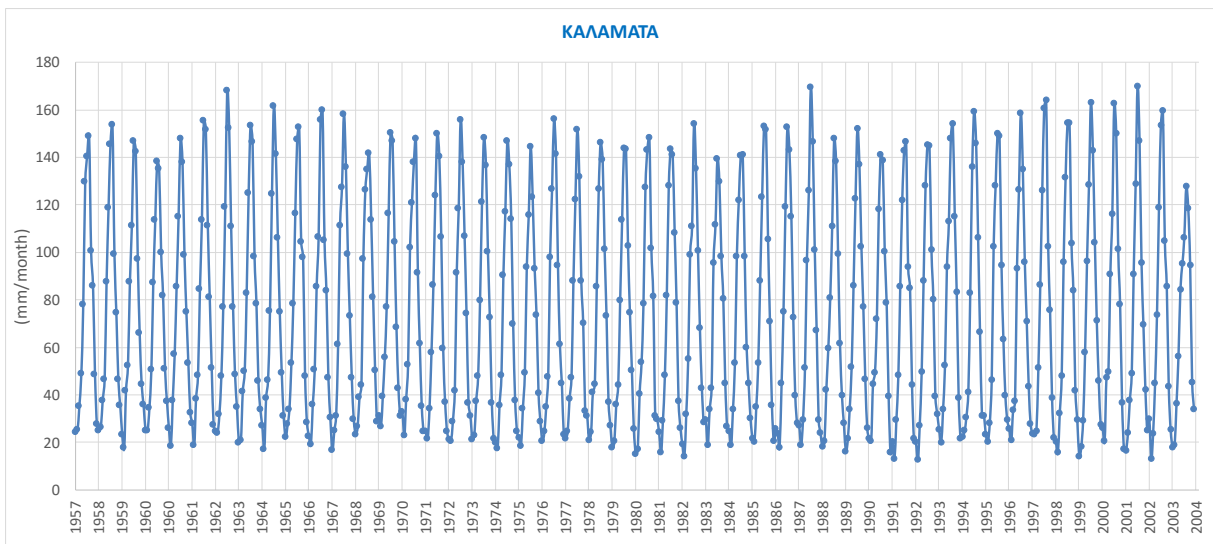
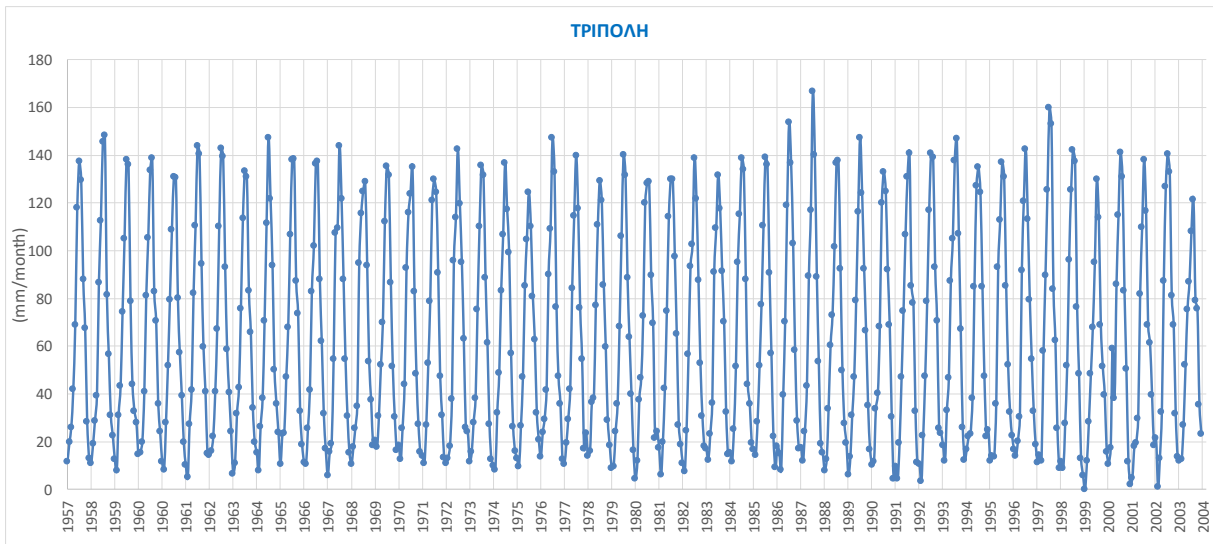
όπου P , οι τιμές του ποσοστού ωρών ημέρας (%) του συγκεκριμένου μήνα, οι οποίες προέκυψαν από τον Πίνακα 3.2 (Μιμίκου και Μπαλάς, 2012) και με βάση το γεωγραφικό πλάτος (φ°) της αντίστοιχης περιοχής ($\varphi^\circ_{\text{Τρίπολης}}=37^\circ$, $\varphi^\circ_{\text{Καλαμάτας}}=37^\circ$, $\varphi^\circ_{\text{Ηρακλείου-Χερσονήσου}}=35^\circ$). Καθώς τα γεωγραφικά πλάτη των περιοχών αντιστοιχούσαν σε ενδιάμεσες τιμές, τα μηνιαία ποσοστά ωρών ημέρας υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής.

Τα αποτελέσματα που εξάχθηκαν από τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite απεικονίζονται στο Σχήμα 3.1, δηλαδή στις μηνιαίες διακυμάνσεις της εξατμισοδιαπνοής, για τις επιμέρους περιοχές της Τρίπολης, Καλαμάτας και Ηρακλείου-Χερσονήσου. Από αυτά προκύπτει ότι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή δεν παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή στη διάρκεια του χρόνου και για τις τρεις περιοχές.

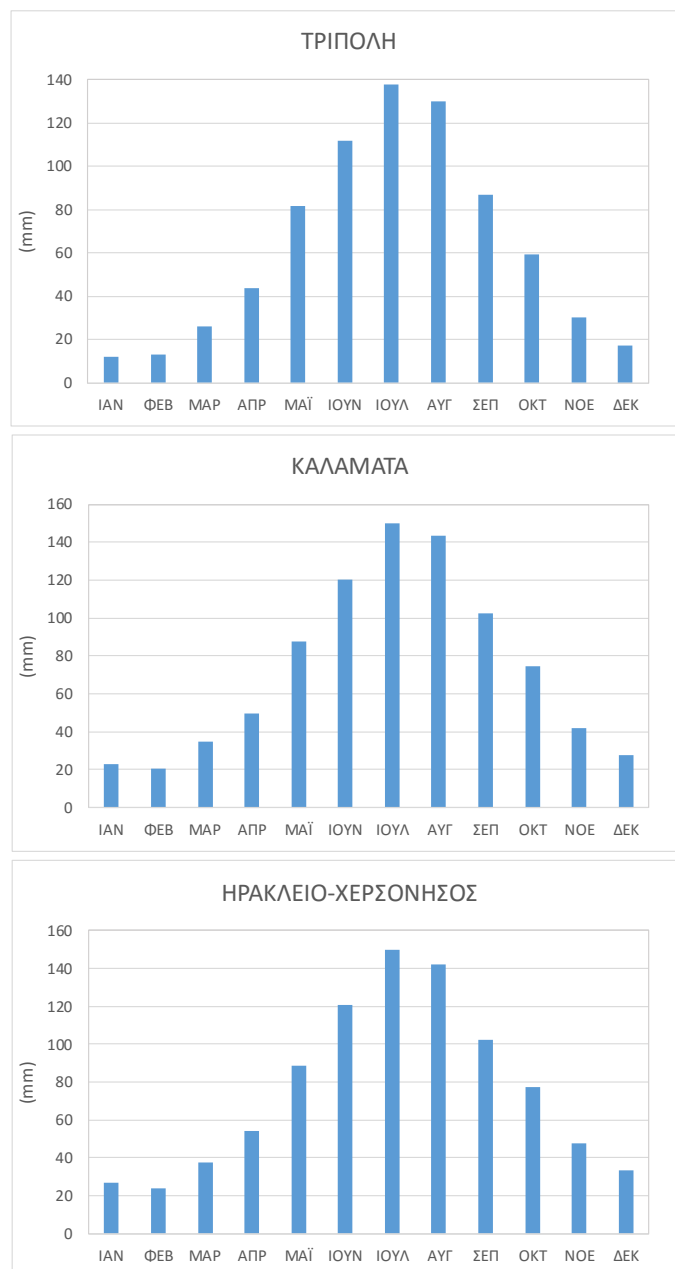
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα της μέσης μηνιαίας διακύμανσης της εξατμισοδιαπνοής στην περιοχή μελέτης για τους 12 μήνες του έτους (Σχήμα 3.2). Και εδώ οι διαφορές μεταξύ των τριών περιοχών είναι πολύ μικρές. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη τιμή εξατμισοδιαπνοής παρατηρείται τον Ιούλιο και για τις τρεις περιοχές, με την Καλαμάτα να εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή (149.9 mm/μήνα), ακολουθεί το Ηράκλειο με τη Χερσόνησο (149.65 mm/μήνα) και τέλος η Τρίπολη (138 mm/μήνα).

Πίνακας 3.2 Μηνιαία ποσοστά ωρών ημέρας % των ωρών ημέρας του έτους.

Β.Γεωγ. Πλάτος	Μήνας											
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
26	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.49	9.10	8.31	8.06	9.30	7.36	7.35
28	7.40	7.07	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
30	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
32	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.93	9.11	7.05
34	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	7.02	6.92
36	6.99	6.86	8.35	8.85	9.81	9.83	9.99	9.40	8.36	7.85	6.92	6.79
38	6.87	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.90	6.82	6.66
40	6.76	6.73	8.33	8.95	10.02	10.08	10.22	9.54	8.38	7.75	6.72	6.52
42	6.62	6.65	8.31	9.00	10.14	10.21	10.35	9.62	8.40	7.70	6.62	6.38
44	6.40	6.58	8.30	9.05	10.26	10.38	10.49	9.70	8.41	7.63	6.49	6.22
46	6.33	6.50	8.29	9.12	10.39	10.54	10.64	9.79	8.42	7.58	6.36	6.04
48	6.17	6.42	8.27	9.18	10.53	10.71	10.80	9.89	8.44	7.51	6.22	5.86
50	5.98	6.32	8.25	9.25	10.69	10.93	10.99	10.00	8.44	7.43	6.07	5.65



Σχήμα 3.1 Μηνιαίες Διακυμάνσεις Εξαμηνιασδιαπνοής ανά έτος με τη μέθοδο Thornthwaite



Σχήμα 3.2 Μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή με τη μέθοδο Thornthwaite

3.3 Εκτίμηση Αρδευτικών Αναγκών με τη μέθοδο Blaney-Criddle

Οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο Blaney-Criddle. Οι Blaney και Criddle (1962) δημιούργησαν μια εμπειρική σχέση, η οποία συνδέει την εξατμισοδιαπνοή, τη μέση θερμοκρασία του αέρα και το μέσο ποσοστό ωρών ημέρας του μήνα. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται άμεσα από το άθροισμα των γινομένων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών του αέρα και των μηνιαίων ποσοστών ωρών ημέρας, σε μια ενεργώς αναπτυσσόμενη καλλιέργεια με επαρκή περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό και υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$ET = kF = k_c \frac{(1.8T + 32)p}{3.94}$$

όπου ET, ορίζεται η μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm

k_c , ένας εμπειρικός συντελεστής, ο οποίος αναφέρεται στη συγκεκριμένη καλλιέργεια (συντελεστής καλλιέργειας)

T, η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα σε °C

p, το ποσοστό ωρών ημέρας του μήνα (%), οι τιμές του οποίου εισήχθησαν απ' τον Πίνακα 3.2 (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012).

Αναφορικά με το συντελεστή καλλιέργειας k_c , αρχικά αναπτύχθηκε η μέθοδος προσδιορισμού του από τους Blaney and Criddle για τον υπολογισμό των εποχιακών αναγκών που αναφέρονται στη βλαστητική περίοδο κάθε καλλιέργειας. Οι τιμές του εποχιακού φυτικού συντελεστή k_c διαφέρουν από τις αντίστοιχες μηνιαίες, κυρίως λόγω της διαφορετικής ανάπτυξης του ριζικού συστήματος, καθώς και του υπέργειου τμήματος της καλλιέργειας, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκεται. Για τον υπολογισμό, λοιπόν, των μηνιαίων αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών κρίνεται απαραίτητη η χρήση των μηνιαίων φυτικών συντελεστών. Σε εκτεταμένη έρευνα σχετικά με το συντελεστή καλλιέργειας k_c , διαπιστώθηκε ότι υπάρχει περισσότερη πληροφορία για κάθε βλαστητικό στάδιο και πολύ λιγότερη για κάθε μήνα της καλλιεργητικής περιόδου. Έτσι, η εύρεση των μηνιαίων τιμών του παρουσίασε αρκετές δυσκολίες. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το συνδυασμό πολλών βιβλιογραφικών πηγών, σύμφωνα με τις οποίες προέκυψε ο Πίνακας 3.3, όπου αναφέρονται οι τιμές του φυτικού συντελεστή k_c , για τις 37 κατηγορίες καλλιεργειών, για κάθε μήνα. Οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν συνοψίζονται ως εξής:

- Κουτσογιάννης, 2000
- Υπουργείο Γεωργίας, 1992
- Μάρης, 2013
- Μιμίκου και Μπαλτάς, 2012
- Παπαμιχαήλ και Γεωργίου, 2005
- Τερζίδη και Παπαζαφειρίου, 1997
- <http://www.fao.org/>

Οι καλλιέργειες για τις οποίες υπολογίστηκαν οι αρδευτικές ανάγκες προέκυψαν σύμφωνα με τις δηλώσεις των καλλιεργειών (ΟΠΕΚΕΠΕ, 2015) για τις περιοχές της Τρίπολης, της Καλαμάτας, του Ηρακλείου και της Χερσονήσου. Σε περιβάλλον ArcGIS πραγματοποιήθηκε

η επεξεργασία των γεωχωρικών δεδομένων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με μέγεθος φατνίου 30×30m και της κατανομής των καλλιεργειών ανά αγροτεμάχιο για το 2015 (ΟΠΕΚΕΠΕ, 2015). Με δεδομένο ότι και οι τρεις περιοχές χαρακτηρίζονται από έντονη γεωργική δραστηριότητα, η οποία δεν περιορίζεται αποκλειστικά στα πεδινά, καθώς η ίδια καλλιέργεια παρατηρείται σε υψόμετρο τόσο των 50 m, όσο και των 500 m, η κατανομή των αγροτεμαχίων πραγματοποιήθηκε σε υψηλή χωρική ανάλυση. Σύμφωνα δηλαδή με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους κάθε περιοχής, υπολογίστηκε το μέσο τοπογραφικό υψόμετρο κάθε αγροτεμαχίου και εν συνεχεία σύμφωνα με την κατακόρυφη θερμοβαθμίδα υπολογίστηκε προσεγγιστικά η αντίστοιχη θερμοκρασία, όπως περιγράφεται αναλυτικότερα στο επόμενο στάδιο υπολογισμού των αρδευτικών αναγκών. Ο τρόπος αυτός αποτελεί μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση στην εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών.

Τέλος, εξήχθησαν σε μορφή πίνακα excel τα δεδομένα που αφορούν στα καλλιεργήσιμα αγροτεμάχια, για να πραγματοποιηθεί η περαιτέρω επεξεργασία τους. Σε αυτά, για κάθε αγροτεμάχιο περιλαμβάνεται το μέσο υψόμετρό του (σε m), η επιφάνειά του (σε m²) και ο κωδικός της καλλιέργειας (cropcode), ο οποίος αντιστοιχεί στο είδος της. Στα αγροτεμάχια που αναφέρονται περισσότεροι του ενός κωδικοί καλλιέργειας, αφορούν αγροτικές εκμεταλλεύσεις συγκαλλιέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση πραγματοποιήθηκε διάκριση των διαφορετικών καλλιεργειών με τους αντίστοιχους μηνιαίους φυτικούς συντελεστές k_c , και τελικά υπολογίστηκε η μέση τιμή του k_c για κάθε αγροτεμάχιο ανά μήνα, θεωρώντας δηλαδή ισοκατανομή των επιμέρους ειδών εντός αυτών. Ο υπολογισμός του μέσου k_c ανά αγροτεμάχιο, ανά μήνα και ανά περιοχή (Τρίπολη, Καλαμάτα, Ηράκλειο-Χερσόνησος) αποτελεί το πρώτο στάδιο υπολογισμού των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών με τη μέθοδο Blaney-Criddle.

Πίνακας 3.3 Μηνιαίος συντελεστής καλλιέργειας κc

Α/Α	ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ	κc												
			ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
1	ΣΙΤΑΡΙ	1	0.20	0.40	0.80	1.10	0.60	-	-	-	-	-	-	-	
2	ΛΟΠΙΑ ΣΙΤΗΡΑ	2	0.45	0.65	0.85	1.05	1.15	0.65	-	-	-	-	-	0.35	
3	ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΣ (ΠΟΤΙΣΤΙΚΟΣ+ΕΝΣΙΡΩΣΗΣ)	3.1+3.2	-	-	-	-	0.12	0.40	0.60	0.62	0.45	-	-	-	
4	ΕΛΑΙΟΥΧΟΙ ΣΠΟΡΟΙ (Σουσάμι, Αραχίδα, Ηλίανθος, Σόγια)	4	-	-	-	-	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	-	-	-	
5	ΠΡΩΤΕΙΝΟΥΧΟΙ ΣΠΟΡΟΙ (μπιζέλι, λούπινα, κουκιά)	5	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	-	-	-	-	0.53	0.53	0.53	
6	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΗ	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	ΡΥΖΙ	7	-	-	-	-	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	-	-	-	
8	ΖΩΟΤΡΟΦΕΣ (σανό)	8	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	-	-	-	0.60	0.60	0.60	
9	ΟΣΠΡΙΟΕΙΔΗ	11	-	-	-	0.30	0.80	1.10	1.10	0.70	-	-	-	-	
10	ΕΛΑΙΩΝΕΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΕΛΑΙΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ	15	-	-	-	-	0.25	0.35	0.45	0.45	0.30	-	-	-	
11	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ (ηλίανθος)	16	-	-	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	-	-	
12	ΝΤΟΜΑΤΕΣ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ	18	-	-	-	-	0.41	0.74	0.93	0.98	0.89	-	-	-	
13	ΕΣΠΕΡΙΔΟΕΙΔΗ ΠΡΟΣ ΜΕΤΑΠΟΙΗΣΗ	19	-	-	-	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.60	0.80	-	-	
14	ΚΑΡΠΟΙ ΜΕ ΚΕΛΥΦΟΣ *(καρυδιές, αμυγδαλιές, φουντουκιές, χαρουπιές, φιστικιές)	21	-	-	-	-	0.60	0.70	1.00	0.85	0.80	-	-	-	
15	ΓΕΩΜΥΛΑ ΑΜΥΛΟΠΟΙΑΣ	24	-	-	-	0.45	0.80	0.95	0.90	-	-	-	-	-	
16	ΣΠΟΡΟΙ ΣΠΟΡΑΣ (κριθάρι, σιτάρι)	25	0.20	0.40	0.80	1.10	0.60	-	-	-	-	-	-	-	
17	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΑΛΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΟΥ ΠΡΟΣΜΕΤΡΟΥΝΤΑΙ ΣΤΑ ΕΚΤΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ *	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	ΜΠΑΝΑΝΕΣ	29	-	1.00	1.00	1.10	1.15	1.20	1.20	1.20	1.05	-	-	-	
19	ΣΤΑΦΙΔΕΣ	28.1	-	-	-	-	0.30	0.35	0.50	0.45	0.35	-	-	-	
20	ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ-ΑΝΑΔΙΑΡΘΡΩΣΗ	36.1	-	-	-	-	0.30	0.35	0.50	0.45	0.35	-	-	-	
21	ΛΟΠΟΙ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΙΝΟΥ	36.2	-	-	-	-	0.30	0.35	0.50	0.45	0.35	-	-	-	
22	ΛΟΠΟΙ ΑΜΠΕΛΩΝΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑ ΧΡΗΣΗ	36.3	-	-	-	-	0.30	0.35	0.50	0.45	0.35	-	-	-	
23	ΛΟΠΙΑ ΕΣΠΕΡΙΔΟΕΙΔΗ	37	-	-	-	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.60	0.80	-	-	
24	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	38	-	-	-	0.34	0.66	0.85	0.50	-	-	-	-	-	
25	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ ΥΠΟ ΚΑΛΥΨΗ	39	-	-	-	0.34	0.66	0.85	0.50	-	-	-	-	-	
26	ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	40	-	-	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	-	-	-	
27	ΑΡΩΜΑΤΙΚΑ ΦΥΤΑ (τσάι)	41	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-	-	0.98	0.98	0.98	
28	ΓΗ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΝΤΑΣΣΕΤΑΙ ΣΕ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29	ΛΟΠΙΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ * (αλόη,μελλισόχορτο, φραγκοσουκιά, μανιτάρια, κάπαρη, ιπποφάες)	45.1	-	-	-	0.60	0.80	0.90	0.90	0.90	0.90	-	-	-	
30	ΛΟΠΙΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ - ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ	45.2	-	-	0.23	0.45	0.70	0.85	0.88	0.85	0.47	0.20	-	-	
31	ΦΥΤΩΡΙΑ	45.3	-	-	-	0.34	0.66	0.85	0.50	-	-	-	-	-	
32	ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ (ΕΠΙΣΠΟΡΗ)	60	-	-	-	0.34	0.66	0.85	0.50	-	-	-	-	-	
33	ΧΩΡΟΙ ΕΚΤΡΟΦΗΣ ΣΑΛΠΓΚΑΡΙΩΝ	47	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	-	-	-	0.75	0.75	0.75	0.75	
34	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΑΠΕ	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35	ΛΟΠΙΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ - ΔΑΣΙΚΑ ΔΕΝΤΡΑ	49	0.75	0.75	-	-	-	-	-	-	-	0.75	0.75	0.75	
36	ΠΥΡΗΝΟΚΑΡΠΑ (ΡΟΔΑΚΙΝΙΕΣ, ΒΕΡΙΚΟΚΙΕΣ, ΚΕΡΑΣΙΕΣ, ΝΕΚΤΑΡΙΝΙΕΣ)	66	-	-	-	-	0.45	0.50	0.80	0.65	0.60	-	-	-	
37	ΜΗΛΟΕΙΔΗ (ΑΧΛΑΔΙΕΣ, ΜΗΛΙΕΣ)	67	-	-	-	-	0.45	0.65	0.80	0.65	0.60	-	-	-	

Το δεύτερο στάδιο υπολογισμού των αρδευτικών αναγκών περιλαμβάνει τη διόρθωση της θερμοκρασίας κάθε αγροτεμαχίου ανά μήνα, σύμφωνα με την κατακόρυφη θερμοβαθμίδα.

Κατά κανόνα, η θερμοκρασία του αέρα ελαττώνεται με το ύψος μέσα στην τροπόσφαιρα και αυξάνεται γενικά στη στρατόσφαιρα. Ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας με το ύψος εκφράζεται με την κατακόρυφη θερμοβαθμίδα. Έτσι λοιπόν αυτή ορίζεται ως η ελάττωση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα στη μονάδα του ύψους και υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση που ακολουθεί:

$$\gamma = -\frac{\partial T}{\partial z}$$

όπου γ , η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα

T , η θερμοκρασία

z , το ύψος

Το πρόσημο μείον (-) υποδηλώνει ότι η αύξηση του ύψους αντιστοιχεί σε ελάττωση της θερμοκρασίας. Ως μονάδα ύψους χρησιμοποιούνται συνήθως τα 100m ή το 1km, επομένως η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα γ εκφράζεται σε °C/100m ή °C /1km. Κατά μέσο όρο, η τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας στην τροπόσφαιρα είναι:

$$\gamma = 0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m} \text{ ή } \gamma = 6^{\circ}\text{C} /1\text{km}$$

Με την προϋπόθεση ότι η κατακόρυφη θερμοβαθμίδα διατηρεί σταθερή τιμή περίπου, η παραπάνω σχέση, μετά από σχετική ολοκλήρωση, μετατρέπεται στην ακόλουθη:

$$T_{(z)} = T_{(z_0)} - \gamma(z - z_0)$$

όπου, z το μέσο υψόμετρο (elevation, σε m) κάθε αγροτεμαχίου

z_0 , το υψόμετρο του σταθμού (z_0 , ΤΡΙΠΟΛΗΣ=652m, z_0 , ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ=11m, z_0 , ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ=39 m)

$T_{(z)}$, η τιμή της θερμοκρασίας του αέρα στο ύψος z , η οποία προέκυψε από τις θερμοκρασίες της ιστορικής χρονοσειράς που κατέγραψαν οι σταθμοί της κάθε περιοχής για την περίοδο 1957-2004

$T_{(z_0)}$, η τιμή της θερμοκρασίας του αέρα στο ύψος z_0

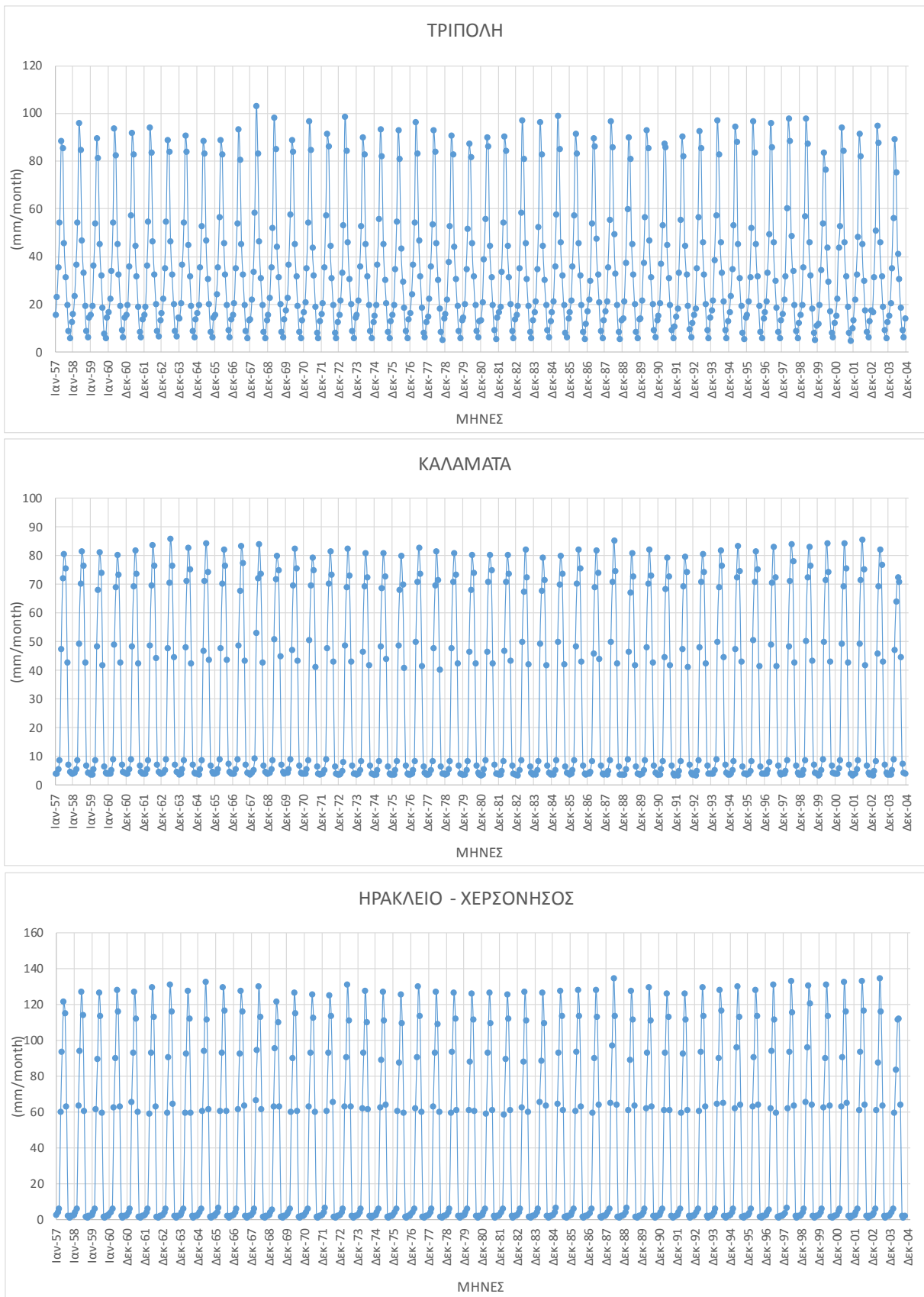
και γ , η τιμή της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας, η οποία προέκυψε από τον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.4):

Πίνακας 3.4 Μέσες τιμές της Κατακόρυφης Θερμοβαθμίδας (°C ανά 100m) πάνω από τον ελλαδικό χώρο (κατά Flocas et al. 1983) Πηγή: Φλόκας, 1997.

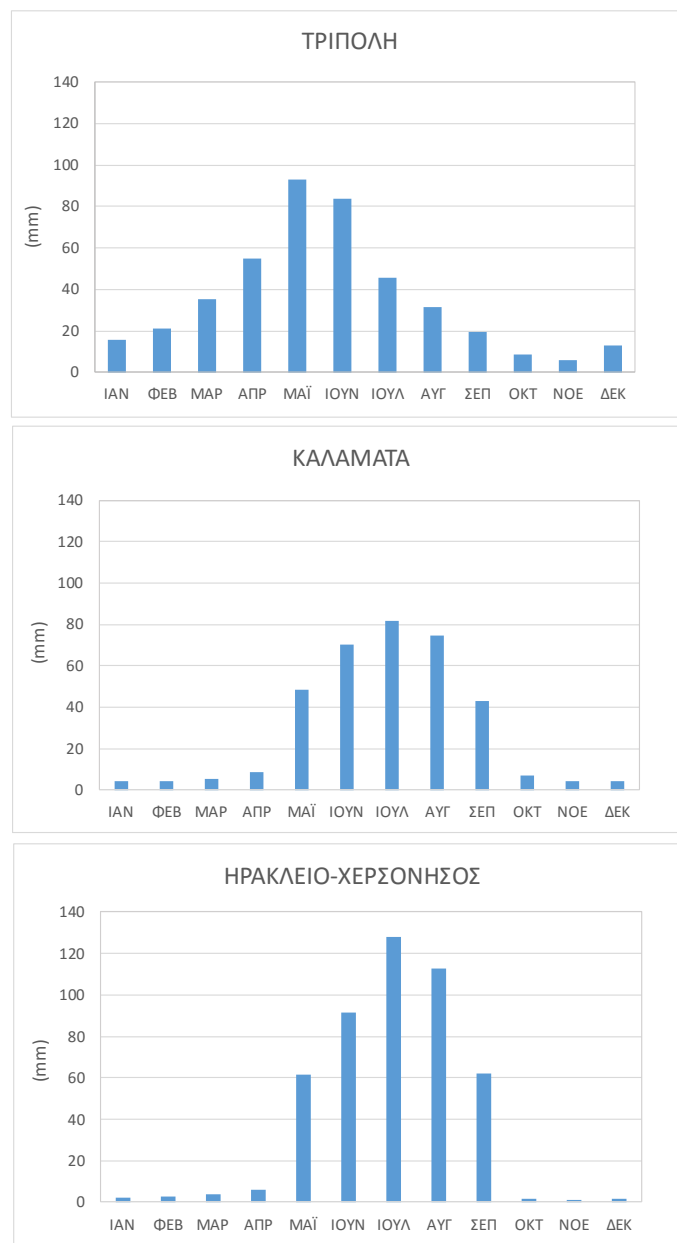
Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
0.70	0.64	0.59	0.50	0.47	0.55	0.67	0.70	0.63	0.64	0.66	0.64

Τελικά ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία προέκυψε η θερμοκρασία του κάθε αγροτεμαχίου για κάθε μήνα.

Το τρίτο και τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών, σύμφωνα με τη σχέση Blaney-Criddle, για την οποία έγινε εκτενής αναφορά παραπάνω. Έτσι, έχοντας υπολογίσει από τα προηγούμενα στάδια τη μέση τιμή των μηνιαίων φυτικών συντελεστών k_c για κάθε αγροτεμάχιο, τη μηνιαία θερμοκρασία κάθε αγροτεμαχίου και τα ποσοστά ωρών ημέρας του μήνα, υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή, δηλαδή οι αρδευτικές ανάγκες με τη μέθοδο Blaney-Criddle. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν (Σχήμα 3.3), όπου απεικονίζονται οι μηνιαίες αρδευτικές ανάγκες κατά τη χρονική περίοδο απ' το 1957 έως το 2004. Από αυτά προκύπτει ότι τις μεγαλύτερες αρδευτικές ανάγκες παρουσιάζει το Ηράκλειο με τη Χερσόνησο, ακολουθεί η Τρίπολη και τέλος η Καλαμάτα. Επίσης στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες αρδευτικές ανάγκες, όπου οι μεγαλύτερες τιμές φαίνονται κατά την ξηρή περίοδο, με τη μέγιστη τιμή τους να παρατηρείται στην περιοχή του Ηρακλείου και της Χερσονήσου.



Σχήμα 3.3 Μηνιαίες Διακομάνσεις Αρδευτικών Αναγκών ανά έτος με τη μέθοδο Blaney – Criddle.



Σχήμα 3.4 Μέσες Μηνιαίες Αρδευτικές Ανάγκες

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.5) φαίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές των αρδευτικών αναγκών, σύμφωνα με τη μέθοδο Blaney-Criddle και της εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite για όλες τις περιοχές μελέτης. Όπως αποδεικνύεται απ' τους υπολογισμούς, οι μέγιστες μηνιαίες τιμές της εξατμισοδιαπνοής και για τις τρεις περιοχές παρατηρούνται τον Ιούλιο, ενώ οι μέγιστες αρδευτικές ανάγκες για την Τρίπολη το Μάιο, για την Καλαμάτα και το Ηράκλειο-Χερσόνησο τον Ιούλιο.

Πίνακας 3.5 Μέσες Μηνιαίες τιμές εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite και αρδευτικών αναγκών κατά Blaney-Criddle.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΡΙΠΟΛΗ		ΚΑΛΑΜΑΤΑ		ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΟΝΗΣΟΣ	
	Thomthwaite (mm/month)	Blaney-Criddle (mm/month)	Thornthwaite (mm/month)	Blaney-Criddle (mm/month)	Thomthwaite (mm/month)	Blaney-Criddle (mm/month)
ΙΑΝ	12.31	15.63	22.61	3.97	26.68	1.83
ΦΕΒ	12.89	20.99	20.61	4.04	23.59	2.38
ΜΑΡ	26.08	35.26	34.55	5.46	37.51	3.69
ΑΠΡ	43.97	54.64	49.74	8.83	54.20	5.81
ΜΑΪ	81.72	92.77	87.60	48.55	88.34	61.57
ΙΟΥΝ	112.05	83.53	120.56	70.00	120.77	91.60
ΙΟΥΛ	137.78	45.39	149.91	81.90	149.65	127.76
ΑΥΓ	130.29	31.51	143.65	74.51	141.94	112.88
ΣΕΠ	87.05	19.38	102.37	42.86	102.23	62.04
ΟΚΤ	59.15	8.61	74.82	7.00	77.51	1.53
ΝΟΕ	30.28	5.88	42.14	4.38	47.59	0.95
ΔΕΚ	17.31	13.25	27.75	4.01	33.60	1.66

3.4 Εκτίμηση Δεικτών Ξηρασίας

3.4.1 Δείκτης Ξηρότητας (AI)

Στην παρούσα διπλωματική υπολογίστηκε ο δείκτης ξηρότητας (Aridity Index-AI), ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο της μηνιαίας βροχόπτωσης (P_i) προς τη μηνιαία εξατμισοδιαπνοή (PET_i), η οποία έχει υπολογιστεί κατά τη μέθοδο Thornthwaite (1948). Αναλυτικά, η εξίσωση που υπολογίζει το δείκτη είναι:

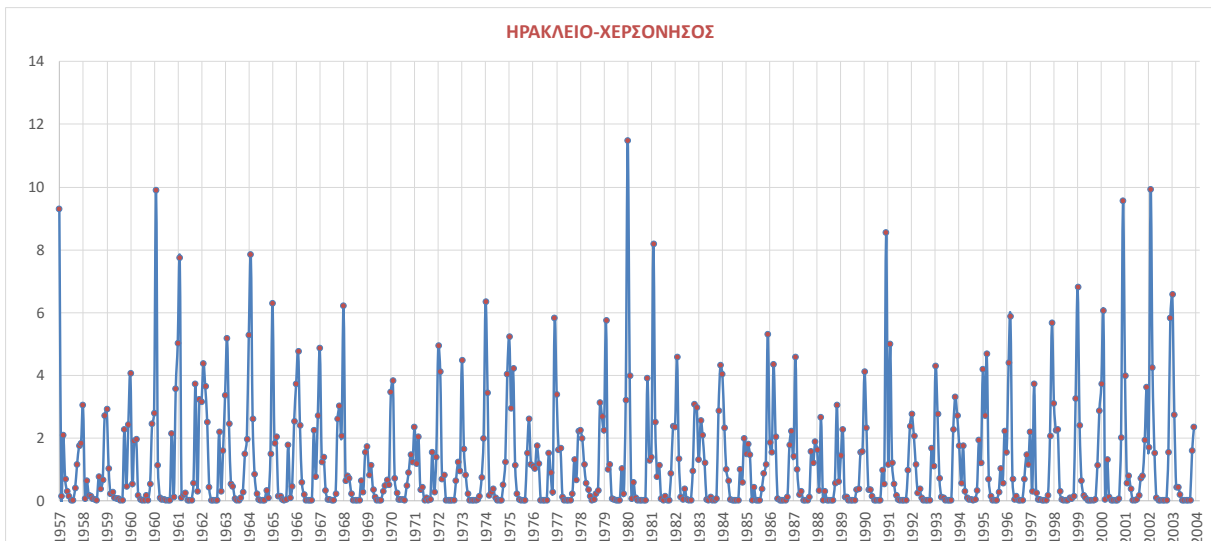
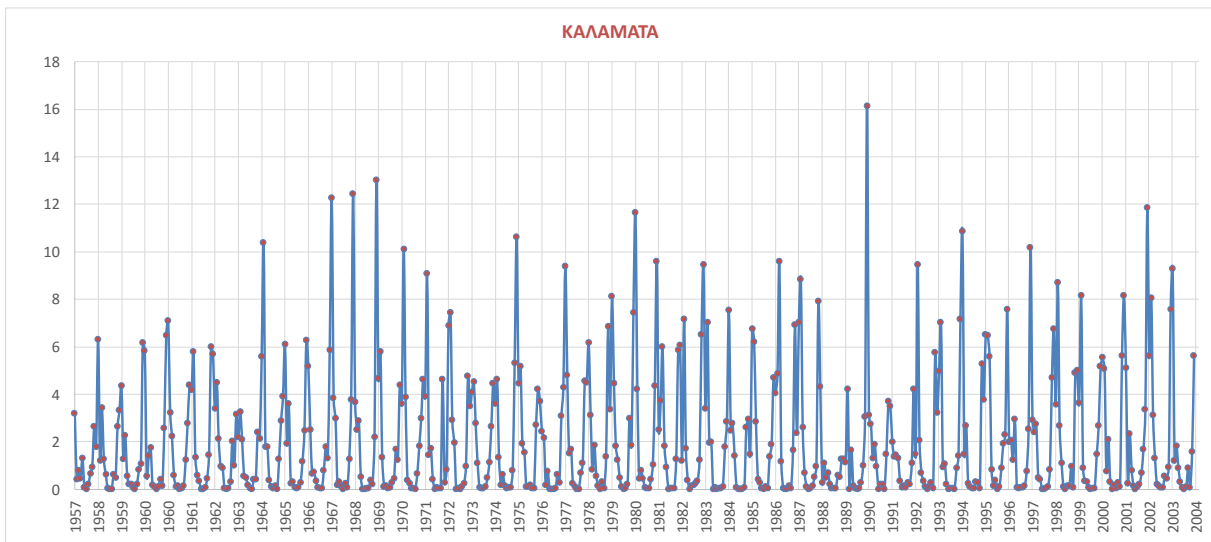
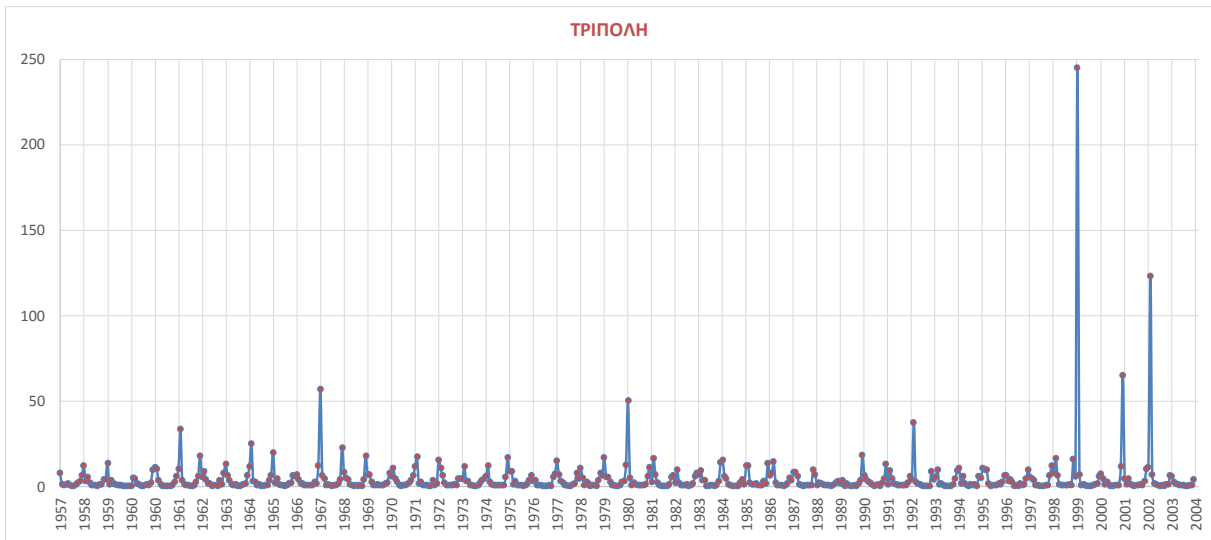
$$AI = \frac{P_i}{PET_i}$$

Σύμφωνα με τις τιμές του εν λόγω δείκτη (AI) έχει πραγματοποιηθεί ταξινόμηση των κλιμάτων, η οποία φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.6).

Πίνακας 3.6 Όρια Ταξινόμησης του Δείκτη Ξηρότητας (AI)

Κλιματική Ζώνη	UNESCO (1979)	UNEP (1992)
	P/PET (Penman method)	P/PET (Thornthwaite method)
Υπερβολικά Ξηρή	<0.03	<0.05
Ξηρή	0.03-0.20	0.05-0.20
Ημίξηρη	0.20-0.50	0.20-0.50
Ύφουρη	0.50-0.75	0.50-0.65
Υγρή	>0.75	>0.65

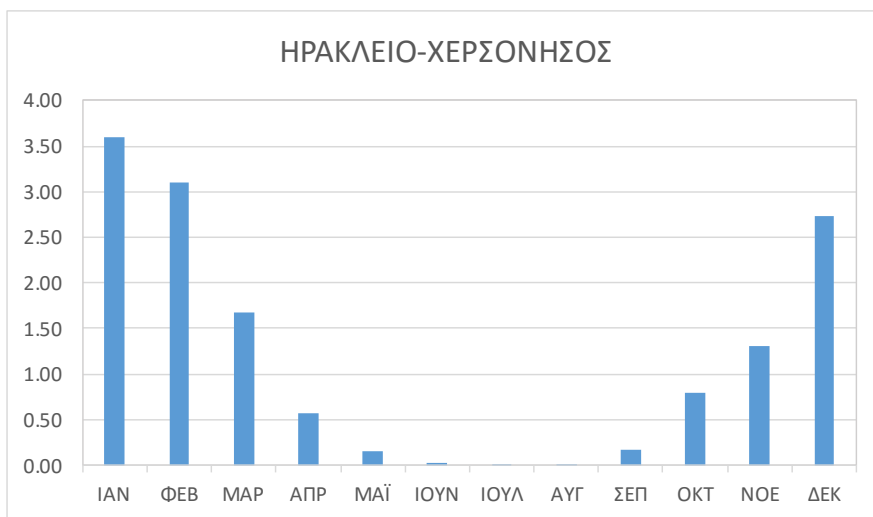
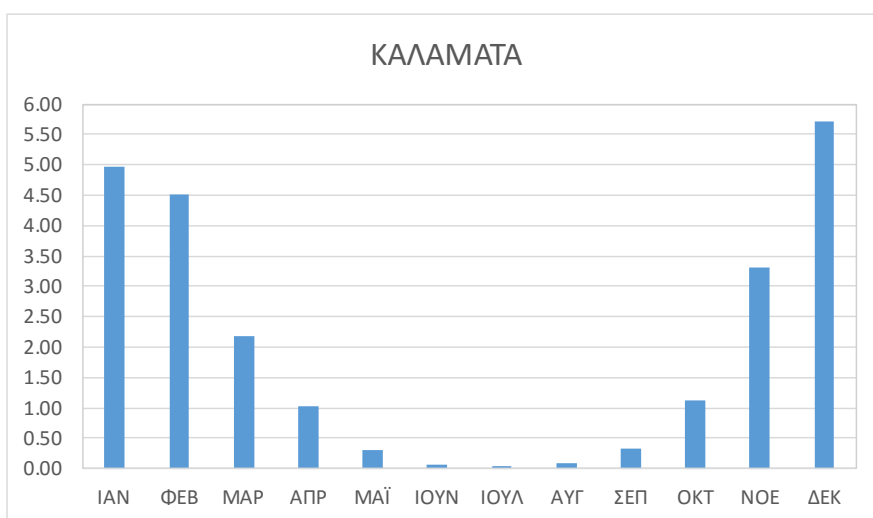
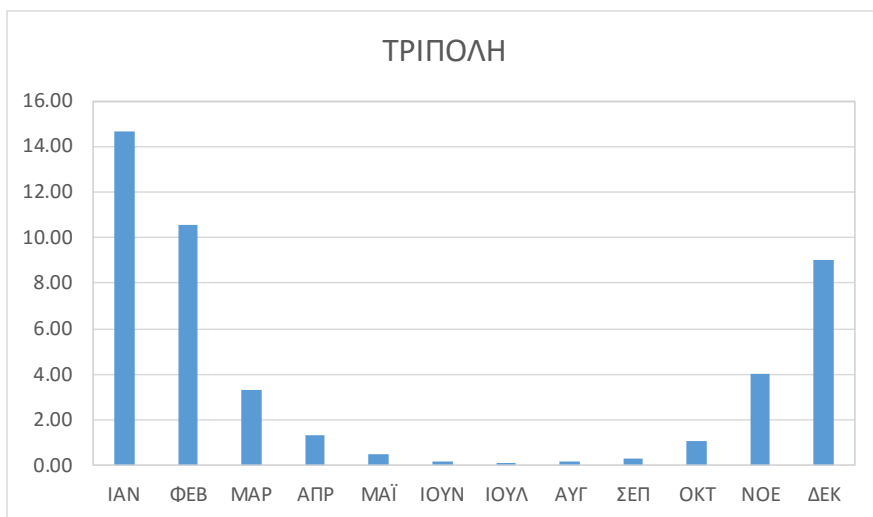
Αρχικά υπολογίστηκε ο μηνιαίος ΑΙ, για τα έτη από το 1957 έως το 2004. Ως δεδομένα βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν οι μηνιαίες τιμές, οι οποίες προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία των ιστορικών χρονοσειρών, και όσον αφορά τα δεδομένα της εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι μηνιαίες τιμές που έχουν υπολογιστεί με τη μέθοδο Thornthwaite, όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις περιοχές της Τρίπολης, Καλαμάτας και Ηρακλείου-Χερσονήσου απεικονίζονται στα επόμενα διαγράμματα (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5 Μηνιαίες Διακυμάνσεις του Δείκτη Ξηρότητας (AI) ανά έτος

Στην περιοχή της Τρίπολης, τον Ιανουάριο του 2000 παρατηρείται μία υπερβολικά υψηλή τιμή του δείκτη AI, περίπου 245, όπου δεν πρόκειται για εξωκείμενη τιμή, αλλά για έναν πολύ ψυχρό μήνα, με την θερμοκρασία του να φτάνει τους 0.06°C. Καθώς, η θερμοκρασία είναι ανάλογη της εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite, έτσι και η εξατμισοδιαπνοή λαμβάνει πολύ μικρή τιμή το συγκεκριμένο μήνα, με αποτέλεσμα η αντίστοιχη τιμή του δείκτη AI να είναι πολύ μεγάλη.

Έπειτα υπολογίστηκε ο μέσος μηνιαίος δείκτης ξηρότητας (AI), σύμφωνα με τις αντίστοιχες μέσες μηνιαίες τιμές και για τις τρεις περιοχές μελέτης (Τρίπολη, Καλαμάτα, Ηράκλειο-Χερσόνησος), για όλη την περίοδο (1957-2004). Τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών φαίνονται στα διαγράμματα που ακολουθούν (Σχήμα 3.6). Από αυτά προκύπτει ότι ο μικρότερη τιμή του δείκτη εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο στην Τρίπολη και την Καλαμάτα και τον Αύγουστο στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο ($AI_{\text{ΤΡΙΠΟΛΗΣ}} = 0.14$, $AI_{\text{ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ}} = 0.03$, $AI_{\text{ΗΡΑΚΛ.-ΧΕΡΣ.}} = 0.006$), όπου σύμφωνα με τις τιμές του, η Καλαμάτα και το Ηράκλειο με τη Χερσόνησο εντάσσονται για το συγκεκριμένο μήνα στην υπερβολικά ξηρή κλιματική ζώνη, ενώ η Τρίπολη στην ξηρή. Γενικότερα, στο σύνολό τους, το Ηράκλειο και η Χερσόνησος παρουσιάζουν το μικρότερο δείκτη ξηρασίας, ακολουθεί η Καλαμάτα και τέλος η Τρίπολη.



Σχήμα 3.6 Μέσες Μηνιαίες Διακυμάνσεις του Δείκτη Ξηρότητας (ΔΙ)

3.4.2 Δείκτης Τυποποιημένης Βροχόπτωσης (SPI)

Ο Δείκτης Τυποποιημένης Βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index-SPI) αποτελεί ακόμα έναν δείκτη προσδιορισμού των φαινομένων της ξηρασίας. Στηρίζεται στη σύγκριση της συνολικής βροχόπτωσης συγκεκριμένης χρονικής περιόδου με τη μέση βροχόπτωση της ίδιας περιόδου. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 2.00 και πάνω σε εξαιρετικά υγρή περίοδο έως και κάτω από -2.00 σε περιπτώσεις εξαιρετικής ξηρασίας, ενώ οι τιμές από 0.99 έως -0.99 αντιστοιχούν σε φυσιολογικές συνθήκες, όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.7).

Πίνακας 3.7 Χαρακτηρισμός περιόδου με βάση το δείκτη SPI,
(Πηγή: http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/drought/drght_spi.html)

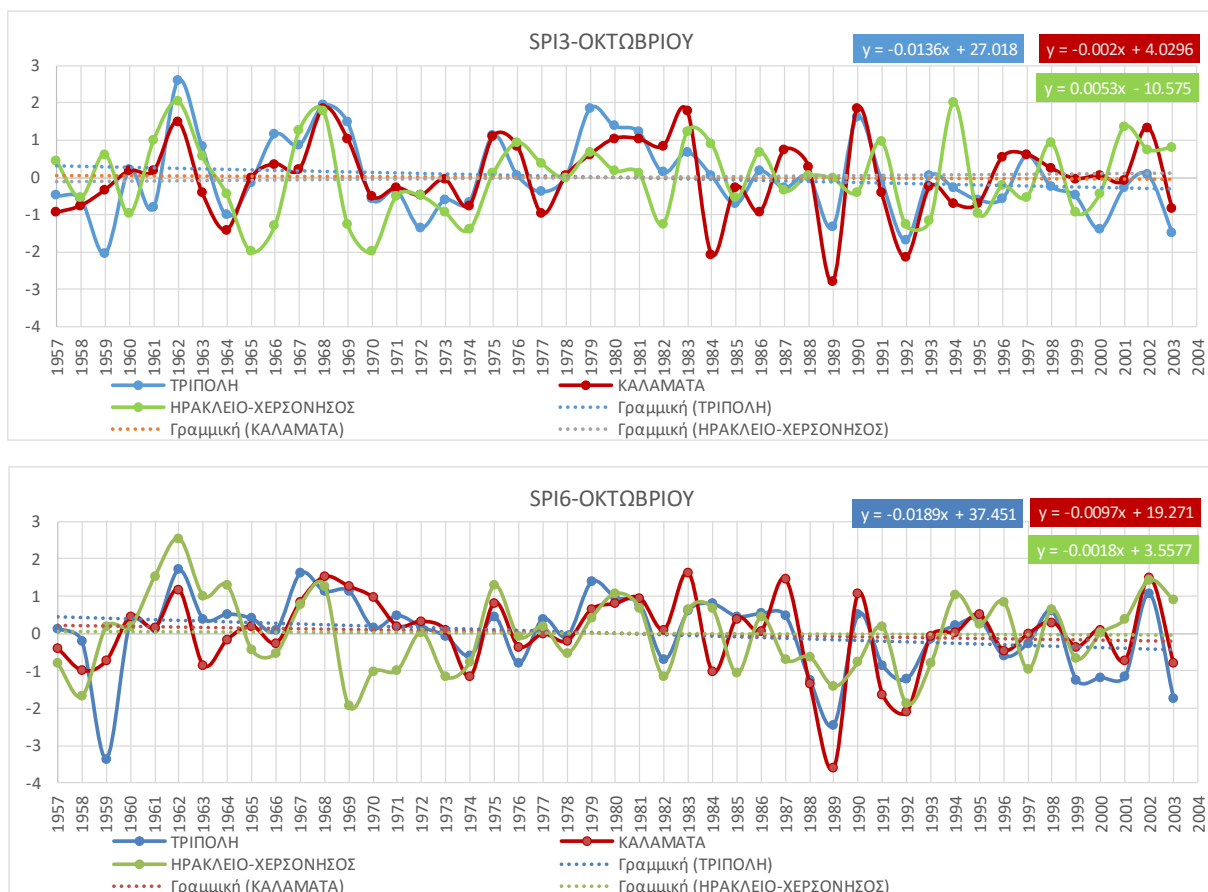
Τιμή Δείκτη SPI	Χαρακτηρισμός
Άνω του 2.00	Εξαιρετικά υγρή περίοδος
1.50 ως 1.99	Πολύ υγρή περίοδος
1.00 ως 1.49	Μέτρια υγρή περίοδος
-0.99 ως 0.99	Κανονικές βροχοπτώσεις
-1.00 ως -1.49	Ξηρασία
-1.50 ως -1.99	Σημαντική Ξηρασία
-2.00 και κάτω	Εξαιρετική Ξηρασία

Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα επεισόδιο ξηρασίας υφίσταται όταν παρατηρούνται συνεχώς αρνητικές τιμές του δείκτη, μικρότερες ή ίσες του -1, και το επεισόδιο αυτό συνεχίζεται έως ότου ο δείκτης λάβει θετικές τιμές. Το χρονικό διάστημα μεταξύ έναρξης και λήξης της ξηρασίας ορίζει τη διάρκεια του επεισοδίου της, ενώ το άθροισμα των τιμών του δείκτη για τους μήνες της ξηρασίας αποτελεί το μέγεθος του επεισοδίου (Μπαλτάς, 2006).

Ο SPI εκφράζει το βαθμό της ξηρασίας σε διάφορα χρονικά πλαίσια, δηλαδή για περιόδους 1, 3, 6, 9, 12, 24, 48 μηνών. Από αυτά στην παρούσα διπλωματική υπολογίστηκαν οι πιο αντιπροσωπευτικοί δείκτες, δηλαδή ο SPI3 και ο SPI6. Σε πρώτη φάση οι εν λόγω δείκτες εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού DrinC (Drought Indices Calculator). Το DrinC αποτελεί ένα λογισμικό το οποίο σχεδιάστηκε στο Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων και Προληπτικού Σχεδιασμού και στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Διαχείρισης Υδατικών Πόρων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αρχικά, αναπτύχθηκε για

ερευνητικούς και ακαδημαϊκούς σκοπούς. Ωστόσο, στην πορεία αποδείχτηκε ότι είναι πρακτικό εργαλείο για διάφορες μελέτες και λειτουργική χρήση. Η ανάπτυξη του λογισμικού πραγματοποιήθηκε από τον κ.Τίγκα Δ., Διευθυντής είναι ο κ.Τσακίρης Γ. και η ερευνητική ομάδα αποτελείται από τους κ.Τίγκα Δ, κ. Βαγγέλη Η., κα Παγκάλου Δ. (<http://drinc.ewra.net/>).

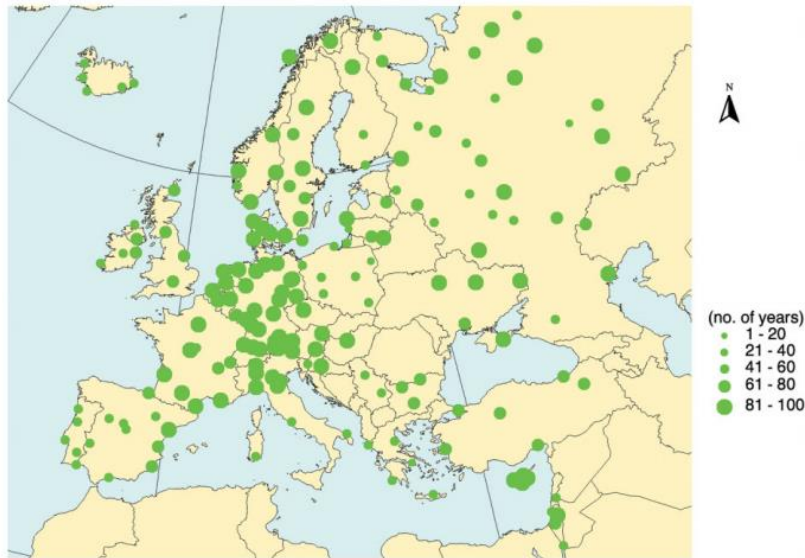
Σύμφωνα με το παραπάνω λογισμικό υπολογίστηκε ο SPI3, για τους μήνες Οκτωβρίου, Ιανουαρίου, Απριλίου και Ιουλίου, με την έννοια ότι αντιστοιχεί στις τέσσερις εποχές του έτους και ο SPI6, για τον Οκτώβριο και τον Απρίλιο, που αντιστοιχεί στην υγρή και ξηρή περίοδο. Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα για κάθε περιοχή, όπου ενδεικτικά απεικονίζονται ο SPI3 για το μήνα Οκτώβριο, και ο SPI6 για την υγρή περίοδο (Σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7 SPI3 Οκτωβρίου και SPI6 Οκτωβρίου, Τρίπολης, Καλαμάτας, Ηρακλείου-Χερσονήσου, κατά τη χρονική περίοδο 1957-2004.

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι η ελάχιστη τιμή του SPI3 παρατηρείται για την Τρίπολη το 1959 με τιμή -2, για την Καλαμάτα το 1989 με τιμή -2.8 και για το Ηράκλειο το 1970 με τιμή -1.78. Αναφορικά με το δείκτη SPI6, οι ελάχιστες τιμές παρατηρούνται για την Τρίπολη το 1959 με τιμή -3.4, για την Καλαμάτα το 1989 με τιμή -3.6 και για το Ηράκλειο το 1969 με τιμή -1.9.

Σε δεύτερη φάση, τα δεδομένα, αναφορικά με τις τιμές του δείκτη SPI3 και SPI6, χορηγήθηκαν από το European Climate Assessment & Dataset (www.ecad.eu/indicesextremes). Η βάση του ECA&D δημιουργήθηκε στο πλαίσιο ενός προγράμματος, κατά το οποίο λήφθηκαν υπόψη οι ημερήσιες χρονοσειρές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης από ένα πυκνό δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών σε όλη την Ευρώπη (Σχήμα 3.8), και δημιουργήθηκε ένας κάναβος χωρικής ανάλυσης $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ των εν λόγω ημερήσιων δεδομένων, όπως περιγράφεται αναλυτικότερα από τους Tank et al. 2002.



Σχήμα 3.8 Δίκτυο σταθμών ECA&D, όπου απεικονίζεται το μήκος των χρονοσειρών (Πηγή: Tank et al. 2002)

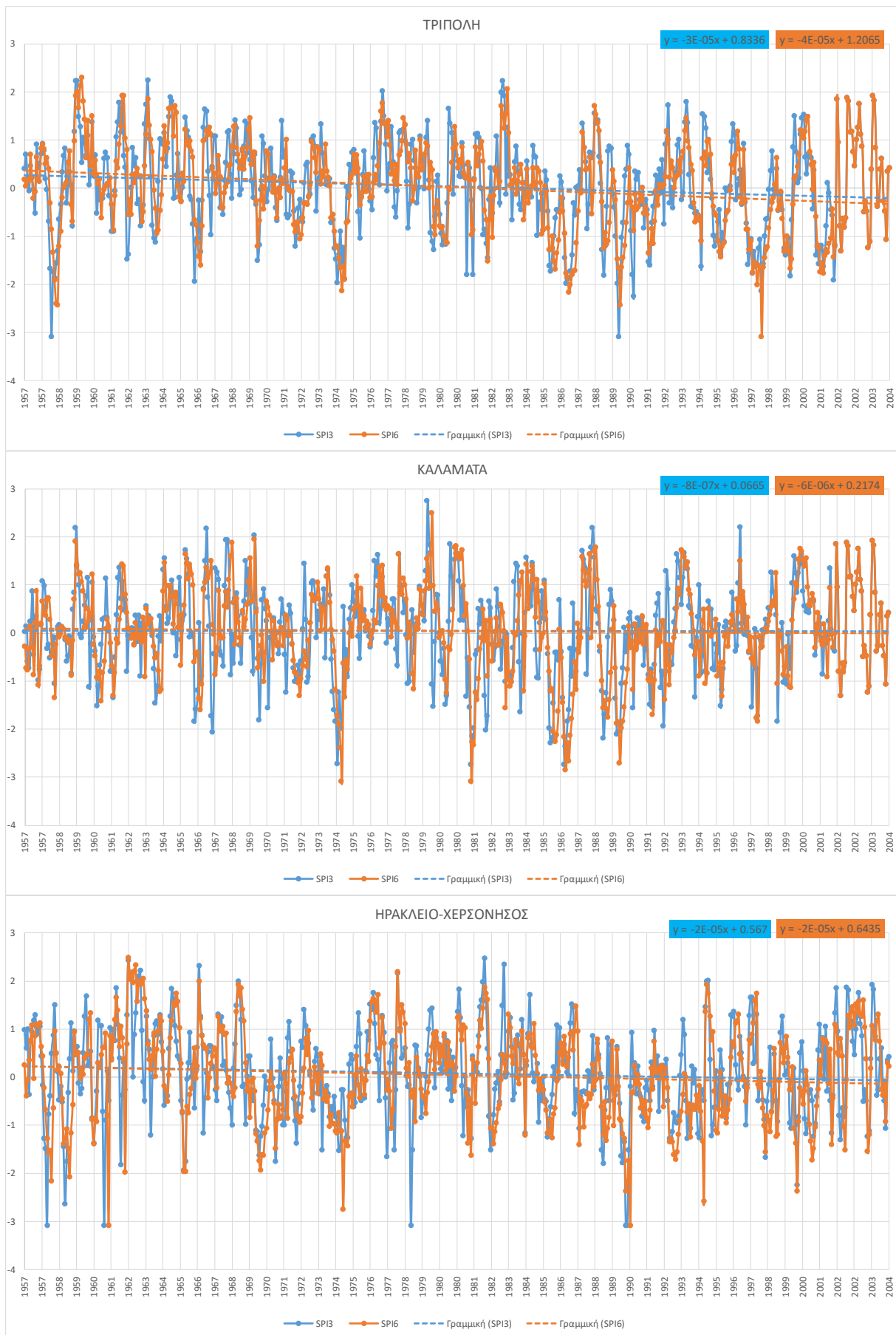
Συγκεκριμένα, ο SPI3 αναφέρεται στην βροχόπτωση των προηγούμενων 3 μηνών, ενώ ο SPI6 στη βροχόπτωση των προηγούμενων 6 μηνών (θετικές τιμές των δεικτών χαρακτηρίζουν τα υγρά κλίματα, ενώ αρνητικές τα ξηρά). Ο υπολογισμός τους έχει βασιστεί στον αλγόριθμο που ανέπτυξε ο Guttman (<http://www.ecad.eu/>, Guttman, 1999).

Ο Δείκτης Τυποποιημένης Βροχόπτωσης (SPI) αναπτύχθηκε από τους McKee et al. (1993, 1995) για να εκφράσει καλύτερα τη μη φυσιολογική υγρασία και ξηρασία σε σύγκριση με τους δείκτες Palmer. Αποτελεί έναν δείκτη πιθανότητας που βασίζεται στη βροχόπτωση και χρησιμοποιείται ως χωρικά αμετάβλητος δείκτης ξηρασίας, που αναγνωρίζει τη σημασία, σε χρονική κλίμακα, της διαθεσιμότητας και της χρήσης νερού. Είναι ουσιαστικά μια τυποποιημένη μετατροπή της πιθανότητας της παρατηρημένης βροχόπτωσης. Μπορεί να υπολογιστεί για ένα σύνολο παρατηρημένων βροχοπτώσεων, οποιασδήποτε διάρκειας επιθυμεί ο χρήστης. Βραχυπρόθεσμες διάρκειες της τάξης των μηνών (ή ακόμα και εβδομάδων) είναι σημαντικές για τον γεωργικό τομέα, ενώ πολύ μακροπρόθεσμες διάρκειες

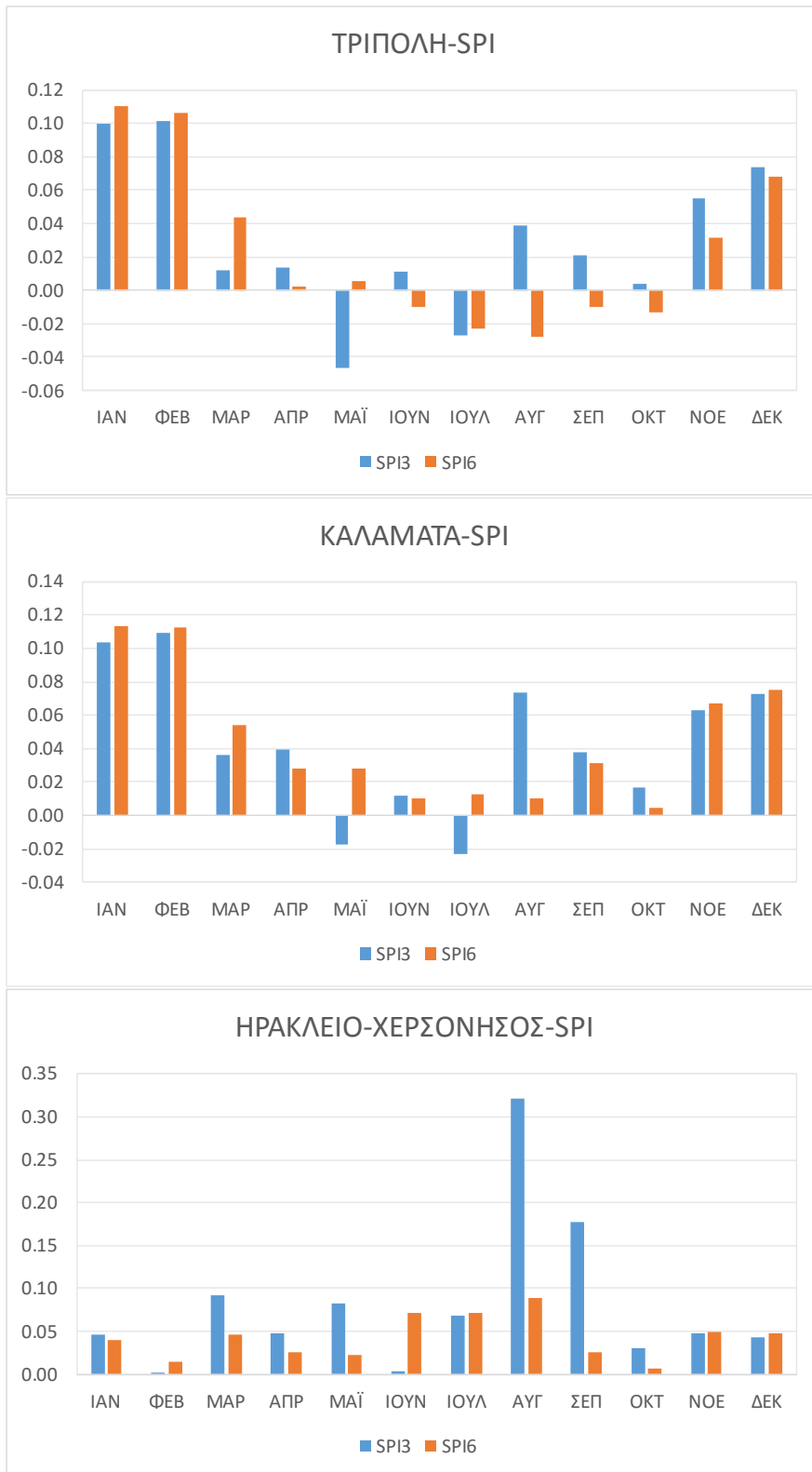
σε επίπεδο ετών θεωρούνται αξιόλογες όσον αφορά τη διαχείριση παροχής ύδατος (Guttman, 1999).

Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα των μηνιαίων διακυμάνσεων των δεικτών SPI3 και SPI6, τα δεδομένα των οποίων προήλθαν από European Climate Assessment & Dataset, για κάθε μία από τις περιοχές μελέτης, για το σύνολο της χρονοσειράς (Σχήμα 3.9). Από αυτά φαίνεται ότι οι δείκτες SPI3 και SPI6 παρουσιάζουν παρόμοια διακύμανση σε όλες τις περιοχές. Επιπλέον η κλίση τους προκύπτει ότι είναι αρνητική κατά τη διάρκεια των ετών 1957 έως 2004 και στις τρεις περιοχές. Για την περιοχή της Τρίπολης η ελάχιστη τιμή του δείκτη SPI3 παρατηρείται τον Ιούλιο του 1958 με τιμή -3.09, η οποία αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 23.28°C και βροχόπτωση 11.8 mm. Η ίδια τιμή επίσης παρατηρείται και τον Δεκέμβριο του 1989, με SPI3= -3.09, θερμοκρασία 7.4°C και βροχόπτωση 52.2 mm. Για τον SPI6 η μικρότερη τιμή του φαίνεται το Νοέμβριο του 1997 με τιμή -3.09, η οποία αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 10.4°C και βροχόπτωση 132 mm. Στην Καλαμάτα η μικρότερη τιμή του SPI3 παρατηρείται το Μάιο του 1974 με SPI3= -2.73, θερμοκρασία 17°C και βροχόπτωση 4.5 mm. Στην ίδια περιοχή ο ελάχιστος SPI6 (SPI6= -3.09) φαίνεται τον Αύγουστο του 1974 και τον Οκτώβριο του 1981, με την ίδια τιμή και για τα δύο έτη, ενώ οι αντίστοιχες θερμοκρασίες είναι 24°C και 20°C και βροχοπτώσεις 13.6 mm και 84 mm. Στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο η ελάχιστη τιμή του δείκτη SPI3 παρατηρείται τον Απρίλιο του 1958, τον Ιούνιο του 1961, του 1978, καθώς και του 1990, με SPI3= -3.09, θερμοκρασίες 16, 23, 23 και 23°C αντίστοιχα και βροχοπτώσεις 8.6, 0.9, 0 και 0.4 mm αντίστοιχα. Στην ίδια περιοχή η ελάχιστη τιμή του SPI6, δηλαδή SPI6= -3.09 παρατηρήθηκε το Σεπτέμβριο του 1961 και τον Αύγουστο του 1990, με θερμοκρασίες 22 και 25°C αντίστοιχα και βροχοπτώσεις 0 mm και τα δύο έτη. Σε όλες τις περιοχές οι μικρότερες τιμές των δεικτών SPI3 και SPI6, χαρακτηρίζουν το κλίμα τους ως εξαιρετικά ξηρό.

Το Σχήμα 3.10 απεικονίζει τα διαγράμματα που αφορούν τις μέσες μηνιαίες διακυμάνσεις των δεικτών τυποποιημένης βροχόπτωσης SPI3 και SPI6. Στην Τρίπολη οι μικρότερες τιμές του SPI παρατηρούνται το μήνα Μάιο για τον SPI3 (SPI3= -0.05) και τον Αύγουστο για τον SPI6 (SPI6= -0.03). Στην Καλαμάτα οι ελάχιστες τιμές του εν λόγω δείκτη παρατηρούνται για τον SPI3 τον Ιούλιο (SPI3= -0.023) και για τον SPI6 τον Οκτώβριο (SPI6= 0.0046). Στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο η μικρότερη τιμή του SPI3 παρατηρείται το Φεβρουάριο (SPI3= 0.001) και του SPI6 τον Οκτώβριο (SPI6= 0.0071). Και τις τρεις περιοχές οι τιμές των δεικτών SPI3 και SPI6 τις εντάσσουν στην κατηγορία που χαρακτηρίζεται από κανονικές βροχοπτώσεις.



Σχήμα 3.9 Μηνιαίες Διακυμάνσεις των Δεικτών Τυποποιημένης Βροχόπτωσης SPI3 και SPI6 ανά έτος.



Σχήμα 3.10 Μέσες Μηνιαίες Διακομάνσεις των Δεικτών Τυποποιημένης Βροχόπτωσης SPI3 και SPI6.

3.4.3 Συνδυαστικός Δείκτης Pinna

Κατά τον Pinna, ο συνδυαστικός δείκτης I_p ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση (Zambakas, 1992):

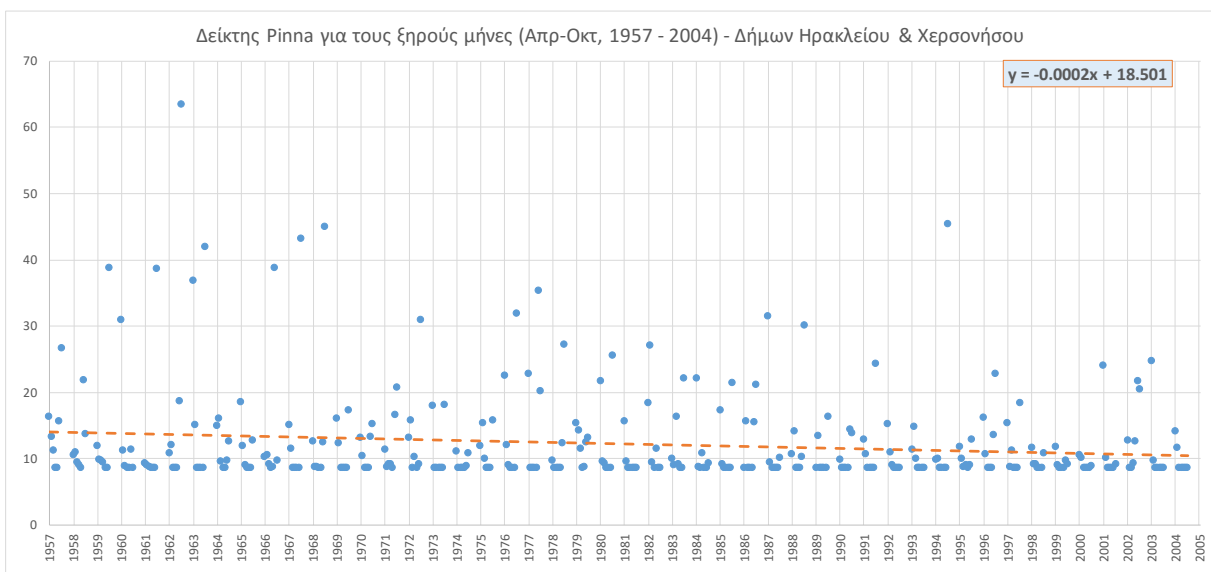
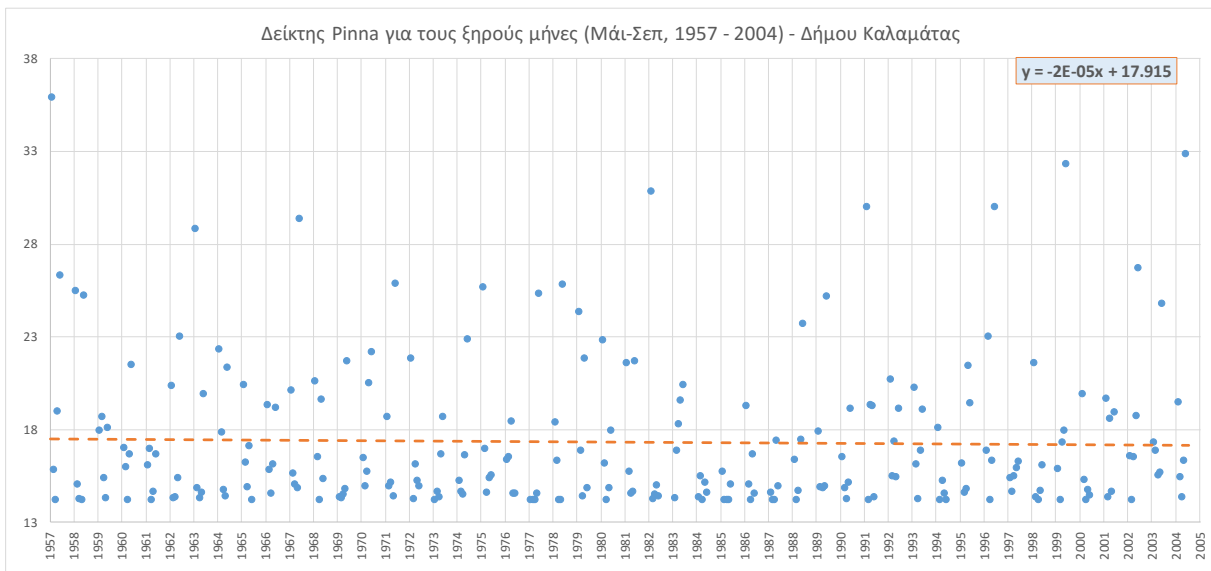
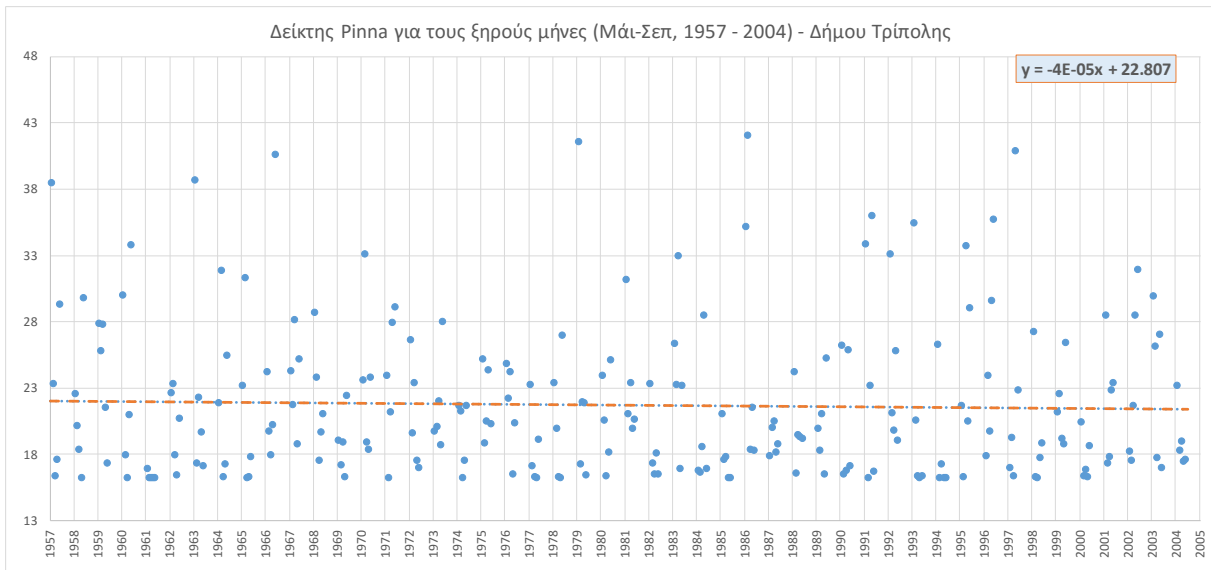
$$I_p = \frac{1}{2} \left(\frac{P}{T + 10} + \frac{12P'_d}{T'_d + 10} \right)$$

όπου P και T , οι ετήσιες μέσες τιμές της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας του αέρα αντίστοιχα

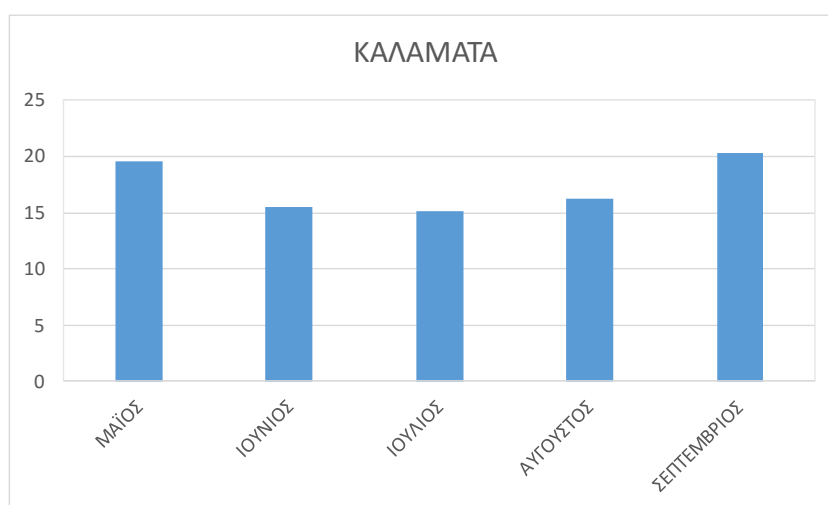
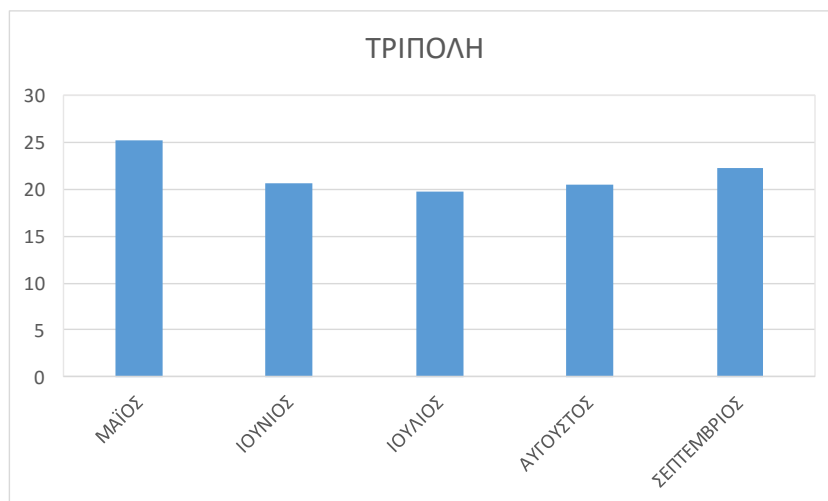
και P'_d και T'_d , οι μέσες τιμές της κατακρήμνισης και της θερμοκρασίας αέρα του ξηρότερου μήνα αντίστοιχα.

Σύμφωνα λοιπόν με τα δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης των μετεωρολογικών σταθμών Τριπόλεως, Καλαμάτας και Ηρακλείου, υπολογίστηκε ο δείκτης Pinna για τους μήνες της ξηρής περιόδου απ' το 1957 έως το 2004. Δηλαδή για τη μεν πρώτη και δεύτερη περιοχή από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο, για τη δε τρίτη περιοχή από Απρίλιο μέχρι Οκτώβριο. Έτσι, προέκυψαν οι μηνιαίες διακυμάνσεις του δείκτη για όλη τη χρονοσειρά (Σχήμα 3.11), απ' τις οποίες φαίνεται ότι παρουσιάζει ελαφρώς αρνητική κλίση και στις τρεις περιοχές.

Επίσης υπολογίστηκε και ο μέσος μηνιαίος δείκτης Pinna της ξηρής περιόδου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.12. Από αυτό προκύπτει ότι η μικρότερη τιμή του δείκτη στην Τρίπολη και την Καλαμάτα εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο, με τιμές 19.75 και 15.08 αντίστοιχα, ενώ στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο το μήνα Αύγουστο με τιμή 8.75. Στην Τρίπολη όλοι οι μήνες της ξηρής περιόδου, εκτός του Ιουλίου, εμφανίζουν τιμές του δείκτη μεγαλύτερες από 20, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι η συγκεκριμένη περιοχή δε χαρακτηρίζεται από ξηρό κλίμα. Στην Καλαμάτα όλοι οι μήνες, εκτός του Σεπτεμβρίου, εμφανίζουν τιμές του δείκτη μεταξύ 10 και 20, δηλαδή το κλίμα της ανήκει στην κατηγορία του ημίξηρου μεσογειακού. Τέλος στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο η τιμή του δείκτη Pinna τον Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο είναι μικρότερη από 10, δηλαδή το κλίμα του εντάσσεται στην κατηγορία του ξηρού, ενώ Απρίλιο, Μάιο και Σεπτέμβριο είναι μεταξύ 10 και 20, με το κλίμα του να εμπίπτει στην κατηγορία του ημίξηρου μεσογειακού.



Σχήμα 3.11 Μηνιαίες Διακυμάνσεις του Συνδυαστικού Δείκτη Ρίννα για την ξηρή περίοδο.



Σχήμα 3.12 Μέσες Μηνιαίες Διακομάνσεις του Συνδυαστικού Δείκτη Pinna για την ξηρή περίοδο.

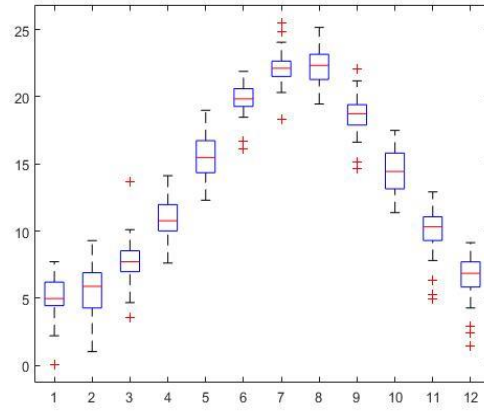
4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Στατιστική Επεξεργασία Δεδομένων

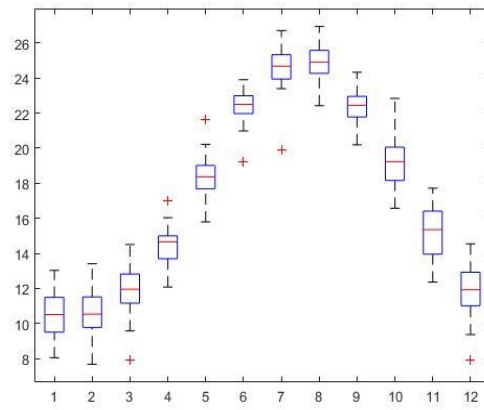
Στο σημείο αυτό πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση των χρονοσειρών θερμοκρασίας, βροχόπτωσης, εξατμισοδιαπνοής (PET) και των αρδευτικών αναγκών (Blaney-Criddle) των τριών περιοχών μελέτης, καθώς και των δεικτών ξηρότητας (AI), τυποποιημένης βροχόπτωσης (SPI3 και SPI6) και του συνδυαστικού δείκτη PINNA. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη δημιουργία των θηκογραμμάτων (boxplots) στο περιβάλλον του Matlab. Πρόκειται για γραφήματα τα οποία αποτελούν γραφική απεικόνιση της κατανομής των δεδομένων και περιλαμβάνουν βασικά περιγραφικά μέτρα, όπως τη διάμεσο, το 25^ο και 75^ο τεταρτημόριο (Q25, Q75), το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (R), τις απομονωμένες τιμές ή εξωκείμενα σημεία (outliers), τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή. Επίσης, εξάγεται η πληροφορία για τη συμμετρικότητα της κατανομής από τη θέση της διαμέσου ως προς τη μέση τιμή.

Αρχικά παρουσιάζονται τα θηκογράμματα των μηνιαίων θερμοκρασιών (Σχήμα 4.1) για τις περιοχές της Τρίπολης, της Καλαμάτας και του Ηρακλείου-Χερσονήσου. Από αυτά προκύπτει πως:

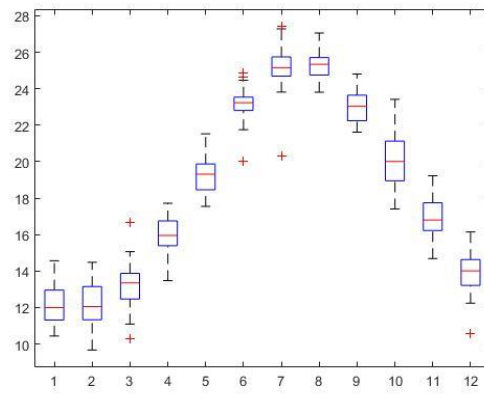
- Ο Αύγουστος είναι στατιστικά ο θερμότερος μήνας για την περιοχή της Τρίπολης και της Καλαμάτας.
- Στο Ηράκλειο και Χερσόνησο ο Ιούλιος και ο Αύγουστος είναι στατιστικά οι θερμότεροι μήνες, χωρίς να παρουσιάζουν αξιόλογη διαφορά, με τον πρώτο να εμφανίζει τη μέγιστη τιμή και ελαφρώς θετική ασυμμετρία, αφού η μέση τιμή είναι μεγαλύτερη της διαμέσου ($\mu=25.21$, $\delta=25.16$) και τον τελευταίο αρνητική ασυμμετρία.
- Ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος είναι στατιστικά οι ψυχρότεροι μήνες και στις τέσσερις περιοχές με το δεύτερο να εμφανίζει την ελάχιστη τιμή. Ωστόσο ο Φεβρουάριος στατιστικά εμφανίζει μεγαλύτερη διασπορά στην Τρίπολη και το Ηράκλειο-Χερσόνησο, ενώ στην Καλαμάτα ο Ιανουάριος.
- Στην Τρίπολη και το Ηράκλειο τον Αύγουστο η θερμοκρασία παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία, ενώ στην Καλαμάτα θετική ασυμμετρία. Ωστόσο η θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα στην Τρίπολη και Ηράκλειο εμφανίζει θετική ασυμμετρία, σε αντίθεση με την Καλαμάτα όπου εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία. Γενικότερα, τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα της θερμοκρασίας παρουσιάζουν ο Φεβρουάριος και ο Οκτώβριος στην Τρίπολη και στο Ηράκλειο και Χερσόνησο, ενώ στην Καλαμάτα ο Νοέμβριος.



Τρίπολη



Καλαμάτα



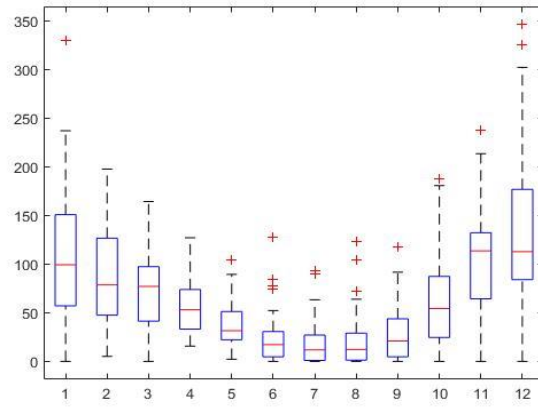
Ηράκλειο-Χερσόνησος

Σχήμα 4.1 Θηκογράμματα Μηνιαίων Θερμοκρασιών

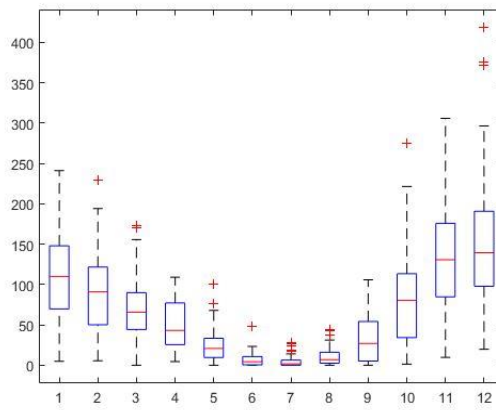
Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζονται τα θηκογράμματα των μηνιαίων βροχοπτώσεων για τις τέσσερις περιοχές μελέτης.

- Στην Τρίπολη το μεγαλύτερο ύψος βροχής παρατηρήθηκε κατά το μήνα Δεκέμβριο και η θέση της διαμέσου ως προς τη μέση τιμή καταδεικνύει θετική ασυμμετρία.
- Στην Καλαμάτα το μεγαλύτερο ύψος βροχής έπεσε επίσης το Δεκέμβριο, με την κατανομή του να εμφανίζει ελαφρώς θετική ασυμμετρία, αλλά η μέγιστη τιμή του παρατηρήθηκε το Νοέμβριο.
- Στην ενοποιημένη περιοχή Ηρακλείου - Χερσονήσου τα μεγαλύτερα ύψη βροχής, καθώς και οι μέγιστες τιμές τους, εμφανίζονται τον Ιανουάριο, με την κατανομή τους να εμφανίζουν θετική ασυμμετρία.
- Στην Τρίπολη και την Καλαμάτα ο Ιούλιος είναι στατιστικά ο μήνας με τα μικρότερα ύψη βροχής, η κατανομή τους φαίνεται να είναι θετικά ασύμμετρη, ενώ παρουσιάζουν τη μικρότερη διασπορά.
- Στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο ο Ιούλιος και ο Αύγουστος φαίνεται να είναι στατιστικά οι μήνες με τα μικρότερα ύψη βροχής, με το μεγαλύτερο ποσοστό των μετρήσεων να εμφανίζει σχεδόν μηδενικές τιμές.

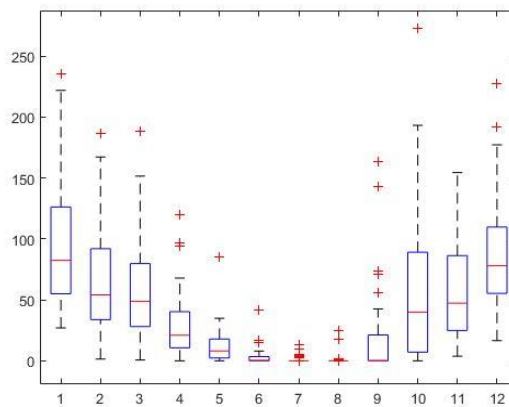
Στο Σχήμα 4.3 έχουν σχεδιαστεί τα θηκογράμματα της μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής, η οποία προέκυψε σύμφωνα με τη μέθοδο Thornthwaite. Σε αυτά φαίνεται πως ο Ιούλιος είναι στατιστικά ο μήνας με τη μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή για όλες τις περιοχές. Εκεί η Τρίπολη και η Καλαμάτα εμφανίζουν ελαφρώς αρνητική ασυμμετρία, ενώ το Ηράκλειο και η Χερσόνησος θετική. Ωστόσο ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος είναι στατιστικά οι μήνες με τη μικρότερη εξατμισοδιαπνοή. Έτσι σε όλες τις περιοχές ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος εμφανίζουν θετική ασυμμετρία, ενώ ο Δεκέμβριος εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία.



Τρίπολη

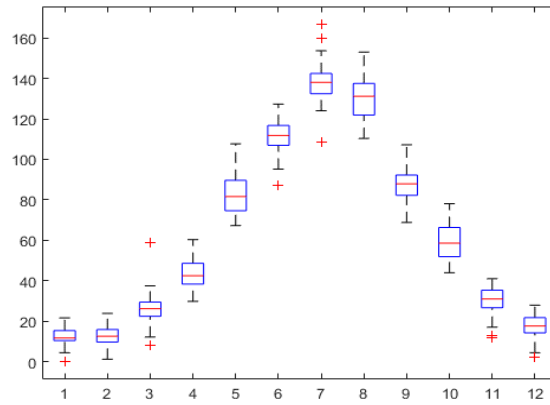


Καλαμάτα

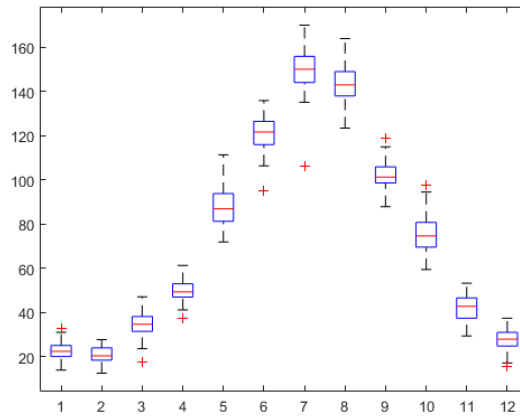


Ηράκλειο-Χερσόνησος

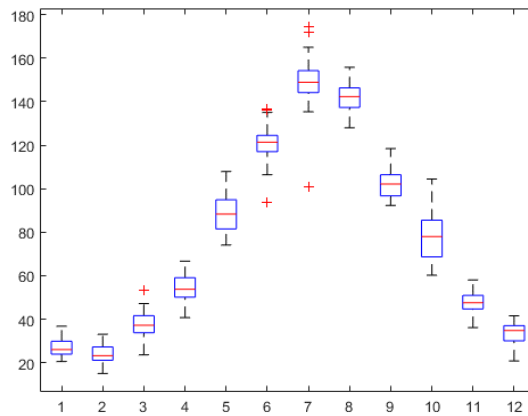
Σχήμα 4.2 Θηκογράμματα Μηνιαίων Βροχοπτώσεων



Τρίπολη



Καλαμάτα



Ηράκλειο-Χερσόνησος

Σχήμα 4.3 Θηκογράμματα Μηνιαίας Εξατμισοδιαπνοής (PET)

Στο Σχήμα 4.4 τα θηκογράμματα που έχουν δημιουργηθεί απεικονίζουν τις μηνιαίες αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών κατά τη μέθοδο Blaney-Criddle.

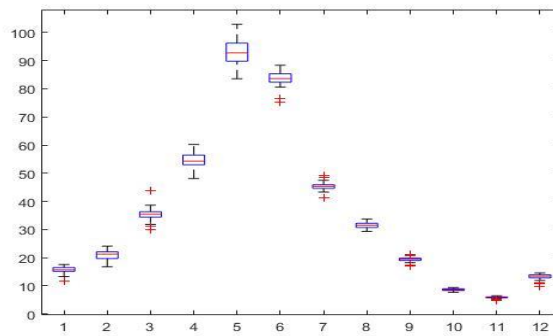
- Για την Τρίπολη ο μήνας με τις μεγαλύτερες αρδευτικές ανάγκες φαίνεται να είναι ο Μάιος, με ελαφρώς αρνητική ασυμμετρία, σε αντίθεση με την Καλαμάτα και το Ηράκλειο-Χερσόνησο, όπου είναι ο Ιούλιος.
- Στη μεν Καλαμάτα η κατανομή των δεδομένων φαίνεται να είναι αρνητικά ασύμμετρη, στο δε Ηράκλειο και Χερσόνησο εμφανίζεται θετικά ασύμμετρη κατανομή για τον συγκεκριμένο μήνα.
- Οι μικρότερες αρδευτικές ανάγκες για την Τρίπολη εμφανίζονται το μήνα Νοέμβριο, ενώ για την Καλαμάτα, το Ηράκλειο και τη Χερσόνησο τον Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο.
- Σε όλες τις περιοχές παρατηρείται σχεδόν καθόλου διασπορά των δεδομένων για τους προαναφερθέντες μήνες.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η Καλαμάτα, το Ηράκλειο και η Χερσόνησος εμφανίζουν παρόμοια εικόνα όσον αφορά τις αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών τους, ενώ η περιοχή της Τρίπολης διαφοροποιείται σημαντικά.

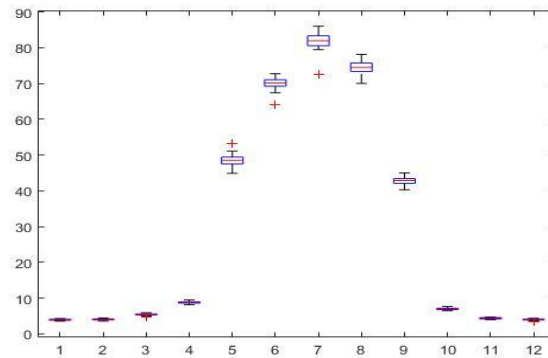
Στο Σχήμα 4.5 φαίνονται τα θηκογράμματα μηνιαίων δεικτών ξηρότητας (AI).

- Στην Τρίπολη οι μικρότερες τιμές του AI παρατηρούνται από Απρίλιο μέχρι και Οκτώβριο, με το εύρος του να λαμβάνει περίπου μηδενικές τιμές τους μήνες αυτούς, καταδεικνύοντας έτσι συνθήκες ξηρασίας. Σε αυτήν την περιοχή οι μεγαλύτερες τιμές του AI φαίνονται κατά τους χειμερινούς μήνες, με το εύρος τους να φτάνει περίπου την τιμή του 10.
- Στην Καλαμάτα και το Ηράκλειο-Χερσόνησο, οι μικρότερες τιμές του AI παρατηρήθηκαν κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο με το εύρος τους να λαμβάνει την τιμή 0, γεγονός που σημαίνει ότι οι βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν στις εν λόγω περιοχές ήταν ανύπαρκτες ή η εξατμισοδιαπνοή λόγω των υψηλών θερμοκρασιών πολύ μεγάλη. Εδώ οι τιμές του AI δείχνουν και πάλι συνθήκες ξηρασίας.
- Στις δύο προηγούμενες περιοχές οι μεγαλύτερες τιμές του AI παρατηρήθηκαν τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο) με το εύρος του Ηρακλείου να είναι εμφανώς μικρότερο σε σύγκριση με αυτό της Καλαμάτας, γεγονός που υποδεικνύει ότι το ύψος των βροχοπτώσεων στο Ηράκλειο είναι μικρότερο απ' το αντίστοιχο της Καλαμάτας.

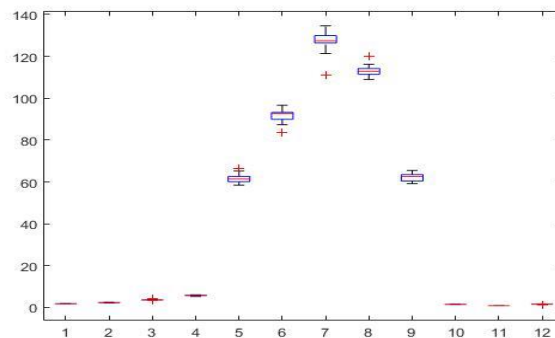
- Συγκρίνοντας και τις τρεις περιοχές, σύμφωνα με το ενδοτεταρτημοριακό εύρος των θηκογραμμάτων, αντιλαμβανόμαστε ότι οι μικρότερες τιμές του ΑΙ παρατηρούνται στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο, ακολουθεί η Καλαμάτα και έπειτα η Τρίπολη, με μία απομονωμένη τιμή (outlier), να φτάνει περίπου στο 250. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι το Ηράκλειο και η Χερσόνησος έχει πιο ξηρό κλίμα, που προφανώς οφείλεται στις υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις υπόλοιπες περιοχές, ενώ αντίθετα η Τρίπολη έχει πιο υγρό κλίμα, καθώς τα ύψη βροχής που πέφτουν εκεί είναι μεγαλύτερα.



Τρίπολη

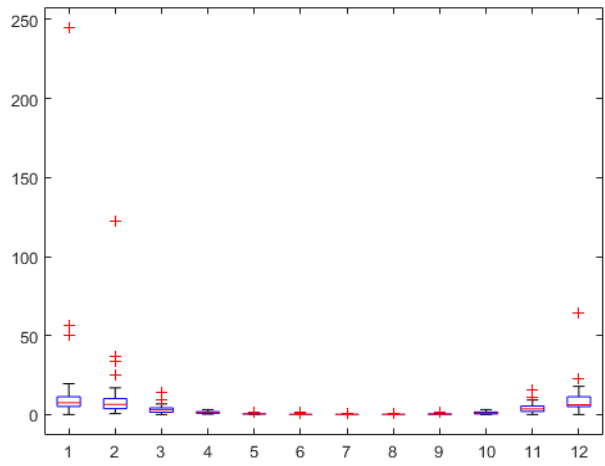


Καλαμάτα

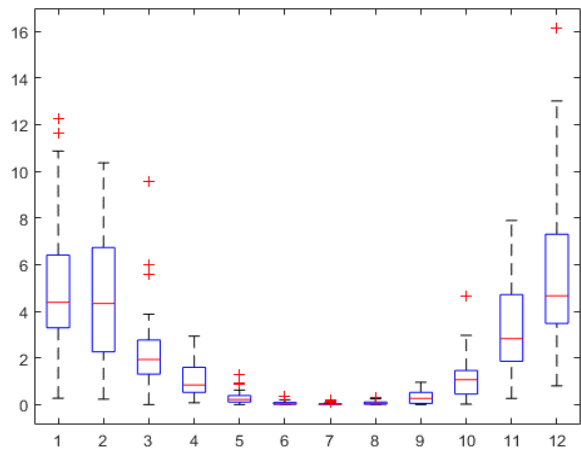


Ηράκλειο-Χερσόνησος

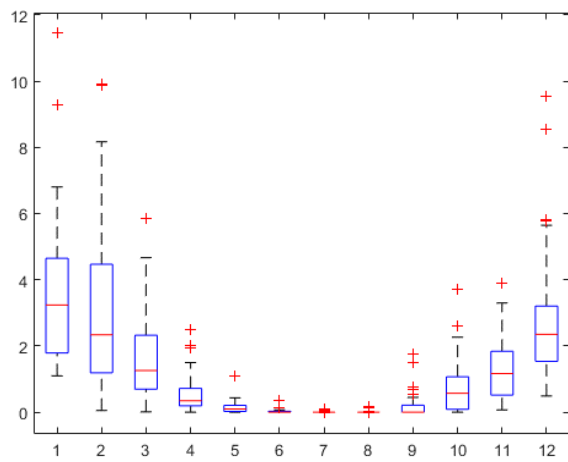
Σχήμα 4.4 Θηκογράμματα Μηνιαίων Αρδευτικών Αναγκών (Blaney-Criddle)



Τρίπολη



Καλαμάτα



Ηράκλειο-Χερσόνησος

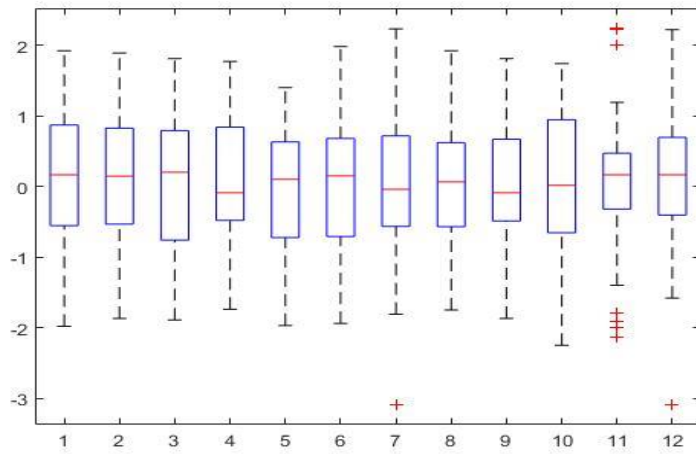
Σχήμα 4.5 Θηκογράμματα Μηνιαίων Δεικτών Ξηρότητας (AI)

Τα θηκογράμματα στο Σχήμα 4.6 απεικονίζουν τον μηνιαίο δείκτη τυποποιημένης βροχόπτωσης SPI3 για τις περιοχές μελέτης. Ο συγκεκριμένος δείκτης δεν φαίνεται να παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή από περιοχή σε περιοχή, καθώς εμφανίζει παρόμοιο ενδοτεταρτημοριακό εύρος.

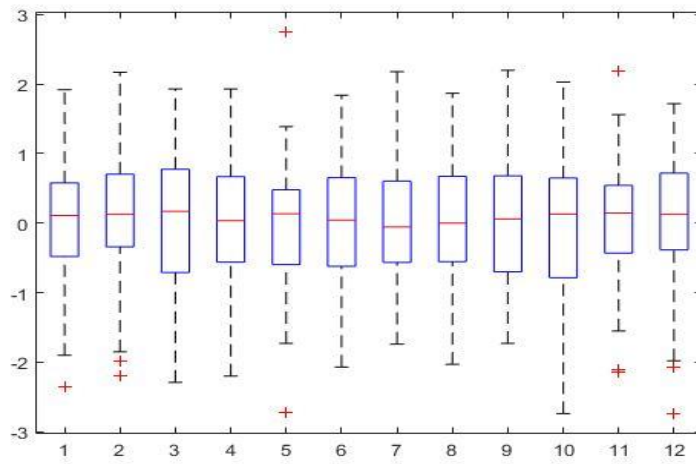
- Για την Τρίπολη η μέγιστη τιμή του δείκτη παρατηρείται τον Ιούλιο, με την κατανομή του συγκεκριμένου μήνα να εμφανίζει θετική ασυμμετρία, για την Καλαμάτα το Σεπτέμβριο, με ελαφρώς αρνητικά ασύμμετρα κατανομή και για το Ηράκλειο και τη Χερσόνησο τον Οκτώβριο, με ελαφρώς θετικά ασύμμετρα κατανομή.
- Η ελάχιστη τιμή του δείκτη στην Τρίπολη και την Καλαμάτα εμφανίζεται τον Οκτώβριο, όπου η κατανομή του και στις δύο περιοχές είναι αρνητικά ασύμμετρα, ενώ στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο η ελάχιστη τιμή παρατηρείται τον Απρίλιο με θετικά ασύμμετρα κατανομή.
- Από τη διάμεσο των θηκογραμμάτων παρατηρείται ότι ο δείκτης SPI3 λαμβάνει θετικές τιμές τους περισσότερους μήνες και στις τέσσερις περιοχές, γεγονός που σημαίνει ότι δεν παρατηρούνται φαινόμενα ξηρασίας.

Στα επόμενα διαγράμματα (Σχήμα 4.7) έχουν σχεδιαστεί τα θηκογράμματα των Μηνιαίων Δεικτών Τυποποιημένης Βροχόπτωσης (SPI6). Και σε αυτά η μεταβλητότητα των δεδομένων του δείκτη SPI6 δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές από μήνα σε μήνα και από περιοχή σε περιοχή, όπως ίδια κατάσταση παρατηρήθηκε και στον δείκτη SPI3.

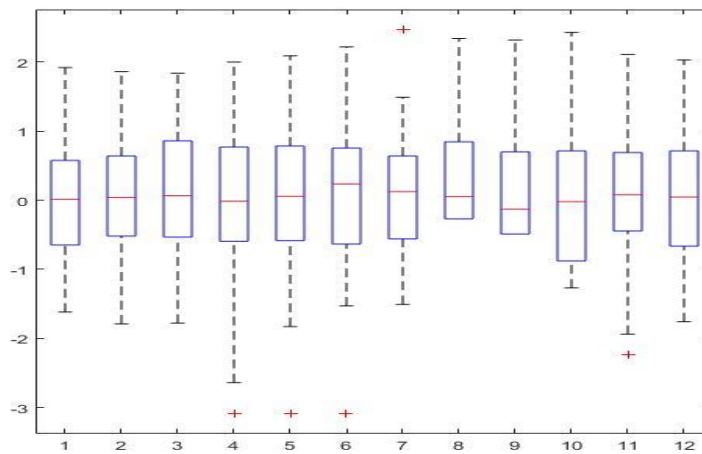
- Στην Τρίπολη η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται το Μάρτιο, με την κατανομή του δείκτη να εμφανίζει αρνητική ασυμμετρία, στην Καλαμάτα και το Ηράκλειο-Χερσόνησο η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται τον Οκτώβριο, με ελαφρώς θετικά ασύμμετρα κατανομή και με αρνητικά ασύμμετρα αντίστοιχα.
- Οι ελάχιστες τιμές του δείκτη παρατηρήθηκαν τον Ιανουάριο στην Τρίπολη με την κατανομή του να είναι αρνητικά ασύμμετρα, στην Καλαμάτα τον Ιούνιο με αρνητική ασυμμετρία των δεδομένων και στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο το Μάιο με αρνητικά ασύμμετρα κατανομή.
- Όπως και στο δείκτη SPI3, έτσι και στον SPI6 η διάμεσος στους περισσότερους μήνες λαμβάνει θετικές τιμές σε όλες τις περιοχές, γεγονός το οποίο δεν υποδηλώνει συνθήκες ξηρασίας.



Τρίπολη

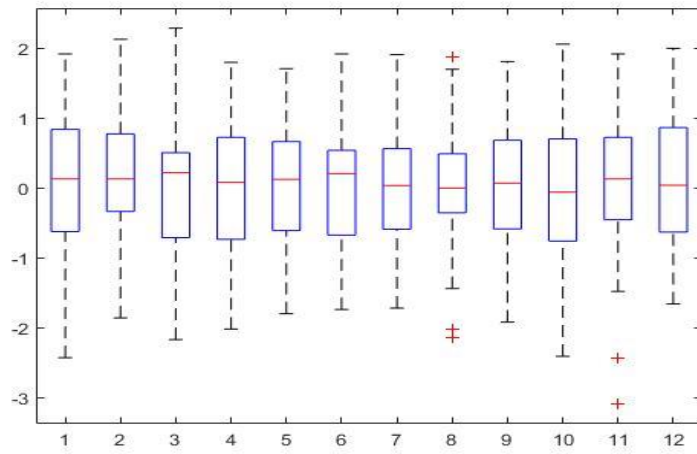


Καλαμάτα

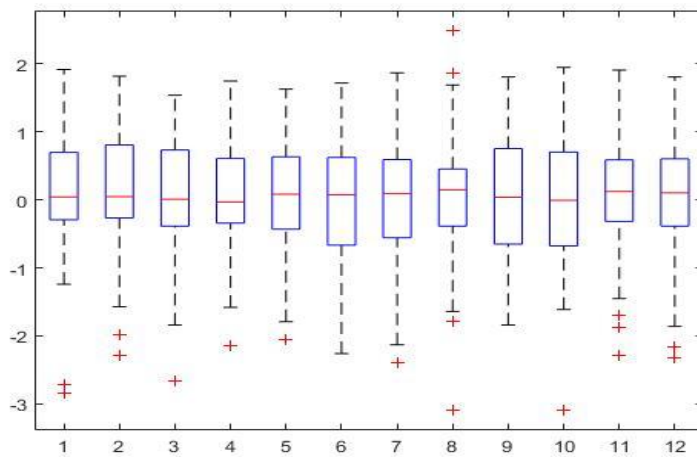


Ηράκλειο-Χερσόνησος

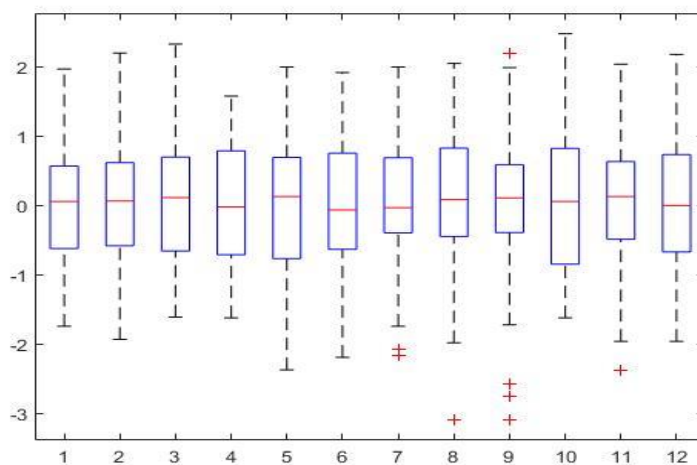
Σχήμα 4.6 Θηκογράμματα Μηνιαίων Δεικτών Τοποποιημένης Βροχόπτωσης (SPI3)



Τρίπολη



Καλαμάτα

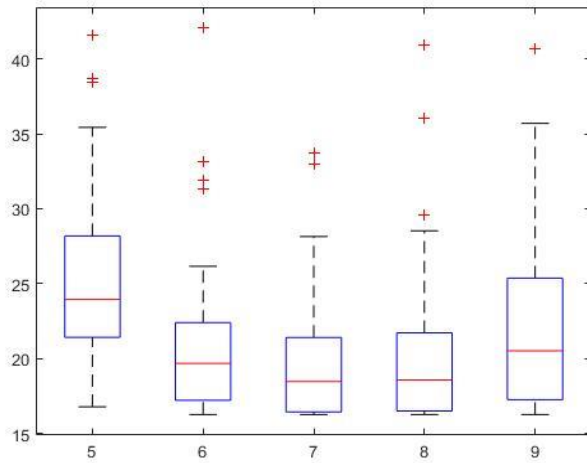


Ηράκλειο-Χερσόνησος

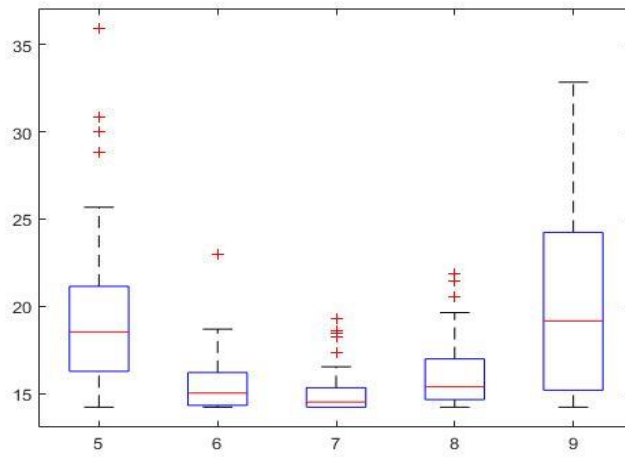
Σχήμα 4.7 Θηκογράμματα Μηνιαίων Δεικτών Τυποποιημένης Βροχόπτωσης (SPI6)

Στο επόμενο Σχήμα (Σχήμα 4.8) φαίνονται τα θηκογράμματα του Συνδυαστικού Δείκτη PINNA για τους μήνες της ξηρής περιόδου.

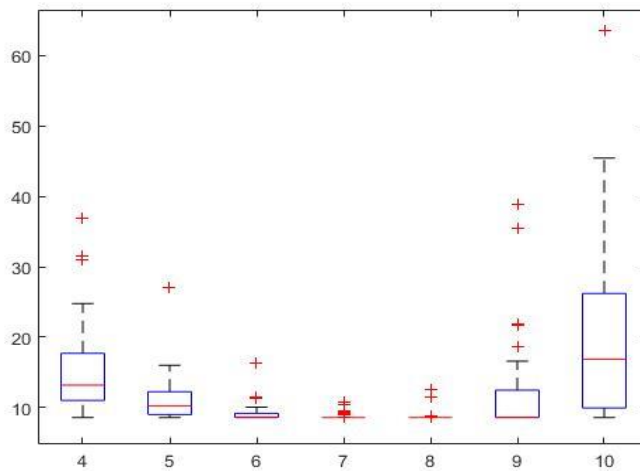
- Η ξηρή περίοδος για την Τρίπολη και την Καλαμάτα είναι από Μάιο μέχρι και Σεπτέμβριο, ενώ για το Ηράκλειο και τη Χερσόνησο από Απρίλιο μέχρι και Οκτώβριο.
- Στην Τρίπολη και την Καλαμάτα η μέγιστη τιμή του δείκτη εμφανίζεται το Σεπτέμβριο, με την κατανομή των δεδομένων του να παρουσιάζει θετική ασυμμετρία και στις δύο περιοχές, ενώ στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο τον Οκτώβριο με θετικά ασύμμετρα κατανομή.
- Στην Τρίπολη η ελάχιστη τιμή του δείκτη PINNA είναι λίγο πάνω από 15, το οποίο υποδεικνύει ημίξηρο μεσογειακό κλίμα, στην Καλαμάτα η ελάχιστη τιμή του σημειώθηκε μεταξύ 10 και 15, που επίσης δείχνει ημίξηρο μεσογειακό κλίμα, ενώ στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο η ελάχιστη τιμή παρατηρήθηκε κάτω από 10, γεγονός το οποίο χαρακτηρίζει το κλίμα της περιοχής ως ξηρό.
- Στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο, η διασπορά των δεδομένων του δείκτη PINNA είναι ελάχιστη, καθώς το ενδοτεταρτημοριακό εύρος είναι σχεδόν ανύπαρκτο.



Τρίπολη



Καλαμάτα



Ηράκλειο-Χερσόνησος

Σχήμα 4.8 Θηκογράμματα Συνδυαστικού Δείκτη PINNA

4.2 Ποιοτική Σύγκριση Κλιματικών Τάσεων Χρονοσειρών

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τον υπολογισμό των τάσεων της θερμοκρασίας (T), της βροχόπτωσης (P), του δείκτη ξηρότητας (AI), του δείκτη τυποποιημένης βροχόπτωσης (SPI3 και SPI6), της εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite ($PET_{Thorn.}$) και των αρδευτικών αναγκών σύμφωνα με τη μέθοδο Blaney - Criddle (PET_{Blaney}). Οι τάσεις αυτές υπολογίστηκαν τόσο για τη συνολική περίοδο από το 1957 έως το 2004, όσο και για την ξηρή περίοδο, καθώς και χωριστά για κάθε μήνα της ξηρής περιόδου.

- ✓ Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις περιοχές της Τρίπολης, Καλαμάτας και Ηρακλείου – Χερσονήσου απεικονίζονται στους πίνακες που ακολουθούν (Πίνακας 4.1, 4.2 και 4.3).
- ✓ Τα σύμβολα με κόκκινο χρώμα παριστάνουν θετικές τάσεις, ενώ εκείνα με πράσινο αρνητικές.

Στον Πίνακα 4.1 απεικονίζονται οι τάσεις που εμφανίζουν τα δεδομένα για τις τρεις περιοχές μελέτης, κατά τη χρονική περίοδο 1957-2004.

Έτσι, στην περιοχή της Τρίπολης και της Καλαμάτας όλα τα δεδομένα φαίνονται να έχουν ίδιες τάσεις, ενώ το Ηράκλειο και η Χερσόνησος διαφοροποιούνται όσον αφορά στα δεδομένα της θερμοκρασίας (T), του δείκτη ξηρότητας (AI), της εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite ($PET_{Thorn.}$) και των αρδευτικών αναγκών (PET_{Blaney}). Σύμφωνα λοιπόν με τον Πίνακα 4.1 η Τρίπολη και η Καλαμάτα φαίνεται να παρουσιάζουν αυξητική τάση στο δείκτη ξηρότητας (AI), ενώ το Ηράκλειο και η Χερσόνησος στη θερμοκρασία, την εξατμισοδιαπνοή και τις αρδευτικές ανάγκες.

Ειδικότερα, η βροχόπτωση (P) και οι δείκτες SPI3, SPI6, έχουν αρνητική τάση σε όλες τις περιοχές, γεγονός που υποδηλώνει ξηρότερες συνθήκες. Επίσης αρνητική τάση εμφανίζουν ο δείκτης AI μόνο στην περιοχή του Ηρακλείου και η εξατμισοδιαπνοή ($PET_{Thorn.}$) καθώς και οι αρδευτικές ανάγκες στις περιοχές της Τρίπολης και της Καλαμάτας. Επιπλέον, φαίνεται να υπάρχει μια συσχέτιση μεταξύ θερμοκρασίας και αρδευτικών αναγκών.

Πίνακας 4.1 Τάσεις χρονοσειρών για τη συνολική περίοδο, 1957-2004.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΤΡΙΠΟΛΗ	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ
T	●	●	●
P	●	●	●
AI	●	●	●
SPI3	●	●	●
SPI6	●	●	●
PET (Thorn.)	●	●	●
PET (Blaney)	●	●	●

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι τάσεις των δεδομένων όλων των περιοχών, κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου. Από αυτόν προκύπτει ότι η βροχόπτωση (P), οι δείκτες AI, PINNA, SPI6, εμφανίζουν αρνητικές τάσεις σε όλες τις περιοχές, ενώ οι αρδευτικές ανάγκες εμφανίζουν αρνητικές τάσεις μόνο στις περιοχές της Τρίπολης και της Καλαμάτας. Φαίνεται λοιπόν να υπάρχει συσχέτιση θερμοκρασίας και αρδευτικών αναγκών, καθώς και των δεικτών AI, PINNA και SPI6, με τις αρνητικές τάσεις των τελευταίων να υποδηλώνουν τάση προς ξηρότερες συνθήκες.

Επίσης, η θερμοκρασία και οι αρδευτικές ανάγκες παρουσιάζουν αυξητική τάση στο Ηράκλειο, εν αντιθέσει με την Τρίπολη και την Καλαμάτα που μειώνονται κατά την ξηρή περίοδο.

Πίνακας 4.2 Τάσεις χρονοσειρών για την ξηρή περίοδο.

ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	T	P	AI	Pinna	SPI3	SPI6	PET (Thorn.)	PET (Blaney)
ΤΡΙΠΟΛΗ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	●	●	●	●	●	●	●	●

Ο Πίνακας 4.3 περιλαμβάνει τις τάσεις των χρονοσειρών (P, T, AI, Pinna, SPI3, SPI6, PET_{Thorn.}, PET_{Blaney}) όλων των περιοχών για κάθε έναν μήνα της ξηρής περιόδου, και συγκεκριμένα: για την Τρίπολη και την Καλαμάτα από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο, ενώ για το Ηράκλειο και τη Χερσόνησο από Απρίλιο μέχρι και Οκτώβριο.

Γενικότερα, απ' τον πίνακα προκύπτει ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ θερμοκρασίας και αρδευτικών αναγκών, καθώς και των δεικτών ξηρασίας AI και PINNA. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία και οι αρδευτικές ανάγκες παρουσιάζουν θετική τάση τον Μάιο στην Τρίπολη και το Ηράκλειο-Χερσόνησο, τον Ιούνιο μόνο στην Τρίπολη, τον Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο μόνο στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο και τέλος τον Οκτώβριο στην Τρίπολη και το Ηράκλειο-Χερσόνησο. Η Καλαμάτα σε όλους τους μήνες της ξηρής περιόδου παρουσιάζει πτωτική τάση θερμοκρασίας και αρδευτικών αναγκών.

Αναφορικά με τους δείκτες ξηρασίας AI και PINNA, εμφανίζεται αρνητική τάση τον Απρίλιο και τον Οκτώβριο στην περιοχή του Ηρακλείου, το Μάιο και τον Ιούνιο και στις τέσσερις περιοχές, τον Ιούλιο μόνο στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο και το Σεπτέμβριο σε Τρίπολη, Ηράκλειο και Χερσόνησο. Στην περιοχή του Ηρακλείου όλους τους μήνες της ξηρής περιόδου, εκτός του Αυγούστου, παρατηρείται αρνητική τάση των δεικτών AI και PINNA, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι το κλίμα της περιοχής έχει την τάση να είναι πιο ξηρό.

Πίνακας 4.3 Τάσεις χρονοσειρών για κάθε μήνα της ξηρής περιόδου

ΑΠΡΙΛΙΟΣ	T	P	AI	Pinna	SPI3	SPI6	PET (Thorn.)	PET (Blaney)
ΤΡΙΠΟΛΗ	●	●	●	-	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	●	●	●	-	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΜΑΪΟΣ	T	P	AI	Pinna	SPI3	SPI6	PET (Thorn.)	PET (Blaney)
ΤΡΙΠΟΛΗ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΙΟΥΝΙΟΣ	T	P	AI	Pinna	SPI3	SPI6	PET (Thorn.)	PET (Blaney)
ΤΡΙΠΟΛΗ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΙΟΥΛΙΟΣ	T	P	AI	Pinna	SPI3	SPI6	PET (Thorn.)	PET (Blaney)
ΤΡΙΠΟΛΗ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	T	P	AI	Pinna	SPI3	SPI6	PET (Thorn.)	PET (Blaney)
ΤΡΙΠΟΛΗ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	T	P	AI	Pinna	SPI3	SPI6	PET (Thorn.)	PET (Blaney)
ΤΡΙΠΟΛΗ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	●	●	●	●	●	●	●	●
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	T	P	AI	Pinna	SPI3	SPI6	PET (Thorn.)	PET (Blaney)
ΤΡΙΠΟΛΗ	●	●	●	-	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	●	●	●	-	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	●	●	●	●	●	●	●	●

4.3 Παραγωγή Συνθετικών Χρονοσειρών

Με σκοπό να διερευνηθεί η ευαισθησία των δεικτών ξηρασίας σε ενδεχόμενη κλιματική μεταβολή παρήχθησαν συνθετικές χρονοσειρές μήκους 80 ετών για τις περιοχές της Τρίπολης, της Καλαμάτας και του Ηρακλείου-Χερσονήσου. Οι χρονοσειρές αυτές αφορούν δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας και δημιουργήθηκαν σύμφωνα με τα ομοιώματα AR(1), AR(1)_Cs, AR(2) και ARMA(1,1). Από αυτά επιλέχθηκε το καλύτερο, σύμφωνα με τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής χρονοσειράς, κατά περίπτωση και έπειτα εφαρμόστηκε στις εν λόγω χρονοσειρές ένα μετριοπαθές κλιματικό σενάριο (A1B, IPCC). Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των μέσων μηνιαίων τιμών και των τάσεων, των δεικτών ξηρασίας, της εξατμισοδιαπνοής και των αρδευτικών αναγκών, που αφορούν τις ιστορικές χρονοσειρές με τις αντίστοιχες των συνθετικών χρονοσειρών.

Αναφορικά με τα ομοιώματα, σύμφωνα με τα οποία δημιουργήθηκαν οι συνθετικές χρονοσειρές, διαφέρουν στο στοχαστικό μέρος της χρονοσειράς. Οι κατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα στοχαστικά μοντέλα αυτοσυσχέτισης (AutoRegressive models: AR), τα οποία εμπεριέχουν τις στοχαστικές ανελίξεις Markov, καθώς και το μεικτό μοντέλο ARMA, που αποτελεί συνδυασμό των μοντέλων κυλιόμενου μέσου όρου (Moving Average: MA) και των προαναφερθέντων μοντέλων αυτοσυσχέτισης AR.

Σχετικά με τα μοντέλα AR, εφαρμόστηκαν τα μοντέλα αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξης AR(1), δεύτερης τάξης AR(2) και πρώτης τάξης με διατήρηση ασυμμετρίας AR(1)_Cs, και όσον αφορά τα μεικτά μοντέλα ARMA, χρησιμοποιήθηκε το ARMA(1,1).

- Μοντέλα Αυτοσυσχέτισης **AR(p)**

Η ανέλιξη Markov θεωρεί ότι η τιμή που λαμβάνει μία μεταβλητή στο χρόνο συσχετίζεται με την τιμή προγενέστερης περιόδου (δηλαδή στη μεταβλητή παρατηρείται αυτοσυσχέτιση). Σε μία ανέλιξη Markov πρώτης τάξης, αυτή η αυτοσυσχέτιση εντοπίζεται σε δύο διαδοχικές τιμές μόνο της μεταβλητής. Έτσι για παράδειγμα το μοντέλο Markov πρώτης τάξης ($\rho=1$) δηλώνει ότι η τιμή μίας μεταβλητής σε μία χρονική στιγμή είναι εξαρτώμενη από την τιμή της μεταβλητής στην προηγούμενη χρονική περίοδο συν έναν τυχαίο όρο. Συνεπώς οι συνθετικές χρονοσειρές, όπως χαρακτηριστικά περιγράφεται από την εξίσωση που ακολουθεί, αποτελούνται από δύο όρους, δηλαδή:

$$x_i = d_i + e_i$$

Όπου

x_i είναι η τιμή στην i -οστή χρονική στιγμή,

d_i είναι το ντετερμινιστικό τμήμα,

e_i είναι το τυχαίο τμήμα

Η γενική εξίσωση του μοντέλου αυτοσυσχέτισης p τάξης είναι:

$$\bar{Z}_t = \Phi_1 \bar{Z}_{t-1} + \dots + \Phi_p \bar{Z}_{t-p} + \alpha_t$$

Όπου

\bar{Z} είναι η μόνιμη μεταβλητή

α_t είναι το τελείως τυχαίο μέρος (λευκός θόρυβος) της μεταβλητής \bar{Z}_t , το οποίο δεν έχει καμία χρονική εξάρτηση

Φ_1, \dots, Φ_p είναι οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης.

- Μοντέλα **ARMA** (ρ, θ)

Η εξίσωση που διέπει το μοντέλο ARMA(1,1) είναι:

$$\bar{Z}_t = \Phi_1 \bar{Z}_{t-1} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1}$$

Αν μ_z και μ_α είναι οι μέσες τιμές των Z_t και α_t , αντίστοιχα, γ_m η αυτοσυνδιασπορά της Z_t για υστέρηση m , σ_α^2 η διασπορά της α_t τότε εύκολα προκύπτουν οι ακόλουθες εξισώσεις:

$$\mu_z = \frac{\mu_\alpha(1 + \theta)}{(1 - a)}$$

$$Cov[Z_t, \alpha_t] = \sigma_\alpha^2, Cov[Z_t, \alpha_{t-1}] = (a + \theta)\sigma_\alpha^2$$

$$\gamma_0 = a \gamma_1 + (1 + a \theta + \theta^2) \sigma_\alpha^2$$

$$\gamma_1 = a \gamma_0 + \theta \sigma_\alpha^2$$

$$\gamma_m = a \gamma_{m-1} = a^{m-1} \gamma_1, \text{ για } m > 1$$

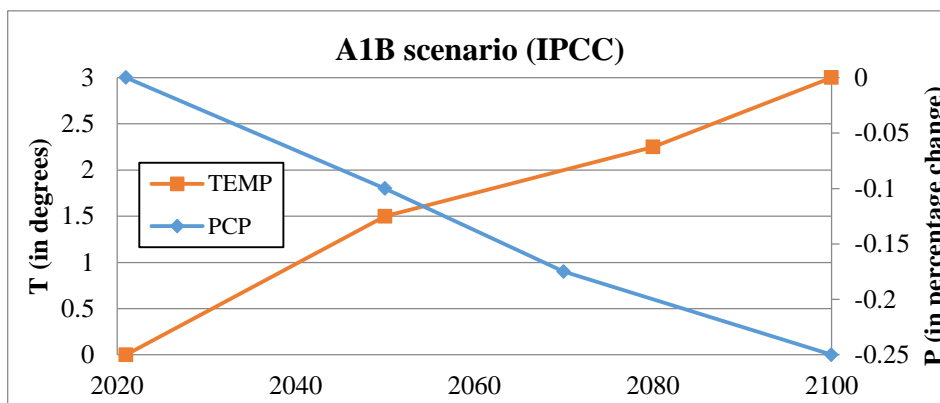
Οι τελευταίες τρεις εξισώσεις είναι γνωστές ως εξισώσεις Yule-Walker. Έχει μια παράμετρο περισσότερη (θ) απ' τα προηγούμενα μοντέλα. Αν η τελευταία εξίσωση εφαρμοστεί για $m = 2$, προκύπτει ότι $a = \gamma_2 / \gamma_1$. Οι παράμετροι θ και σ_α^2 μπορούν να υπολογιστούν με αριθμητική επίλυση των δύο εξισώσεων που δίνουν τα γ_0 και γ_1 . (Μπαλτάς, 2015 και Κουτσογιάννης, 2013)

Κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου στις συνθετικές χρονοσειρές βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών στην κάθε περιοχή που ερευνάται αποτελεί η βέλτιστη

προσομοίωση των στατιστικών χαρακτηριστικών της συνθετικής χρονοσειράς με τα αντίστοιχα της ιστορικής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στην περιοχή της Τρίπολης στη χρονοσειρά των θερμοκρασιών να επιλεγεί το AR(1), ενώ στην αντίστοιχη των βροχοπτώσεων το ARMA(1,1). Όσον αφορά την περιοχή της Καλαμάτας και στις δύο χρονοσειρές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης επελέγη το μοντέλο AR(1). Στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο στη χρονοσειρά των θερμοκρασιών το καλύτερο στατιστικά μοντέλο ήταν το AR(2), ενώ σε αυτή των βροχοπτώσεων το AR(1).

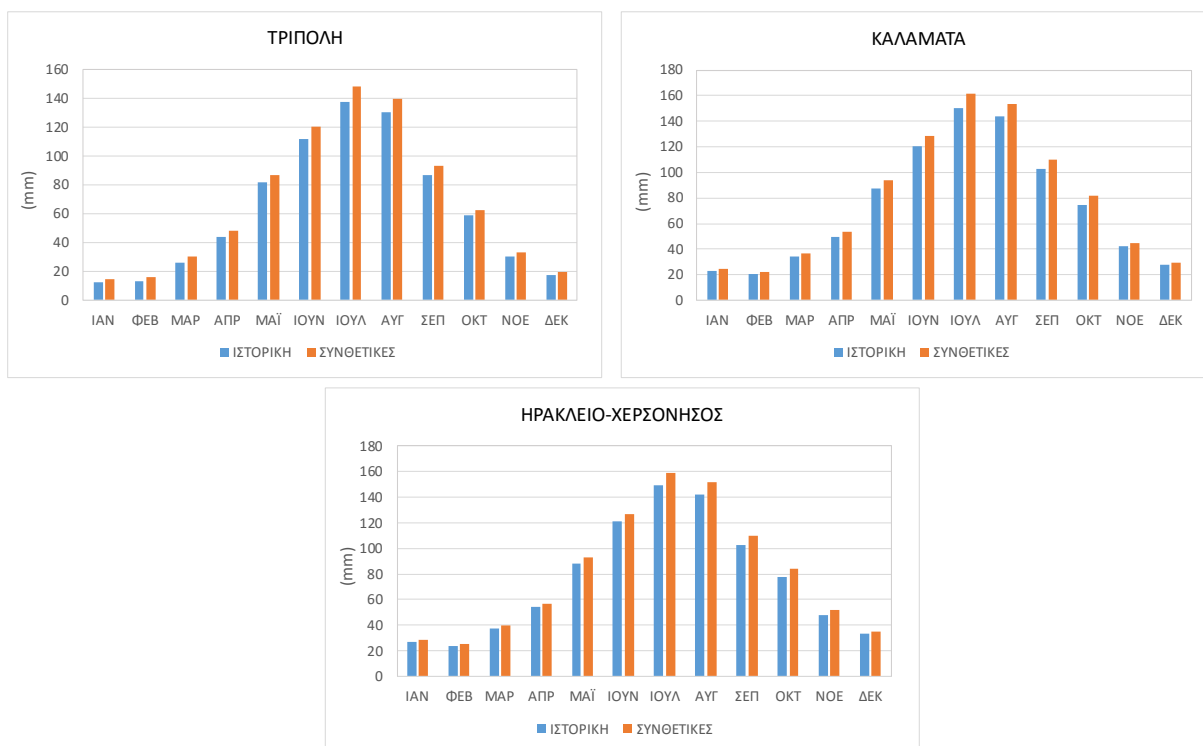
Στις παραπάνω χρονοσειρές εφαρμόστηκε το κλιματικό σενάριο A1B (IPCC). Το 1996, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC) ανέπτυξε μία σειρά από σενάρια που αφορούν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και τα οποία περιγράφονται στην “Ειδική Αναφορά για τα Σενάρια Εκπομπών” (Special Report on Emission Scenarios-SRES). Σε αυτήν αναφέρονται τέσσερα κλιματικά σενάρια, το A1, το A2, το B1 και το B2. Το A1 διακρίθηκε σε τρεις ομάδες, το A1FI, το A1T και το A1B, το τελευταίο απ’ τα οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική. Το κλιματικό σενάριο A1 γενικά περιγράφει έναν κόσμο ταχύτατης οικονομικής και πληθυσμιακής ανάπτυξης, που κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα και στη συνέχεια μειώνεται, καθώς και την ταχεία εισαγωγή νέων και πιο αποδοτικών τεχνολογιών. Το κάθε ένα απ’ τα σενάρια του A1, που διακρίνεται για την τεχνολογική του έμφαση, περιγράφει τις εναλλακτικές κατευθύνσεις της τεχνολογικής αλλαγής στο ενεργειακό σύστημα. Συγκεκριμένα τα A1F1 και A1T, αναφέρονται στις ορυκτές και μη ορυκτές πηγές ενέργειας αντίστοιχα, ενώ το A1B περιγράφει μία ισορροπία ανάμεσα σε όλες τις πηγές ενέργειας, δηλαδή δε στηρίζεται σε μία συγκεκριμένη πηγή, με την παραδοχή όμως ότι παρόμοια ποσοστά βελτίωσης εφαρμόζονται σε όλες τις τεχνολογίες. Το A2 σενάριο περιγράφει έναν πολύ ανομοιόμορφο κόσμο, το B1 έναν συγκλίνοντα κόσμο με τον ίδιο παγκόσμιο πληθυσμό και το B2 δίνει έμφαση στις τοπικές λύσεις που αφορούν την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα (www.ipcc.ch).

Συγκεκριμένα, η εφαρμογή του σεναρίου στις συνθετικές χρονοσειρές βροχής και θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε τμηματικά κατά περίοδο, με τους ρυθμούς που παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.8, όπως αναφέρονται στη σχετική εργασία των Kapsomenakis et al. 2013, στην οποία εφαρμόζεται το σενάριο σε λεπτή χωρική κλίμακα για τον ελλαδικό χώρο.



Σχήμα 4.8 Σενάριο A1B για τη μελλοντική βροχόπτωση και θερμοκρασία στον ελλαδικό χώρο

Τέλος, υπολογίστηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές, καθώς και οι τάσεις της εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite, των αρδευτικών αναγκών (Blaney-Criddle) και των δεικτών ξηρασίας AI, PINNA, SPI3, SPI6. Έτσι, επιχειρήθηκε σύγκριση των προαναφερθέντων αποτελεσμάτων των συνθετικών χρονοσειρών με τα αντίστοιχα των ιστορικών για κάθε μία από τις τρεις περιοχές μελέτης. Τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης φαίνονται, για τις μεν μέσες μηνιαίες τιμές (Σχήμα 4.9 - 4.13), στα διαγράμματα που ακολουθούν και για τις δε τάσεις (Πίνακας 4.4 - 4.9) στους πίνακες. Στο Σχήμα 4.9 απεικονίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές της εξατμισοδιαπνοής, η οποία έχει υπολογιστεί σύμφωνα με τη μέθοδο Thornthwaite, τόσο της ιστορικής όσο και των συνθετικών χρονοσειρών για τις περιοχές της Τρίπολης, της Καλαμάτας, καθώς και του Ηρακλείου και Χερσονήσου.



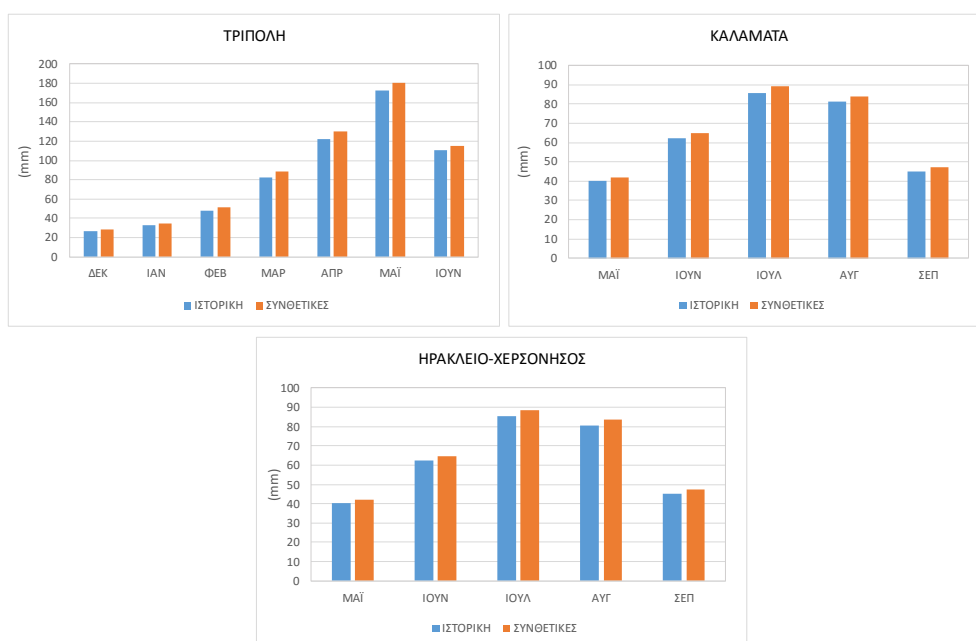
Σχήμα 4.9 Μέσες Μηνιαίες τιμές Εξατμισοδιαπνοής, κατά Thornthwaite, της Ιστορικής και των Συνθετικών χρονοσειρών.

Στον Πίνακα 4.4 φαίνονται οι μηνιαίες τάσεις της εξατμισοδιαπνοής, της ιστορικής και συνθετικής χρονοσειράς για όλες τις περιοχές, όπου τα σύμβολα με κόκκινο χρώμα παριστάνουν θετικές τάσεις, ενώ εκείνα με πράσινο αρνητικές. Από αυτά προκύπτει ότι η εξατμισοδιαπνοή των συνθετικών χρονοσειρών αυξάνεται σε σύγκριση με την αντίστοιχη της ιστορικής, με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται τους εαρινούς μήνες. Το γεγονός ότι παρουσιάζει αυξητική τάση ίσως να οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας στο μέλλον.

Πίνακας 4.4 Μηνιαίες Τάσεις της Εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite, της ιστορικής και των συνθετικών χρονοσειρών.

PET (Thornthwaite)		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΤΡΙΠΟΛΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Οι μέσες μηνιαίες τιμές των αρδευτικών αναγκών, οι οποίες υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο Blaney-Criddle, καθώς και οι μηνιαίες τάσεις τους απεικονίζονται στο Σχήμα 4.10 και στον Πίνακα 4.5 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.10 Μέσες Μηνιαίες τιμές Αρδευτικών Αναγκών (Blaney-Criddle), της Ιστορικής και των Συνθετικών χρονοσειρών.

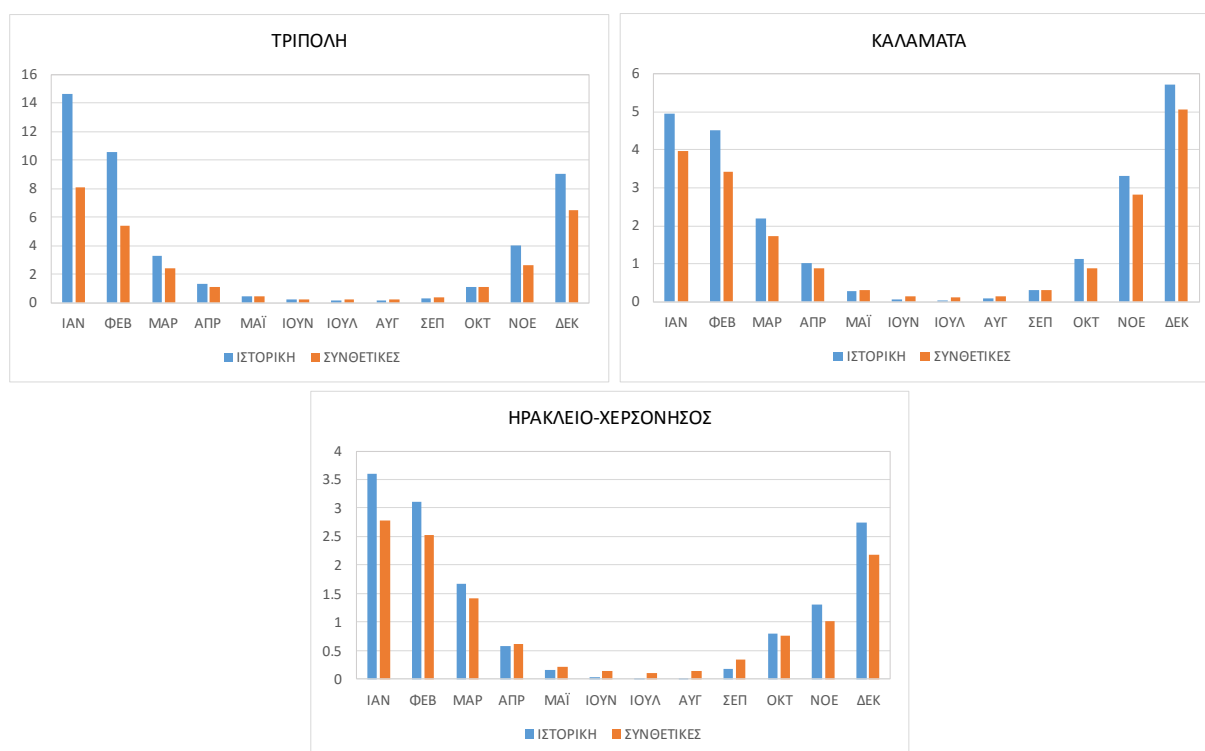
Για τον υπολογισμό των αρδευτικών αναγκών και τη σύγκριση με τις μέσες ιστορικές θεωρήθηκε για λόγους απλούστευσης ένα είδος καλλιέργειας για κάθε περιοχή, εκείνου που καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη καλλιεργήσιμη έκταση και αντίστοιχα η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο μέσο τοπογραφικό υψόμετρο της καλλιεργούμενης έκτασης. Έτσι, στην περιοχή της Τρίπολης θεωρήθηκαν ως κυρίαρχη καλλιέργεια τα σιτηρά, ενώ στην Καλαμάτα και το Ηράκλειο-Χερσόνησο οι ελαιώνες.

Συγκρίνοντας, λοιπόν, τις συνθετικές χρονοσειρές με την ιστορική παρατηρείται μία πολύ μικρή αύξηση των αρδευτικών αναγκών και στις τρεις περιοχές, με τη μέγιστη τιμή τον Ιούλιο για την Καλαμάτα και το Ηράκλειο, και το Μάιο για την Τρίπολη. Ωστόσο, στην Καλαμάτα και στην Τρίπολη, ενώ την ιστορική περίοδο όλους τους μήνες για την πρώτη και τους περισσότερους για τη δεύτερη, οι αρδευτικές ανάγκες είχαν αρνητική τάση, σε μελλοντική περίοδο παρατηρείται αυξητική τάση αυτών.

Πίνακας 4.5 Μηνιαίες Τάσεις των Αρδευτικών Αναγκών (Blaney-Criddle), της ιστορικής και των συνθετικών χρονοσειρών.

ΑΡΔΕΥΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ		ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ
ΤΡΙΠΟΛΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	-	-
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	-	-
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	-	-
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	-	-

Το Σχήμα 4.11 και ο Πίνακας 4.6 δείχνουν τις μέσες μηνιαίες τιμές και τις μηνιαίες τάσεις του δείκτη ξηρότητας (AI) αντίστοιχα των ιστορικών και συνθετικών χρονοσειρών. Απ' τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι ενώ ο μελλοντικός δείκτης AI σε σύγκριση με τον ιστορικό μειώνεται κατά την υγρή περίοδο, κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου αυξάνεται και στις τρεις περιοχές.



Σχήμα 4.11 Μέσες Μηνιαίες τιμές του δείκτη ξηρότητας AI, της Ιστορικής και των Συνθετικών χρονοσειρών.

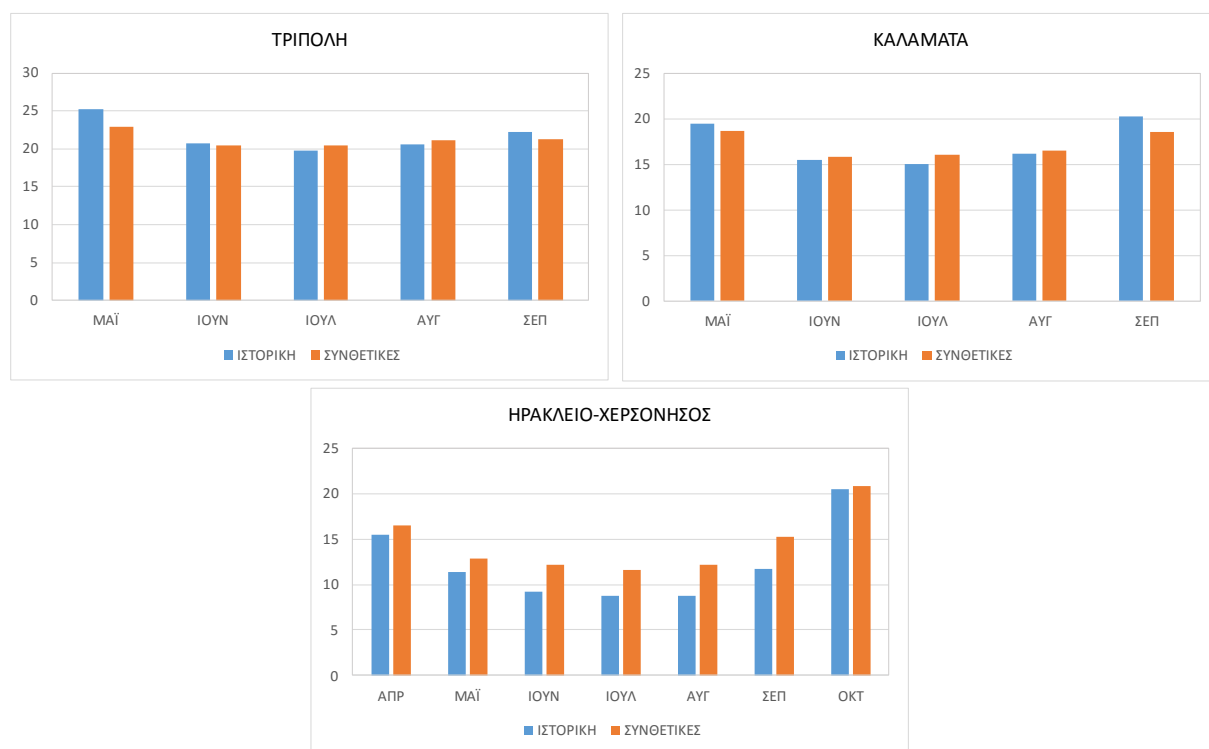
Το γεγονός της αύξησης του δείκτη AI κατά την ξηρή περίοδο, πιθανότατα να οφείλεται, σε αύξηση των βροχοπτώσεων ή ενδεχόμενη μείωση της θερμοκρασίας στο μέλλον, για τη

συγκεκριμένη όμως περίοδο του έτους. Επίσης από τον πίνακα των τάσεων παρατηρείται μείωση του δείκτη στο μέλλον, σε όλους σχεδόν τους μήνες του έτους, πράγμα το οποίο σημαίνει τάση προς ξηρότερες συνθήκες.

Πίνακας 4.6 Μηνιαίες Τάσεις του Δείκτη Ξηρότητας (AI), της ιστορικής και των συνθετικών χρονοσειρών.

AI		ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΤΡΙΠΟΛΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Οι μηνιαίες τιμές του συνδυαστικού δείκτη PINNA, καθώς και οι μηνιαίες τάσεις του φαίνονται στο Σχήμα 4.12 και τον Πίνακα 4.7 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.12 Μέσες Μηνιαίες τιμές του Συνδυαστικού Δείκτη PINNA, της Ιστορικής και των Συνθετικών χρονοσειρών.

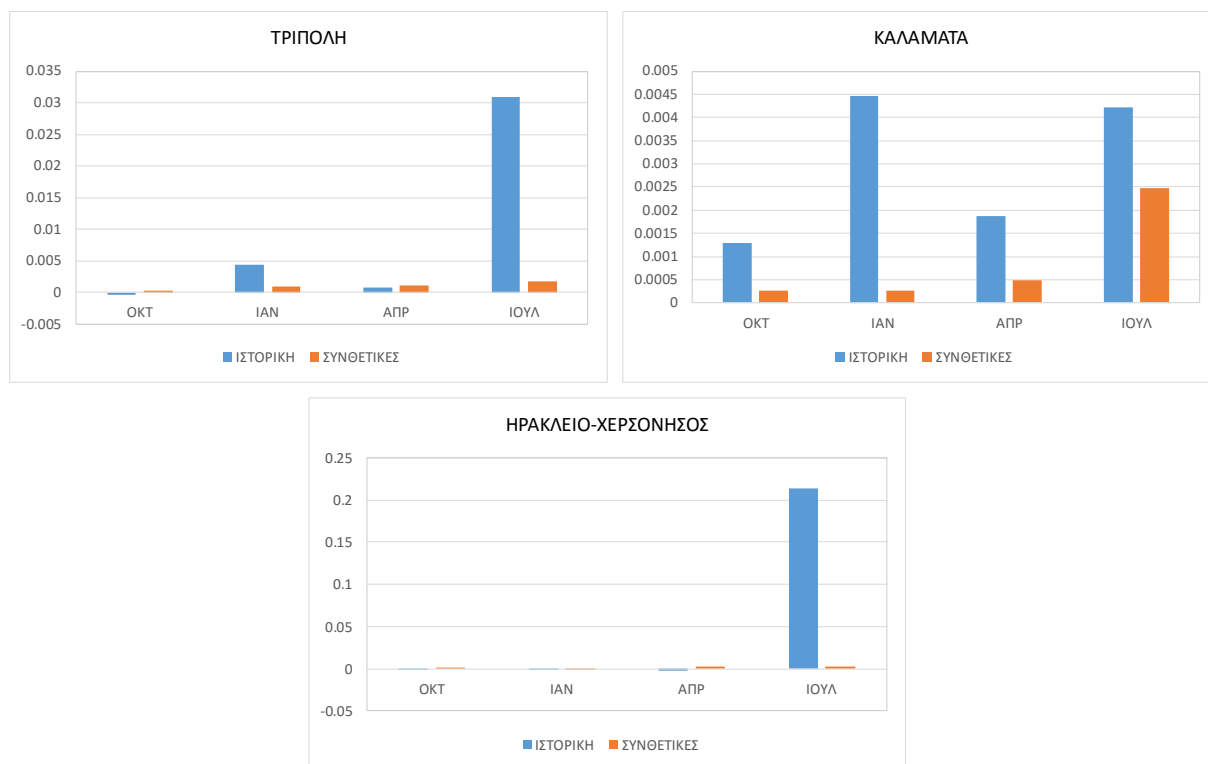
Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι στην περιοχή της Τρίπολης ο δείκτης μειώνεται μελλοντικά, σε σύγκριση με την ιστορική χρονοσειρά, το Μάιο, Ιούνιο και Σεπτέμβριο, με τις τιμές του ωστόσο να είναι μεγαλύτερες από 20, τιμή η οποία δεν χαρακτηρίζει το κλίμα της περιοχής ως ξηρό. Επιπλέον στην ίδια περιοχή οι τάσεις του είναι αρνητικές σε όλους τους μήνες της ξηρής περιόδου. Στην Καλαμάτα ο εν λόγω δείκτης μειώνεται μόνο το Μάιο και Σεπτέμβριο, ενώ σε όλους τους μήνες είναι μικρότερος από 20, τιμή η οποία χαρακτηρίζει το κλίμα της περιοχής ως ημίξηρο μεσογειακό, και παρουσιάζει αρνητική τάση το Μάιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Στο Ηράκλειο-Χερσόνησο ο δείκτης σε όλη την ξηρή περίοδο φαίνεται να

αυξάνεται μελλοντικά, με τιμές σε όλους σχεδόν τους μήνες μεταξύ 10 και 20 (ημίξηρο μεσογειακό κλίμα), ενώ για τους περισσότερους μήνες παρατηρείται αρνητική τάση του.

Πίνακας 4.7 Μηνιαίες Τάσεις του Συνδυαστικού Δείκτη PINNA, της ιστορικής και των συνθετικών χρονοσειρών.

PINNA		ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ
ΤΡΙΠΟΛΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	-	●	●	●	●	●	-
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	-	●	●	●	●	●	-
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	-	●	●	●	●	●	-
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	-	●	●	●	●	●	-
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●	●	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●	●	●	●

Στο Σχήμα 4.13 απεικονίζεται η σύγκριση μεταξύ της ιστορικής και των συνθετικών χρονοσειρών των μέσων μηνιαίων τιμών του δείκτη τυποποιημένης βροχόπτωσης SPI3, ενώ στον Πίνακα 4.8 φαίνονται οι μηνιαίες τάσεις του για τις τρεις περιοχές.



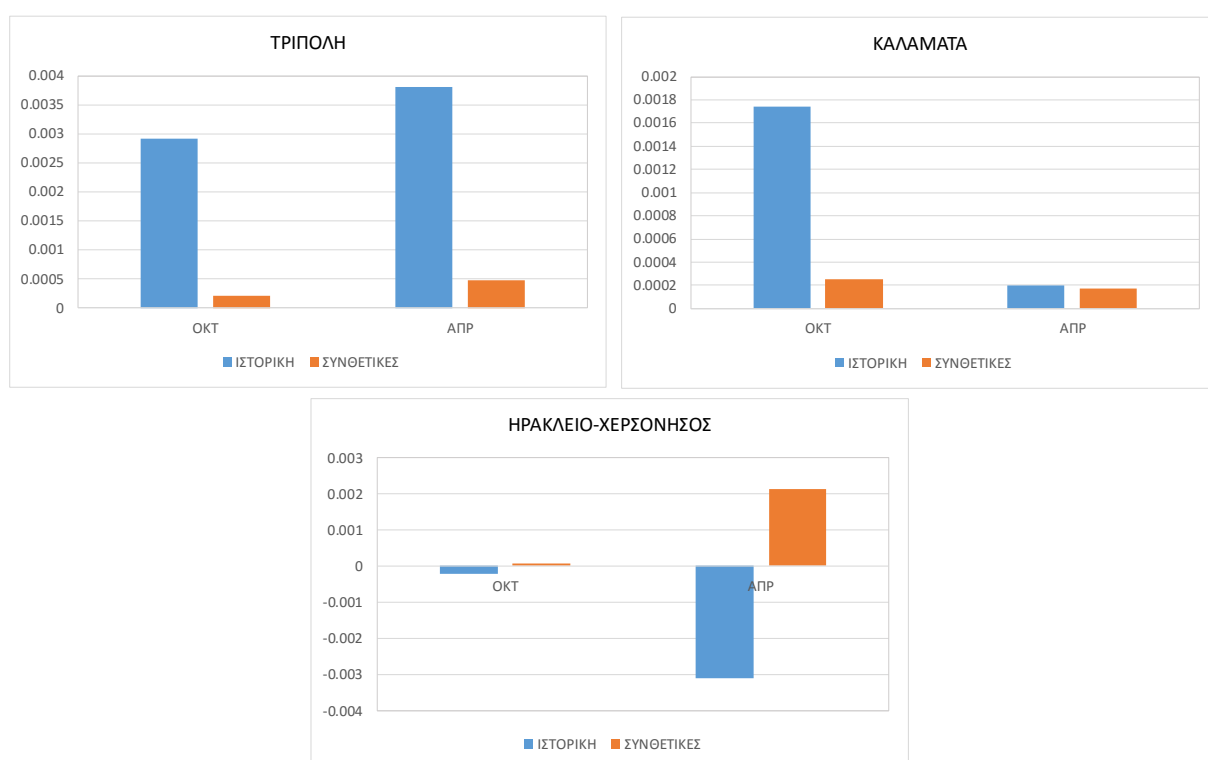
Σχήμα 4.13 Μέσες Μηνιαίες τιμές του Δείκτη Τυποποιημένης Βροχόπτωσης SPI3, της Ιστορικής και των Συνθετικών χρονοσειρών.

Οι τιμές του SPI έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με το λογισμικό DrinC. Σύμφωνα με τα διαγράμματα οι μελλοντικές τιμές του δείκτη μειώνονται, συγκριτικά με τις ιστορικές. Στην Τρίπολη και την Καλαμάτα, ο ελάχιστος SPI παρατηρείται τον Οκτώβριο, με τιμή περίπου ίση με 0, ενώ στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο τον Ιανουάριο με αρνητική τιμή. Και στις τρεις περιπτώσεις οι τιμές του δείκτη υποδηλώνουν περιοχές με κανονικές βροχοπτώσεις. Μελλοντικά παρατηρείται αρνητική τάση παντού, με εξαίρεση τον Ιούλιο για την περιοχή του Ηρακλείου.

Πίνακας 4.8 Μηνιαίες Τάσεις του Δείκτη Τυποποιημένης Βροχόπτωσης SPI3, της ιστορικής και των συνθετικών χρονοσειρών.

SPI3		ΟΚΤ	ΙΑΝ	ΑΠΡ	ΙΟΥΛ
ΤΡΙΠΟΛΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●	●	●

Οι μέσες μηνιαίες τιμές του δείκτη τυποποιημένης βροχόπτωσης SPI6, τόσο της ιστορικής όσο και των συνθετικών χρονοσειρών, για την υγρή και ξηρή περίοδο, φαίνονται στο Σχήμα 4.14.



Σχήμα 4.14 Μέσες Μηνιαίες τιμές του Δείκτη Τυποποιημένης Βροχόπτωσης SPI6, της Ιστορικής και των Συνθετικών χρονοσειρών.

Από αυτό προκύπτει ότι οι μελλοντικές τιμές του SPI6 μειώνονται στην Τρίπολη και την Καλαμάτα, σε αντίθεση με το Ηράκλειο και τη Χερσόνησο όπου αυξάνονται. Για την Τρίπολη και το Ηράκλειο η μικρότερη μελλοντικά τιμή παρατηρείται τον Οκτώβριο, ενώ για την Καλαμάτα τον Απρίλιο.

Στον Πίνακα 4.9 πραγματοποιείται σύγκριση των μηνιαίων τάσεων του δείκτη, μεταξύ της ιστορικής και των συνθετικών χρονοσειρών, όπου φαίνεται ότι μελλοντικά ο SPI6 έχει την τάση να μειώνεται και στις τρεις περιοχές.

Πίνακας 4.9 Μηνιαίες Τάσεις του Δείκτη Τυποποιημένης Βροχόπτωσης SPI6, της ιστορικής και των συνθετικών χρονοσειρών.

SPI6		ΟΚΤ	ΑΠΡ
ΤΡΙΠΟΛΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●
ΗΡΑΚΛΕΙΟ-ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ	●	●
	ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ	●	●

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Σύνοψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία υπολογίστηκαν οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών, στους δήμους της Τρίπολης, της Καλαμάτας, του Ηρακλείου και Χερσονήσου, σύμφωνα με τα δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, για τα έτη 1957 έως 2004, καθώς και την κατανομή των καλλιεργειών, οι οποίες καταγράφηκαν κατά το 2015. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι δείκτες ξηρασίας AI, SPI και PINNA για τις προαναφερθείσες περιοχές και επιχειρήθηκε συσχέτιση αυτών με τις αρδευτικές ανάγκες. Επιπλέον παράχθηκαν συνθετικές χρονοσειρές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, μήκους 80 ετών και πραγματοποιήθηκε σύγκριση των ιστορικών και μελλοντικών αρδευτικών αναγκών, καθώς και των δεικτών ξηρασίας.

5.2 Γενικά Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν στην παρούσα διπλωματική εργασία, μέσα απ' την υπολογιστική διαδικασία, κατά τα έτη 1957 έως 2004, σε κάθε μία απ' τις περιοχές μελέτης, συνοψίζονται στα ακόλουθα.

- Οι αρδευτικές ανάγκες παρουσιάζουν μείωση στις περιοχές της Τρίπολης και της Καλαμάτας, τόσο κατά τη συνολική όσο και κατά την ξηρή περίοδο, ενώ στην περιοχή του Ηρακλείου και της Χερσονήσου αυξάνονται επίσης και στις δύο περιόδους.
- Ο δείκτης ξηρότητας AI, κατά τη συνολική περίοδο, στην Τρίπολη και την Καλαμάτα αυξάνεται, σε αντίθεση με την περιοχή του Ηρακλείου και της Χερσονήσου, όπου μειώνεται. Κατά τη διάρκεια της ξηρής όμως περιόδου ο εν λόγω δείκτης μειώνεται και στις τρεις περιοχές.
- Αναφορικά με τους δείκτες τυποποιημένης βροχόπτωσης SPI3 και SPI6, τόσο κατά τη συνολική, όσο και κατά την ξηρή περίοδο, παρατηρείται τάση μείωσης σε όλες τις περιοχές. Εξαιρέση παρουσιάζει η περιοχή της Καλαμάτας, μόνο στην ξηρή περίοδο και στο δείκτη SPI3, όπου φαίνεται αυξητική τάση του συγκεκριμένου δείκτη.
- Στο συνδυαστικό δείκτη PINNA, κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου, παρατηρείται πτωτική τάση και στις τρεις περιοχές.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι μόνο στην περιοχή του Ηρακλείου και της Χερσονήσου υπάρχει συσχέτιση των αρδευτικών αναγκών με όλους τους δείκτες ξηρασίας, τόσο στην

ξηρή περίοδο όσο και στη συνολική. Κι αυτό γιατί ενώ οι δείκτες ξηρασίας παρουσιάζουν πτωτική τάση, οι αρδευτικές ανάγκες παρουσιάζουν ανοδική.

Επίσης, σε όλες τις περιοχές, τόσο στην ξηρή περίοδο όσο και στη συνολική, καθώς και σε κάθε μήνα της ξηρής περιόδου, παρατηρείται συσχέτιση μεταξύ των δεικτών Pinna και AI.

Τέλος, η Τρίπολη και η Καλαμάτα εμφανίζουν κοινές τάσεις για τις χρονοσειρές όλων των δεδομένων, γεγονός το οποίο δεν παρατηρείται στην περιοχή του Ηρακλείου και της Χερσονήσου.

Όσον αφορά στις συνθετικές χρονοσειρές, τα συμπεράσματα σχετικά με τις μελλοντικές τάσεις των αρδευτικών αναγκών και των δεικτών ξηρασίας είναι τα εξής:

- Απ' τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι αρδευτικές ανάγκες σε όλες τις περιοχές έχουν την τάση να αυξάνονται μελλοντικά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός, στην περιοχή της Καλαμάτας, ότι ενώ στην ιστορική περίοδο οι αρδευτικές ανάγκες παρουσιάζουν τάση μείωσης σε όλους τους μήνες, μελλοντικά η τάση αυτή φαίνεται να είναι αυξητική επίσης για όλους τους μήνες. Δεν ισχύει το ίδιο στις άλλες δύο περιοχές, όπου στην ιστορική περίοδο τάση μείωσης παρατηρείται σε ορισμένους μόνο μήνες.
- Όσον αφορά το δείκτη AI, στην Τρίπολη μελλοντικά παρατηρείται πτωτική τάση, με εξαίρεση το μήνα Οκτώβριο, που ενώ κατά την ιστορική περίοδο εμφανιζόταν τάση μείωσης, μελλοντικά η τάση αυτή φαίνεται να αυξάνεται. Στην Καλαμάτα ο συγκεκριμένος δείκτης εμφανίζει μελλοντικά τάση μείωσης σε όλους τους μήνες, εκτός του Ιουνίου και Σεπτεμβρίου, όπου η τάση του είναι αυξητική, με τον πρώτο μήνα να δείχνει τάση μείωσης στην ιστορική περίοδο. Στο Ηράκλειο-Χερσόνησο η τάση του δείκτη φαίνεται μελλοντικά να είναι παντού πτωτική, εκτός του Ιουνίου και Ιουλίου, που είναι αυξητική, ενώ ιστορικά ήταν πτωτική στους εν λόγω μήνες.
- Οι δείκτες SPI3 και SPI6, μελλοντικά φαίνεται να παρουσιάζουν τάση μείωσης και στις τρεις περιοχές, με εξαίρεση τον SPI3 στην περιοχή του Ηρακλείου, όπου μόνο το μήνα Ιούλιο εμφανίζει τάση αύξησης.
- Σχετικά με το δείκτη PINNA, πτωτική τάση εμφανίζεται για την περιοχή της Τρίπολης σε όλους τους μήνες της ξηρής περιόδου, για της Καλαμάτας μόνο το Μάιο, Ιούλιο και Αύγουστο και για το Ηράκλειο Απρίλιο, Μάιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, παρατηρείται συσχέτιση των αρδευτικών αναγκών με όλους τους δείκτες ξηρασίας, μόνο στην περιοχή της Τρίπολης.

5.3 Ειδικά Συμπεράσματα

Ειδικότερα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μέσων μηνιαίων τιμών, για την ιστορική περίοδο 1957 έως 2004 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι αρδευτικές ανάγκες παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές κατά την ξηρή περίοδο σε όλες τις περιοχές, με μέγιστη για την Τρίπολη το Μάιο, για την Καλαμάτα και το Ηράκλειο τον Ιούλιο. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τόσο όλες τις καλλιέργειες, όσο και μόνο εκείνη που καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι ο η Τρίπολη εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές αρδευτικών αναγκών τους χειμερινούς μήνες, σε σύγκριση με τις άλλες δύο περιοχές, οι οποίες έχουν πολύ μικρές τιμές, γεγονός που ίσως οφείλεται στο ότι τα σιτηρά στην περιοχή της Τρίπολης καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη καλλιεργήσιμη έκταση.
- Ο δείκτης ξηρασίας ΑΙ κατά την ξηρή περίοδο, στην Τρίπολη κυμαίνεται μεταξύ 0.2-0.5, εύρος τιμών το οποίο χαρακτηρίζει την ημίξηρη κλιματική ζώνη. Στην Καλαμάτα ο ΑΙ κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0.03 και 0.3, τιμές οι οποίες ανήκουν στην υπερβολικά ξηρή, ξηρή και ημίξηρη κλιματική ζώνη. Στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο ο δείκτης λαμβάνει τιμές από 0.006 έως 0.2, οι τιμές του εντάσσονται στην υπερβολικά ξηρή και ξηρή κλιματική ζώνη.
- Οι δείκτες SPI3 και SPI6 και για τις τρεις περιοχές υποδεικνύουν ότι εντάσσονται σε περιόδους με κανονικές βροχοπτώσεις, αφού οι τιμές τους κυμαίνονται μεταξύ -0.99 και 0.99. Το ίδιο συμπέρασμα προέκυψε τόσο απ' τα δεδομένα του ECA&D όσο και απ' τους υπολογισμούς μέσω του λογισμικού DriInC.
- Αναφορικά με το δείκτη PINNA, στην Τρίπολη οι τιμές του είναι μεγαλύτερες από 20, στην Καλαμάτα μεταξύ 10 και 20 (Ημίξηρο Μεσογειακό κλίμα), στο Ηράκλειο και τη Χερσόνησο μεταξύ 10 και 20, εκτός του Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου, όπου οι τιμές του τον εντάσσουν στο ξηρό κλίμα ($I_p < 10$).

Εφαρμόζοντας το κλιματικό σενάριο, A1B, για μελλοντικές χρονοσειρές, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι μέγιστες αρδευτικές ανάγκες παρατηρούνται τον Ιούλιο για την Καλαμάτα και το Ηράκλειο, με πολύ κοντινές τιμές μεταξύ των δύο περιοχών, ενώ για την Τρίπολη το Μάιο. Επίσης οι ιστορικές τιμές με τις μελλοντικές έχουν πολύ μικρή διαφορά.

- Σχετικά με το δείκτη AI, ενώ στους χειμερινούς μήνες των συνθετικών χρονοσειρών είναι μικρότερος απ' τους αντίστοιχους των ιστορικών, τους ξηρούς μήνες παρατηρείται το αντίθετο. Κατά την ξηρή περίοδο στην Τρίπολη οι τιμές του ανήκουν στην ημίξηρη κλιματική ζώνη, όπως και στην αντίστοιχη των ιστορικών, στην Καλαμάτα και το Ηράκλειο στην ξηρή και ημίξηρη κλιματική ζώνη.
- Ο SPI3 μελλοντικά εμφανίζει την τάση να μειώνεται με τις τιμές του να υποδηλώνουν κανονικές βροχοπτώσεις και για τις τρεις περιοχές. Ο SPI6 μελλοντικά μειώνεται στην Τρίπολη και την Καλαμάτα, σε αντίθεση με το Ηράκλειο και τη Χερσόνησο όπου αυξάνεται. Και στον SPI6 οι τιμές χαρακτηρίζουν τις περιοχές με κανονικές βροχοπτώσεις.
- Ο δείκτης PINNA στην Τρίπολη λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες από 20, στην Καλαμάτα και το Ηράκλειο οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 10 και 20, χαρακτηρίζοντας το κλίμα τους μελλοντικά ως ημίξηρο μεσογειακό.

Σύμφωνα με το δείκτη AI, οι τρεις περιοχές κατατάσσονται από την ημίξηρη έως την ξηρή κλιματική ζώνη τόσο στην ιστορική, όσο και μελλοντική περίοδο. Ο PINNA κατατάσσει μόνο την Καλαμάτα και το Ηράκλειο στο ημίξηρο μεσογειακή κλιματική ζώνη και στην ιστορική και τη μελλοντική περίοδο.

Ο μήνας στον οποίο παρατηρούνται οι μέγιστες αρδευτικές ανάγκες συμπίπτει με τον ξηρότερο μήνα μόνο στην περιοχή της Καλαμάτας.

Οι τάσεις όλων των δεδομένων των συνθετικών εμφανίζουν σχεδόν αμελητέα διαφορά, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες των ιστορικών.

Οι τιμές του SPI (κανονικές βροχοπτώσεις) και στις τρεις περιοχές, τόσο στις ιστορικές, όσο και στις συνθετικές, υποδηλώνουν πως η όποια τάση ξηρότητας επηρεάζεται κυρίως από τη θερμοκρασία.

5.4 Μελλοντική έρευνα

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία διερευνήθηκαν για τρεις περιοχές της νότιας Ελλάδας οι τάσεις των αρδευτικών αναγκών και των κλιματικών δεικτών στη διάρκεια του χρόνου, καθώς και οι πιθανές μεταβολές των τελευταίων, κατατάσσοντας τις περιοχές αυτές στην ανάλογη κλιματική ζώνη. Υπό αυτό το πλαίσιο θα μπορούσαν να προταθούν τα ακόλουθα:

- Ενδεχομένως να μπορούσαν να διερευνηθούν περισσότεροι δείκτες ξηρασίας στις ίδιες περιοχές, αξιολογώντας το κλίμα τους, με βάση τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά.
- Επίσης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διερεύνηση και άλλων περιοχών, κατ' εξοχήν αγροτικών, στην υπόλοιπη Ελλάδα.
- Επιπλέον, θα μπορούσαν να εκτιμηθούν οι αρδευτικές ανάγκες σε περιοχές όπου καλλιεργούνται τροπικά φυτά (π.χ. μπανάνα, μάνγκο, αβοκάντο), όπως για παράδειγμα στην Κρήτη και να διερευνηθεί η συσχέτισή τους με τους δείκτες ξηρασίας.
- Ακόμα, ενδιαφέρουσα θα ήταν και η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών σε περιοχές, όπου καλλιεργούνται πιο υδροβόρες καλλιέργειες.
- Τέλος, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλα διαφορετικά κλιματικά σενάρια στην παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Ελληνική Επιτροπή για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης, Ελληνικό Εθνικό Σχέδιο Δράσης κατά της Ερημοποίησης, Αθήνα, 2001.
- Επιτροπή των Περιφερειών, 2008. Γνωμοδότηση της Επιτροπής των Περιφερειών Η αντιμετώπιση του προβλήματος της λειψυδρίας και της ξηρασίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, Επίσημη Εφημερίδα αριθ. C 172 της 05/07/2008 σ. 0049 – 0054.
- Κοσμάς, Κ., Σημειώσεις μαθήματος Εφηρμοσμένης Εδαφολογίας, Αθήνα 2009, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας εδαφολογίας και γεωργικής χημείας.
- Κουτσογιάννης Δ., Νερό και γεωργία, 2007, Σημειώσεις του μεταπτυχιακού μαθήματος Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων.
- Κουτσογιάννης, Δ., και Ξανθόπουλος, Θ., 1997. «Τεχνική Υδρολογία». ΕΜΠ, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., Υδρομετεωρολογία, Εξάτμιση και Διαπνοή, Τομέας Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2000.
- Μαμάσης Ν. και Κουτσογιάννης Δ., 2007: «Φυσικές, κοινωνικές και τεχνολογικές πτυχές της ξηρασίας - Το παράδειγμα της Αθήνας»
- Μάρης, Φ., Π., 2013. Τεχνική Υδρολογία, Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων και Διαχείρισης Κινδύνου, Προπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών, ΔΠΘ.
- Μιμίκου, Μ.Α., και Μπαλτάς, Ε.Α., Τεχνική Υδρολογία, 5η Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2012.
- Μπαλτάς Ε., Εφαρμοσμένη μετεωρολογία, Ζήτη, 2006, ISBN 960-456-038-7, ISBN-13 978-960-456-038-7
- Μπαλτάς, Ε., Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος «Προχωρημένη Υδρολογία», του ΔΠΜΣ: «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», του ΕΜΠ, Αθήνα 2015.
- Μπουγιάς Αντώνιος, «Μελέτη Περιβάλλοντος Χώρου πέντε στρεμμάτων κατοικίας στην περιοχή Βουτών Ηρακλείου», Πτυχιακή Εργασία, Ηράκλειο, Απρίλιος 2008.
- ΟΠΕΚΕΠΕ, Λόης Κωνσταντίνος, Διεύθυνση Τεχνικών Ελέγχων, Τμήμα Διαχείρισης και συντήρησης Χαρτογραφικών Δεδομένων, 2015
- Παπαζαφειρίου, Ζ. και Παπαμιχαήλ, Δ., 1996. «Συστήματα αρδεύσεων». Υπηρεσία δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 204 σελ.
- Παπαμιχαήλ Δ. Μ., Γεωργίου Π. Ε. 2005. «Βασικές Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων», ως Διδακτικές Σημειώσεις.

- Περγαλιώτης, Π., Συλλογικά εγχειρίδια έργα και περιβάλλον (διαχρονική θεώρηση των εξελίξεων», Ανακοίνωση στην εμβόλιμη ημερίδα με θέμα Υδρογεωλογία και Περιβάλλον, 9ο Διεθνές Συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Αθήνα 2001.
- Περιφέρεια Κρήτης, Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης, Ηράκλειο, 2002.
- Πουλοβασίλης, Α., Γεωργική Υδραυλική-Αρδεύσεις Ι, Αθήνα 1986, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Εργαστήριο Υδραυλικής.
- Τερζίδη, Γ.Α., Ζ.Γ. Παπαζαφειρίου, Γεωργική Υδραυλική, Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1997
- Τσακίρης, Γ. και Δέρκας, Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος II: Εγχειρίδια Έργα, Κεφ. 8, Συλλογικά Αρδευτικά Δίκτυα, Αθήνα 2006.
- Τσακίρης, Γ., 1986. «Μαθήματα Εγχειρίδια Έργων», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- Τσακίρης, Γ., Υδραυλικά Έργα, Σχεδιασμός & Διαχείριση, Τόμος II: Εγχειρίδια Έργα, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2006.
- Υπουργείο Γεωργίας, 1992
- Υπουργείο Γεωργίας, Διαχείριση υδατικών πόρων στον αγροτικό τομέα, Αθήνα 2002.
- Φλόκας Α.Α., Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1997.
- Χρονοπούλου-Σερέλη Α., Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας, Αθήνα 1996, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Εργαστήριο Φυσικής & Γεωργικής Μετεωρολογίας.

- Addink, J.W., Keller, J., Pair, C.H., Sneed, R.E. and Wolfe, J.W., 1983. Design and operation of sprinkler systems. In «design and Operation of Farm Irrigation Systems». Edited by Jensen, M.E., ASAE monograph 3, 621-660
- ASAE, 1974. «Minimum requirements for the design, installation and performance of sprinkler irrigation equipment», Agr. Eng. Yearbook, 509-511
- Benami, A. and Ofen, A., 1984. «Irrigation engineering», IESP, Haifa, Israel, 257.
- Flocas, A. A., Giles, B. D. and Angouridakis, V. E., Arch. Met. Geoph., Biocl., Ser. B, 32, 287-295, 1983
- Gaussen, H., (1956) “Le XVIII congress international de Geographie”, Rio de Janeiro, Aout 1956. Annal. Geogr. 353: 1-19.

- Goodess, C.M. and Jones, P.D., 2002. Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *International Journal of Climatology*, 22(13), pp.1593-1615.
 - Guttman, N.B., 1999. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm1.
 - Hoffman, G.J., Howell, T.A. and Solomon, K.H., 1990. «Management of farm irrigation systems», ASAE, 1040.
 - James, L.G., 1988. «Principles of Farm Irrigation System Design», John Wiley & Sons, Inc. New York, 543.
 - Kapsomenakis, J., Nastos, P.T., Douvis, K., Eleftheratos, K., Zerefos, C.S., 2011. Estimation of precipitation change over Greece during the 21st century, using RCM simulations. In *Advances in the Research of Aquatic Environment, Environmental Earth Sciences*, Vol. 1, (pp. 57-65), DOI: 10.1007/978-3-642-19902-8_6, Springer Berlin Heidelberg.
 - Kapsomenakis, J., Nastos, P.T., Douvis, K., Philandras, C.M., Tselioudis, G. and Zerefos, C.S., 2012. Regional Climate Models' Future Simulations of Mean Air Temperature in Greece. In *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics* (pp. 493-499). Springer Berlin Heidelberg.
 - Karmeli, D., Peri, G., and Todes, M., 1985. «Irrigation systems: Design and Operation», Oxford University Press, Cape Town, 187.
 - Klein Tank, A.M.G., Wijngaard, J.B., Können, G.P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Mileta, M., Pashiardis, S., Hejkrlik, L., Kern-Hansen, C. and Heino, R., 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment.
 - Kosmas, C., Ferrara, A., Briasouli, H. and Imeson, A., 1999. Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification. The Medalus project: Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification, Project report, European Commission.
 - McKee, T. B, N. J. Doeskin, and J. Kieist, 1995. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. Proc. 9th Conf. on Applied Climatology, January 15-20, 1995, American
- Κουτσογιάννης, Δ., Σημειώσεις στα πλαίσια του μαθήματος «Στοχαστικές Μέθοδοι στους Υδατικούς Πόρους», του ΔΠΜΣ: «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», του ΕΜΠ, Αθήνα 2013.

- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, (1993) “The relationship of drought frequency and duration to time scales”. Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184.
- Meteorological Society, Boston, Massachusetts, pp. 233-236.
- Nastos, P.T. and Zerefos, C.S., 2009. Spatial and temporal variability of consecutive dry and wet days in Greece. *Atmospheric Research*, 94(4), pp.616-628.
- Nastos, P.T., Politi, N. and Kapsomenakis, J., 2013. Spatial and temporal variability of the aridity index in Greece. *Atmospheric Research*, 119, pp.140-152.
- Philandras, K.M., Douvis, K.C., Nastos, P.T., Tselioudis, G.B., Zerefos, C.S., 2010. Study of the precipitation trends in the Mediterranean region. *Proceedings of the 10th Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Patras, May 25–28, 2010, pp. 785–792 (In Greek).
- Pillsbury, A., 1968. «Sprinkler irrigation», FAO Agr. And Dev. Paper 88, FAO, Rome.
- Trewartha, G. T., & Horn, L. H. (1980). *An Introduction to Climate* –McGraw-Hill. New York, 416pp.
- Tselioudis, G., Zerefos, C., Zanis, P., Repapis, C., Kapsomenakis, I., 2008. Future trends in Mediterranean Precipitation and possible connections with the phase of the North Atlantic oscillation. *Proceedings of the 9th Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Thessaloniki, 28–31 May 2008, pp. 513–520
- UNEP, 1992. *World Atlas of Desertification*. Edward Arnold, London.
- UNESCO, 1979. *Map of the world distribution of arid regions*. Explanatory Note. *Man and Biosphere (MAB)*.
- USDA, 1984a. «Sprinkler Irrigation», Chapt. 11, Sect. 15 (Irrigation) *Soil Conserv. Serv. Natl. Eng. Handb.*
- Wilhite, D.A. and Glantz, M.H., 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), pp.111-120.
- World Meteorological Organization, *Atmospheric ozone, Global Ozone Research and Monitoring Project*, Rep. 16, vol. 1, pp. 112-114, Geneva, 1986. Bryson, R.A. and Murray, T.J., 1977. *Climates of Hunger-Mankind and the World's Changing Weather*.
- Xoplaki, E., Gonzalez-Rouco, J.F., Luterbacher, J.U. and Wanner, H., 2004. Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. *Climate dynamics*, 23(1), pp.63-78.
- Zambakas J. 1992. *General Climatology*. Department of Geology, National & Kapodistrian University of Athens: Athens, Greece.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- <http://www.tripolis.gr/>
- Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, Τεύχος Πρώτο, Αρ.Φύλλου 87, 7 Ιουνίου 2010,
<http://www.ypes.gr>
- <http://mainaloski.gr/>
- <http://www.wondergreece.gr>
- <http://www.traveltripolis.gr/>
- el.wikipedia.org
- <http://www.kalamata.gr/>
- <http://www.heraklion.gr/>
- <http://www.hersonissos.gr/>
- <http://ec.europa.eu/>
- www.hnms.gr
- www.hellenica.de
- <http://www.fao.org/>
- nefeli.lib.teicrete.gr
- http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/drought/drght_spi.html
- <http://www.ecad.eu/indicesextremes/>
- www.ipcc.ch
- <http://drinc.ewra.net/>