



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Χωρικές και Χρονικές Μεταβολές των Αναγκών
Άρδευσης της Καλλιέργειας Ελιάς στον Ν. Ηρακλείου**

Διπλωματική Εργασία

Καϊμάκης Χαράλαμπος

Τριμελής Επιτροπή

Επίκ. Καθ. Παρανυχιανάκης Νικόλαος (Επιβλέπων)

Καθ. Νικολαΐδης Νικόλαος

Δρ. Βαρουχάκης Εμμανουήλ

Αναπληρωματικό μέλος

Καθ. Καρατζάς Γεώργιος

Χανιά, Σεπτέμβριος 2018

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή Παρανυχιανάκη Νικόλαο για την συνεργασία και την πολύτιμη βοήθεια.

Επίσης τον κ. Βαρουχάκη Εμμανουήλ για την βοήθεια τόσο με το πρόγραμμα GIS όσο και με την εύρεση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία.

Στη συνέχεια στον Καθηγητή Νικολαΐδη Νικόλαο που συμμετείχε στην εξεταστική επιτροπή της εργασίας αυτής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου καθώς και τους φίλους μου για την στήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών.

Πολλά φιλιά σε αυτούς που παρ' όλο που δεν ήρθαν στη διπλωματική ξέρω ότι με σκέφτονται.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αποτυπώνονται οι αρδευτικές ανάγκες της ελιάς στο Ν. Ηρακλείου. Η εκτίμηση των αναγκών γίνεται με βάση μετεωρολογικά δεδομένα της περιόδου 1995-2005. Επίσης, σύμφωνα με στοιχεία που προκύπτουν από τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής (RCPs), εκτιμώνται οι ανάγκες σε νερό για τις περιόδους 2016-2035, 2046-2065 και 2081-2100. Σύμφωνα με τα σενάρια αυτά, οι πιθανές μεταβολές του κλίματος που μελετώνται για τη περιοχή του Ν. Ηρακλείου είναι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,5°C, 1,5°C και 2°C για τις αντίστοιχες περιόδους, σε σχέση με την περίοδο 1986-2005. Επίσης υπολογίζεται η ανάγκη σε νερό για την περίοδο 2081-2100, λαμβάνοντας ωστόσο υπόψιν τη μέγιστη δυνατή αύξηση της θερμοκρασίας που μπορεί να φτάσει τους 3,7°C.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής είναι η τροποποιημένη Blaney-Criddle. Η χωρική απεικόνιση των δεδομένων (βροχόπτωση, θερμοκρασία) και των αποτελεσμάτων (αναγκών σε νερό) για όλο το νομό γίνεται μέσω του λογισμικού ArcGIS Desktop 10.2.2 και με τη βοήθεια του εργαλείου geostatistical analyst. Το εργαλείο αυτό υπολογίζει το ποσοστό επιρροής των γειτονικών σταθμών στα σημεία που δεν υπάρχουν μετρήσεις και σε συσχέτισμό με το ύψος του κάθε σημείου και την απόστασή του από τη νότια ακτογραμμή του νησιού εξάγεται το τελικό αποτέλεσμα.

Στο τέλος παρουσιάζονται και συγκρίνονται τα δεδομένα για την περίοδο 1995-2005 καθώς και για τις περιόδους για τις οποίες έγινε εκτίμηση των αναγκών σύμφωνα με τα σενάρια των κλιματικών αλλαγών. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται μέσω διαγραμμάτων καθώς και χαρτών που δείχνουν την χωρική διασπορά αυτών.

Σημαντική είναι η μεγάλη διακύμανση που παρατηρείται τόσο στη βροχόπτωση όσο και στις ανάγκες σε νερό για το νομό. Αξιοσημείωτο είναι επίσης, το γεγονός ότι η μεταβολή των αναγκών μεταξύ του έτους με τη μεγαλύτερη ζήτηση σε αρδευτικό νερό για τη περίοδο 1996-2004 και των προβλέψεων για το χειρότερο σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας κατά την περίοδο 2081-2100 είναι πολύ μικρή.

Abstract

This diploma thesis presents the irrigation needs for olive oil trees in the Heraklion area in Crete (Greece). The estimation of water needs was based on meteorological data for the period 1995-2005. Furthermore, water needs are presented for the periods 2016-2035, 2046-2065 and 2081-2100 according to data, which are generated by the climate change scenarios (RCPs) for these periods. According to these scenarios, the possible climatic changes for the area of Heraklion, which were taken into account for this thesis, were the increase of temperature by 0.5 °C, 1.5 °C and 2 °C respectively for the examined periods. These temperatures are compared to the period 1986-2005. It is also calculated the water needs for the period 2081-2100 by taking into account the maximum possible increase in temperature that can reach 3.7 °C.

The method which is used for the calculation of evapotranspiration is called modified Blaney-Criddle. The spatial display of the data (rainfall, temperature) and of the results (olive water needs) for the entire law of Heraklion is done by ArcGIS Desktop 10.2.2 software with the help of geostatistical analyst tool. This tool calculates the percentage of influence of the neighbor stations, in the points where there are no measurements. Moreover, the final result is derived in relation to the altitude of each point and its distance from the southern coastline of the island of Crete.

Finally, the data for the period 1995-2005 and for the periods between 2016-2100 are presented and compared with each other. The results are appeared by diagrams and by maps which are showed the spatial dispersion.

It is very significant the large variation for the rainfall and water needs values in the law of Heraklion. It is also remarkable that the change in demand for irrigation water between the year with the highest needs during the period 1996-2004 and the value for the worst scenario of temperature increase in the period 2081-2100 is very small.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	9
1.1 Γενικά Στοιχεία.....	9
1.2 Επιφανειακά και υπόγεια ύδατα στην Κρήτη	10
1.3 Απαιτήσεις σε υδατικούς πόρους και χρήσεις γης στην Κρήτη	11
1.4 Κλιματικά χαρακτηριστικά.....	13
1.5 Κλιματική αλλαγή σήμερα	14
1.6 Τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής.....	17
1.7 Μελλοντικές επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής	22
Κεφάλαιο 2. Εξατμισοδιαπνοή	26
2.1 Μέθοδοι υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής	29
2.2 Ξηρασία.....	32
Κεφάλαιο 3. Χωρική παρεμβολή	33
Κεφάλαιο 4. Αντικείμενα διπλωματικής εργασίας	36
Κεφάλαιο 5. Υλικά και μέθοδοι	37
Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα	50
Κεφάλαιο 7. Συζήτηση	77
Κεφάλαιο 8. Βιβλιογραφία	83

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1: Η παγκόσμια μέση μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης σε σχέση με την περίοδο 1986-2005 (IPCC, 2014).	20
Πίνακας 2: Ημερήσια ποσοστά του ετήσιου αριθμού ωρών ημέρας (ρ) για βόρεια πλάτη από 32° μέχρι 42° (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).	38
Πίνακας 3: Μέθοδος για τον υπολογισμό της ωφέλιμης βροχόπτωσης σύμφωνα με το U.S. Bureau of Reclamation.....	41
Πίνακας 4: Ανάγκες σε νερό για την καλλιέργεια της ελιάς για το ν. Ηρακλείου για αρδευόμενη έκταση 220 km ² , σύμφωνα με τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής από τον IPCC.....	82

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1: Μέση ετήσια μεταβολή της συνδυασμένης θερμοκρασίας για την επιφάνεια της θάλασσας και της στεριάς σε παγκόσμιο επίπεδο, σε σχέση με το μέσο όρο της περιόδου 1986-2005. Τα χρώματα εκφράζουν διαφορετικά σύνολα δεδομένων (IPCC, 2014).	16
Εικόνα 2: Η παγκόσμια μέση μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης για την περίοδο 2006-2100 σε σχέση με την περίοδο 1986-2005. Η αβεβαιότητα (σκίαση) εμφανίζεται για τα σενάρια RCP2.6 (Μπλε) και RCP8.5 (κόκκινο). Οι μέσες αβεβαιότητες για την περίοδο 2081-2100 δίνονται για όλα τα σενάρια(RCP) στις χρωματιστές κάθετες γραμμές στη δεξιά πλευρά της εικόνας (IPCC, 2014).	19
Εικόνα 3: Η παγκόσμια μέση μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης σε σχέση με την περίοδο 1986-2005 για τα σενάρια RCP2.6 και RCP8.5 (IPCC, 2014). ..	20
Εικόνα 4: Η παγκόσμια μέση μεταβολή της βροχόπτωσης (%) της επιφάνειας της γης σε σχέση με την περίοδο 1986-2005 για τα σενάρια RCP2.6 και RCP8.5 (IPCC, 2014).	21
Εικόνα 5: Ημιβαριόγραμμα από το Geostatistical Analyst tool του ArcGIS.....	36
Εικόνα 6: Επιλογή μεθόδου, της κύριας μεταβλητής (Dataset) και των στοιχείων για τον συσχετισμό με την κύρια μεταβλητή (Dataset 2,3).	44
Εικόνα 7: Επιλογή τύπου Cokriging και κατανομής δεδομένων.	45
Εικόνα 8: Normal Score Transformation	45
Εικόνα 9: Semivariogram/Covariance Modeling	46
Εικόνα 10: Searching Neighborhood	47
Εικόνα 11: Cross Validation and Prediction errors	48
Εικόνα 12: Γραφική απεικόνιση των αναγκών σε νερό για την καλλιέργεια της ελιάς στο Ν. Ηρακλείου κατά την περίοδο 1996-2004, όπως διαμορφώθηκαν από το ArcGIS Desktop μέσω του Geostatistical Analyst.	49
Εικόνα 13: Μέση ωφέλιμη και κανονική βροχόπτωση για κάθε μήνα του έτους από το Σεπτέμβριο του 1995 μέχρι τον Αύγουστο του 2007 για τους σταθμούς του Ν. Ηρακλείου.....	51

Εικόνα 14: Μέση ετήσια αρχική και ωφέλιμη βροχόπτωση για το Ν. Ηρακλείου από το 1996 μέχρι και το 2006. Ο μέσος όρος έχει ληφθεί από 29 σταθμούς.....	52
Εικόνα 15: Διακύμανση της ετήσιας βροχόπτωσης για την περίοδο 1996 – 2006. ...	53
Εικόνα 16: Διακύμανση της μηνιαίας βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του πιο υγρού έτους (2002) για την χρονική περίοδο που μελετήθηκε για το Ν. Ηρακλείου.	54
Εικόνα 17: Διακύμανση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του πιο ξηρού έτους (1999) για την χρονική περίοδο που μελετήθηκε για το Ν. Ηρακλείου, και σύγκριση με τη μέση βροχόπτωση για το έτος 2002 (υγρότερο).	55
Εικόνα 18: Μέση ετήσια θερμοκρασία για το Ν. Ηρακλείου από το 1996 μέχρι το 2004.	56
Εικόνα 19: Μέση μηνιαία θερμοκρασία για την περίοδο από το Σεπτέμβριο του 1995 μέχρι τον Αύγουστο του 2005. Με πράσινο σημειώνεται ο μήνας με τη χαμηλότερη θερμοκρασία ενώ με κόκκινο με την υψηλότερη.	57
Εικόνα 20: Μηνιαία διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας για το πιο ζεστό έτος (2001) στο Ν. Ηρακλείου για την περίοδο 1996-2004.	58
Εικόνα 21: Μηνιαία διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας για το πιο ψυχρό έτος (1996) στο Ν. Ηρακλείου για την περίοδο 1996-2004 και σύγκριση με τη μέση θερμοκρασία για το 2001 (πιο ζεστό έτος).	59
Εικόνα 22: Διακύμανση των αναγκών της ελιάς σε νερό από το 1996 μέχρι το 2004 στο Ν. Ηρακλείου.....	60
Εικόνα 23: Μέση μηνιαία ανάγκη σε νερό για τους ελαιώνες από το Σεπτέμβριο του 1995 μέχρι τον Αύγουστο του 2005.	61
Εικόνα 24: Μηνιαία διακύμανση των μέσων αναγκών σε νερό για ελαιώνες, για το έτος με τη μεγαλύτερη ζήτηση σε νερό (1999) στο Ν. Ηρακλείου για την περίοδο 1996-2004.	62
Εικόνα 25: Μηνιαία διακύμανση των μέσων αναγκών σε νερό για ελαιώνες, για το έτος με τη μικρότερη ζήτηση σε νερό (2002) στο Ν. Ηρακλείου για την περίοδο 1996-2004 και σύγκριση με τις ανάγκες για το έτος με τη μεγαλύτερη ζήτηση (1999).	63
Εικόνα 26: Ανάγκες σε νερό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες για το Ν. Ηρακλείου. .	64
Εικόνα 27: Χωρική διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας για το Ν. Ηρακλείου κατά την περίοδο 1996-2004.	65

Εικόνα 28: Χωρική μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας για το δεύτερο θερμότερο έτος της περιόδου 1996-2004 (1999).....	66
Εικόνα 29: Διακύμανση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για το Ν. Ηρακλείου κατά την περίοδο 1996-2004.	67
Εικόνα 30:Χωρική διακύμανση της ετήσιας βροχόπτωσης στο Ν. Ηρακλείου για το έτος 1999 (ξηρότερο έτος για την περίοδο που εξετάζεται).	68
Εικόνα 31: Χωρική διακύμανση των αναγκών της ελιάς σε νερό για την περίοδο α) 1996-2004, β) 2016-2035 με εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,5°C, γ) 2046-2065 για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,5°C, δ) 2081-2100 για αύξηση κατά 2°C και ε) 2081-2100 με αύξηση κατά 3,7°C σύμφωνα με το σενάριοRCP 8,5.	70
Εικόνα 32: Απεικόνιση των αναγκών σε νερό της ελιάς κατά την περίοδο 1996-2004, του υψομέτρου στο Ν. Ηρακλείου και των σταθμών από τους οποίους συλλέχθηκαν τα δεδομένα.....	72
Εικόνα 33: Χωρική απεικόνιση των αναγκών της ελιάς σε νερό για το έτος με τη μεγαλύτερη ζήτηση για την περίοδο 1996-2004 (1999).....	73
Εικόνα 34: Διακύμανση των αναγκών της ελιάς σε νερό για το Ν. Ηρακλείου για το έτος με τη μικρότερη ζήτηση για την περίοδο 1996-2004 (2002).	74
Εικόνα 35: Απεικόνιση των αναγκών σε νερό της ελιάς κατά την περίοδο του καλοκαιριού (Ιούνιος-Αύγουστος) από το 1996-2004.	75
Εικόνα 36: Διακύμανση των αναγκών της ελιάς σε νερό για το Ν. Ηρακλείου για το καλοκαίρι του έτους 2003 (καλοκαίρι με τις μεγαλύτερες ανάγκες).	76

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά Στοιχεία

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το πέμπτο σε έκταση της Μεσογείου, με συνολική έκταση 8.336 km² και μέσο υψόμετρο 460 m. Εκτείνεται σε μήκος 260 χιλιομέτρων περίπου και έχει ακτές οι οποίες έχουν μήκος που φτάνει τα 1.065 χιλιόμετρα. Το νησί διαθέτει έντονο ανάγλυφο και τέσσερα μεγάλα ορεινά συγκροτήματα, τα οποία καταλαμβάνουν περίπου το ένα τέταρτο της συνολικής έκτασης του νησιού.

Στα δυτικά βρίσκονται τα Λευκά Όρη, με τουλάχιστον 20 κορυφές που ξεπερνούν τα 2.200 m. Στο κεντρικό μέρος της εκτείνεται ο Ψηλορείτης ή Ίδη, που είναι και το ψηλότερο ορεινό συγκρότημα του νησιού. Στο νότιο τμήμα του Ν. Ηράκλειου βρίσκονται τα Αστερούσια όρη με ύψος 1231 m. Ανατολικά του όρους Ψηλορείτη βρίσκεται το όρος Δίκτη ή Λασιθιώτικα Βουνά με υψόμετρο 2.148 m, ενώ, τέλος, ακόμη πιο ανατολικά εκτείνονται τα Όρη της Θρυπτής ή Όρη της Σητείας, με υψόμετρο 1.476 m. Η έκταση που καλύπτουν τα βουνά της Κρήτης ανέρχεται στο 52 % της συνολικής της έκτασης, σε αντιδιαστολή με τις πεδινές εκτάσεις, που καλύπτουν μόλις το 3,6 %.

Ανάμεσα στους ορεινούς όγκους του νησιού σχηματίζονται πολλά οροπέδια, περίπου 25, που επίσης συνιστούν ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της Κρήτης. Τα πιο μεγάλα από αυτά είναι το οροπέδιο του Λασιθίου, στο όρος Δίκτη σε υψόμετρο 850 m, που συνιστά και τη μεγαλύτερη επίπεδη έκταση στο νησί, το οροπέδιο του Ομαλού, στα Λευκά Όρη σε υψόμετρο 700 m, το οροπέδιο Ασκύφου και, τέλος, η Νίδα στον Ψηλορείτη σε υψόμετρο 1.400 m. Τα περισσότερα από αυτά συγκεντρώνουν μεγάλες ποσότητες νερού, που απορρέουν από τα γύρω βουνά.

Η Κρήτη αποτελείται από τέσσερις περιφερειακές ενότητες. Ξεκινώντας από τα δυτικά προς τα ανατολικά βρίσκεται η ενότητα των Χανίων, του Ρεθύμνου, του Ηρακλείου και του Λασιθίου. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 η Κρήτη έχει

περίπου 623.000 μόνιμο πληθυσμό. Η περιφερειακή ενότητα Ηρακλείου είναι η μεγαλύτερη στο νησί, με έκταση 2.641 km² και πληθυσμό περίπου 305.000 κατοίκους.

1.2 Επιφανειακά και υπόγεια ύδατα στην Κρήτη

Το 45-50% της έκτασης της Κρήτης καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα τα οποία βρίσκονται και στους τέσσερις σημαντικότερους ορεινούς όγκους του νησιού, που αποτελούν και τους κύριους υδροσυλλέκτες του. Τα ανθρακικά πετρώματα είναι υδροπερατά και σε συνδυασμό με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται στην Κρήτη (ρήγματα, ασυνέχειες κ.α.), οδηγούν σε μεγάλη κατείσδυση του νερού της βροχής προς τον υπόγειο υδροφόρα.

Τα λιμναία συστήματα της Κρήτης είναι περιορισμένα με μοναδική φυσική λίμνη αυτή του Κουρνά στη δυτική πλευρά του νησιού. Επίσης, υπάρχουν και μερικές τεχνητές λίμνες (π.χ. Αγυιάς), και κάποιοι ταμιευτήρες που έχουν κατασκευαστεί τα τελευταία χρόνια. Στο νησί υπάρχουν ακόμη και αρκετοί υγρότοποι με ελώδεις εκτάσεις που απαντώνται συνήθως κοντά σε ρεματιές, γύρω από παραθαλάσσιες πηγές είτε στις εκβολές ποταμών κοντά στις ακτές.

Η Κρήτη λόγω του μικρού της πλάτους της και των ανθρακικών πετρωμάτων δε διαθέτει μεγάλα ποτάμια. Τα περισσότερα από αυτά είναι εποχικά και το καλοκαίρι είναι τελείως ξηρά. Δέκα από τα ποτάμια της διαθέτουν νερό σε όλη τη διάρκεια του έτους κι αυτά συνήθως ξεκινούν από κάποια πηγή. Τα πιο μεγάλα ποτάμια του νησιού είναι ο Γεροπόταμος και ο Αναποδιάρης στην περιοχή της Μεσαράς, οι ποταμοί Τυφλός και ο Κολένης στην πεδιάδα των Χανίων, καθώς επίσης και οι Κοιλιάρης και Κουρταλιώτης στο Ν. Χανίων και Ρεθύμνου αντίστοιχα.

Το νησί δέχεται κατά μέσο όρο 7.500 Mm³ κατακρημνισμάτων το χρόνο, από τα οποία τα 5.000 Mm³ (67%) χάνονται λόγω εξάτμισης. Περίπου 2.000 Mm³ (28%) κατεισδύουν στο έδαφος εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφόρους και τέλος, περίπου (1.800 Mm³) κατεισδύουν στις καρστικές υδρογεωλογικές ενότητες, κυρίως

στους ορεινούς όγκους του Ψηλορείτη, των Λευκών Ορέων, της Δίκτης και δευτερευόντως στις καρστικές ενότητες της Σητείας, όπου εντοπίζονται μεγάλοι σε έκταση ασβεστολιθικοί σχηματισμοί. Τα υπόλοιπα (400Mm^3) κατεισδύουν στις νεογενείς και άλλες υδροφορίες. Το συνολικό υδατικό δυναμικό που δύναται να αξιοποιηθεί (γεωτρήσεις, φράγματα, υδρομαστεύσεις κ.α.) ανέρχεται σε 857Mm^3 περίπου, ενώ σε αυτό δεν περιλαμβάνονται οι τρεις μεγάλες υφάλμυρες καρστικές πηγές της Κρήτης. Πάνω από το 60% του νερού αυτού δεν χρησιμοποιείται διότι προέρχεται από χειμερινές παροχές πηγών και από επιφανειακή απορροή. Η συνολική απορροή που διακινείται ετησίως επιφανειακά από τα κυριότερα υδατορεύματα του νησιού ανέρχεται σε $500\text{Mm}^3/\text{yr}$ περίπου (Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13), 2015). Από τα ετήσια κατακρημνίσματα στις πεδιάδες το 65% χάνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής (ΕΤ), το 21% μέσω επιφανειακών απορροών καταλήγει στη θάλασσα, και το 14% εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς (Chartzoulakis et al., 2001).

1.3 Απαιτήσεις σε υδατικούς πόρους και χρήσεις γης στην Κρήτη

Το 7% της ολικής αρδευόμενης γης στην Ελλάδα βρίσκεται στην Κρήτη (Angelakis, Diamadopoulos, 1995). Η καλλιεργήσιμη έκταση στο νησί εκτιμάται σε 3.205km^2 (Tsanis et al., 2003), ενώ στο Ηράκλειο βρίσκεται το 47% (1.506km^2) αυτής (ΕΣΥΕ 2008). Οι δενδρώδεις καλλιέργειες στο νησί έχουν έκταση 2.000km^2 . Οι ελαιώνες καταλαμβάνουν το 89% (1.780km^2) των δενδρωδών καλλιεργειών και το 21% της συνολικής έκτασης του νησιού. Επίσης, στο νησί της Κρήτης τα ελαιόδεντρα καταλαμβάνουν το 65% της συνολικής καλλιεργούμενης έκτασης και αριθμούν περί τα 33.000.000 δέντρα, ενώ σύμφωνα με την ελληνική στατιστική υπηρεσία το 2007 ο αριθμός των δέντρων έφθαναν τα 27.458.517. Στο Ν. Ηρακλείου η έκταση της ελαιοκαλλιέργειας φτάνει τα 900km^2 με περίπου 15.000.000 δέντρα, καταλαμβάνοντας το 34% της έκτασης του νομού. Εκτός από αυτές την καλλιέργεια ελιάς υπάρχουν και εσπεριδοειδή, αμπέλια, αμύγδαλα, αβοκάντο, λαχανικά κ.α.

Το 1991 η αρδευόμενη έκταση ήταν 790 km², δηλαδή περίπου το 26% της καλλιεργήσιμης έκτασης του νησιού. Οι δενδρώδεις καλλιέργειες καλύπτουν το 64% των συνολικών αρδευόμενων εκτάσεων στην Κρήτη, ενώ τα αμπέλια το 12%. Στο Ν. Ηρακλείου βρίσκεται το 38% των αρδευόμενων εκτάσεων με δέντρα, το 89% με αμπέλια, το 43% με λαχανικά και το 43% με αροτραίες καλλιέργειες.

Η μέση ετήσια διαθεσιμότητα επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων ανέρχεται σε περίπου 2860 Mm³ νερού. Η ζήτηση ανέρχεται σε 515 Mm³, ενώ η πραγματική κατανάλωση για το έτος 2000 ανερχόταν σε 372 Mm³. Ωστόσο, η ιδιαίτερη γεωμορφολογία του Νησιού και οι κλιματολογικές συνθήκες μετατρέπουν το πλεόνασμα σε αρκετά μικρότερο. Αυτό συμβαίνει λόγω της έντονης διακύμανσης της προσφοράς ανάλογα με την εποχή, και λόγω της χωρικής ανισοκατανομής των υδατικών πόρων. Η ιδιαιτερότητα αυτή οδηγεί σε αδυναμία κάλυψης της υφιστάμενης ζήτησης κατά τόπους, παρόλη την φαινομενική επάρκεια σε υδατικούς πόρους. Ενδεικτικό των ιδιαιτεροτήτων της Κρήτης είναι το γεγονός ότι οι τρεις μεγάλες υφάλμυρες καρστικές πηγές της νήσου (Αλμυρός Γεωργιούπολης, Αλμυρός Ηρακλείου και Αλμυρός Αγίου Νικολάου) εκφορτίζουν σε μέση ετήσια βάση περίπου 450 Mm³, δηλαδή το 15,7% της συνολικής προσφοράς νερού. (Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13), 2015)

Το διαθέσιμο νερό στην Κρήτη χρησιμοποιείται κατά 84,5% (439 Mm³/έτος) για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, το 12% (65Mm³/έτος) για οικιακή χρήση (ύδρευση) και το υπόλοιπο 3,5% για διάφορες άλλες χρήσεις (Chartzoulakis et al., 2001).

Σε ετήσια βάση η ζήτηση σε αρδευτικό νερό υπολογίζεται σε 362±135 Mm³/έτος για την να κάλυψη των αρδευόμενων εκτάσεων (526,097 km²) (Tsanis, Naoum, 2003). Από αυτά, τα περίπου 300 Mm³αφορούν καλλιέργειες που αρδεύονται με υπόγεια νερά (γεωτρήσεις) και ένα μικρό ποσοστό προέρχεται από επιφανειακά ύδατα. (Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13), 2015)

Για το Ν. Ηρακλείου οι αρδευτικές ανάγκες είναι περίπου 134,2 Mm³/έτος για αρδευόμενη περιοχή έκτασης 220,542 km². Οι αρδευτικές ανάγκες του Ν. Ηρακλείου είναι οι μεγαλύτερες στο νησί, κατέχοντας και τη μεγαλύτερη

αρδευόμενη έκταση σε σχέση με τους υπόλοιπους νομούς. Η ζήτηση για τους Ν. Χανίων, Ρεθύμνου και Λασιθίου είναι αντίστοιχα 65,8 Mm³/έτος, 34,1 Mm³/έτος, και 85,9 Mm³/έτος, ενώ οι αρδευόμενες εκτάσεις είναι 112.097 km², 56.091 km² και 137.367 km² αντίστοιχα.

Η ετήσια ζήτηση νερού ύδρευσης για τους μόνιμους κατοίκους του νησιού αλλά και για τους επισκέπτες ανέρχεται σε 65 Mm³/έτος. Στο Ν. Ηρακλείου η ζήτηση ανέρχεται στα 30,2 Mm³/έτος, στο Ν. Χανίων στα 17,5 Mm³/έτος, στο Ν. Ρεθύμνου στα 8,4 Mm³/έτος και στο Ν. Λασιθίου στα 9,3 Mm³/έτος. (Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13), 2015)

Η μέγιστη ζήτηση για άρδευση όπως είναι λογικό είναι κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και συγκεκριμένα το μήνα Ιούλιο. Την ίδια περίοδο ωστόσο, οι ανάγκες για ύδρευση αυξάνονται κατακόρυφα λόγω της αιχμής που παρατηρείται στην άφιξη τουριστών.

1.4 Κλιματικά χαρακτηριστικά

Ο τύπος κλίματος της Κρήτης, είναι ένας ενδιάμεσος τύπος μεταξύ του χερσαίου Μεσογειακού και του ερημοειδούς Μεσογειακού, στο οποίο υπάγεται κυρίως η νοτιοανατολική Κρήτη. Ωστόσο, λόγω της μεγάλης ποικιλίας στη μορφολογία της υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από τα πεδινά προς τα ορεινά.

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

αποκλίσεις, μέση ετήσια θερμοκρασία 2-3°C χαμηλότερη από την πεδινή ζώνη (Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13), 2015).

Εκτιμάται ότι το ένα τρίτο των κατακρημνισμάτων λαμβάνουν χώρα στη βόρεια ακτή και πιο συγκεκριμένα στους τρεις κύριους ορεινούς όγκους των Λευκών Ορέων, της Ίδης και της Δίκτης. Το μέσο ετήσιο ύψος των κατακρημνισμάτων στο νησί εκτιμάται σε 900 mm. Η μέση ετήσια βροχόπτωση μεταβάλλεται από 300 έως 700 mm στις περιοχές με χαμηλό υψόμετρο και στις παράκτιες περιοχές (Ιεράπετρα 312 mm, Χανιά 665 mm) (Vasilaki et al., 2008), σε πεδιάδες της ενδοχώρας κυμαίνεται από 700 μέχρι 1000 mm ενώ σε ορεινές περιοχές η βροχόπτωση φτάνει τα 2000 mm. Για το νομό του Ηρακλείου η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 750 mm (Chartzoulakis et al., 2001).

Στην Κρήτη το 53% περίπου των ετήσιων βροχοπτώσεων σημειώνονται το χειμώνα, το 23% το φθινόπωρο και το 20% την άνοιξη. Αντίθετα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρούνται αμελητέες βροχοπτώσεις (Naoum and Tsanis, 2004). Η μέση μηνιαία βροχόπτωση είναι μέγιστη το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Το 25% περίπου της ετήσιας βροχόπτωσης λαμβάνει χώρα στους περισσότερους σταθμούς της Κρήτης στη διάρκεια του υγρότερου μήνα ενώ ο μέσος αριθμός ημερών βροχής στην Κρήτη ανέρχεται σε 90 περίπου ημέρες (25% του έτους) (Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13), 2015).

1.5 Κλιματική αλλαγή σήμερα

Το κλίμα της Γης διαχρονικά παρουσίαζε σημαντικές μεταβολές. Όταν όμως αναφερόμαστε στην «κλιματική αλλαγή», δεν εννοούμε τη φυσική μεταβολή του κλίματος αλλά τις μεταβολές που παρατηρούνται στο κλίμα του πλανήτη και σχετίζονται με την αύξηση στη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα.

Στη σύμβαση πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC), η κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια (United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nation, 1997).

Πολλές από τις παρατηρούμενες αλλαγές από τη δεκαετία του 1950 και μετά είναι πρωτόγνωρες για το κλιματικό σύστημα εδώ και δεκάδες έως χιλιάδες χρόνια. Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και των ωκεανών έχει αυξηθεί, η ποσότητα του χιονιού και του πάγου έχει μειωθεί και η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί.

Κάθε μία από τις τρεις τελευταίες δεκαετίες ήταν διαδοχικά θερμότερη για την επιφάνεια της Γης από οποιαδήποτε προηγούμενη δεκαετία από το 1850. Η περίοδος 1983-1991 είναι πιθανότατα η θερμότερη τριακονταετία των τελευταίων 800 χρόνων για το βόρειο ημισφαίριο (IPCC, 2014).

Ωστόσο έρευνες των τελευταίων ετών σχετικά με την αλλαγή του κλίματος έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι το κλίμα, καθ' όλη την ιστορία της Γης, αλλάζει ακανόνιστα σε όλες τις χρονικές περιόδους (Koutsoyannis, 2003). Επίσης, μία πρόσφατη μελέτη (Przybylak, 2000) έδειξε ότι από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, η ετήσια θερμοκρασία δεν παρουσιάζει σαφή τάση, ενώ το επίπεδο θερμοκρασίας στη Γροιλανδία τα τελευταία 10-20 χρόνια είναι παρόμοιο με αυτό που καταγράφηκε τον 19ο αιώνα.

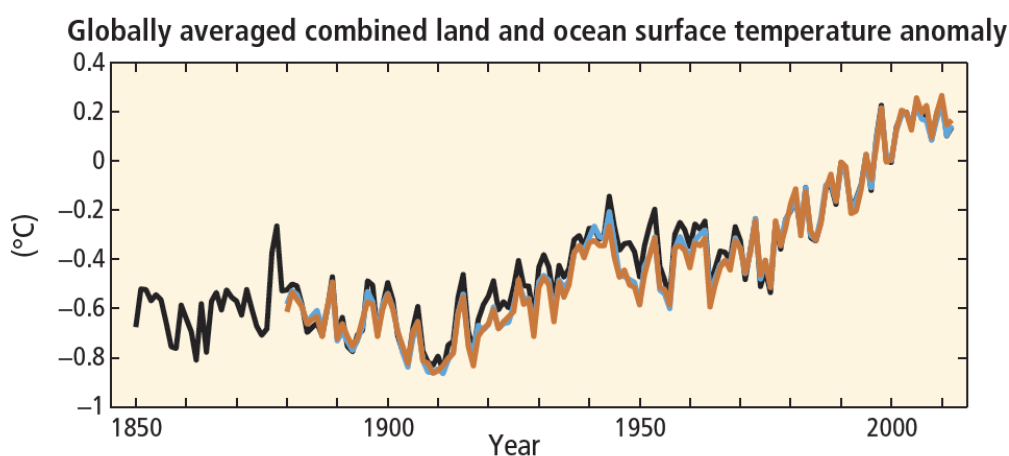
Σύμφωνα με την έρευνα των Stott et al. (2000), τόσο οι φυσικοί όσο και οι ανθρωπογενείς παράγοντες συνέβαλαν σημαντικά στις μεταβολές της θερμοκρασίας του 20ου αιώνα. Η αδυναμία στη διάκριση μεταξύ της συνεισφοράς των δύο αυτών δυνάμεων στην παρατηρούμενη κλιματική αλλαγή είναι ένας πολύ σημαντικός περιοριστικός παράγοντας στον προσδιορισμό της κλιματικής αλλαγής (Barnett et al., 1999).

Εκτός από τη δυσκολία που υπάρχει στον προσδιορισμό της κλιματικής αλλαγής, είναι επίσης πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί η διαχρονική μεταβλητότητα του κλίματος με τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται, ενώ μέχρι στιγμής κανένα μοντέλο δεν συμφωνεί με την παρατηρούμενη συμπεριφορά στις περιοχές των τροπικών

ωκεανών (Davey et al., 2002). Η αβεβαιότητα της μεταβλητότητας του κλίματος αυξάνεται όταν η έρευνα κινείται από κλιματικές μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία (η βασική μεταβλητή για τις περισσότερες από τις μελέτες που αναφέρθηκαν παραπάνω), σε υδρολογικές μεταβλητές, όπως η βροχόπτωση και η απορροή (Koutsoyannis, 2003).

Είναι δύσκολο λοιπόν να ισχυριστεί κανείς ότι η παρατηρούμενη μεταβολή στις τιμές της θερμοκρασίας και άλλων κλιματικών παραγόντων είναι ένα πρωτόγνωρο φαινόμενο και ότι θα συνεχιστεί με αυξητικούς ρυθμούς για τους επόμενους αιώνες.

Όσον αφορά τις μετρήσεις, δείχνουν πως η παγκόσμια μέση συνδυασμένη θερμοκρασία εδάφους και επιφάνειας των ωκεανών αυξάνεται κατά $0,85^{\circ}\text{C}$ ($0,65 - 1,06^{\circ}\text{C}$) κατά την περίοδο 1880-2012 όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1 (IPCC, 2014). Η συνολική αύξηση μεταξύ των περιόδων 1850-1900 και 2003-2012 είναι $0,78^{\circ}\text{C}$ ($0,72 - 0,85^{\circ}\text{C}$).



Εικόνα 1: Μέση ετήσια μεταβολή της συνδυασμένης θερμοκρασίας για την επιφάνεια της θάλασσας και της στεριάς σε παγκόσμιο επίπεδο, σε σχέση με το μέσο όρο της περιόδου 1986-2005. Τα χρώματα εκφράζουν διαφορετικά σύνολα δεδομένων (IPCC, 2014).

Η αύξηση της θερμοκρασίας στους ωκεανούς είναι πολύ βασικός παράγοντας για την αύξηση της ενέργειας που έχει αποθηκευτεί στο σύστημα, αντιπροσωπεύοντας περισσότερο από το 90% της ενέργειας που συσσωρεύτηκε μεταξύ του 1971 και του 2010. Περίπου 1% της ενέργειας αυτής είναι αποθηκευμένη στην ατμόσφαιρα.

Στις ευρωμεσογειακές περιοχές, όπως το νησί της Κρήτης, η ένταση των φαινομένων της ξηρασίας έχει αυξηθεί τα τελευταία 50 χρόνια ως συνέπεια της μεγαλύτερης ατμοσφαιρικής ζήτησης λόγω εξάτμισης που προκύπτει από την άνοδο της θερμοκρασίας (Vicente-Serrano et al., 2014).

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η έκταση που καλύπτεται με πάγους στη Γροιλανδία και στην Ανταρκτική έχει μειωθεί σημαντικά. Οι παγετώνες συνεχίζουν να συρρικνώνονται σε όλο σχεδόν τον πλανήτη, και παράλληλα η χιονοκάλυψη την άνοιξη στο βόρειο ημισφαίριο συνεχίζει να μειώνεται σε έκταση (Koutsoyannis, 2003).

Κατά την περίοδο 1901-2010, η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας αυξήθηκε κατά 0,19m (0,17 έως 0,21 m). Ο ρυθμός αύξησης της στάθμης της θάλασσας από τα μέσα του 19ου αιώνα ήταν μεγαλύτερος από τον μέσο ρυθμό κατά τις προηγούμενες δύο χιλιετίες (IPCC, 2014).

Πολλά από τα προβλήματα με τα οποία έρχεται αντιμέτωπος ο άνθρωπος έχουν αποδοθεί στην κλιματική αλλαγή, άλλα σε μεγαλύτερο και άλλα σε μικρότερο βαθμό. Τα προβλήματα αυτά σχετίζονται με την παραγωγή τροφής, με την υγεία και με την οικονομία στις ανθρώπινες κοινωνίες (IPCC, 2014).

1.6 Τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής

Οι συνεχιζόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκτιμάται ότι θα προκαλέσουν περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας και μακροχρόνιες αλλαγές σε όλες τις πτυχώσεις του κλίματος, αυξάνοντας τις πιθανότητες για μία σοβαρή και μη αναστρέψιμη κατάσταση τόσο για το φυσικό περιβάλλον όσο και για τον άνθρωπο.

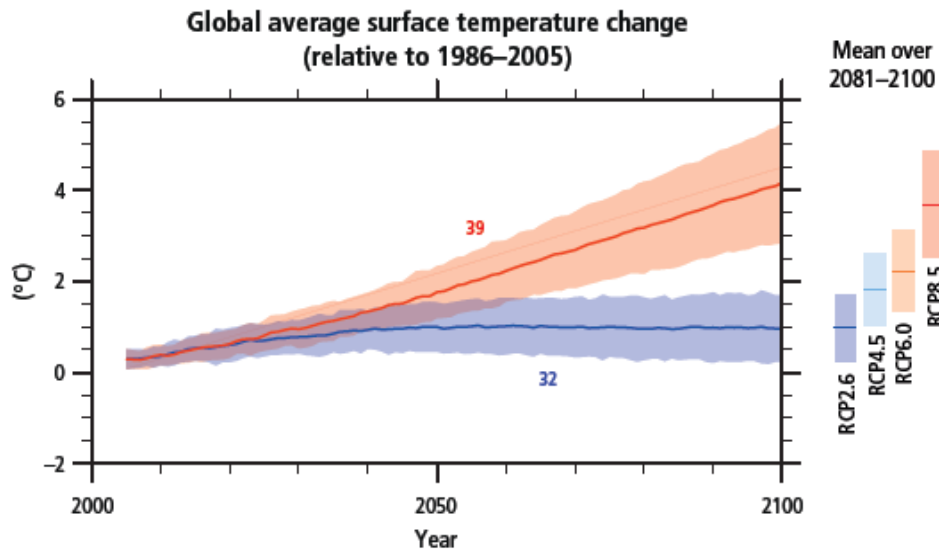
Για την καλύτερη εκτίμηση του μεγέθους της κλιματικής αλλαγής σε βάθος χρόνου αλλά και για την έγκαιρη λήψη μέτρων, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), στην πέμπτη έκθεση αξιολόγησης το 2014, πρότεινε σενάρια που προσομοιώνουν τη λειτουργία του κλίματος ως σύστημα. Τα σενάρια αυτά ονομάζονται Αντιπροσωπευτικές

Πορείες Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways, RCPs) και χρησιμοποιούν αναβαθμισμένα ολοκληρωμένα μοντέλα εκτίμησης. Τα σενάρια περιγράφουν τέσσερις διαφορετικές πορείες για τον 21ο αιώνα για τα αέρια του θερμοκηπίου και περιλαμβάνουν πληροφορίες για τις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις, για τις εκπομπές ρύπων, για τις χρήσεις γης, και για τις κοινωνικές και οικονομικές καταστάσεις (IPCC, 2014).

Τα σενάρια αυτά παρουσιάζονται με τις κωδικές ονομασίες RCP2.6, RCP4.5, RCP6, και RCP8.5 και περιλαμβάνουν ένα σενάριο μετριασμού (RCP2.6), δύο ενδιάμεσα σενάρια (RCP4.5, RCP6) και ένα σενάριο με πολύ υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (RCP8.5). Η ονομασία του κάθε σεναρίου καθορίστηκε από την εκτιμώμενη μεταβολή της επιβαλλόμενης ακτινοβολίας (radiative forcing) μεταξύ της προ- βιομηχανικής περιόδου και του έτους 2100, με τιμές +2.6, +4.5, +6.0 και +8.5 W/m² αντίστοιχα (IPCC, 2014).

Θεωρείται βέβαιο ότι θα υπάρξουν περίοδοι όπου θα παρατηρούνται πιο συχνά υψηλές θερμοκρασίες και λιγότερο ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες στις περισσότερες περιοχές της γης, σε ημερήσια και εποχιακή βάση. Επίσης, θεωρείται πιθανό ότι κύματα υψηλών θερμοκρασιών θα εμφανισθούν με μεγαλύτερη συχνότητα και διάρκεια. Ωστόσο, θα εξακολουθούν να λαμβάνουν χώρα περιστασιακά χειμώνες όπου θα επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες (IPCC, 2014).

Η μεταβολή της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης για την περίοδο 2016-2035 σε σχέση με την περίοδο 1986-2005 είναι παρόμοια και για τα τέσσερα σενάρια (RCP) και εκτιμάται ότι θα κυμαίνεται μεταξύ 0,3 °C και 0,7 °C. Σε σχέση με την περίοδο (1986-2005) η παγκόσμια μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης για το τέλος του 21ου αιώνα (2081-2100) αναμένεται να υπερβεί τον 1,5 °C για τα σενάρια RCP4.5, RCP6.0 και RCP8.5 (Εικόνα 2).

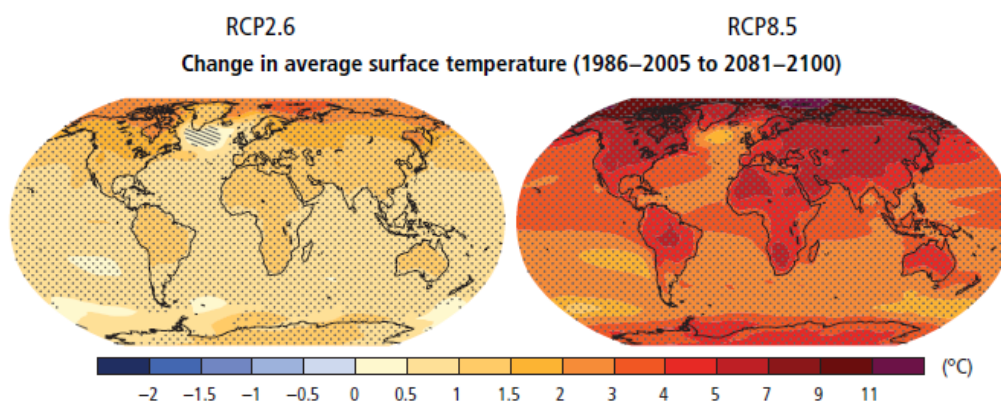


Εικόνα 2: Η παγκόσμια μέση μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης για την περίοδο 2006-2100 σε σχέση με την περίοδο 1986-2005. Η αβεβαιότητα (σκίαση) εμφανίζεται για τα σενάρια RCP2.6 (Μπλε) και RCP8.5 (κόκκινο). Οι μέσες αβεβαιότητες για την περίοδο 2081-2100 δίνονται για όλα τα σενάρια (RCP) στις χρωματιστές κάθετες γραμμές στη δεξιά πλευρά της εικόνας (IPCC, 2014).

Για τα σενάρια RCP6.0 και RCP8.5 είναι πιθανό η μεταβολή να υπερβεί τους 2 °C, ενώ θεωρείται απίθανο αυτό να συμβεί για το RCP2.6. Αναλυτικότερα η αύξηση θα κυμαίνεται από 0,3 °C έως 1,7 °C για το RCP2.6, από 1,1 °C έως 2,6 °C για το RCP4.5, από 1,4 °C έως 3,1 °C για το RCP6.0 και από 2,6 °C έως 4,8 °C για το RCP8.5 όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3 και στον Πίνακας 1 (IPCC, 2014). Για την περίοδο 2046-2065 η μέση αύξηση της θερμοκρασίας με βάση και τα τέσσερα σενάρια θα είναι 1,4 °C.

Πίνακας 1: Η παγκόσμια μέση μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης σε σχέση με την περίοδο 1986-2005 (IPCC, 2014).

		2046-2065		2081-2100	
	Σενάριο	Μέσος όρος	Εύρος	Μέσος όρος	Εύρος
Παγκόσμια μέση αλλαγή της Θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης (°C)	RCP2.6	1.0	0.4 to 1.6	1.0	0.3 to 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 to 2.0	1.85	1.1 to 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 to 1.8	2.2	1.4 to 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 to 2.6	3.7	2.6 to 4.8



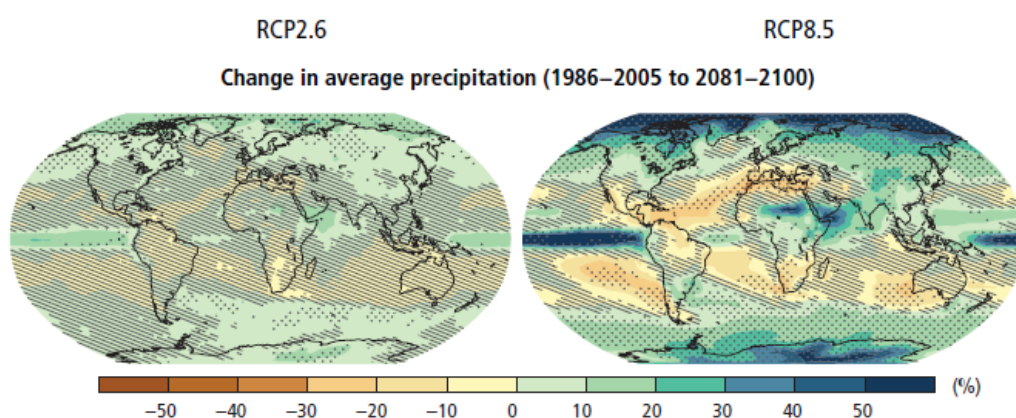
Εικόνα 3: Η παγκόσμια μέση μεταβολή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης σε σχέση με την περίοδο 1986-2005 για τα σενάρια RCP2.6 και RCP8.5 (IPCC, 2014).

Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C θεωρείται ως ένα κρίσιμο όριο. Η αύξηση της θερμοκρασίας πέραν του ορίου αυτού εκτιμάται υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ακραίων γεγονότων (Smith et al., 2001). Σύμφωνα με τη μελέτη των Vautard et al.

(2014), η αύξηση της θερμοκρασίας στην Ευρώπη αναμένεται να είναι υψηλότερη από τον παγκόσμιο μέσο όρο των 2°C.

Υπάρχει 95% βεβαιότητα πως η άνοδος του μέσης θερμοκρασίας κατά μήκος της Μεσογείου θα είναι μεταξύ 1,8 και 2,2°C. Λόγω της ιδιαιτερότητας της περιοχής, η μέση αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι μεταξύ 1-2 °C (± 0.15) κατά μήκος των ακτών και 2-3 °C (± 0.25) στην ενδοχώρα (Giannakopoulos et al., 2009).

Οι αλλαγές, όσον αφορά τη βροχόπτωση, δεν θα είναι ομοιόμορφες σε όλο τον πλανήτη. Σε πολλές περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους και σε υποτροπικές ξηρές περιοχές, όπως η Κρήτη, η μέση βροχόπτωση πιθανότατα θα μειωθεί. Αντίθετα σε πολλές υγρές περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους η μέση βροχόπτωση είναι πιθανό να αυξηθεί με βάση το σενάριο RCP8.5 όπως φαίνεται στην Εικόνα 4 (IPCC, 2014).



Εικόνα 4: Η παγκόσμια μέση μεταβολή της βροχόπτωσης (%) της επιφάνειας της γης σε σχέση με την περίοδο 1986-2005 για τα σενάρια RCP2.6 και RCP8.5 (IPCC, 2014).

Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, οι χειμερινές χιονοπτώσεις μετατρέπονται σε βροχές, οδηγώντας σε αλλαγή της ποσότητας του χιονιού, καθώς και της περιόδου κατά την οποία οι κορυφές των βουνών σε ηπειρωτικές και ορεινές περιοχές είναι καλυμμένες με χιόνι. Οι ανοιξιάτικες χιονοπτώσεις μετατοπίζονται νωρίτερα κατά τη διάρκεια του έτους ή εξαλείφονται. Καθώς οι παγετώνες υποχωρούν λόγω της

θέρμανσης, οι ροές των ποταμών αυξάνονται βραχυπρόθεσμα, αλλά θα μειωθούν τελικά όταν οι παγετώνες εξαφανιστούν. Περισσότεροι από ένα δισεκατομμύριο άνθρωποι κατοικούν σε λεκάνες απορροής, στις οποίες συγκεντρώνεται το νερό από το λιώσιμο των πάγων και του χιονιού από μεγάλες οροσειρές. Οι μεταβολές στην περίοδο ροής των ποταμών στις περιοχές αυτές (μείωση των χαμηλών ροών το καλοκαίρι και το φθινόπωρο) μπορεί να έχει μεγάλες επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων (Barnett et al., 2005, Vergara et al., 2007)

Για την περιοχή της Μεσογείου σύμφωνα με διάφορα μοντέλα προβλέπεται η μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης κατά 10-20% (40-80 mm) κατά την περίοδο 2030-2060. Επίσης σημειώνεται αύξηση στον αριθμό των καλοκαιρινών ημερών που επικρατούν κατά τη διάρκεια ενός έτους κατά 7-10 ημέρες (Giannakopoulos C., et al., 2009).

Η αύξηση της θερμοκρασίας θα συνεχιστεί και μετά το 2100 σύμφωνα με όλα τα σενάρια RCP, εκτός από το RCP2.6. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια θα παραμείνει σταθερή σε υψηλά επίπεδα για πολλούς αιώνες μετά την πλήρη παύση των ανθρωπογενών εκπομπών CO₂. Ένα μεγάλο ποσοστό της ανθρωπογενούς αλλαγής του κλίματος που προκύπτει από τις εκπομπές CO₂ είναι μη αναστρέψιμη σε βάθος χρόνου πολλών αιώνων. Το γεγονός αυτό μπορεί να μετριαστεί με την απομάκρυνση του CO₂ από την ατμόσφαιρα για μια παρατεταμένη περίοδο (IPCC, 2014).

1.7 Μελλοντικές επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής

Η αλλαγή του κλίματος κατά τον 21ο αιώνα αναμένεται να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων (επιφανειακούς και υπόγειους) ιδιαίτερα σε περιοχές με ξηρό και υποτροπικό κλίμα όπως το νησί της Κρήτης εντείνοντας τον ανταγωνισμό για το διαθέσιμο νερό. Στις ξηρές περιοχές, η συχνότητα εμφάνισης ξηρασιών εκτιμάται ότι θα αυξηθεί στο τέλος του 21ου αιώνα, σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5. Σε αντίθεση, οι υδατικοί πόροι προβλέπεται

να αυξηθούν σε περιοχές με υψηλά γεωγραφικά πλάτη λόγω της αύξησης του ύψους βροχοπτώσεων.

Σύμφωνα με την μελέτη των Vautard et al. (2014) η αύξηση της θερμοκρασίας στην Ευρώπη αναμένεται να είναι υψηλότερη από τον παγκόσμιο μέσο όρο των 2 °C. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία αυξηθεί κατά 4 °C, η εποχικότητα της απορροής ποταμών αναμένεται να γίνει πιο έντονη για το ένα τρίτο της παγκόσμιας επιφάνειας της γης, γεγονός που μεταφράζεται σε αυξημένες υψηλές ροές και μειωμένες χαμηλές ροές (Van Vliet et al., 2013).

Σύμφωνα με την μελέτη των Nikolaidis et al., 1994, για μία λεκάνη απορροής στο Vermont στην Αμερική, με δεδομένο τον διπλασιασμό της συγκέντρωσης CO₂ παρατηρήθηκαν οι εξής μεταβολές. Εκτιμήθηκε πως η βροχόπτωση θα παρουσιάσει μικρές αυξήσεις (1,3% έως 7%), οι οποίες θα συνοδεύονται από μεγάλες αυξήσεις του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής (35% έως 79%) και σημαντικές μειώσεις της υγρασίας του εδάφους (18% - 38%) καθώς και της απορροής (20% έως 39%).

Ένα μεγάλο μέρος των χερσαίων, των θαλάσσιων ειδών και αυτών που συναντώνται σε ποτάμια και λίμνες αντιμετωπίζει αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης λόγω της κλιματικής αλλαγής τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά τον 21ο αιώνα. Ο κίνδυνος αυτός πολλαπλασιάζεται στην περίπτωση που η αλλαγή του κλίματος συνδυαστεί με άλλες μορφές πιέσεων. Επίσης, τα θαλάσσια οικοσυστήματα, και ιδίως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι και τα οικοσυστήματα των δύο πόλων του πλανήτη κινδυνεύουν από την αύξηση της οξύτητας των ωκεανών. Όσον αφορά τα παράκτια οικοσυστήματα και τις περιοχές χαμηλού υψόμετρου, θα βιώσουν σε όλο και μεγαλύτερο βαθμό, τις πλημμύρες και τη διάβρωση του εδάφους καθ' όλη τη διάρκεια του 21 ου αιώνα και μετά, λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

Τα μεσογειακά χερσαία οικοσυστήματα είναι ευαίσθητα όχι μόνο στην αύξηση της θερμοκρασίας αλλά και στις μεταβολές στη διαθεσιμότητα του νερού. Σε περίπου έναν αιώνα, η ανθρωπογενής αλλαγή του κλίματος, χωρίς δραστικές πολιτικές μετριασμού, θα επιφέρει σημαντική μεταβολή στα οικοσυστημάτων της Μεσογείου σε πρωτοφανή επίπεδα εδώ και δέκα χιλιάδες χρόνια (Joel and Wolfgang, 2016).

Η αποψίλωση μεγάλων εκτάσεων και η υποβάθμιση του οικοσυστήματος ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, μπορεί να επιφέρει την έκλυση του άνθρακα, που βρίσκεται αποθηκευμένος στην επίγεια βιόσφαιρα, στην ατμόσφαιρα.

Οι κλιματικές μεταβολές αναμένεται να επηρεάσουν τα κατακρημνίσματα και την εξατμισοδιαπνοή (Tsanis et al., 2011) και συνεπώς μεταβλητές, όπως η τοπική διαθεσιμότητα νερού, η ποσότητα του νερού που καταλήγει στη θάλασσα μέσω των ποταμών, η ποσότητα των επιφανειακών και υπογείων υδάτων και η εποχιακή διαθεσιμότητα ύδρευσης θα μειωθούν στις περισσότερες περιοχές (Arnell et al., 2011).

Σε μία πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C το κλάσμα των ακραίων κατακρημνισμάτων που προκαλούνται από την υπερθέρμανση του πλανήτη προβλέπεται να ανέλθει σε 40%. Οι έντονες βροχοπτώσεις βρέθηκαν να αυξάνονται σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή ήπειρο κατά τη διάρκεια όλων των εποχών. Εξάιρεση αποτελεί το κομμάτι της Ν Ευρώπης, στο οποίο βρίσκεται και η περιοχή μελέτης, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Papadimitriou et al., 2015).

Μέχρι τα μέσα του αιώνα, η μέση ετήσια απορροή των ποταμών και η διαθεσιμότητα ύδατος προβλέπεται να μειωθούν κατά 10-30% σε ορισμένες περιοχές στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως ξηρές. Αντίθετα προβλέπεται αύξηση κατά 10-40% σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και σε ορισμένες υγρές τροπικές περιοχές (Milly et al., 2005).

Παράλληλα θα ενταθεί ο ανταγωνισμός για τη χρήση του νερού μεταξύ ατόμων και τομέων που χρησιμοποιούν το νερό για διαφορετική δραστηριότητα (γεωργία, βιομηχανία κ.λ.π.). Στις περιοχές που σήμερα θεωρούνται ως ξηρές, η συχνότητα της ξηρασίας πιθανότατα θα αυξηθεί μέχρι τα τέλη του 21ου αιώνα με βάση το σενάριο RCP8.5.

Μία βασική ανησυχία είναι η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην παροχή νερού (Watson et al., 1995). Σύμφωνα με μελέτες, το ένα τρίτο του παγκόσμιου πληθυσμού ζει υπό συνθήκες σχετικής λειψυδρίας, ενώ περίπου 450 εκατομμύρια άνθρωποι υφίστανται έντονο έλλειψη νερού (Vorosmarty et al., 1998).

Η επίδραση που μπορεί να έχει η υπερθέρμανση του πλανήτη στους υδάτινους πόρους εγείρει σοβαρές ανησυχίες σχετικά με τη μελλοντική διαθεσιμότητα του νερού, ιδιαίτερα κάτω από την πίεση του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού και τις επακόλουθες αυξημένες ανάγκες της παραγωγής τροφίμων. Προβλέπεται ότι ο αριθμός των ατόμων που αντιμετωπίζουν σημαντικά μειωμένη διαθεσιμότητα νερού θα αυξηθεί συνολικά κατά 15% λόγω της κλιματικής αλλαγής, ενώ το ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού ζώντας υπό συνθήκες απόλυτης λειψυδρίας προβλέπεται επίσης να αυξηθεί (Schewe et al., 2014).

Οι ξηρές και ημιξηρες περιοχές αντιμετωπίζουν την πρόσθετη πρόκληση της απόλυτης λειψυδρίας. Οι προβλεπόμενες αυξήσεις στην έλλειψη νερού θα επικεντρωθούν σε ταχέως αναπτυσσόμενες πόλεις. Μεγάλο μέρος της παγκόσμιας αύξησης του πληθυσμού κατά τις επόμενες δεκαετίες θα λάβει χώρα σε αστικές περιοχές, οι οποίες αναμένεται να διπλασιαστούν μεταξύ του 1995 και του 2025 (World Resources, 1996). Το γεγονός αυτό πρόκειται να φέρει τον πληθυσμό στις περιοχές αυτές αντιμέτωπο με προκλήσεις που αφορούν την αυξημένη ρύπανση των υδάτων και την εμφάνιση υδατογενών νόσων (United Nations, 1997).

Οι αυξήσεις στη ζήτηση νερού θα προκαλέσουν σημαντικές προκλήσεις στις υποδομές για τη διαχείριση και διανομή του νερού, επηρεάζοντας ένα μεγάλο μέρος του κόσμου, που θα έρθει αντιμέτωπος με συνέπειες όπως υποβάθμιση της ποιότητας του νερού και μείωση των αποδόσεων των αρδευόμενων καλλιεργειών. (Gleick, 1998-99).

Μέχρι τα μέσα του αιώνα, οι προβλεπόμενες κλιματικές αλλαγές θα έχουν αντίκτυπο και στην ανθρώπινη υγεία κυρίως με την επιδείνωση των υπαρχόντων προβλημάτων υγείας. Καθ' όλη τη διάρκεια του 21ου αιώνα, η αλλαγή του κλίματος αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση των ανθρώπων που δεν είναι υγιείς σε πολλές περιοχές και ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες με χαμηλό εισόδημα.

Έντονες ξηρασίες προβλέπεται να παρατηρηθούν εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής σε πολλά μέρη της Ευρώπης, εκτός από τα βόρεια μέρη της ηπείρου. Συνεπώς, οι ευρωπαϊκές καλλιεργούμενες εκτάσεις που πλήττονται από ξηρασίες αναμένεται να αυξηθούν έως και 7 φορές (έως 700.000 km²/ yr) σε σύγκριση με την κατάσταση

των τελευταίων δεκαετιών σε μία επικείμενη αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3°C (Ciscar et al., 2014).

Στις αγροτικές περιοχές αναμένεται να προκύψουν σημαντικές επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα και στον εφοδιασμό σε νερό, στις υποδομές και στα γεωργικά εισοδήματα. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται και οι μετακινήσεις των αγροτών σε διαφορετικούς τομείς παραγωγής τροφίμων και καλλιεργειών σε όλο τον κόσμο (IPCC, 2014).

Σύμφωνα με τη μελέτη των Giannakopoulos et al., 2009 επισημάνθηκε ότι οι αυξήσεις της θερμοκρασίας και η μείωση των βροχοπτώσεων που προβλέπεται για τα περισσότερα σενάρια κλιματικής αλλαγής οδηγεί σε σημαντική μείωση των αποδόσεων για τις καλλιέργειες όλων των τύπων. Αυτό θα επιτευχθεί λόγω της μείωσης της καλλιεργητικής περιόδου καθώς και λόγω της έλλειψης διαθέσιμου νερού για την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Όσον αφορά τις ξηρικές καλλιέργειες, η μείωση των αποδόσεων είναι πιο έντονη στη νότια Μεσόγειο από ότι στο βόρειο κομμάτι της ηπείρου. Η αύξηση της θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την παράλληλη αύξηση του CO₂ οδηγούν σε μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στην απόδοση των αρδευόμενων καλλιεργειών στη περιοχή της βόρειας Μεσογείου. Ωστόσο, για να επιτευχθεί το γεγονός αυτό θα πρέπει να αυξηθεί η ποσότητα του νερού που εφαρμόζεται για την άρδευση της καλλιέργειας. Παρόλα αυτά τα φυτά δεν είναι σε θέση να ανακτήσουν πλήρως την απόδοσή τους.

Κεφάλαιο 2. Εξατμισοδιαπνοή

Συνεπώς, οι επιπτώσεις που θα επιφέρει η αλλαγή των κλιματικών δεδομένων σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά και στην περιοχή της Μεσογείου και συνεπώς της Κρήτης θα επηρεάσει τις καλλιέργειες σε επίπεδο απόδοσης. Με την αύξηση των θερμοκρασιών και τη μεταβολή των βροχοπτώσεων θα μειωθούν τα διαθέσιμα αποθέματα σε νερό που χρειάζονται για την άρδευση, ενώ παράλληλα θα αυξηθούν οι απώλειες των φυτών σε νερό. Συνεπώς λιγότερο νερό θα είναι διαθέσιμο για την

άρδευση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Η μελέτη λοιπόν των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό είναι αναγκαία για σωστός προγραμματισμός της άρδευσης, όσων αφορά την περίοδο, τη συχνότητα άρδευσης αλλά και την ποσότητα νερού που θα εφαρμόζεται. Η εξατμισοδιαπνοή είναι ο βασικότερος παράγοντας που καθορίζει τις ανάγκες ενός φυτού σε νερό.

Σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός της καλλιέργειας με νερό το οποίο είναι αναγκαίο για την κανονική ανάπτυξη και την μεγιστοποίηση της απόδοσής των καλλιεργειών. Οι πηγές νερού των αρδευτικών αναγκών μίας καλλιέργειας είναι η ωφέλιμη βροχόπτωση, το υπόγειο νερό στην περίπτωση υδροφορέων που βρίσκονται σε μικρό βάθος από το ριζικό σύστημα, καθώς και το νερό που είναι αποθηκευμένο στη ζώνη του ριζοστρώματος. Στην περίπτωση που οι πηγές αυτές δεν είναι επαρκείς για να καλύψουν την πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET), είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί άρδευση. Οι καθαρές ανάγκες σε αρδευτικό νερό (I_n) προκύπτουν από υδρολογικό ισοζύγιο

$$I_n = ET_c - (P_e + GW + SM)$$

Όπου P_e είναι η ωφέλιμη βροχόπτωση,

GW είναι η συμβολή του υπόγειου νερού,

SM το νερό που είναι αποθηκευμένο στη ζώνη του ριζοστρώματος και

ETc είναι η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας

Στην παρούσα εργασία η συμβολή του υπόγειου νερού και το νερό που βρίσκεται στο ριζόστρωμα θεωρήθηκε αμελητέο και δεν λήφθηκε υπόψη για τον υπολογισμό των αναγκών σε νερό.

Εξατμισοδιαπνοή είναι η απώλεια νερού που επιτυγχάνεται με την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και των φυτών και την απώλεια νερού μέσω της διαπνοής. Η διαπνοή ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία το νερό κινείται με την μορφή υδρατμών από τα ανοιχτά στόματα των φύλλων προς την ατμόσφαιρα.

Το μέγεθος και ο ρυθμός της ET είναι συνάρτηση των κλιματικών παραγόντων της περιοχής και των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Οι κυριότεροι κλιματικοί

παράγοντες, από τους οποίους εξαρτάται η ΕΤ, είναι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία. Τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών που καθορίζουν την απώλεια νερού είναι το στάδιο ανάπτυξης του κάθε φυτού, η διάρκεια της βλαστικής περιόδου, το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος, το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φύλλωμά της, την πυκνότητα αυτού και την ανακλαστικότητα του (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ΕΤ₀) ορίζεται η εξατμισοδιαπνοή από μία καλλιέργεια βάσης που αναπτύσσεται χωρίς έλλειψη νερού. Σαν καλλιέργεια βάσης θεωρείται μια υποθετική καλλιέργεια με ύψος 0,12 m, με σταθερή συνολική αντίσταση επιφάνειας 70 sec/m και συντελεστή ανακλαστικότητας (albedo) 0,23. Δηλαδή με συνθήκες παρόμοιου ρυθμού εξατμισοδιαπνοής που προέρχεται από μια εκτεταμένη πράσινη επιφάνεια γρασιδιού ομοιόμορφου ύψους, δυναμικά αυξανόμενη, επαρκώς αρδευόμενη και με πλήρη κάλυψη του εδάφους. Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς εξαρτάται μόνο από τους κλιματικούς παράγοντες μιας περιοχής.

Η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (ΕΤ_c), ονομάζεται η εξατμισοδιαπνοή σε καλλιέργειες που δεν έχουν ασθένειες, που καλλιεργούνται σε μεγάλα χωράφια χωρίς περιορισμό στη διαθεσιμότητα του νερού (και για την έκπλυση των αλάτων από το έδαφος) και των θρεπτικών στοιχείων επιτυγχάνοντας τη μέγιστη απόδοση για τα εκάστοτε κλιματικά δεδομένα.

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας ορίζεται από την εξίσωση $ET_c = K_c \cdot ET_0$ όπου K_c είναι ο φυτικός συντελεστής. Ο φυτικός συντελεστής διαφοροποιείται ανάλογα την καλλιέργεια, καθώς και το στάδιο ανάπτυξης αυτής (FAO, 1998).

Η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών υπό μη τυπικές (κανονικές) συνθήκες (ΕΤ_{c adj.}) είναι η εξατμισοδιαπνοή σε καλλιέργειες που καλλιεργούνται υπό συνθήκες που διαφέρουν από τις βέλτιστες (κανονικές). Κατά την καλλιέργεια σε αγρούς, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή μπορεί να παρεκκλίνει από την εξατμισοδιαπνοή κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες λόγω μη βέλτιστων συνθηκών. Η παρουσία

παρασίτων και ασθενειών, η έλλειψη νερού, η υψηλή αλατότητα του εδάφους, και η χαμηλή γονιμότητα αυτού είναι μερικές από τις συνθήκες που επικρατούν, δημιουργώντας μικρότερη ανάπτυξη των φυτών με λιγότερη πυκνότητα φυλλώματος. Οι παράγοντες αυτοί πολλές φορές μπορούν να μειώσουν το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής κάτω από το ETc. (FAO, 1998)

2.1 Μέθοδοι υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής

Η τιμή της εξατμισοδιαπνοής δεν είναι εύκολο να μετρηθεί. Για την μέτρησή της απαιτούνται συσκευές και μετρήσεις ακριβείας για διάφορους παράγοντες του εδάφους και του νερού στο έδαφος. Οι μέθοδοι είναι άμεσοι, δηλαδή η μέτρηση γίνεται στο υπό εξέταση πεδίο. Οι κυριότερες μέθοδοι είναι:

- Πειραματικές δεξαμενές
- Πειραματικοί αγροί
- Μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους
- Ολοκληρωτική μέθοδος
- Υπολογισμός εισροών - εκροών

Ωστόσο για τις άμεσες μεθόδους για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής χρειάζονται συχνές μετρήσεις από ειδικευμένο προσωπικό, είναι ακριβές και απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για να εξαχθεί ένα σωστό αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτό υπάρχουν οι έμμεσες μέθοδοι με τις οποίες μπορούμε να βρούμε προσεγγιστικά την τιμή της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ETo).

Μία από τις μεθόδους αυτές είναι η τροποποιημένη μέθοδος του Penman, η οποία δίνει καλή προσέγγιση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς. Μια άλλη μέθοδος, η οποία θεωρείται λιγότερο ακριβής είναι η τροποποιημένη μέθοδος των Blaney-Criddle. Η πιο πρόσφατη μέθοδος με την καλύτερη προσέγγιση είναι η συνδυασμένη μέθοδος των Penman- Monteith. Ωστόσο για την μέθοδο αυτή χρειάζονται πολλά δεδομένα τα οποία είναι δύσκολο να συλλεχθούν, ενώ για πολλά από αυτά δεν υπάρχουν μετρήσεις, από κοντινούς μετεωρολογικούς σταθμούς.

Τέλος υπάρχει και η κλασσική μέθοδος των Blaney- Criddle, στην οποία η μόνη παράμετρος είναι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Η μέθοδος αυτή είναι ξεπερασμένη, λόγω του ότι δεν προσεγγίζει την τιμή της εξατμισοδιαπνοής με μεγάλη ακρίβεια. Ωστόσο για τους σκοπούς της συγκεκριμένης εργασίας επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος, ελλείψη μετρήσεων για άλλες κλιματικές παραμέτρους στην περιοχή του Ν. Ηρακλείου (Τερζίδης, Παπαζαφειρίου, 1997).

Τροποποιημένη μέθοδος του Penman

Η τροποποιημένη μέθοδος του Penman εκφράζεται από τη σχέση:

$$ET_0 = c * [W * Rn + (1 - W) * f(u) * (e_a - e_d)] \text{ mm/ημέρα όπου:}$$

c: διορθωτικός παράγοντας ενδεικτικός της διαφοράς των συνθηκών που επικρατούν σε ένα τόπο κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας.

W: παράγοντας που αντιπροσωπεύει την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στη βασική εξατμισοδιαπνοή.

Rn: καθαρή ηλιακή ακτινοβολία.

f(u): συνάρτηση που αντιπροσωπεύει την επίδραση του ανέμου στη βασική εξατμισοδιαπνοή.

e_a-e_d: παράγοντας που εκφράζει την επίδραση της υγρασίας της ατμόσφαιρας στην εξατμισοδιαπνοή.

Η τροποποιημένη μέθοδος του Penman με βάση τη σχέση υπολογίζεται συναρτήσει της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (R_s), της μέγιστης σχετικής υγρασίας (RH_{max}), της μέσης σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας (RH_{mean}), της ταχύτητας του αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας (u_d, u_n), της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, του υψομέτρου, της θεωρητικής ηλιακής ακτινοβολίας και της σχετικής ηλιοφάνειας (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Τροποποιημένη μέθοδος Blaney- Criddle

$$ET_0 = a + b * F$$

όπου: a, b, F είναι παράμετροι οι οποίες εξαρτώνται από τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, από την ελάχιστη σχετική υγρασία, τη μέση ημερήσια πραγματική

ηλιοφάνεια και την ημερήσια ταχύτητα του ανέμου (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Συνδυασμένη μέθοδος των Penman- Monteith

Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman- Monteith εκφράζεται από την σχέση:

$$ET_0 = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} * (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} * K_1 * \frac{0,622 \lambda \rho}{P} * \frac{1}{r_a} (e_a - e_d)$$

Όπου:

Δ : η κλίση της γραμμής στη σχέση πίεσης κορεσμού υδρατμών και θερμοκρασίας

γ : ψυχομετρική σταθερά

γ^* : παράμετρος που εξαρτάται από το γ

R_n : καθαρή ηλιακή ακτινοβολία

G : παράμετρος που εκφράζει την κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας στο έδαφος

K_1 : συντελεστής εξίσωσης μονάδων

$e_a - e_d$: παράγοντας που εκφράζει την επίδραση της υγρασίας της ατμόσφαιρας στην εξατμισοδιαπνοή.

λ : λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης

ρ : πυκνότητα του αέρα

P : πίεση του αέρα

Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman- Monteith εξαρτάται από τη θερμοκρασία, από τη μέση πίεση της ατμόσφαιρας, το μέσο ύψος κόμης των φυτών, την ταχύτητα ανέμου, τη θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία, τη σχετική ηλιοφάνεια, την υγρασία του αέρα και τη μέσης σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας (RH_{mean}). (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Η κλασσική μέθοδος των Blaney- Criddle παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5 (Υλικά και μέθοδοι) της εργασίας, αφού χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

2.2 Ξηρασία

Η ξηρασία είναι ένα παροδικό φαινόμενο κατά το οποίο οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι είναι λιγότεροι από το μέσο όρο μιας αρκετά μεγάλης χρονοσειράς παρελθόντων ετών (Kassas, 2008). Επειδή το φαινόμενο αυτό είναι δύσκολο να προσδιοριστεί υπάρχει και δυσκολία στον καθορισμό της έννοιας της ξηρασίας. Η American Meteorological Society (1997) ορίζει τέσσερις μορφές ξηρασίας.

- Μετεωρολογική ξηρασία: ορίζεται με βάση την απόκλιση των τιμών βροχόπτωσης από τις αναμενόμενες σύμφωνα με το κλίμα της περιοχής.
- Υδρολογική ξηρασία: όταν παρατηρούνται χαμηλά επίπεδα απορροής υδάτων σε ρέματα, υδάτινους ταμιευτήρες κλπ., και το επίπεδο του υδροφόρου ορίζοντα ταπεινώνεται. Λαμβάνει χώρα κυρίως μετά από πολλούς μήνες μετεωρολογικής ξηρασίας.
- Καλλιεργητική ξηρασία: όταν από τις παραπάνω καταστάσεις επηρεάζονται και οι καλλιέργειες, και είναι αποτέλεσμα της ανεπάρκειας της εδαφικής υγρασίας να καλύψει τις ανάγκες εξατμισοδιαπνοής των φυτών.
- Κοινωνικοοικονομική ξηρασία: συνδυάζει όλες τις προηγούμενες μορφές ξηρασίας και ορίζεται ως η αρνητική τιμή της διαφοράς κάθε μορφής προσφοράς και ζήτησης νερού (πόσιμο νερό, νερό άρδευσης, γεωργικά προϊόντα, υδροηλεκτρική ενέργεια κλπ).

Η ξηρασία είναι ένα παροδικό φαινόμενο που επηρεάζει μεγάλες εκτάσεις και έχει μεγάλη διάρκεια. Το κλίμα στις περιοχές γύρω από την Ανατολική Μεσόγειο, έχει υποστεί κατά βάση τις ίδιες μεταβολές που έχει υποστεί το κλίμα σε ολόκληρο τον πλανήτη και κυρίως στο Βόρειο ημισφαίριο. Το φαινόμενο της ξηρασίας και τα κλιματικά γεγονότα αναμένεται να γίνουν ακραία, πιο συχνά και πιο έντονα σε αυτές τις περιοχές. Ένα παράδειγμα πολύ θερμών περιόδων θεωρείται αυτή που καταγράφηκε το καλοκαίρι του 2003 όπως παρατηρήθηκε και στην παρούσα εργασία. Η πολυπλοκότητα του μεσογειακού κλίματος μπορεί να επηρεαστεί από τη θέρμανση του πλανήτη με διαφορετική χωρική μεταβλητότητα, όπου μεγάλες

διαφορές έχουν παρουσιαστεί μεταξύ ανατολικής και δυτικής μεσογείου στο ύψος των χειμερινών βροχοπτώσεων και των καλοκαιρινών θερμοκρασιών. Τα τελευταία 40 χρόνια η ιβηρική χερσόνησος, και ιδιαιτέρα το νοτιοανατολικό μέρος της, δοκιμάστηκε από παρατεταμένες περιόδους κάτω του κανονικού ύψους βροχόπτωσης. Παρόλα αυτά, χρειάζεται προσοχή στην εξαγωγή συμπερασμάτων για το μεσογειακό κλίμα, καθώς ένα από τα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του είναι η μεγάλη μεταβλητότητα του στα ετήσια και υπερετήσια ύψη βροχόπτωσης.

Κεφάλαιο 3. Χωρική παρεμβολή

Η χωρική παρεμβολή αποτελεί μια διαδικασία κατά την οποία εκτιμάται η τιμή ενός χαρακτηριστικού σε σημεία για τα οποία δεν υπάρχει μέτρηση, με βάση τις μετρήσεις στα σημεία του δείγματος. Οι διάφορες τοποθεσίες μπορούν να προσδιοριστούν ως σημεία στο χώρο και το χρόνο. Συνεπώς η παρεμβολή δεν είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί σε μια ή δύο διαστάσεις, αν και η πιο κοινή εφαρμογή είναι η προσομοίωση πεδίου δύο διαστάσεων. Ο προσδιορισμός του προβλήματος της παρεμβολής περιλαμβάνει την ανεύρεση μιας τέτοιας μαθηματικής συνάρτησης, που να επιβεβαιώνεται για τα σημεία που υπάρχουν δεδομένα και να παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια για την εκτίμηση των τιμών των σημείων όπου τα πρωτογενή δεδομένα είναι ελλιπή (Χριστόπουλος, 2014).

Οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής διακρίνονται στις μεθόδους τοπικών εκτιμήσεων (local neighborhood) και στις μεθόδους γενικευμένων προσεγγίσεων. Οι μέθοδοι τοπικών εκτιμήσεων είναι τα πολύγωνα Thiessen, η μέθοδος δικτύου τριγώνων, η μέθοδος Inverse Distance Weighting (IDW) και οι γεωστατικές μέθοδοι (kriging, ordinary kriging, κ.α.), οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή. Οι γεωστατιστικές μέθοδοι (geostatistical methods) χρησιμοποιούν και μαθηματικές και στατιστικές τεχνικές για τις εκτιμήσεις που απορρέουν από τις σημειακές μετρήσεις. Το συγκριτικό πλεονέκτημα των γεωστατιστικών μεθόδων σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους είναι ότι ποσοτικοποιούν και ελαχιστοποιούν το σφάλμα

εκτίμησης σε άγνωστα σημεία εκτός του δείγματος των σημειακών μετρήσεων (Li and Heap, 2008).

Η μέθοδος kriging είναι μία μέθοδος χωρικής παρεμβολής, τα αποτελέσματα της οποίας βασίζονται στη γραμμική παρεμβολή σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση του τετραγωνικού σφάλματος της εκτίμησης. Η μέθοδος kriging εξάγει αυτά τα συμπεράσματα και τις εκτιμήσεις χρησιμοποιώντας το ημιβαριόγραμμα, το οποίο είναι ένα διάγραμμα του τύπου X-Y όπου στον άξονα x είναι η απόσταση και στον άξονα y είναι το ήμισυ της διασποράς της μεταβλητής, για απόσταση των σημείων του πεδίου ίση με x. Η γραφική αυτή παράσταση είναι ένα μέτρο της χωρικής συσχέτισης μεταξύ δύο σημείων.

Επιπλέον, η χρήση γεωστατιστικών μεθόδων επιτρέπει τον υπολογισμό του σφάλματος πρόβλεψης σε κάθε θέση, παρέχοντας ένα κριτήριο για την εκτίμηση της αξιοπιστίας της επιφάνειας παρεμβολής που προκύπτει. Με τη μέθοδο kriging τα κοντινά σημεία παρουσιάζουν ισχυρή συσχέτιση, αφού η μεταβλητή περιγράφει μια συνεχή επιφάνεια, ενώ πολύ απομακρυσμένα μεταξύ τους σημεία δεν έχουν ισχυρή συσχέτιση.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου Kriging είναι η στατιστική ποιότητα των προβλέψεων της (π.χ. έλλειψη εξαρτήσεων), η αποφυγή μεροληπτικής εκτιμήσεως στην περίπτωση συσσώρευσης σημείων με μετρήσεις σε ορισμένες θέσεις και η ικανότητά της να προβλέπει τη χωρική κατανομή της αβεβαιότητας. (Νικολακόπουλος κ.α., 2015)

Στο πρόγραμμα ArcGIS που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για την εξαγωγή αποτελεσμάτων υπάρχουν οι εξής έξι παραλλαγές της μεθόδου kriging:

- Simple Kriging: για δεδομένα με γνωστή και σταθερή μέση τιμή
- Ordinary Kriging: για δεδομένα με άγνωστη σταθερή μέση τιμή
- Universal Kriging: για δεδομένα που παρουσιάζουν κάποια τάση(trend).
- Indicator Kriging: για δυαδικά δεδομένα
- Probability Kriging: για διακριτά δεδομένα σαν κύρια μεταβλητή και συνεχή δεδομένα σαν δευτερεύουσες μεταβλητές
- Disjunctive Kriging: για μη γραμμικές προβλέψεις

Το ημιβαριόγραμμα, όπως αναφέρθηκε, εκφράζει μαθηματικά τον τρόπο που μεταβάλλεται η διακύμανση μιας ιδιότητας με την απόσταση και την κατεύθυνση που χωρίζει δύο σημεία. Αποτελεί ένα βασικό διαγνωστικό εργαλείο για τον χωρικό χαρακτηρισμό μιας χωρομεταβλητής και βασική διεργασία για την εφαρμογή της γεωστατιστικής μεθόδου Kriging (Γκριτζάπη, 2011). Το ημιβαριόγραμμα ενός τυχαίου πεδίου ορίζεται ως εξής:

$$\gamma_X(s, r) = \frac{1}{2} E\{[X(s+r) - X(s)]^2\}$$

Το βαριόγραμμα ορίζεται δηλαδή σε σχέση με ένα ζεύγος σημείων, με τη βοήθεια της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς $\delta X(s; r) = X(s+r) - X(s)$. Το πεδίο της διαφοράς $\delta X(s; r)$ αποκαλείται επίσης βήμα απόστασης r . Αν το πεδίο $X(s)$ είναι στατιστικά ομοιογενές, δηλαδή αν η μέση τιμή του είναι σταθερή, το βαριόγραμμα συνδέεται άμεσα με τη συνάρτηση συνδιασποράς βάσει της παρακάτω εξίσωσης (Χριστόπουλος, 2004):

$$\gamma_X(r) = \sigma_X^2 - c_X(r)$$

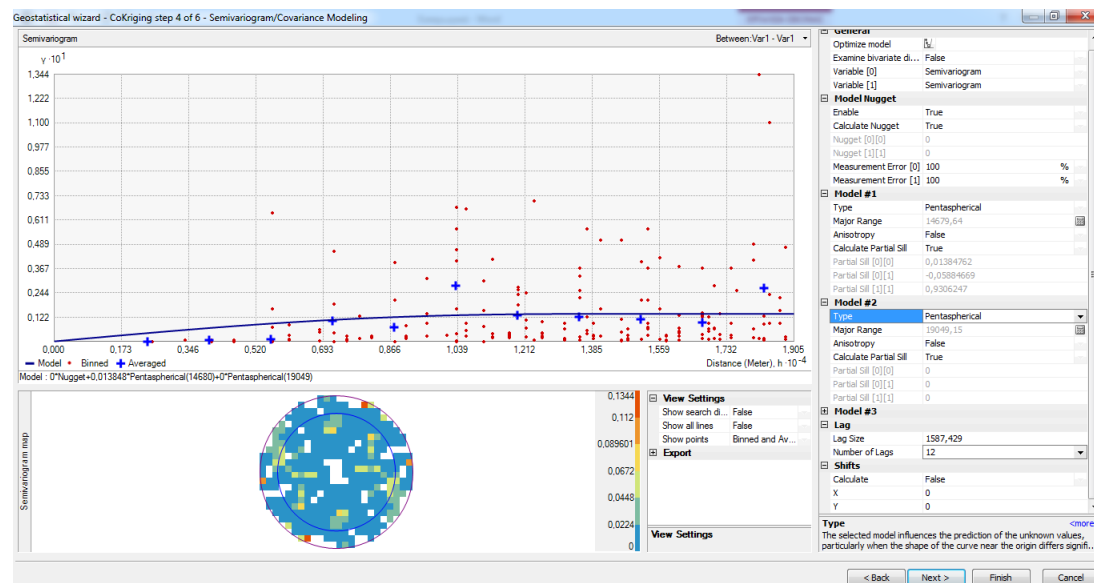
Μόλις δημιουργηθεί το εμπειρικό ημιβαριόγραμμα (Εικόνα 5), μπορεί να γίνει προσαρμογή ενός μοντέλου στα σημεία που σχηματίζουν το εμπειρικό ημιβαριόγραμμα. Η μοντελοποίηση ενός ημιβαριογράμματος είναι παρόμοια με την προσαρμογή της γραμμής ελάχιστων τετραγώνων στην ανάλυση παλινδρόμησης. Τα μοντέλα που εφαρμόζονται είναι το σφαιρικό, το εκθετικό, το γκαουσιανό κ.α.

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται ένα ημιβαριόγραμμα όπως προκύπτει από το πρόγραμμα Geostatistical Analyst tool του ArcGIS, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Στον άξονα y παρουσιάζεται η τετραγωνική διαφορά μεταξύ των τιμών δύο σημείων, ενώ στον άξονα x η απόσταση μεταξύ τους.

Κάθε κόκκινο σημείο στο ημιβαριόγραμμα αντιστοιχεί σε ένα ζεύγος σημείων. Τα σημεία που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση βρίσκονται στο αριστερό κομμάτι του άξονα x και θα πρέπει να έχουν παρόμοιες τιμές μεταξύ τους, δηλαδή, χαμηλές τιμές στον άξονα y . Καθώς η απόσταση μεταξύ δύο σημείων μεγαλώνει (μετακινούμενοι πιο δεξιά στον άξονα x) η τιμή του ημιβαριογράμματος θα πρέπει

να αυξάνεται και αυτή. Ωστόσο όταν η απόσταση αυξάνεται πέρα από μια συγκεκριμένη τιμή (στο σημείο που η γραμμή τάσης τείνει να γίνει ευθεία) υποδεικνύεται ότι οι τιμές των σημείων αυτών δεν συσχετίζονται πλέον.

Στην περίπτωση που κάποια δεδομένα που έχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους αλλά μεγάλη τιμή από την προβλεπόμενη θα πρέπει να ελεγχθεί η ακρίβεια των δεδομένων στα συγκεκριμένα σημεία.



Εικόνα 5: Ημιβαριόγραμμα από το Geostatistical Analyst tool του ArcGIS.

Κεφάλαιο 4. Αντικείμενα διπλωματικής εργασίας

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και η αύξηση της συχνότητας φαινομένων ξηρασίας έχει ως αποτέλεσμα την ολοένα και μεγαλύτερη ανάγκη για νερό. Το νερό αυτό χρειάζεται για την ύδρευση για βιομηχανική χρήση, καθώς και για την άρδευση καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Στην Κρήτη το 84,5 % του νερού χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών. Διαπιστώνεται ακόμη ότι υπάρχει μεγάλη σπατάλη

νερού λόγω της ελλιπής γνώσης από πλευράς καλλιεργητών σε θέματα που σχετίζονται με την πρακτική της άρδευσης.

Με δεδομένα τα παραπάνω, στην παρούσα εργασία επιχειρείται η εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών της ελιάς, της κυριότερης καλλιέργειας του νησιού, καθώς και η χωρική και χρονική κατανομή των αρδευτικών αναγκών στο Ν. Ηρακλείου. Για την επίτευξη του στόχου αυτού συλλέχθηκαν κλιματικά δεδομένα και υπολογίσθηκε η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς με την μέθοδο Blaney-Criddle.

Κεφάλαιο 5. Υλικά και μέθοδοι

Για την παρούσα εργασία επιλέχθηκε να μελετηθεί η περιοχή της Κρήτης και πιο συγκεκριμένα ο Ν. Ηρακλείου. Το νησί της Κρήτης και ιδιαίτερα ο Ν. Ηρακλείου έχει μεγάλες καλλιεργήσιμες εκτάσεις και έντονες εποχικές διακυμάνσεις στη ζήτηση του νερού άρδευσης. Παράλληλα οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι του νησιού είναι περιορισμένοι. Το κλίμα του χαρακτηρίζεται από μικρό ύψος βροχοπτώσεων, ήπιους χειμώνες και ξηρές περιόδους μεγάλης διάρκειας (Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13), 2015). Τα στοιχεία αυτά κατατάσσουν την Κρήτη ως μία ευαίσθητη περιοχή όσον αφορά τη διαχείριση των υδατικών πόρων και τις μεγάλες περιόδους λειψυδρίας. Τα προβλήματα αυτά προβλέπεται να ενταθούν από την προβλεπόμενη μελλοντική μεταβολή του κλίματος. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να μελετηθεί η χωρική και χρονική μεταβολή των αναγκών άρδευσης της καλλιέργειας ελιάς, της καλλιέργειας που καταλαμβάνει το 65% της συνολικής καλλιεργούμενης έκτασης.

Πιο συγκεκριμένα ο Ν. Ηρακλείου επιλέχθηκε διότι παρείχε μετεωρολογικά δεδομένα από αρκετούς σταθμούς, κατανεμημένους στο μεγαλύτερο μέρος του νομού, κάτι το οποίο ήταν δυσεύρετο για τους υπόλοιπους νομούς. Το γεγονός αυτό δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια στη μικρή περιοχή μελέτης. Το μεγάλο ποσοστό της καλλιέργειας της ελιάς σε σχέση με τις συνολικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις στο νομό

βοηθάει στο να ληφθούν υπόψη μόνο οι ανάγκες της ελιάς για τις συνολικές ανάγκες άρδευσης του νομού.

Για την υλοποίηση της εργασίας, αρχικά, συλλέχθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από το ΥΠΕΧΩΔΕ. Τα δεδομένα αυτά απεικονίζουν τη μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) και τη μηνιαία βροχόπτωση (mm) από 12 μετεωρολογικούς σταθμούς (10 σταθμοί στο Ν. Ηρακλείου, 1 σταθμός στο νομό Λασιθίου και 1 σταθμός στο νομό Ρεθύμνου σε περιοχές που γειτνιάζουν με το Ν. Ηρακλείου) για το υδρολογικό έτος 1995 μέχρι το 2005.

Μέθοδος Blaney-Criddle

Με τη χρήση της τροποποιημένης μεθόδου Blaney-Criddle $E_T = p * [0.46 * T + 8.13]$, η οποία έχει ως δεδομένο εισόδου τη θερμοκρασία, υπολογίστηκε μέσω του προγράμματος Excel η ΕΤο για τις παραπάνω περιοχές. Η τιμή p ορίζει το ποσοστό ωρών ημέρας του μήνα προς τις ώρες ημέρας του έτους και υπολογίστηκε με βάση τις τιμές του Πίνακα 2 πολλαπλασιασμένες με τον αριθμό ημερών του κάθε μήνα. Λήφθηκε υπόψη το γεωγραφικό πλάτος του Ν. Ηρακλείου που είναι 35°.

<u>Πίνακας 2: Ημερήσια ποσοστά του ετήσιου αριθμού ωρών ημέρας (p) για βόρεια πλάτη από 32° μέχρι 42° (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).</u>						
Μήνας	Βόρειο πλάτος					
	32°	34°	36°	38°	40°	42°
Ιανουάριος	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21
Φεβρουάριος	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24
Μάρτιος	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Απρίλιος	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30
Μάιος	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,33
Ιούνιος	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34
Ιούλιος	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33
Αύγουστος	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31
Σεπτέμβριος	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Οκτώβριος	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Νοέμβριος	0,24	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22
Δεκέμβριος	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21

Η τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle δεν παρέχει μεγάλη ακρίβεια σε σχέση με άλλες μεθόδους. Ωστόσο τα δεδομένα που χρησιμοποιεί για την εύρεση της ΕΤο είναι μόνο η θερμοκρασία και η τιμή p και το γεγονός αυτό χρήζει τη μέθοδο αυτή πολύ εύχρηστη. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή η μέθοδος Blaney-Criddle, είναι η δυσκολία που υπήρξε στην εύρεση δεδομένων, όπως η ταχύτητα ανέμου, η υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία κ.α., τα οποία είναι απαραίτητα για την εύρεση της εξατμισοδιαπνοής με μεθόδους με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Επειδή τα δεδομένα από τους 12 μετεωρολογικούς σταθμούς δεν κρίθηκαν ικανοποιητικά ώστε να υπάρχει μία αξιόπιστη εικόνα για το σύνολο της περιοχής μελέτης λόγω της ανομοιόμορφης κατανομής των σταθμών στο πεδίο έρευνας. Για το λόγο αυτό λήφθηκαν υπόψη και κλιματικά δεδομένα από την Δ/νση Υδάτων της Περιφέρεια Κρήτης, τα οποία ωστόσο, απεικονίζουν μόνο τη μηνιαία βροχόπτωση από 27 μετεωρολογικούς σταθμούς στο Ν. Ηρακλείου για τα υδρολογικά έτη 1995 - 2007. Οι νέοι σταθμοί ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένοι στο Ν. Ηρακλείου, ωστόσο δεν υπήρχαν δεδομένα για τη θερμοκρασία σε αυτούς.

Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο έγινε η παραδοχή ότι οι σταθμοί για τους οποίους δεν υπήρχαν δεδομένα θερμοκρασίας θα έχουν παρόμοια θερμοκρασία με γειτονικούς σταθμούς για τους οποίους υπήρχαν επαρκή δεδομένα. Η συσχέτιση αυτή έγινε, λαμβάνοντας υπόψη τις γεωγραφικές συντεταγμένες και το υψόμετρο του κάθε σταθμού.

Τα δεδομένα που απεικόνιζαν τη μέση μηνιαία θερμοκρασία, σε ορισμένους σταθμούς παρατήρησης παρουσίαζαν κάποια κενά λόγω πιθανών σφαλμάτων των μετεωρολογικών σταθμών. Τα κενά αυτά συμπληρώθηκαν χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Normal Ratio όπως εμφανίζεται στη εξίσωση που ακολουθεί:

$$P_x = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{N_x}{N_i} * P_i \right)$$

Το P_x συμβολίζει την εκτιμώμενη βροχόπτωση στο σταθμό για τον οποίο δεν έχουμε δεδομένα, το P_i τη βροχόπτωση για ένα γειτονικό σταθμό του x , τον i , το n το πλήθος των γειτονικών σταθμών, το N_x την κανονική ετήσια βροχόπτωση στο σταθμό x και το N_i την κανονική ετήσια βροχόπτωση στο σταθμό i .

Για τη χρήση της μεθόδου αυτής μεταξύ γειτονικών σταθμών θα πρέπει να ισχύει η σχέση: $N_x - N_i \geq 10\% \cdot N_x$

Υπολογίστηκε λοιπόν η ΕΤο και για τους υπόλοιπους σταθμούς και συνολικά υπήρχαν δεδομένα βροχόπτωσης και ΕΤο για 29 σταθμούς (27 στο Ν. Ηρακλείου και 2 σταθμούς από τους νομούς Λασιθίου και Ρεθύμνου σε περιοχές κοντά στο Ν. Ηρακλείου) για 10 υδρολογικά έτη (1995-2005). Για τον υπολογισμό της ΕΤ για την καλλιέργεια ελιάς υιοθετήθηκε φυτικός συντελεστής k_c ίσος με 0,7 (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Αρδευτικές Ανάγκες Καλλιεργειών

Για την εύρεση των αναγκών της καλλιέργειας της ελιάς σε νερό, αφαιρέθηκε από την ΕΤ η ενεργός βροχόπτωση. Η ενεργός ή ωφέλιμη βροχόπτωση είναι το ποσό του νερού, που απομένει από μία βροχόπτωση για να χρησιμοποιηθεί από τις καλλιέργειες, αν από το συνολικό ύψος της βροχής αφαιρεθεί το νερό εκείνο που χάνεται μέσω της επιφανειακής απορροής, της βαθιάς διήθησης και της εξάτμισης. Το ποσοστό που αντιπροσωπεύει η ωφέλιμη βροχόπτωση δεν είναι σταθερό, αλλά εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης (ένταση, διάρκεια, ύψος) και τις ιδιότητες του εδάφους (υφή). Για τον υπολογισμό της ωφέλιμης βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος που προτάθηκε από τον Stamm, (1967) για ξηρές και ημι-ξηρές περιοχές, όπως και η περιοχή μελέτης. Η μέθοδος παρουσιάζεται στον Πίνακα 3 και αναφέρεται σε μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης (Παπαζαφειρίου, 1984).

<u>Πίνακας 3: Μέθοδος για τον υπολογισμό της ωφέλιμης βροχόπτωσης</u> <u>σύμφωνα με το U.S. Bureau of Reclamation</u>	
Μηνιαία βροχόπτωση (mm)	Ποσοστό ωφέλιμης βροχόπτωσης (%)
0-25,4	90-100
25,4-50,8	85-95
50,8-76,2	75-90
76,2-101,6	50-80
101,6-127	30-60
127-152,4	10-40
>152,4	0-10

Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι αρδευτικές ανάγκες νερό για την ελιά για το χρονικό διάστημα μέχρι το 2100. Για την εκτίμηση του προσδιορισμού των αρδευτικών αναγκών της ελιάς με το χρόνο θεωρήθηκε ότι η μέση αύξηση της θερμοκρασίας για την περίοδο 2016-2035 είναι 0,5°C (IPCC, 2014), για την περίοδο 2046-2065 είναι 1,5°C, για το διάστημα 2081-2100 είναι 2°C, ενώ ένα ακραίο σενάριο για την ίδια περίοδο είναι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3,7°C, σύμφωνα με το σενάριο RCP 8,5 (IPCC, 2014). Η μεταβολή της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης για όλα τα σενάρια υπολογίστηκε σύμφωνα με τον IPCC σε σχέση με τα δεδομένα της περιόδου 1986-2005. Ωστόσο στην εν λόγω εργασία, λόγω έλλειψης δεδομένων για τα έτη 1986-1995, η σύγκριση των θερμοκρασιών από τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής έγινε σύμφωνα με δεδομένα που συλλέχθηκαν για την περίοδο 1995-2005.

Στα αρχικά δεδομένα της θερμοκρασίας προστέθηκε η προβλεπόμενη αύξηση για το κάθε χρονικό διάστημα. Τα δεδομένα της βροχόπτωσης, ωστόσο διατηρήθηκαν τα ίδια αφού έγινε η παραδοχή ότι δεν θα υπάρξει σαφή μεταβολή των κατακρημνισμάτων για τα επόμενα χρόνια ή οποία είναι σύμφωνη με δημοσιευμένες εργασίες για την Κρήτη (Varouchakis et al., 2018). Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία που έγινε για την εύρεση των αναγκών σε νερό για την περίοδο 1996-2004, εκτιμήθηκαν οι ανάγκες σε νερό άρδευσης για το Ν. Ηρακλείου για την καλλιέργεια της ελιάς, για τα διαστήματα 2016-2035, 2046-2065 και 2081-2100.

Επεξεργασία δεδομένων με τη χρήση του Arc GIS

Ακολούθησε επεξεργασία των σημειακών δεδομένων για την εύρεση της χωρικής διασποράς αυτών στο Ν. Ηρακλείου, μέσω του προγράμματος ArcGIS Desktop 10.2.2 με τη βοήθεια του εργαλείου geostatistical analyst.

Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ), ή κατά την αγγλική ορολογία Geographic Information Systems (GIS), σύμφωνα με το οποίο έγινε η επεξεργασία των χωρικών δεδομένων, είναι ένα σύστημα συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης, σε ψηφιακό περιβάλλον, των δεδομένων που σχετίζονται με το χώρο. Είναι ένα ψηφιακό σύστημα, βασιζόμενο σε υπολογιστικό εξοπλισμό, το οποίο χαρτογραφεί και αναλύει οντότητες που υφίστανται στην επιφάνεια της γης και γεγονότα που συμβαίνουν σε δεδομένη χρονική πραγματικότητα στον γεωγραφικό της χώρο (Κουτσόπουλος, 2002).

Βασικό χαρακτηριστικό των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα.

Το ArcGIS Desktop είναι ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών από τμήματα λογισμικού τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα μεμονωμένο Η/Υ ή να διατίθενται σε ένα ετερογενές δίκτυο Η/Υ, σταθμών εργασίας ή εξυπηρετητών.

Η εφαρμογή ArcMap είναι η κεντρική εφαρμογή του ArcGIS Desktop και έχει τις δυνατότητες δημιουργίας και επεξεργασίας χαρτών, εμφάνισης και ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων, αναζήτησης και επιλογής χωρικών δεδομένων, δημιουργίας γραφημάτων και διαμόρφωσης χαρτών για εκτύπωση.

Διαδικασία επεξεργασίας στο Geostatistical Analyst Tool

Το Geostatistical Analyst tool του ArcGIS είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιεί διάφορες γεωστατιστικές μεθόδους χωρικής παρεμβολής και με το οποίο μπορεί να δημιουργηθεί μια συνεχής επιφάνεια ή ένας χάρτης, από σημειακές μετρήσεις της εκάστοτε μεταβλητής που μελετάται. Τα σημεία δειγματοληψίας μπορεί να είναι μετρήσεις, όπως το επίπεδο ρύπανσης του αέρα, τα μετεωρολογικά δεδομένα, οι αρδευτικές ανάγκες των καλλιεργειών, όπως συμβαίνει στην συγκεκριμένη εργασία, κ.α. Σε συνδυασμό με το ArcMap, το Geostatistical Analyst tool παρέχει ένα

ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων για τη δημιουργία επιφανειών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση, την ανάλυση και την κατανόηση των χωρικών φαινομένων (ESRI, 2010).

Τα δεδομένα που εισήχθησαν στην παρούσα εργασία είναι οι μέσες ετήσιες ανάγκες σε νερό i) για την περίοδο 1996-2004, ii) για το έτος 2002 (μικρότερες ανάγκες) και 1999 (μεγαλύτερες ανάγκες), iii) για το καλοκαίρι του 2003 (μεγαλύτερες απαιτήσεις) καθώς και iv) για την καλοκαιρινή περίοδο των ετών 1996-2004. Επίσης, υπολογίσθηκε και εισήχθη στο GIS η αύξηση των αναγκών σε νερό για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,5°C, 1,5°C, 2°C και 3,7°C, της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για την περίοδο 1996-2004 και για το έτος 1999 (πιο ξερό έτος). Τέλος, εισήχθησαν τα δεδομένα για τη μέση θερμοκρασία της περιόδου που μελετάται, της καλοκαιρινής περιόδου (Ιούνιο - Αύγουστο) καθώς και του έτους 1999. Για τη διαδικασία αυτή δημιουργούνται πίνακες με τα δεδομένα που αναφέρθηκαν καθώς και με πληροφορίες με τις γεωγραφικές θέσεις για τον κάθε σταθμό. Οι πληροφορίες αυτές είναι το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, το υψόμετρο, καθώς και η απόσταση του σταθμού από τη νότια ακτογραμμή του Ν. Ηρακλείου.

Οι πίνακες αυτοί εισάγονται στο geostatistical analyst και η διαδικασία που ακολουθείται παρουσιάζεται στις Εικόνα 6 -Εικόνα 12.

Στην Εικόνα 6 γίνεται η εισαγωγή των δεδομένων προς επεξεργασία καθώς και η επιλογή μεταξύ των μεθόδων που είναι διαθέσιμες για τη γεωστατιστική ανάλυση. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται σε όλη την εργασία είναι η 'Kriging/CoKriging'. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ανάγκες σε νερό για την περίοδο 1996-2004 (96_04), ως κύρια μεταβλητή. Για να υπάρξει μεγαλύτερη ακρίβεια στο αποτέλεσμα λήφθηκε υπόψη το υψόμετρο του κάθε σταθμού (z) καθώς και η απόστασή του από τη νότια ακτογραμμή της Κρήτης (South_coast).

Methods	Input Data
<input type="checkbox"/> Deterministic methods Inverse Distance Weighting Global Polynomial Interpolation Radial Basis Functions Local Polynomial Interpolation	<input type="checkbox"/> Dataset Source Dataset: Anagkes_mellon1 Data Field: 96_04
<input type="checkbox"/> Geostatistical methods <input checked="" type="checkbox"/> Kriging / CoKriging Areal Interpolation Empirical Bayesian Kriging	<input type="checkbox"/> Dataset 2 Source Dataset: Anagkes_mellon1 Data Field: Z
<input type="checkbox"/> Interpolation with barriers Kernel Smoothing Diffusion Kernel	<input type="checkbox"/> Dataset 3 Source Dataset: Anagkes_mellon1 Data Field: South_coas
	<input type="checkbox"/> Dataset 4 Source Dataset: <none>

Kriging / CoKriging

Kriging is an interpolator that can be exact or smoothed depending on the measurement error model. It is very flexible and allows you to investigate graphs of spatial auto- ar predictions, prediction standard errors, probability and quantile. The flexibility of kriging can require a lot of decision-making. Kriging assumes the data come from a stationary

[About Kriging / CoKriging](#)

Εικόνα 6: Επιλογή μεθόδου, της κύριας μεταβλητής (Dataset) και των στοιχείων για τον συσχετισμό με την κύρια μεταβλητή (Dataset 2,3).

Στην Εικόνα 7 γίνεται επιλογή του τύπου cokriging. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ορίστηκε το Simple Cokriging. Επίσης, δίνεται η επιλογή στο χρήστη να ορίσει την κατανομή των δεδομένων που εισήγαγε στο προηγούμενο βήμα της διαδικασίας, τόσο για την κύρια όσο και για τις δευτερεύουσες μεταβλητές. Στο επόμενο βήμα της μεθόδου, στην Εικόνα 8, παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών της κύριας μεταβλητής.

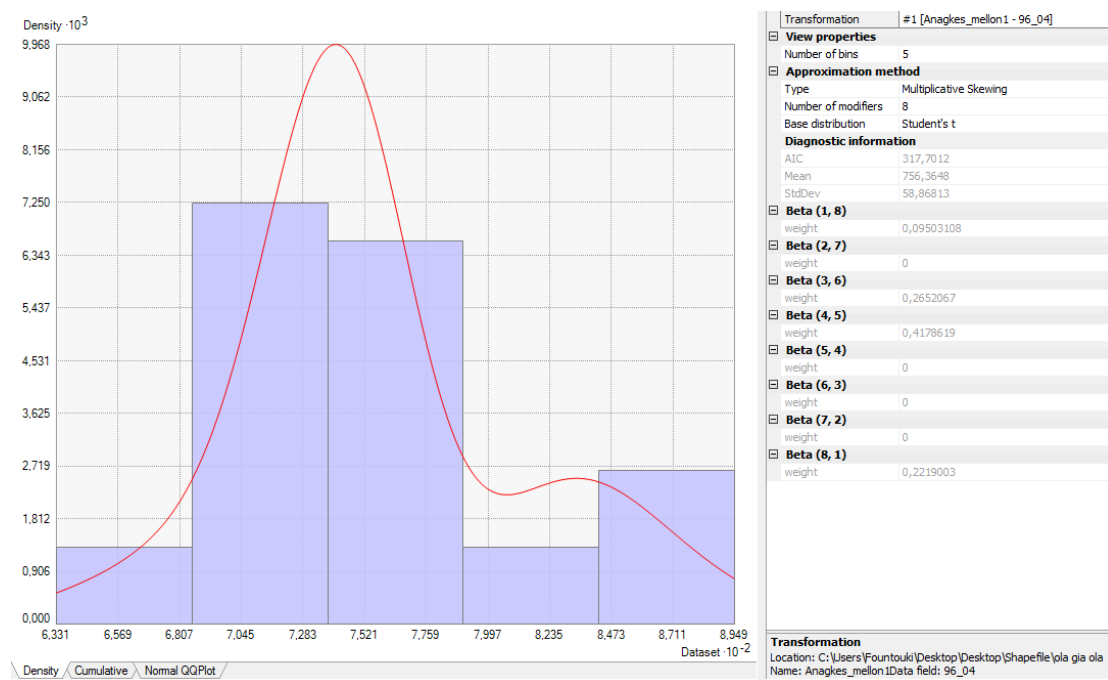
CoKriging Type	
Ordinary	
Simple	
Universal	
Indicator	
Probability	
Disjunctive	

Output Surface Type	
Prediction	
Quantile	
Probability	
Prediction Standard Error	

Dataset #1	
Transformation type	Normal Score
Dedcluster before transformation	False
Order of trend removal	None
Dataset #2	
Transformation type	Normal Score
Dedcluster before transformation	False
Order of trend removal	None
Dataset #3	
Transformation type	Normal Score
Dedcluster before transformation	False
Order of trend removal	None

Dataset #1	
Location: C:\Users\Fountouki\Desktop\Desktop\Shapefile\ola gia ola	
Name: Anagkes_mellon1	
Data field: 96_04	

Εικόνα 7: Επιλογή τύπου CoKriging και κατανομής δεδομένων.

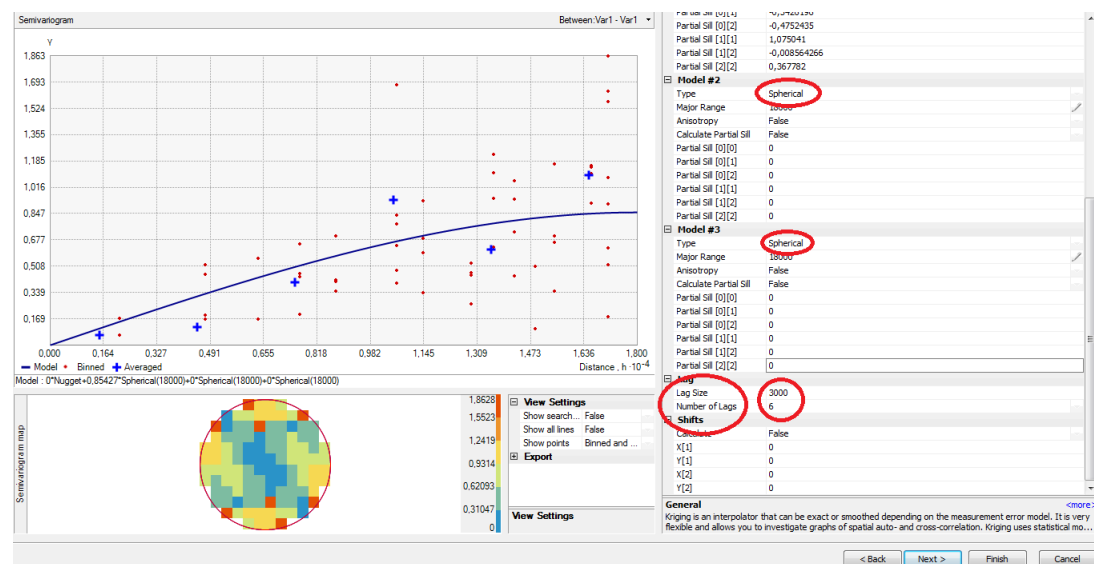


Εικόνα 8: Normal Score Transformation (Μετατροπή με χρήση της μεθόδου Normal Score)

Στην Εικόνα 9: Semivariogram/Covariance Modeling Εικόνα 9 παρουσιάζεται το ημιβαριόγραμμα, το οποίο επιτρέπει να εξεταστεί η χωρική σχέση μεταξύ των μετρούμενων σημείων. Στον άξονα x φαίνεται η απόσταση μεταξύ των ζευγών των σημείων ενώ στον άξονα y παρουσιάζεται η τετραγωνική διαφορά των τιμών τους.

Η μπλε γραμμή προσπαθεί να προσομοιώσει τη χωρική μεταβολή των δεδομένων αυτών μέσω ενός θεωρητικού (συναρτησιακού) μοντέλου (εκθετικό, γκαουσιανό, κ.ά.).

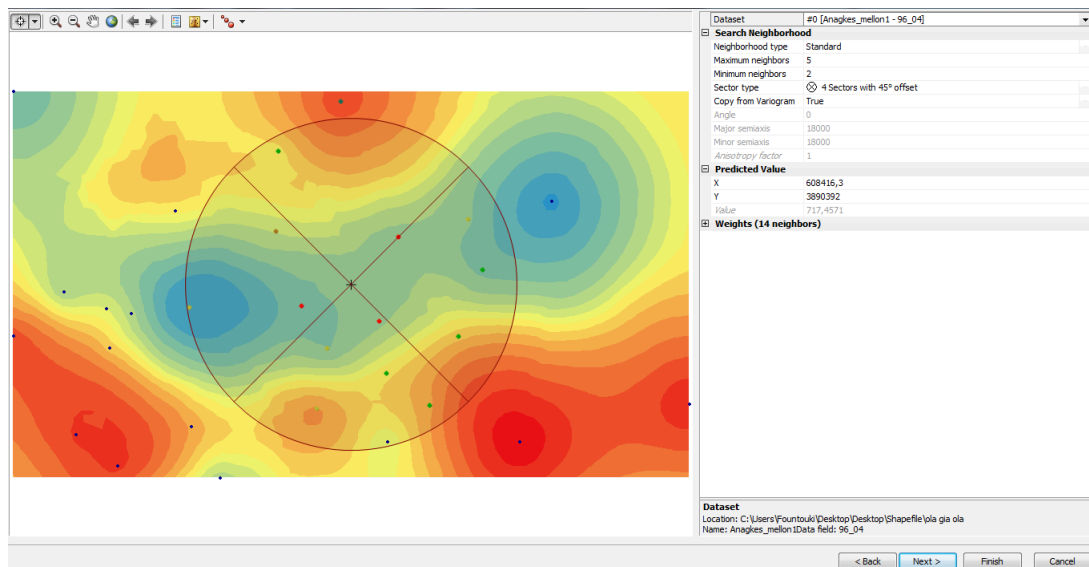
Στην επιφάνεια που βρίσκεται κάτω από το ημιβαριόγραμμα (semivariogram surface) απεικονίζεται ένας χάρτης. Κάθε τετράγωνο αντιστοιχεί σε ένα σημείο του ημιβαριογράμματος. Τα τετράγωνα με μπλε και πράσινο χρώμα αντιστοιχούν στις χαμηλότερες τιμές του άξονα y του ημιβαριογράμματος, ενώ το πορτοκαλί και το κόκκινο στις υψηλότερες. Επομένως, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι όσο μεγαλώνει η απόσταση μεταξύ δύο σημείων τόσο μικρότερη είναι και η συσχέτιση που έχουν μεταξύ τους.



Εικόνα 9: Semivariogram/Covariance Modeling

Στην Εικόνα 10 παρουσιάζεται ο χάρτης της περιοχής και τα σημεία στα οποία οι τιμές είναι γνωστές. Για την εκτίμηση της τιμής σε ένα τυχαίο άγνωστο σημείο

απαιτούνται οι μετρημένες τιμές από τα γειτονικά χωρικά εξαρτημένα σημεία. Είναι γνωστό επίσης, πως τα σημεία που βρίσκονται πιο μακριά μεταξύ τους, έχουν και μικρότερη συσχέτιση. Είναι λοιπόν δυνατό στο βήμα αυτό να εξαλείψουμε κάποιες τοποθεσίες που βρίσκονται πιο μακριά και δείχνουν μικρή επιρροή. Οι τοποθεσίες αυτές είναι πιθανό όχι μόνο να έχουν μικρότερη επιρροή αλλά ακόμη και αρνητική επίπτωση για κάποιο σημείο. Στο σημείο αυτό ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μεταβάλει τον αριθμό των γειτονικών σταθμών που λαμβάνονται υπόψη και επηρεάζουν την εκτίμηση ενός τυχαίου σημείου και να αλλάξει τη διεύθυνση κατά την οποία λαμβάνονται τα σημεία αυτά (κυκλικό, ελλiptικό).

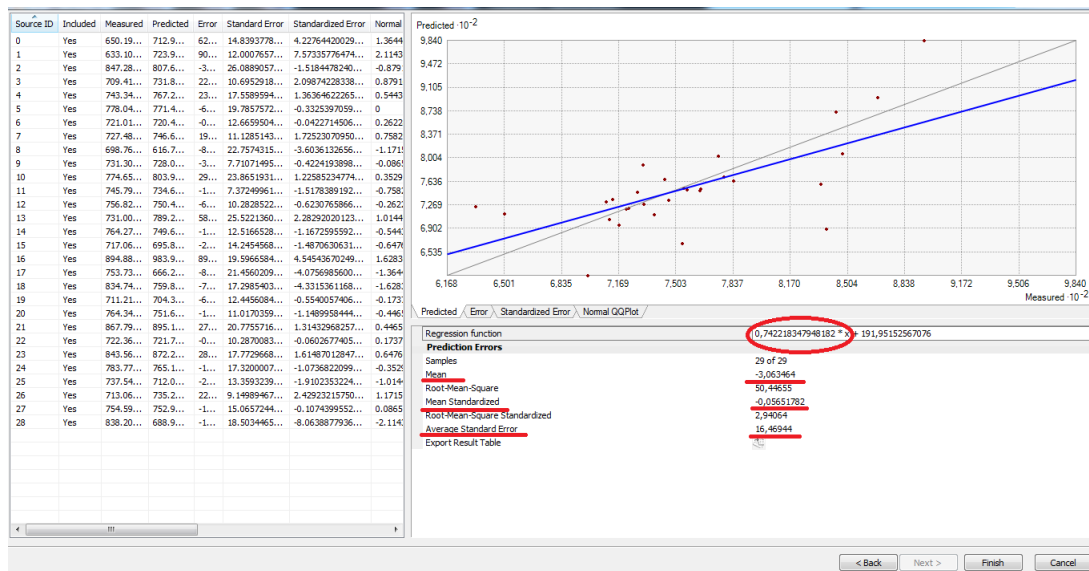


Εικόνα 10: Searching Neighborhood

Το διάγραμμα cross-validation της Εικόνα 11 παρουσιάζει τις γνωστές τιμές της μεταβλητής στα σημεία που έχουν γίνει οι μετρήσεις (measured) και τις τιμές που έδωσε το πρόγραμμα για τα ίδια σημεία (predicted). Όσο περισσότερο συμπίπτει η γραμμή τάσης (μπλε γραμμή) με την ευθεία $y=x$ τόσο περισσότερο ταιριάζουν οι πραγματικές τιμές με αυτές του μοντέλου. Η εξίσωση που παρουσιάζεται κάτω από το διάγραμμα είναι της μορφής $y=ax+b$ και πρέπει η τιμή a να τείνει προς τη μονάδα.

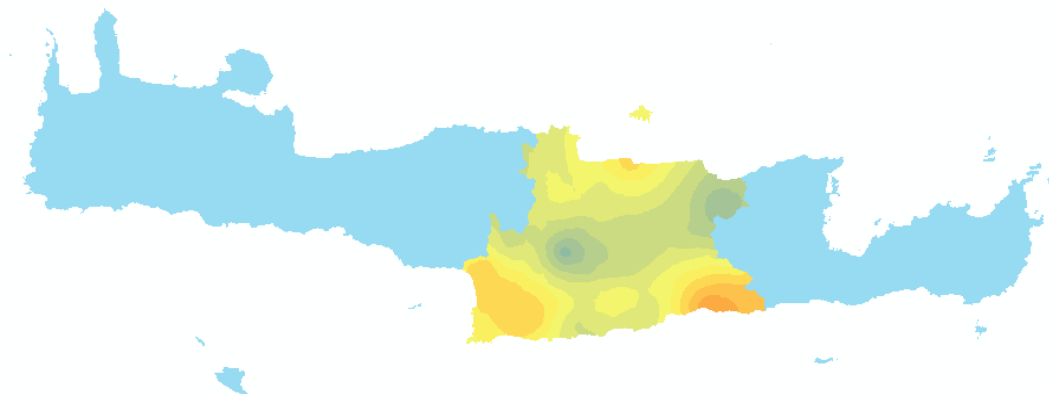
Ένα επιπλέον κριτήριο για το αν το μοντέλο παρέχει ακριβείς προβλέψεις αποτελούν οι παρακάτω δείκτες.

- Στην καρτέλα 'Prediction errors' θα πρέπει το 'Mean error' να είναι κοντά στο 0.
- Ο όρος 'root-mean-square standardized prediction error' να είναι κοντά στη μονάδα
- και οι δείκτες 'root-mean-square' και 'average standard error' να είναι όσο το δυνατόν μικρότεροι.



Εικόνα 11: Cross Validation and Prediction errors

Στην Εικόνα 12 παρουσιάζεται το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει από τη μέθοδο Geostatistical Analyst tool. Στη συγκεκριμένη εικόνα φαίνονται οι ανάγκες σε νερό για την καλλιέργεια της ελιάς στο Ν. Ηρακλείου, όπως αυτές διαμορφώθηκαν κατά την περίοδο 1996-2004. Με κόκκινο χρώμα φαίνονται οι μεγαλύτερες τιμές, ενώ με μπλε οι μικρότερες.



Εικόνα 12: Γραφική απεικόνιση των αναγκών σε νερό για την καλλιέργεια της ελιάς στο Ν. Ηρακλείου κατά την περίοδο 1996-2004, όπως διαμορφώθηκαν από το ArcGIS Desktop μέσω του Geostatistical Analyst.

Για να επιτευχθεί αποτέλεσμα με το μικρότερο δυνατό σφάλμα χρειάστηκε να γίνουν αρκετές δοκιμές τόσο στις μεταβλητές που μπαίνουν ως δεδομένα εισόδου στο πρόγραμμα όσο και στα διάφορα στάδια της διαδικασίας. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν, ως κύρια μεταβλητή, οι ανάγκες για την περίοδο 1996-2004 χωρίς να ληφθούν υπόψη άλλοι παράγοντες. Στη συνέχεια έγιναν διάφορες δοκιμές για τις δευτερεύουσες μεταβλητές, με συνδυασμούς δεδομένων, όπως το υψόμετρο των σταθμών και η απόστασή τους από τη βόρεια και νότια ακτογραμμή της Κρήτης. Η προσθήκη των δεδομένων αυτών έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, ενώ στις τελικές εκτιμήσεις τελικά χρησιμοποιήθηκαν το ύψος κάθε σταθμού και η απόσταση από τα νότια παράλια του νησιού.

Στη συνέχεια επιλέχθηκε διαφορετικό 'CoKriging Type' όπου δοκιμάστηκε η επιλογή 'Simple' αντί για 'Ordinary' παρουσιάζοντας μικρότερα σφάλματα. Επίσης, στο ημιβαριόγραμμα έγινε μεταβολή της καμπύλης η οποία αντιπροσωπεύει καλύτερα τα σημεία του ημιβαριογράμματος. Μετά από αρκετές δοκιμές (tetraspherical, exponential, K-Bessel (Matern type κ.α.) επιλέχθηκε ως βέλτιστο χωρικό μοντέλο το σφαιρικό. Ακόμη, δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στον αριθμό των lag (number of Lags) σε 6 και το μέγεθος των Lag (Lag Size) σε 3000 που καθορίζουν την απόσταση από το κέντρο του κύκλου στο σχέδιο κάτω από το ημιβαριόγραμμα. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για το βέλτιστο αριθμό γειτονικών σταθμών που επηρεάζουν τη μέτρηση. Το συμπέρασμα είναι ότι ο μέγιστος αριθμός γειτόνων

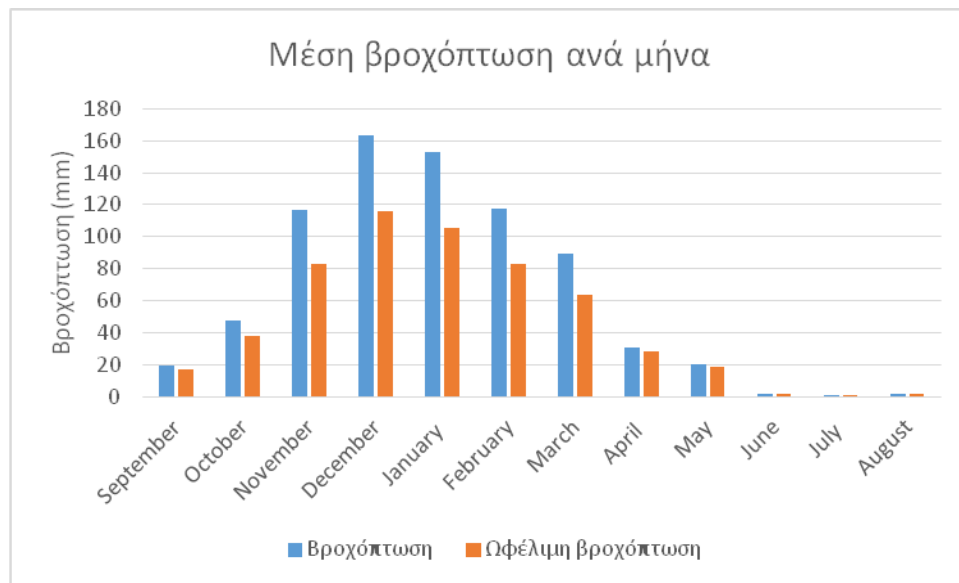
(Maximum neighbors) πρέπει να είναι 5 και ο ελάχιστος (Minimum neighbors) 2, τα δεδομένα δηλαδή που ήταν προκαθορισμένα από το ίδιο το πρόγραμμα.

Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα

Το παρόν Κεφάλαιο συνοψίζει τις πληροφορίες που αφορούν τις κλιματικές παραμέτρους, την εκτίμηση του ρυθμού ΕΤ, καθώς και του υπολογισμού των αρδευτικών αναγκών της καλλιέργειας ελιάς και της χωρο-χρονικής μεταβολής τους στον Ν. Ηρακλείου.

Η μέση ωφέλιμη και κανονική βροχόπτωση για κάθε μήνα του έτους από το Σεπτέμβριο του 1995 έως και τον Αύγουστο του 2007 για τον Ν Ηρακλείου παρουσιάζεται στην Εικόνα 13. Για το προαναφερθέν χρονικό διάστημα, το μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης λαμβάνει χώρα το μήνα Δεκέμβριο φθάνοντας τα 163 mm.

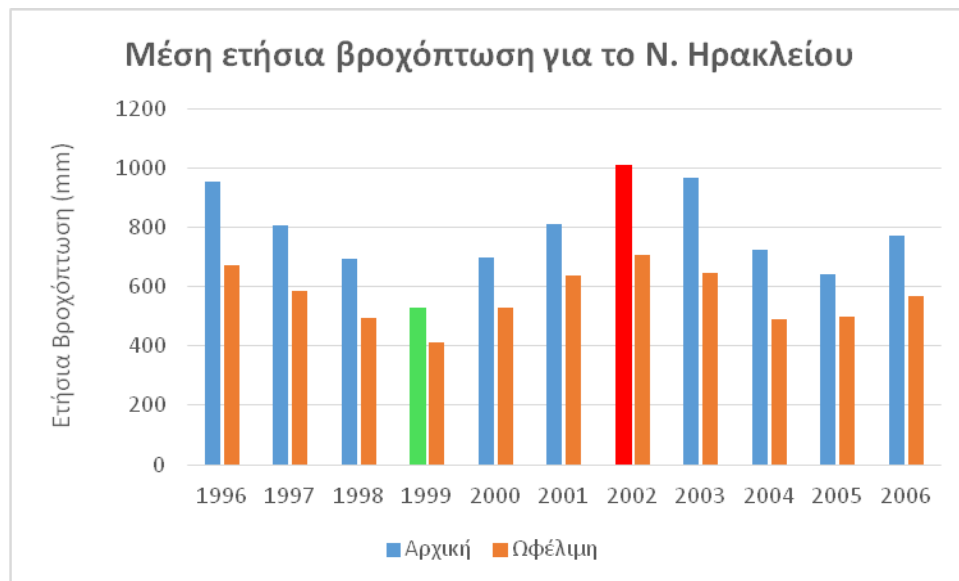
Η μέση ετήσια βροχόπτωση για το Ν. Ηρακλείου εκτιμήθηκε σε 762 mm. Το 40% (315 mm) περίπου της βροχόπτωσης για την περιοχή του Ηρακλείου λαμβάνει χώρα κατά τους μήνες Δεκέμβριο (21%) και Ιανουάριο (20%). Αντίθετα, κατά την περίοδο Απριλίου - Σεπτεμβρίου, η μέση βροχόπτωση αγγίζει μόλις τα 75 mm, δηλαδή το 10% περίπου της ετήσιας βροχόπτωσης.



Εικόνα 13: Μέση ωφέλιμη και κανονική βροχόπτωση για κάθε μήνα του έτους από το Σεπτέμβριο του 1995 μέχρι τον Αύγουστο του 2007 για τους σταθμούς του Ν. Ηρακλείου.

Το έτος 2002 ήταν το πιο υγρό για την περίοδο από το 1996 μέχρι και το 2006, με το ύψος των βροχοπτώσεων να φτάνει τα 1010 mm, ενώ το 1999 καταγράφηκε το χαμηλότερο ύψος κατακρημνίσεων (530 mm) (Εικ. 14). Σύμφωνα με την Εικόνα 14 διαπιστώνεται μια πτωτική τάση του ύψους βροχόπτωσης για περίπου τρία χρόνια η οποία ακολουθείται από μία αντίστοιχη αύξηση των βροχοπτώσεων. Η μείωση αυτή συνεχίζει για άλλα τρία χρόνια (2002-2005) και αρχίζει να αυξάνεται ξανά το 2006.

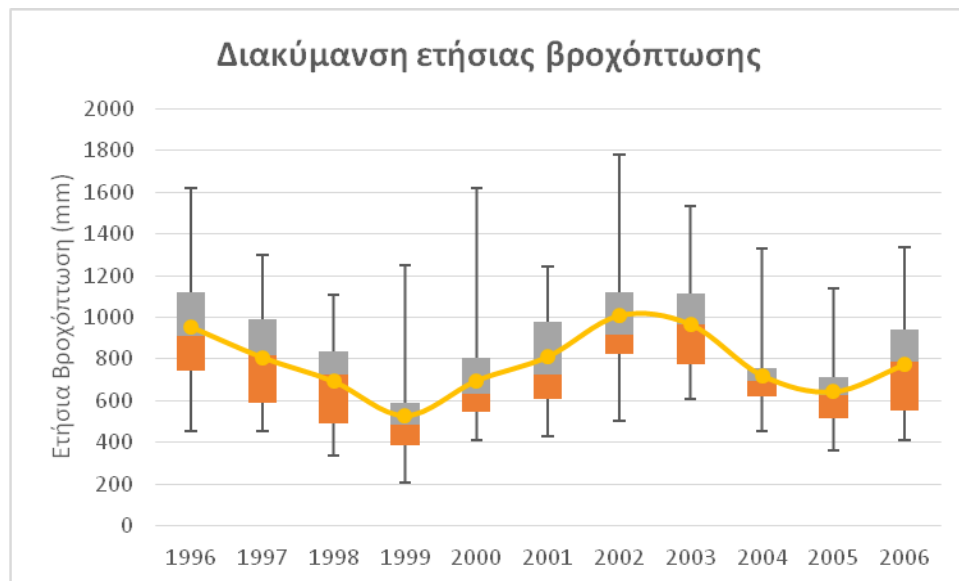
Η μέγιστη διαφορά μεταξύ της συνολικής και ωφέλιμης βροχόπτωσης παρατηρείται κατά το έτος 2003, και ισούται με περίπου 320 mm (Εικόνα 14). Το νούμερο αυτό αντιπροσωπεύει το 33% της αρχικής βροχόπτωσης, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τα υπόλοιπα έτη κυμαίνεται μεταξύ του 21% και του 33% (140 - 320 mm). Οι αντίστοιχες διαφορές μεταξύ της αρχικής και της ωφέλιμης βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του έτους φτάνουν κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο τα περίπου 48 mm (30% της αρχικής βροχόπτωσης) (Εικόνα 13). Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν είναι αρκετά υψηλές και τεκμηριώνουν την αναγκαιότητα να ληφθούν υπόψη κατά την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών και του ισοζυγίου άρδευσης.



Εικόνα 14: Μέση ετήσια αρχική και ωφέλιμη βροχόπτωση για το Ν. Ηρακλείου από το 1996 μέχρι και το 2006. Ο μέσος όρος έχει ληφθεί από 29 σταθμούς.

Η χωρική διακύμανση της ετήσιας βροχόπτωσης για την περίοδο 1996-2006 για το σύνολο των 29 μετεωρολογικών σταθμών στο Ν. Ηρακλείου παρουσιάζεται στην Εικόνα 15. Παρατηρείται ότι παρόλο το έτος 1999 ήταν το ξηρότερο για τη δεκαετία που μελετήθηκε, το μέγιστο ύψος της ετήσιας βροχόπτωσης για το έτος αυτό έφτασε τα 1250 mm στο σταθμό Γαράζο. Η τιμή αυτή ξεπερνάει τη μέγιστη τιμή της ετήσιας βροχόπτωσης για τα έτη 1998, 2001 και 2005, όπου η μέση βροχόπτωση ήταν μεγαλύτερη από το 1999.

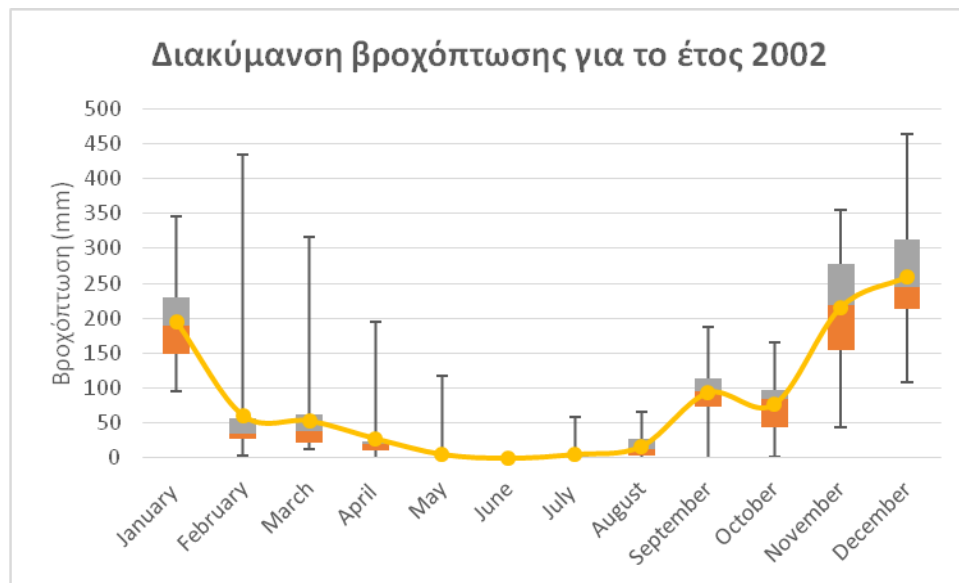
Επίσης, η διαφορά μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης ετήσιας βροχόπτωσης λαμβάνει την μέγιστη τιμή τα έτη 2002 και 1996 (1277 mm και 1164 mm αντίστοιχα) και την ελάχιστη τα έτη 1998 και 2005 (770 mm και 776 mm αντίστοιχα). Ακόμη, κατά τα έτη 2004 και 2005 η διασπορά της βροχόπτωσης ήταν πολύ μικρή για το 50% των τιμών, που βρίσκεται μεταξύ του 1ου και του 3ου τεταρτημόριου στο διάγραμμα box-plot (Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Διακύμανση της ετήσιας βροχόπτωσης για την περίοδο 1996 – 2006.

Η διακύμανση της μηνιαίας βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του υγρότερου και το ξηρότερου έτους κατά την περίοδο μελέτης παρουσιάζεται στις Εικόνα 16 και Εικόνα 17 αντίστοιχα. Η μέση βροχόπτωση για το έτος 2002 ήταν 1010 mm. Ο υγρότερος μήνας του έτους ήταν ο Δεκέμβριος, με το μέσο όρο βροχόπτωσης να φτάνει τα 258 mm και που αντιστοιχούσε το 25% της ετήσιας βροχόπτωσης. Για την περίοδο από τον Απρίλιο μέχρι και τον Σεπτέμβρη του 2002 η βροχόπτωση αγγίζει το 15% (150 mm) της ετήσιας. Το ποσοστό αυτό είναι κατά πέντε μονάδες μεγαλύτερο από τον αντίστοιχο μέσο όρο που υπολογίστηκε για την περίοδο από το Σεπτέμβριο του 1995 έως και τον Αύγουστο του 2007.

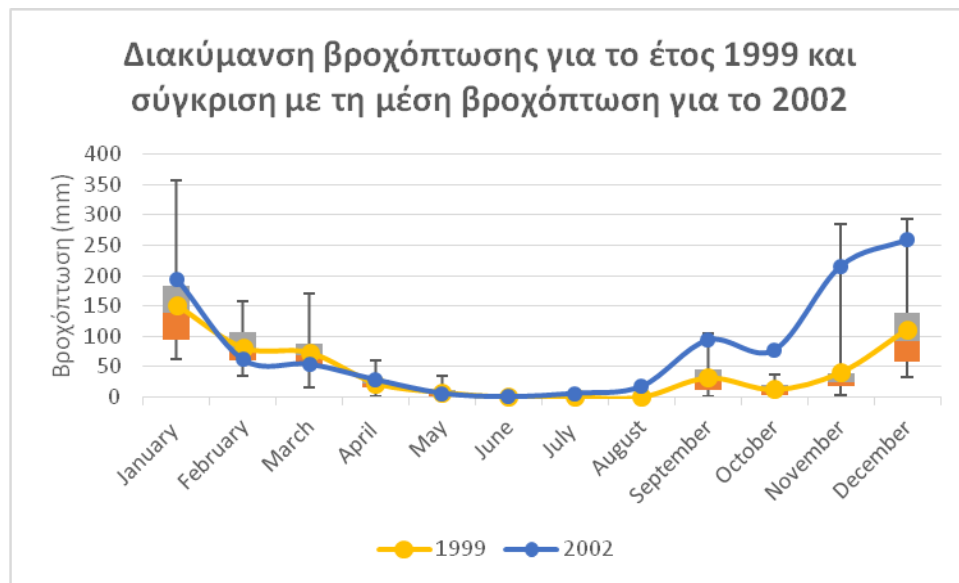
Τους μήνες Φεβρουάριο και Δεκέμβριο η απόκλιση των τιμών της βροχόπτωσης για τους 29 σταθμούς από τη μέση τιμή ήταν η μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια του έτους. Αντίθετα, κατά τον Ιούνιο, που η βροχόπτωση ήταν μηδενική, και τον Ιούλιο η διακύμανση της βροχόπτωσης για το Ν. Ηρακλείου ήταν η μικρότερη για το έτος 2002.



Εικόνα 16: Διακύμανση της μηνιαίας βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του πιο υγρού έτους (2002) για την χρονική περίοδο που μελετήθηκε για το Ν. Ηρακλείου.

Η μέση βροχόπτωση για το ξηρότερο έτος (1999) ήταν 530 mm, δηλαδή περίπου το 50% της μέσης βροχόπτωσης που έλαβε χώρα το υγρότερο έτος (2002). Την καλοκαιρινή περίοδο (Ιούνιος-Αύγουστος) του 1999 δεν έλαβε χώρα καθόλου βροχόπτωση. Για την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου το συνολικό ύψος βροχόπτωσης αντιστοιχούσε στο 12% (62 mm) του συνολικού ετήσιου ύψους. Το αντίστοιχο ύψος για το 2002 ήταν τουλάχιστον δύο φορές μεγαλύτερο (150 mm). Συμπερασματικά, τους καλοκαιρινούς μήνες η διαφορά στη μηνιαία βροχόπτωση, μεταξύ του υγρότερου και του ξηρότερου έτους, είναι πολύ μικρή, ενώ αυτή αυξάνεται την περίοδο Οκτωβρίου-Δεκεμβρίου (Εικόνα 17).

Τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο παρατηρήθηκε η μέγιστη απόκλιση των τιμών της βροχόπτωσης για τους 29 σταθμούς από τη μέση τιμή του έτους. Ακόμη, το Νοέμβριο η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης βροχόπτωσης υπολογίσθηκε στα 280 mm, με τη μέγιστη βροχόπτωση να λαμβάνει χώρα στο Γαράζο (285 mm) και την ελάχιστη (4 mm) στο Λαγολιό, που βρίσκεται στο νότιο τμήμα του Ν. Ηράκλειου κοντά στη θάλασσα.



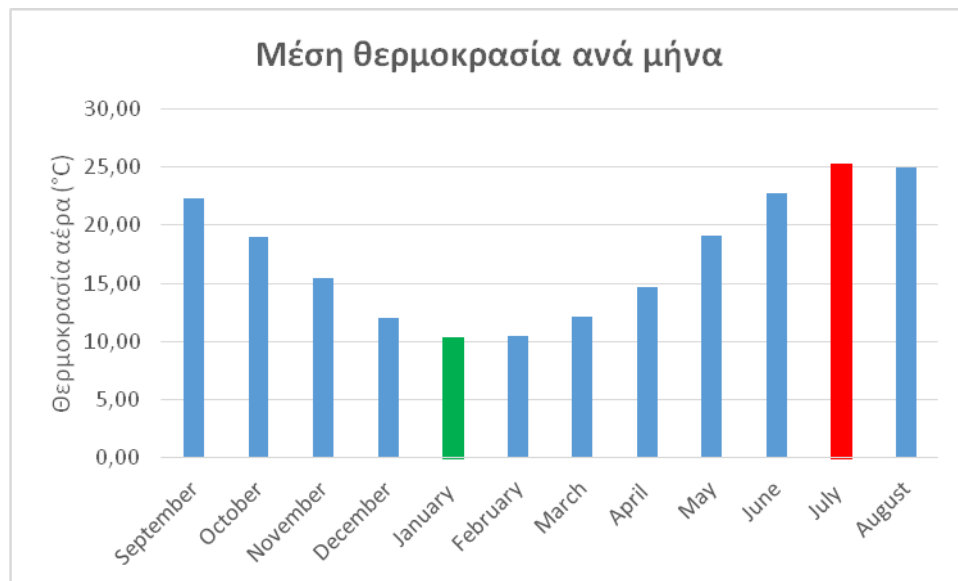
Εικόνα 17: Διακύμανση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του πιο ξηρού έτους (1999) για την χρονική περίοδο που μελετήθηκε για το Ν. Ηρακλείου, και σύγκριση με τη μέση βροχόπτωση για το έτος 2002 (υγρότερο).

Στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται η μέση θερμοκρασία για την περίοδο 1996-2004 για το Ν. Ηρακλείου. Η μέγιστη μέση ετήσια θερμοκρασία $18,03^{\circ}\text{C}$ παρατηρήθηκε το έτος 2001, ενώ αρκετά υψηλή μέση ετήσια θερμοκρασία διαπιστώθηκε επίσης και το 1999 ($17,95^{\circ}\text{C}$). Αντίθετα, το 1996 υπήρξε το έτος με τη χαμηλότερη μέση θερμοκρασία ($16,86^{\circ}\text{C}$). Κατά συνέπεια, το έτος 1999 χαρακτηρίστηκε από χαμηλό ύψος βροχόπτωσης (Εικόνα 14) και ταυτόχρονα με τη δεύτερη υψηλότερη μέση θερμοκρασία για τη χρονική περίοδο που εξετάζεται.



Εικόνα 18: Μέση ετήσια θερμοκρασία για το Ν. Ηρακλείου από το 1996 μέχρι το 2004.

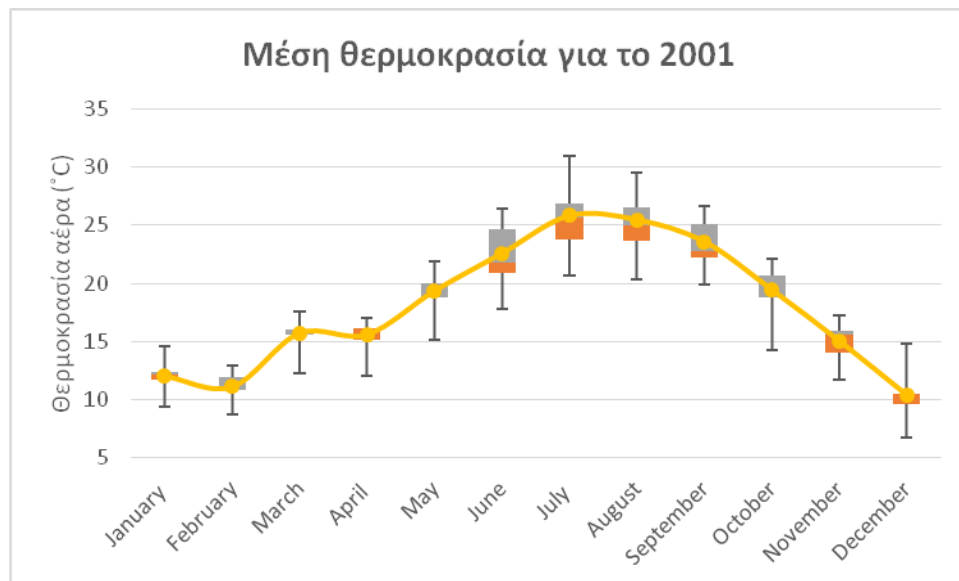
Στην Εικόνα 19 παρουσιάζεται η μέση θερμοκρασία για κάθε μήνα του έτους από το Σεπτέμβριο του 1995 έως και τον Αύγουστο του 2005. Η μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται κατά το μήνα Ιούλιο (25,3 °C), ενώ η μικρότερη τον Ιανουάριο (10,4 °C) και τον Φεβρουάριο (10,5 °C). Η μέση θερμοκρασία για το ίδιο διάστημα ήταν στους 17,4 °C. Κατά την περίοδο του Απριλίου έως και το Σεπτέμβριο, η μέση θερμοκρασία εκτιμήθηκε στους 21,5°C.



Εικόνα 19: Μέση μηνιαία θερμοκρασία για την περίοδο από το Σεπτέμβριο του 1995 μέχρι τον Αύγουστο του 2005. Με πράσινο σημειώνεται ο μήνας με τη χαμηλότερη θερμοκρασία ενώ με κόκκινο με την υψηλότερη.

Στην Εικόνα 20 παρουσιάζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για το θερμότερο έτος (2001) για το σύνολο των 29 σταθμών που ελήφθησαν παρατηρήσεις στο Ν. Ηρακλείου για την περίοδο 1996-2004.

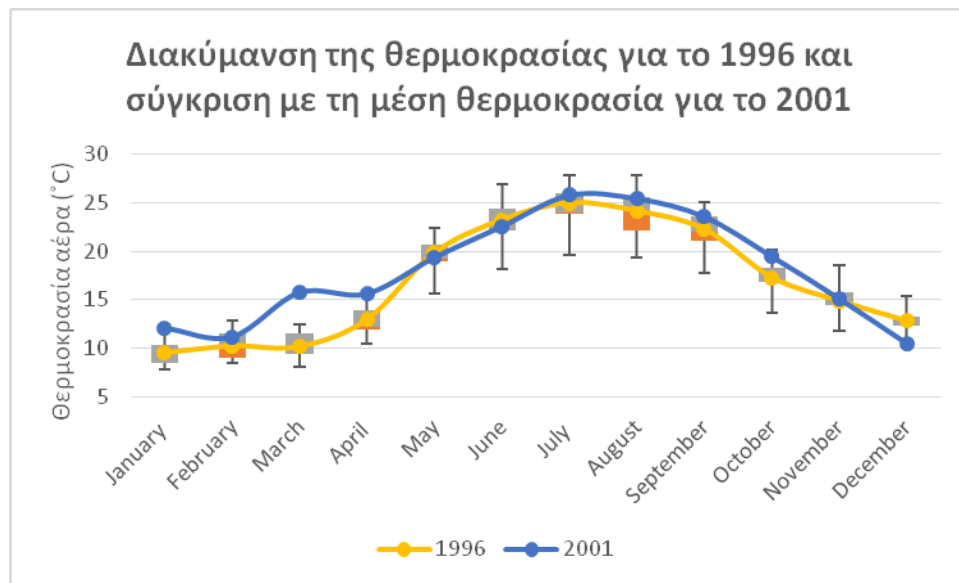
Το 2001 η μέση ετήσια θερμοκρασία ήταν 18 °C, υψηλότερη δηλαδή κατά 0,6°C από την μέση θερμοκρασία για την εξεταζόμενη περίοδο. Επίσης, το θερμότερο μήνα του έτους η θερμοκρασία (25,8°C) υπερέβει κατά 0,5°C τη μέση θερμοκρασία του μηνός αυτού για την ίδια περίοδο. Τέλος, για το 50% των τιμών που βρίσκεται μεταξύ του 1ου και του 3ου τεταρτημόριου για τους μήνες Ιούνιο έως και Σεπτέμβριο, η διαφορά κυμανθηκε μεταξύ 2,5°C και 3,5°C. Η αντίστοιχη διαφορά για το διάστημα Δεκεμβρίου-Απριλίου ήταν εμφανώς μικρότερη (0,5°C- 0,9°C) (Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Μηνιαία διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας για το πιο ζεστό έτος (2001) στο Ν. Ηρακλείου για την περίοδο 1996-2004.

Στην Εικόνα 21 συνοψίζεται η χωρική διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας για το ψυχρότερο έτος (1996) της θεωρούμενης περιόδου. Η μέση ετήσια θερμοκρασία το 1996 ήταν 16,9°C και κατά 0,5°C χαμηλότερη από την μέση θερμοκρασία για τη χρονική περίοδο 1996 - 2004.

Παρότι η διαφορά της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για το θερμότερο (2001) έτη και ψυχρότερο (1996) είναι η μέγιστη παρατηρούμε πως για ορισμένους μήνες (Μάιος, Ιούνιος, Δεκέμβριος) η μέση μηνιαία θερμοκρασία για το ψυχρότερο έτος υπερέβη τις αντίστοιχες θερμοκρασίες που καταγράφηκαν κατά το θερμότερο έτος.



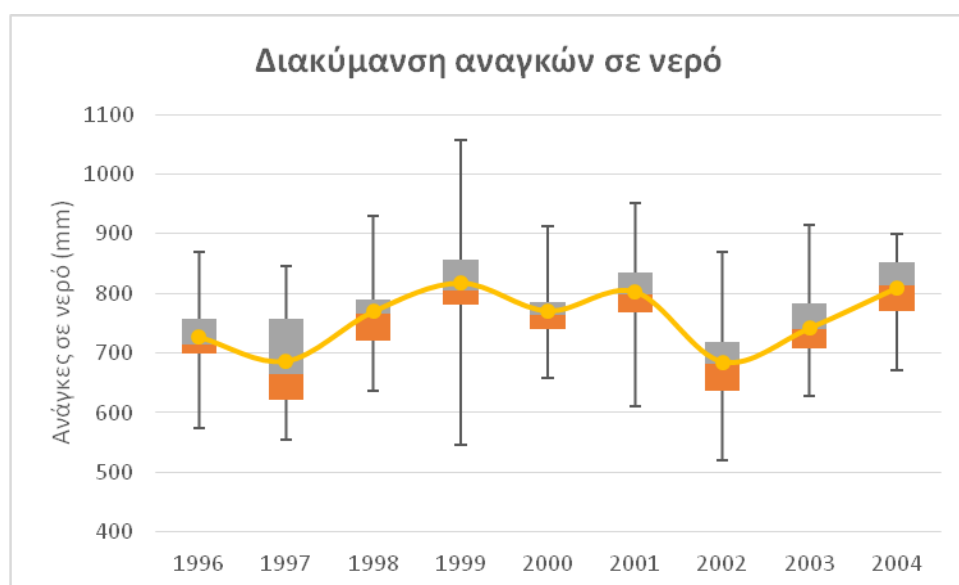
Εικόνα 21: Μηνιαία διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας για το πιο ψυχρό έτος (1996) στο Ν. Ηρακλείου για την περίοδο 1996-2004 και σύγκριση με τη μέση θερμοκρασία για το 2001 (θερμότερο έτος).

Με βάση τα δεδομένα της βροχόπτωσης και μέσης θερμοκρασίας υπολογίσθηκαν οι μέσες αρδευτικές ανάγκες της καλλιέργειας ελιάς. Σύμφωνα με τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής, από τον IPCC, υπάρχει μία μικρή πιθανότητα η μέση βροχόπτωση σε περιοχές όπως η Κρήτη να μειωθεί. Ωστόσο, για τις ανάγκες της εργασίας θεωρήθηκε ότι η βροχόπτωση δεν θα μεταβληθεί. Στην Εικόνα 22 παρουσιάζονται οι μέσες αρδευτικές ανάγκες ανά έτος για την περίοδο 1996 έως και το 2004, καθώς και η διακύμανση των εκτιμώμενων αναγκών. Οι ανάγκες της ελιάς σε άρδευση ανά έτος κυμάνθηκαν από 685 mm, που είναι το ελάχιστο για το έτος 2002, μέχρι τα 818 mm περίπου, που αντιστοιχεί στην μέγιστη τιμή, η οποία παρατηρήθηκε το έτος 1999, ενώ η μέση τιμή είναι γύρω στα 750 mm. Η μέγιστη τιμή για το έτος 1999 ήταν αναμενόμενη αφού κατά το έτος αυτό παρατηρήθηκε το μικρότερο ύψος βροχόπτωσης ενώ ταυτόχρονα η μέση θερμοκρασία ήταν από τις υψηλότερες που καταγράφηκαν κατά την θεωρούμενη περίοδο.

Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης ανάγκης σε νερό άρδευσης έλαβε χώρα το έτος 1999 (μέγιστες ανάγκες). Η χαμηλότερη τιμή της περιόδου παρατηρήθηκε το έτος 2002 (520 mm), ενώ το έτος 1999 σημειώθηκε η τρίτη μικρότερη τιμή που για την ευρύτερη περιοχή της Αγίας Βαρβάρας υπολογίσθηκε στα 545 mm. Είναι αξιοσημείωτο, λοιπόν, το γεγονός ότι κατά το έτος

με τις υψηλότερες αρδευτικές ανάγκες (1999) καταγράφηκαν τιμές που προσεγγίζουν τις αντίστοιχες του έτους με τις χαμηλότερες ανάγκες άρδευσης (2002).

Είναι γνωστό πως η αρδευόμενη έκταση στο Ν. Ηρακλείου ισούται με 220 km² και πως η μέση ανάγκη για νερό για την καλλιέργεια της ελιάς, για τα έτη 1995-2005 είναι 756mm. Κάνοντας την υπόθεση ότι όλη η αρδευόμενη έκταση καλύπτεται από ελαιώνες η συνολική ζήτηση σε αρδευτικό νερό είναι 166,5 Mm³/έτος.



Εικόνα 22: Διακύμανση των αναγκών της ελιάς σε νερό από το 1996 μέχρι το 2004 στο Ν. Ηρακλείου.

Στην Εικόνα 23 παρουσιάζεται η μέση ανάγκη σε νερό για την καλλιέργεια ελιάς για κάθε μήνα του έτους από το Σεπτέμβριο του 1995 έως και τον Αύγουστο του 2005. Για το χρονικό διάστημα αυτό, η μεγαλύτερη ανάγκη για νερό σημειώθηκε το μήνα Ιούλιο φθάνοντας τα 136 mm.

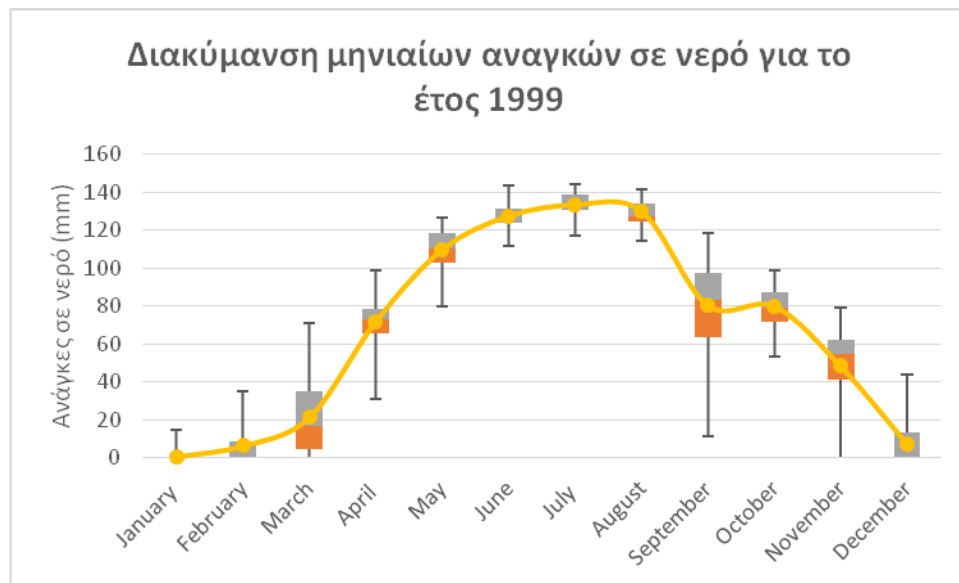
Η μέση ετήσια ανάγκη για το Ν. Ηρακλείου είναι περίπου 756 mm. Το 84% (638 mm) των αναγκών για την περιοχή του Ηρακλείου προκύπτει κατά την περίοδο από τον Απρίλιο μέχρι και το Σεπτέμβρη. Την ίδια περίοδο η μέση βροχόπτωση άγγιξε μόλις τα 75 mm που αντιστοιχεί περίπου στο 10% της ετήσιας βροχόπτωσης.



Εικόνα 23: Μέση μηνιαία ανάγκη σε νερό για τους ελαιώνες από το Σεπτέμβριο του 1995 μέχρι τον Αύγουστο του 2005.

Η διακύμανση των μηνιαίων αναγκών σε νερό για το σύνολο των 29 μετεωρολογικών σταθμών στο Ν. Ηρακλείου για το έτος με τη μεγαλύτερη ζήτηση σε νερό (1999) παρουσιάζεται στην Εικόνα 24. Οι μέσες ανάγκες για το έτος εκτιμήθηκαν σε 818 mm, και η ζήτηση για το μήνα Ιούλιο έφτασε τα 133 mm.

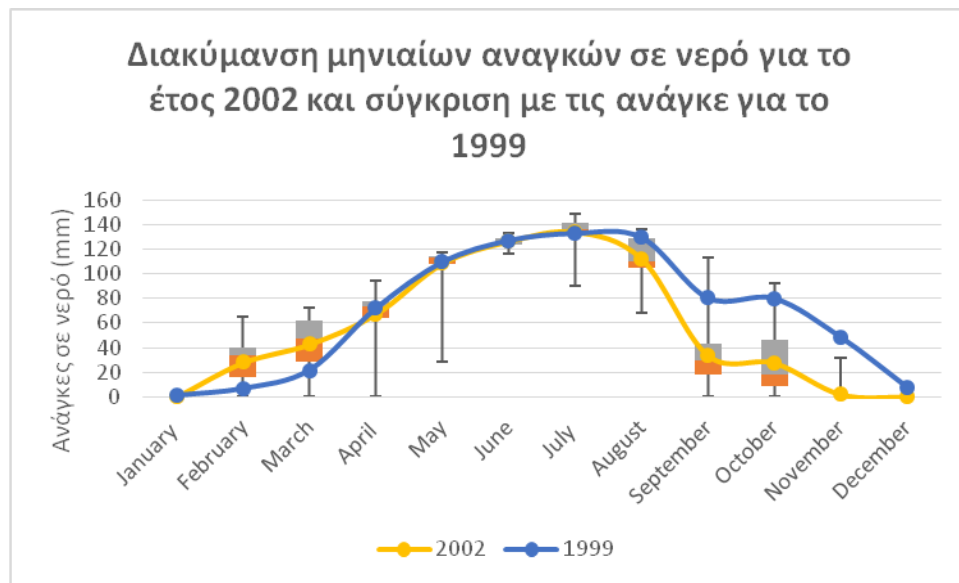
Το έτος 1999 το 79% (652 mm) των αρδευτικών αναγκών λαμβάνει χώρα την περίοδο από τον Απρίλιο έως και το Σεπτέμβριο. Το αντίστοιχο ποσοστό για την περίοδο που εξετάζεται είναι υψηλότερο και φτάνει το 84% έχοντας ωστόσο μικρότερες ανάγκες για άρδευση (638 mm). Ακόμη, η διαφορά μεταξύ των μέγιστων και των ελάχιστων μηνιαίων αναγκών σε νερό άρδευσης λαμβάνει την μέγιστη τιμή το Σεπτέμβριο (107 mm), με τις υψηλότερες ανάγκες να φτάνουν τα 119 mm στην περιοχή της Πόμπιας και τις ελάχιστες (11,5 mm) στην περιοχή της Αγίας Βαρβάρας.



Εικόνα 24: Μηνιαία διακύμανση των μέσων αναγκών σε νερό για ελαιώνες, για το έτος με τη μεγαλύτερη ζήτηση σε νερό (1999) στο Ν. Ηρακλείου για την περίοδο 1996-2004.

Στην Εικόνα 25 παρουσιάζεται η διακύμανση των μηνιαίων αναγκών σε νερό για το για το έτος με τη χαμηλότερη ζήτηση σε νερό άρδευσης (2002). Το μέσο ετήσιο ύψος άρδευσης εκτιμήθηκε σε 685 mm, ενώ η ζήτηση για το μήνα Ιούλιο έφτασε τα 135 mm. Τα αντίστοιχα ύψη άρδευσης για την περίοδο Σεπτέμβριος του 1995 - Αύγουστος του 2005 ήταν 756 mm με τη μεγαλύτερη ζήτηση να καταγράφεται τον Ιούλιο (136 mm). Κατά το έτος 2002 το 85% (584 mm) των αναγκών σε νερό παρατηρείται την περίοδο από τον Απρίλιο μέχρι και το Σεπτέμβρη.

Παρόλο που η διαφορά των μέσων αναγκών σε νερό για τα έτη 1999 (υψηλότερες) και 2002 (μικρότερες) είναι η μέγιστη παρατηρούμε πως κατά τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο οι μέσες μηνιαίες ανάγκες για το 2002 ξεπερνάνε τις αντίστοιχες για το 1999.



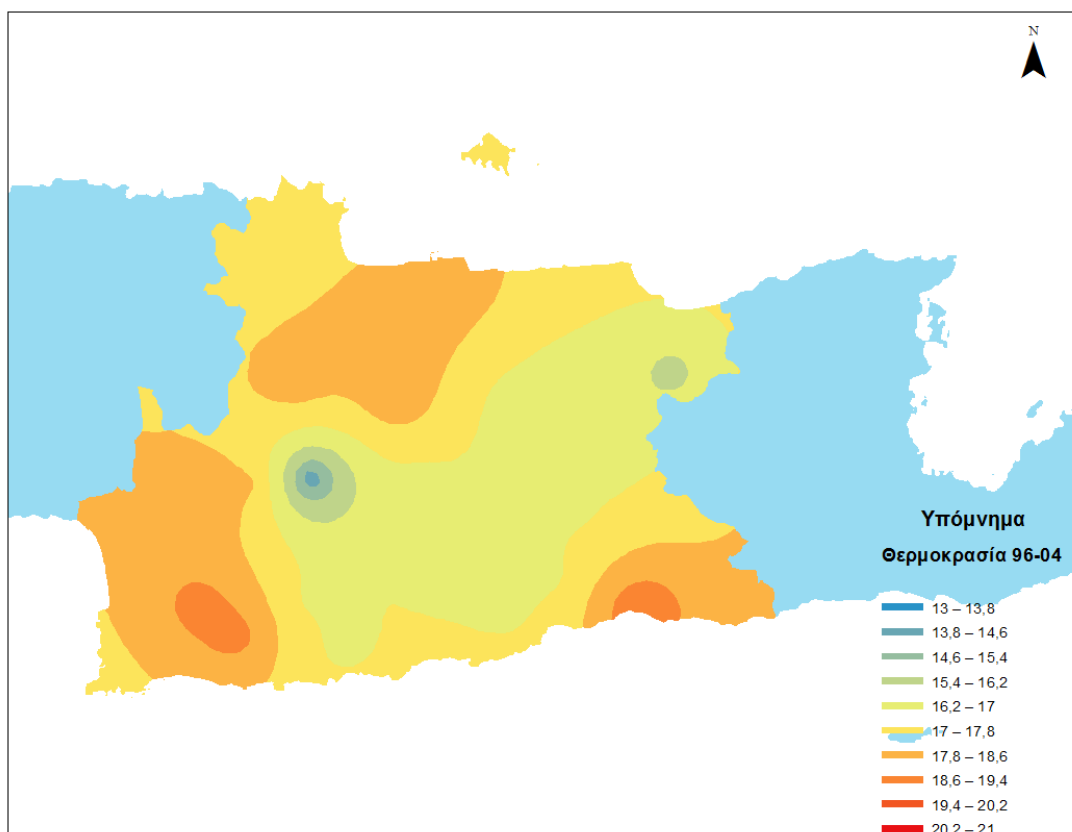
Εικόνα 25: Μηνιαία διακύμανση των μέσων αναγκών σε νερό για ελαιώνες, για το έτος με τη μικρότερη ζήτηση σε νερό (2002) στο Ν. Ηρακλείου για την περίοδο 1996-2004 και σύγκριση με τις ανάγκες για το έτος με τη μεγαλύτερη ζήτηση (1999).

Στην Εικόνα 26 παρουσιάζονται οι αρδευτικές ανάγκες για την καλλιέργεια της ελιάς κατά την θερινή περίοδο (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο) από τον Ιούνιο του 1996 μέχρι και τον Αύγουστο του 2005. Παρότι κατά το έτος 1999 καταγράφηκαν οι υψηλότερες απαιτήσεις, το καλοκαίρι του έτους αυτού η ανάγκη έφτασε τα 390 mm. Η τιμή αυτή ωστόσο δεν είναι η μέγιστη καθώς το έτος 2003 καταγράφηκαν οι υψηλότερες αρδευτικές ανάγκες που έφθασαν τα 395 mm.



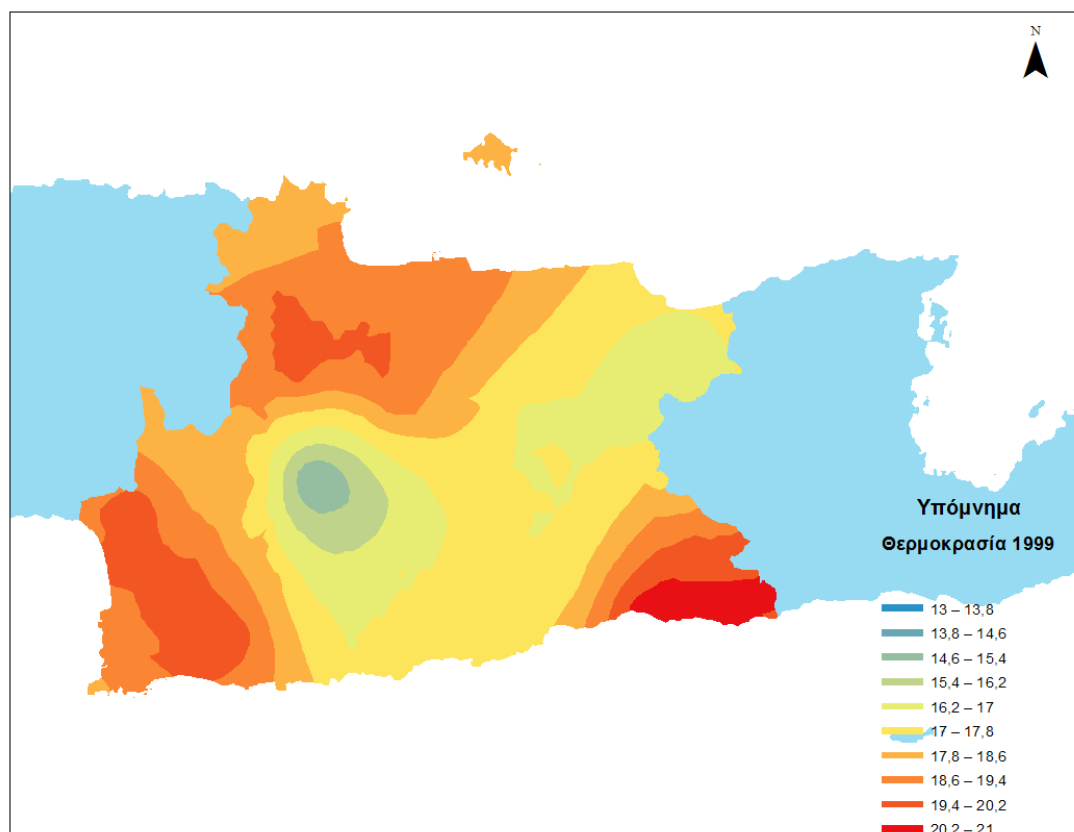
Εικόνα 26: Ανάγκες σε νερό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες για το Ν. Ηρακλείου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι χάρτες της χωρικής διασποράς για τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και τις ανάγκες άρδευσης της ελιάς στο Ν. Ηρακλείου, όπως δημιουργήθηκαν από το Geostatistical Analyst tool του ArcGIS. Ειδικότερα, στην Εικόνα 27 καταγράφεται η χωρική μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας για τα έτη 1996-2004. Η θερμοκρασία για το Ν. Ηρακλείου κυμαίνεται μεταξύ 13,8°C και 19,9°C. Οι υψηλότερες τιμές σημειώνονται στο νοτιο-ανατολικό άκρο του νομού, γύρω από τον Κερατόκαμπο και στο νοτιοδυτικό άκρο, στην πεδιάδα της Μεσσαράς. Επίσης, υψηλές θερμοκρασίες καταγράφηκαν και γύρω από την πόλη του Ηρακλείου, κοντά στο σταθμό της Φοινικιάς. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες για το Ν. Ηρακλείου σημειώθηκαν στους πρόποδες του Ψηλορείτη και του όρους Δίκτη.



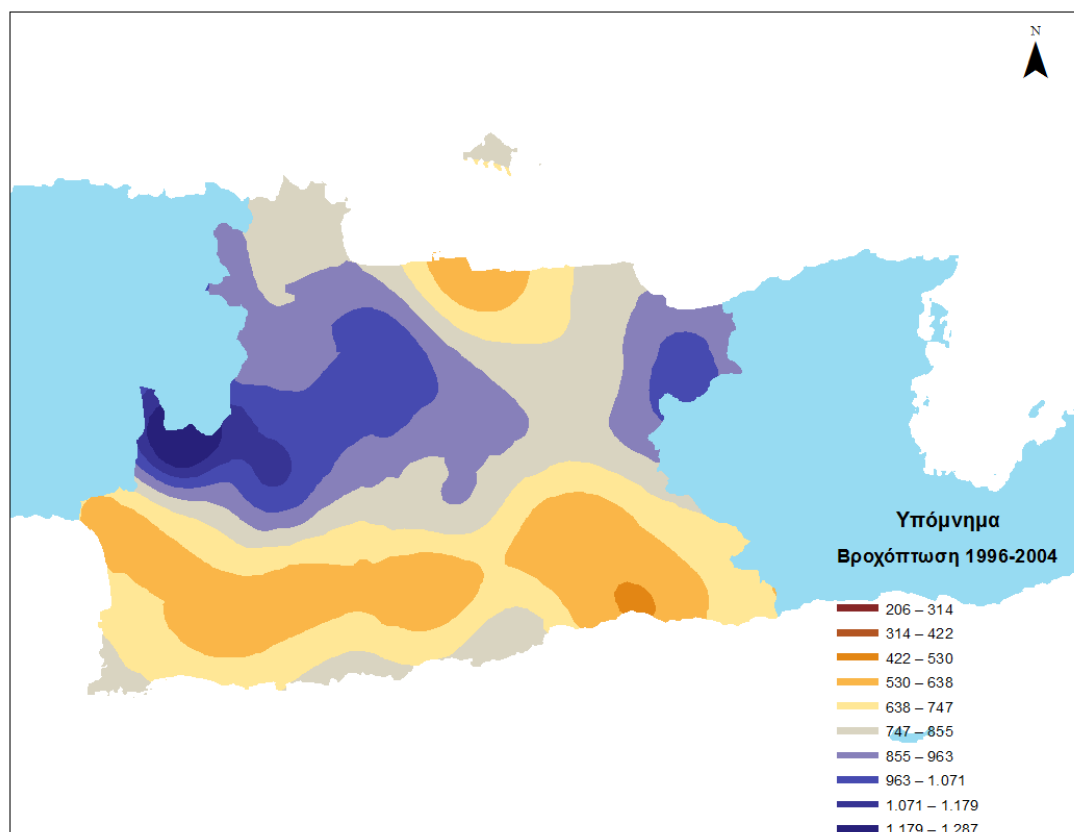
Εικόνα 27: Χωρική διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας για το Ν. Ηρακλείου κατά την περίοδο 1996-2004.

Στην Εικόνα 28 παρουσιάζεται η κατανομή της θερμοκρασίας για το έτος 1999, το δεύτερο πιο ζεστό έτος για την περίοδο 1996 – 2004. Η μέση θερμοκρασία είναι κατά 0,5 °C μεγαλύτερη από τη μέση θερμοκρασία για την περίοδο που εξετάζεται. Στο σταθμό του Κρουσώνα η μέση θερμοκρασία το έτος 1999 ήταν κατά 1,1°C υψηλότερη, ενώ σε σταθμούς όπως η Γέργερη, ο Ζαρός , το Μορώνι και τα Βορίζια η θερμοκρασία κατά το 1999 ήταν μειωμένη κατά 0,1°C από τη μέση θερμοκρασία για την περίοδο 1996-2004.



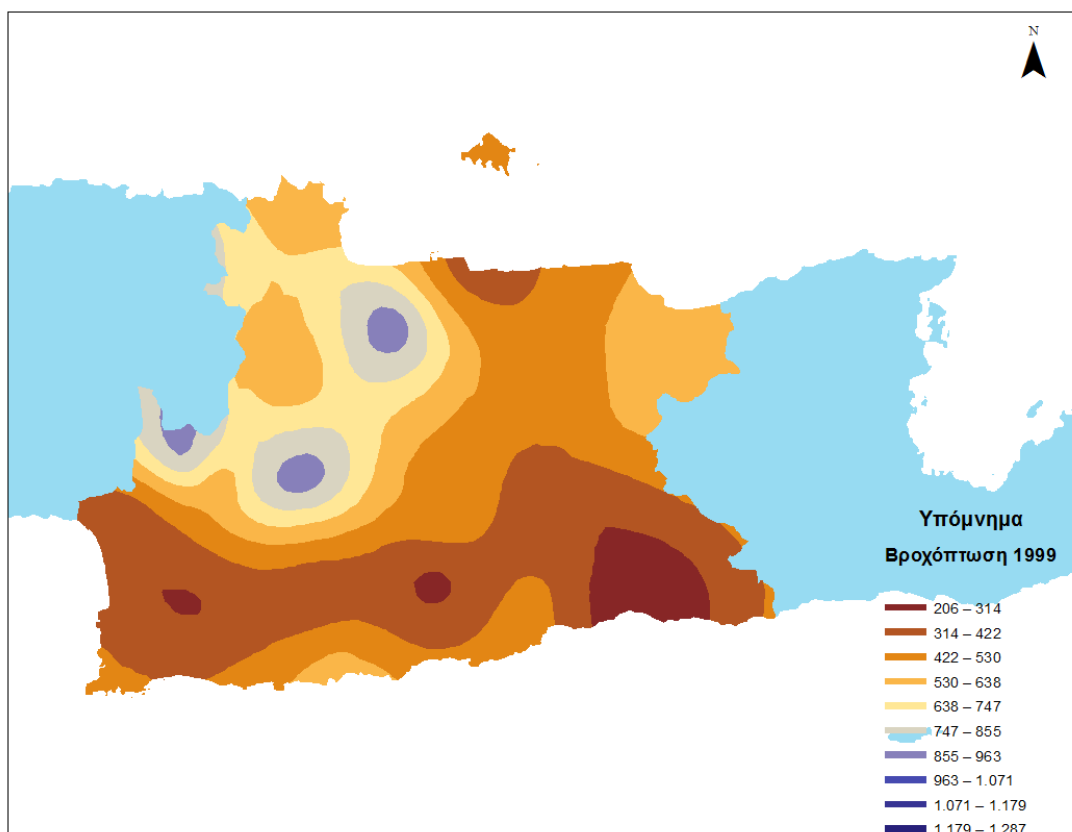
Εικόνα 28: Χωρική μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας για το δεύτερο θερμότερο έτος της περιόδου 1996-2004 (1999).

Στην Εικόνα 29 απεικονίζεται η χωρική διακύμανση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για το Ν. Ηρακλείου κατά την περίοδο 1996 – 2004. Η μέγιστη τιμή συναντάται στο σταθμό Βορίζια (1240 mm), όπου βρίσκεται δυτικά του νομού στους πρόποδες του Ψηλορείτη και σε υψόμετρο 520 m. Η περιοχή με τη μικρότερη βροχόπτωση για την εξεταζόμενη περίοδο βρίσκεται γύρω από τον παραθαλάσσιο οικισμό Καψάλη (520 mm), στο νοτιοανατολικό άκρο του Ν. Ηρακλείου. Παρατηρείται πως στο βόρειο τμήμα του νομού το μέσο ύψος βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το νότιο τμήμα του νησιού. Ωστόσο, στην περιοχή γύρω από την πόλη του Ηρακλείου η βροχόπτωση κυμαίνεται σε χαμηλότερες τιμές, παρόμοιες με αυτές του νότιου τμήματος του νομού.



Εικόνα 29: Διακύμανση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης για το Ν. Ηρακλείου κατά την περίοδο 1996-2004.

Στην Εικόνα 30 παρουσιάζεται ο χάρτης χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης για το ξηρότερο έτος (1999) κατά την περίοδο 1996 – 2004. Παρατηρείται πως στο νότιο τμήμα του Ν. Ηρακλείου σημειώθηκε πολύ χαμηλό ύψος βροχοπτώσεων, με την μικρότερη τιμή να φτάνει τα 207 mm στον οικισμό Καψάλη. Η τιμή αυτή είναι κατά 60% μικρότερη από τη μέση βροχόπτωση για όλη την περίοδο στην περιοχή αυτή. Ωστόσο, κοντά στο σταθμό Αγία Βαρβάρα και Φοινικιά η μείωση της βροχόπτωσης για το έτος 1999 ήταν αρκετά μικρότερη, περίπου 60 -90 mm (6-10%).



Εικόνα 30:Χωρική διακύμανση της ετήσιας βροχόπτωσης στο Ν. Ηρακλείου για το έτος 1999 (ξηρότερο έτος για την περίοδο που εξετάζεται).

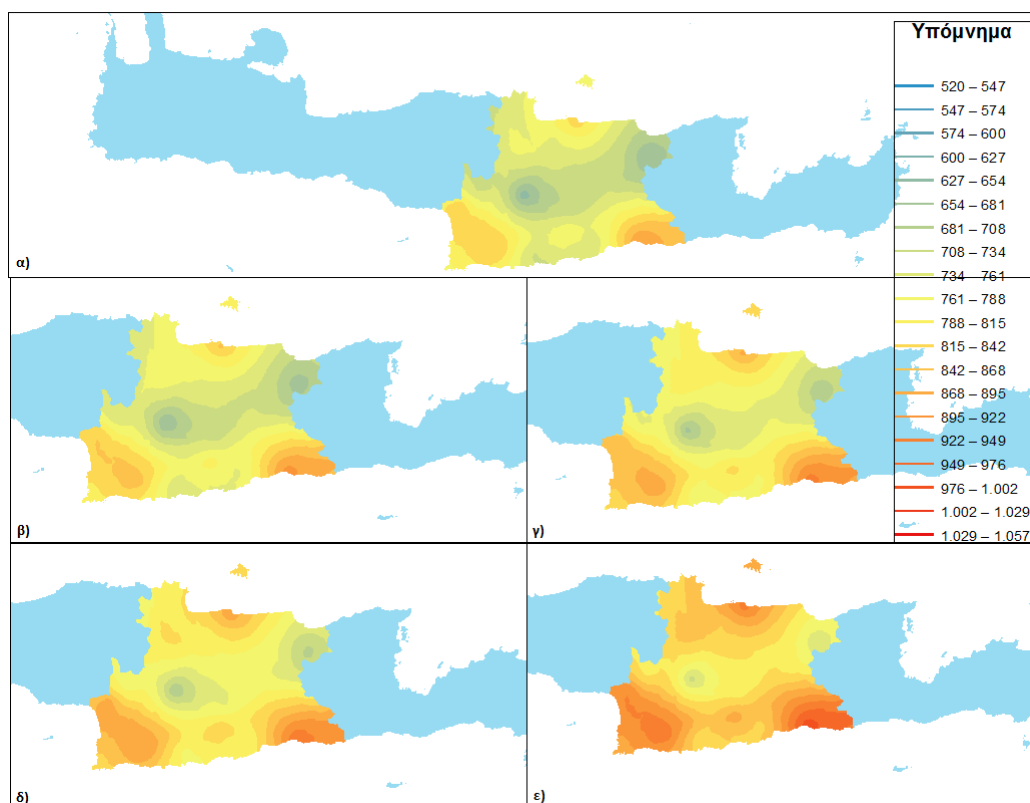
Στην Εικόνα 31 παρουσιάζεται η χωρική μεταβολή των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας της ελιάς για το Ν. Ηρακλείου. Στις εικόνες αυτές καταγράφονται οι εκτιμώμενες ανάγκες για τις περιόδους 2016-2035, 2046-2065 και 2081-2100 όπως προκύπτουν από τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής σύμφωνα με τον IPCC.

Στις Εικόνα 31α και 31β παρουσιάζονται οι αρδευτικές ανάγκες σε νερό για την περίοδο 1996-2004 και για την περίοδο 2016-2035, όπου σύμφωνα με τα κλιματικά σενάρια, η μέση αύξηση της θερμοκρασίας εκτιμάται σε 0,5°C σε σχέση με την περίοδο 1986-2005. Η μέση ανάγκη για την περίοδο που εξετάζεται είναι 756 mm, ενώ η μέγιστη τιμή φτάνει τα 894 mm και η μικρότερη τα 633 mm. Τα αντίστοιχα ποσά για τα έτη 2016 έως 2035 είναι 768 mm, με μεγαλύτερη τιμή τα 907 mm και μικρότερη τα 644 mm.

Στις Εικόνα 31γ και 31δ παρουσιάζεται η χωρική μεταβολή των αρδευτικών αναγκών της ελιάς για το Ν. Ηρακλείου την περίοδο 2046-2065 και 2081-2100. Για

τις δύο αυτές χρονικές περιόδους η μέση θερμοκρασία εκτιμάται ότι θα αυξηθεί κατά 1,5°C και 2°C, αντίστοιχα, με ανάλογη αύξηση των αρδευτικών αναγκών. Οι ανάγκες σε άρδευση εκτιμήθηκε ότι θα αυξηθούν κατά 36 mm (793 mm) την περίοδο 2046-2065 σε σχέση με την περίοδο 1996-2004 και κατά 48 mm (805 mm) για το διάστημα 2081-2100. Η τιμή των αναγκών για την πρώτη περίοδο κυμαίνεται μεταξύ 667 mm και 933 mm, ενώ για τη δεύτερη από 679 mm μέχρι 946 mm.

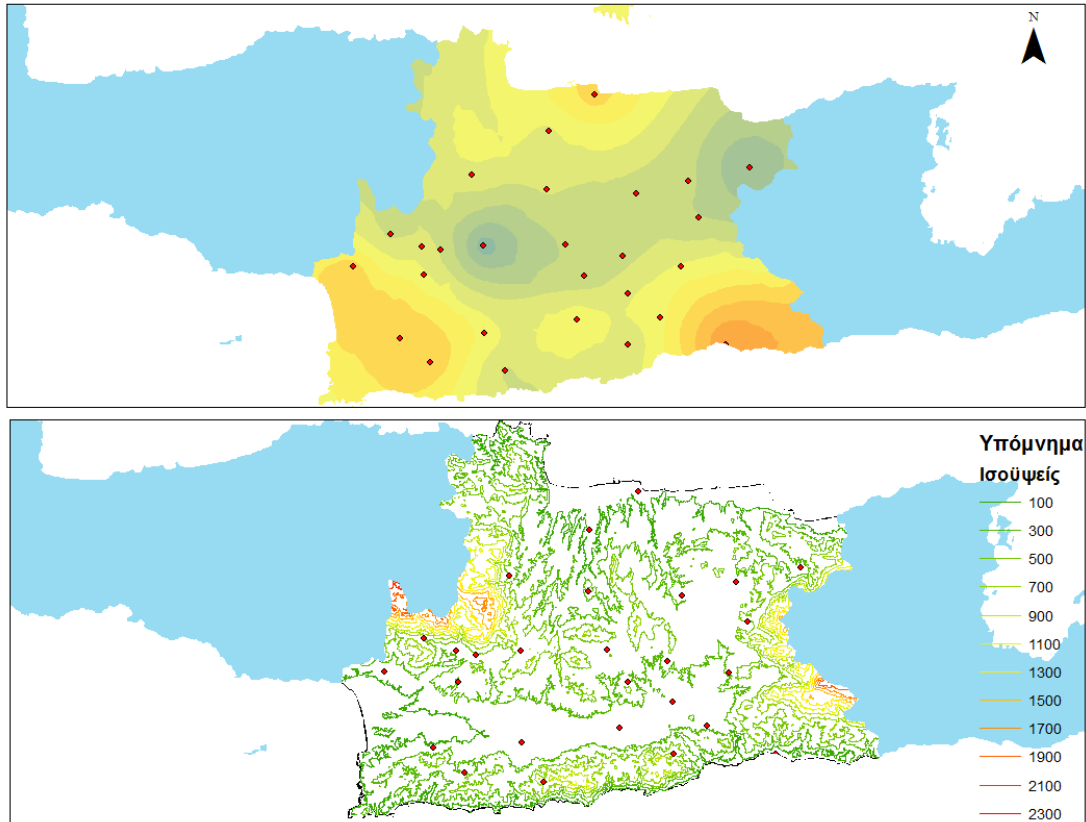
Στην Εικόνα 31ε παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των αρδευτικών αναγκών για την καλλιέργεια της ελιάς για την περίοδο 2081-2100 στο Ν. Ηρακλείου. Στον χάρτη αυτό λαμβάνεται υπόψη το κλιματικό σενάριο RCP 8.5, και ειδικότερα η μεγαλύτερη δυνατή αύξηση στο σενάριο αυτό που φτάνει τους 3,7°C σε σχέση με την περίοδο 1986-2005. Οι μέγιστες αρδευτικές ανάγκες με βάση το σενάριο εκτιμήθηκαν σε 991 mm και οι ελάχιστες σε 719 mm. Οι μέσες αρδευτικές ανάγκες εκτιμήθηκαν σε 847 mm, δηλαδή 12% υψηλότερες από τις αντίστοιχες για την περίοδο 1996-2004.



Εικόνα 31: Χωρική διακύμανση των αναγκών της ελιάς σε νερό για την περίοδο α) 1996-2004, β) 2016-2035 με εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,5°C, γ) 2046-2065 για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,5°C, δ) 2081-2100 για αύξηση κατά 2°C και ε) 2081-2100 με αύξηση κατά 3,7°C σύμφωνα με το σενάριοRCP 8.5.

Οι ανάγκες για άρδευση της καλλιέργειας της ελιάς έδειξαν άμεση συσχέτιση με το υψόμετρο της περιοχής. Η συσχέτιση αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 32, στην οποία φαίνονται και οι σταθμοί μετρήσεων από τους οποίους χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα για την παρούσα εργασία. Ξεκινώντας από το κέντρο του νομού, μεγάλο υψόμετρο παρατηρείται στο δυτικό τμήμα, καθώς και στο ανατολικό τμήμα του νομού. Δυτικά βρίσκεται ο Ψηλορείτης με μέγιστο υψόμετρο τα 2100 m, ενώ στο ανατολικό τμήμα είναι τα Λασιθιώτικα όρη (Δίκη) (2100 m). Ανάμεσα στους δύο αυτούς ορεινούς όγκους παρεμβάλλονται περιοχές, με σχετικά μεγάλο υψόμετρο για τα δεδομένα του νομού (500-900 m). Στο νότιο τμήμα βρίσκεται ο ορεινός όγκος των Αστερουσίων με μέγιστο υψόμετρο τα 1100 m και κοντινότερο σταθμό αυτόν των Καπετανιανών. Οι υπόλοιπες περιοχές στο νομό βρίσκονται σε χαμηλότερο υψόμετρο και σε κοντινή απόσταση από τη θάλασσα. Στο κεντρικό τμήμα του νομού που έχει και το μεγαλύτερο υψόμετρο οι τιμές των αναγκών σε νερό κυμαίνονται σε

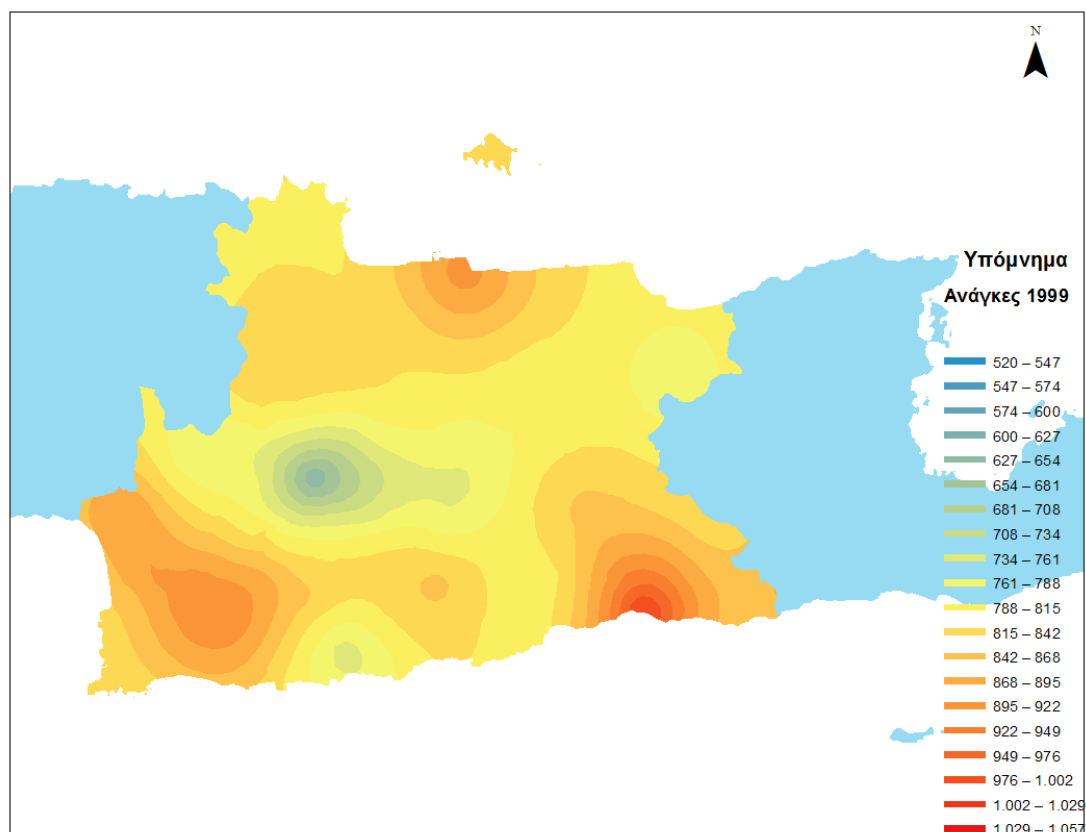
χαμηλές τιμές, μεταξύ 500-700 mm. Αντίστοιχες είναι και οι τιμές στην περιοχή γύρω από τα Αστερούσια που όπως προαναφέρθηκε το υψόμετρο είναι μεγάλο. Στο νότιο δυτικό τμήμα του νομού, όπου βρίσκεται και η πεδιάδα της Μεσσαράς, καθώς και στο νότιο ανατολικό οι αρδευτικές ανάγκες της ελιάς εκτιμήθηκαν μεταξύ 800-1000 mm. Στο βορειο τμήμα, στην περιοχή γύρω από την πόλη του Ηρακλείου οι τιμές είναι 700-800 mm. Είναι αξιοσημείωτο ότι το νότιο τμήμα του όρους Δίκτη, παρότι έχει μεγάλο υψόμετρο δεν έχει πολλές βροχοπτώσεις και κατά συνέπεια οι ανάγκες για άρδευση παραμένουν υψηλές, σύμφωνα με την επεξεργασία των δεδομένων. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι δεν υπάρχει κάποιος κοντινός σταθμός στην περιοχή και έτσι έχει συσχετισθεί με τα δεδομένα μακρινών σταθμών καταλήγοντας εν τέλει σε αποτέλεσμα με μεγάλο σφάλμα. Η δεύτερη πιθανή αιτία είναι η μικρή απόσταση της περιοχής από τη νότια ακτογραμμή του νησιού καθώς και το ότι είναι αρκετά ανατολικά, γεγονός που μπορεί να επηρεάζει το τοπικό κλίμα. Η περιοχή με τις μεγαλύτερες ανάγκες του νομού βρίσκεται γύρω από τον οικισμό Καψάλη, στο νοτιοανατολικό άκρο του νησιού στην οποία καταγράφονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες σε συνδυασμό με το χαμηλό ύψος βροχόπτωσης.



Εικόνα 32: Απεικόνιση των αναγκών σε νερό της ελιάς κατά την περίοδο 1996-2004, του υψομέτρου στο Ν. Ηρακλείου και των σταθμών από τους οποίους συλλέχθηκαν τα δεδομένα.

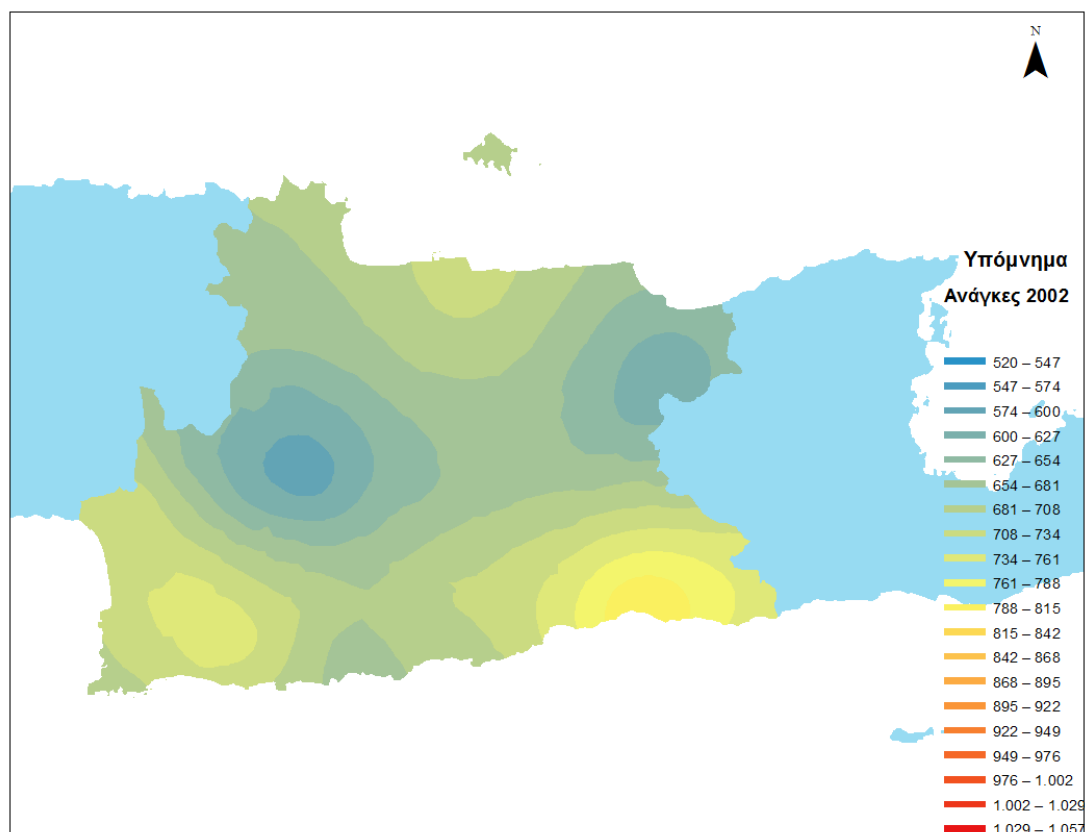
Στην Εικόνα 33 και Εικόνα 34 απεικονίζονται οι αρδευτικές ανάγκες για το έτος με τη μεγαλύτερη (1999) και τη μικρότερη (2002) ζήτηση αντίστοιχα, βάσει των θερμοκρασιών και των βροχοπτώσεων. Οι μέσες ανάγκες άρδευσης για το έτος 1999 εκτιμήθηκε σε 818 mm και για το 2002, σε 685 mm.

Οι ετήσιες ανάγκες το έτος 1999 ήταν κατά 8% (60 mm) μεγαλύτερες από το μέσο όρο για την περίοδο μελέτης. Στο μετεωρολογικό σταθμό του οικισμού Καψάλη καταγράφηκε η μεγαλύτερη διαφορά που ανέρχεται στα 162 mm. Να σημειωθεί πως ο σταθμός αυτός βρίσκεται σε υψόμετρο μόλις 10 m από την επιφάνεια της θάλασσας και είναι ο σταθμός με το χαμηλότερο υψόμετρο από αυτούς που εξετάστηκαν, ενώ απέχει από τη νότια ακτογραμμή περίπου 500 m. Οι ανάγκες για άρδευση για το έτος 1999 ήταν κατά μόλις 3,5% χαμηλότερες από αυτές που βρέθηκαν για τη μεγαλύτερη τιμή της περιόδου 2081-2100 (+ 3,7°C).



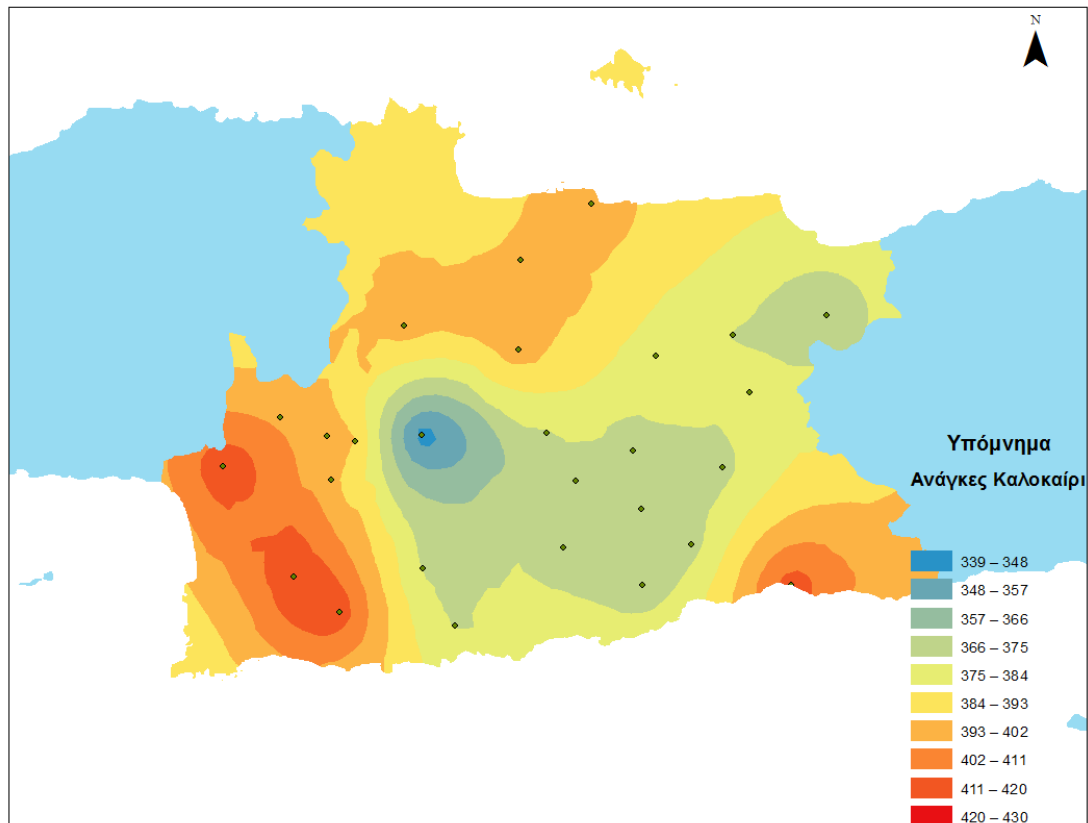
Εικόνα 33: Χωρική απεικόνιση των αναγκών της ελιάς σε νερό για το έτος με τη μεγαλύτερη ζήτηση για την περίοδο 1996-2004 (1999).

Σε αντίθεση με το έτος 1999, κατά το έτος 2002 παρατηρούνται οι χαμηλότερες ανάγκες σε άρδευση της καλλιέργειας της ελιάς. Η μέση διαφορά ανάμεσα στα δύο αυτά έτη φτάνει τα 133 mm, ενώ η ανάγκη το 2002 είναι κατά 9,5% χαμηλότερη από το μέσο όρο της περιόδου 1996-2004. Να σημειωθεί πως η βροχόπτωση για το έτος 2002 ήταν 1010 mm και η θερμοκρασία 17,7°C, ενώ αντίστοιχα για το 1999, 530 mm και 17,95°C.



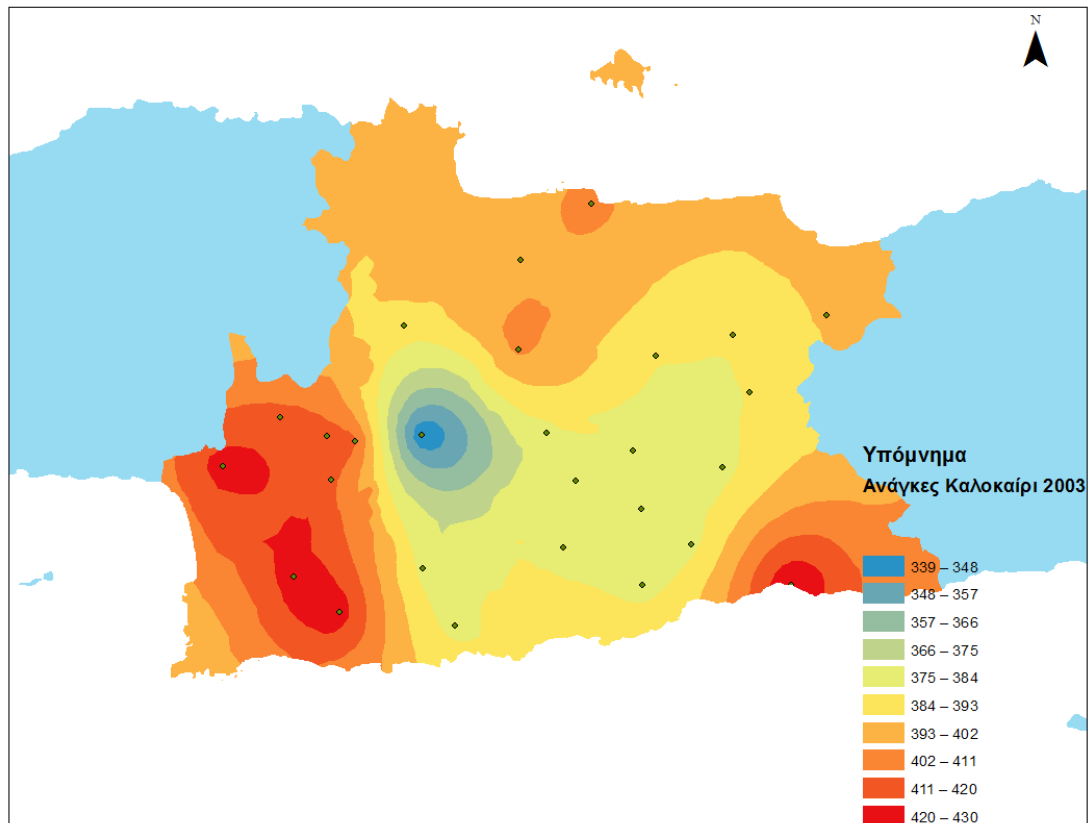
Εικόνα 34: Διακύμανση των αναγκών της ελιάς σε νερό για το Ν. Ηρακλείου για το έτος με τη μικρότερη ζήτηση για την περίοδο 1996-2004 (2002).

Στην Εικόνα 35 παρουσιάζεται η ανάγκη σε νερό για την περίοδο 1996-2004, κατά την καλοκαιρινή περίοδο (Ιούνιος –Αύγουστος). Οι ανάγκες κατά τη θερινή περίοδο αποτελούν το 51% (386 mm) των ετήσιων αναγκών σε νερό για την καλλιέργεια της ελιάς. Παρατηρείται λοιπόν και εδώ πως μεγαλύτερες ανάγκες καταγράφονται στο νοτιοανατολικό και νοτιοδυτικό άκρο του νομού, καθώς και στο βόρειο τμήμα κοντά στην πόλη του Ηρακλείου. Στο κεντρικό τμήμα του νομού οι ανάγκες για άρδευση φθάνουν τις ελάχιστες τιμές τους λόγω του ορεινού όγκου του Ψηλορείτη στα δυτικά και του όρους Δίκτη (Λασιθιώτικα όρη) στα ανατολικά. Χαμηλή ανάγκη σε νερό παρατηρείται και το νότιο-κεντρικό τμήμα του νομού γύρω από την περιοχή των Καπετανιανών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον ορεινό όγκο των Αστερουσίων ο οποίος εκτείνεται σχεδόν κατακόρυφα πάνω από τις ακτές του Λιβυκού πελάγους.



Εικόνα 35: Απεικόνιση των αναγκών σε νερό της ελιάς κατά την περίοδο του καλοκαιριού (Ιούνιος-Αύγουστος) από το 1996-2004.

Κατά το έτος 2003 παρατηρήθηκε το καλοκαίρι με τις υψηλότερες θερμοκρασίες και τη χαμηλότερη βροχόπτωση για την περίοδο που εξετάζεται. Συνεπώς καταγράφηκαν και οι μεγαλύτερες αρδευτικές ανάγκες για την καλλιέργεια της ελιάς που φτάνουν τα 395 mm, το 34% των ετήσιων αναγκών για το έτος αυτό. Για την περίοδο από τον Απρίλιο έως και τον Σεπτέμβριο του 2003 το ποσοστό αυτό φτάνει το 60% των ετήσιων αναγκών. Στην Εικόνα 36 παρουσιάζεται η χωρική διακύμανση των αναγκών για την περίοδο αυτή. Οι τιμές είναι κατά 2,3 % μεγαλύτερες σε σχέση με τη μέση ανάγκη για την καλοκαιρινή περίοδο από το 1996-2004. Παρόλο λοιπόν που το καλοκαίρι του 2003 ήταν το πιο ζεστό για την περίοδο που μελετήθηκε, δεν διαπιστώθηκε σημαντική διαφορά με τη μέση τιμή της μελετώμενης περιόδου.



Εικόνα 36: Διακύμανση των αναγκών της ελιάς σε νερό για το Ν. Ηρακλείου για το καλοκαίρι του έτους 2003 (καλοκαίρι με τις μεγαλύτερες ανάγκες).

Μετά από διαδοχικές αλλαγές και πειραματισμούς στα δεδομένα που εισήχθησαν και επεξεργάστηκαν στο *gestatistical analyst tool* του Arc GIS προέκυψε η καλύτερη δυνατή λύση για τη χωρική απεικόνιση των αναγκών της ελιάς σε νερό. Η λύση αυτή έχει τα εξής δεδομένα. Οι δευτερεύουσες μεταβλητές είναι το υψόμετρο του κάθε σταθμού, καθώς και η απόστασή του από τη νότια ακτογραμμή του Ν. Ηρακλείου. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε μέσα στο πρόγραμμα είναι η *simple CoKriging*, ενώ η γραμμή τάσης για το βαριόγραμμα ακολουθεί το μοντέλο '*spherical*'. Επίσης το *Lag Size* ισούται με 3000, ενώ η μεταβλητή *Lags* με 6. Τα υπόλοιπα δεδομένα παρέμειναν τα ίδια με αυτά που έθεσε το πρόγραμμα ως προκαθορισμένα.

Τα σφάλματα των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν με τη μέθοδο που περιγράφηκε και τα οποία λήφθηκαν υπόψη για την εύρεση της καλύτερης δυνατής επιλογής, είναι τα εξής. Ο όρος '*root-mean-square standardized prediction error*' είναι 2,9, ενώ το '*Mean error*' είναι ίσο με 3. Επίσης ο δείκτης '*root-mean-square*' είναι 50, ο δείκτης '*average standard error*' 16,4, ενώ το '*mean standard*' -0.05. Τέλος η κλίση

στης ευθείας που παρουσιάζει τις γνωστές τιμές της μεταβλητής στα σημεία που έχουν γίνει οι μετρήσεις (Measured) και τις τιμές που έδωσε το πρόγραμμα για τα ίδια σημεία (Predicted) ισούται με 0,72, πολύ κοντά στη μονάδα που είναι και το βέλτιστο.

Κεφάλαιο 7. Συζήτηση

Στην Κρήτη, το 65% της γεωργικής γης καλύπτεται από ελαιώνες, ενώ στο Ν. Ηρακλείου οι ελαιώνες καταλαμβάνουν το 34% της έκτασης του νομού. Το γεγονός αυτό από μόνο του δημιουργεί κάποια προβλήματα. Αρχικά, υπάρχει αυξημένη ζήτηση σε νερό λόγω αυξημένων απαιτήσεων της ελιάς, ενώ παράλληλα υπάρχει περιορισμός της βιοποικιλότητας στο νησί λόγω επικράτησης ενός είδους, υποβάθμιση του εδάφους και σταδιακή υποβάθμισή αυτού (Παγάνης κ.α., 2013). Επίσης, κάποιες αρνητικές επιπτώσεις είναι η ανθεκτικότητα των εχθρών, των ασθενειών και των ζιζανίων της ελιάς, η πιθανή εγκατάσταση ελαιώνων σε μη κατάλληλα εδαφοκλιματικά περιβάλλοντα καθώς και η έλλειψη ευελιξίας και εναλλακτικών καλλιεργειών σε περιπτώσεις ακαρπίας ή καταστροφών. Επίσης, η χρήση μεγαλύτερης ποσότητας νερού είναι ένα ακόμα χαρακτηριστικό όταν μία περιοχή καλύπτεται από μία μόνο καλλιέργεια (Forrester, 2015). Είναι προφανές πως τα προβλήματα αυτά σε μία ενδεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας θα οξυνθούν και θα έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην κοινωνία.

Όσον αφορά τη διαχείριση του νερού δεν θα πρέπει να αφορά μόνο την ποσότητα του νερού κατά την άρδευση της καλλιέργειας αλλά κυρίως τη διάρκεια και τη συχνότητα αυτής. Σημαντικό είναι επίσης ο καθορισμός της κατάλληλης μεθόδου άρδευσης. Ο εκσυγχρονισμός των πρακτικών άρδευσης εκτιμάται ότι θα συμβάλει σημαντικά στην αποδοτικότερη χρήση των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Η υιοθέτηση, για παράδειγμα, σύγχρονων πρακτικών έξυπνης γεωργίας που αφορούν την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών καθώς και της υγρασία του εδάφους και των φυτών και η προσαρμογή του προγράμματος άρδευσης στις τρέχουσες συνθήκες αναμένεται να συμβάλουν καθοριστικά στην αποδοτική χρήση του

αρδευτικού νερού. Επίσης, θα πρέπει να ληφθούν σημαντικά υπόψη οι απώλειες του νερού που προέρχονται από παλιά δίκτυα αγωγών, αλλά και από την κακή συντήρηση των νέων. Σύμφωνα με την έρευνα των Dialynas et al., 1995, οι απώλειες αυτές φτάνουν περίπου στο 50%. Λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι στην Κρήτη το 85% του διαθέσιμου νερού χρησιμοποιείται για την άρδευση καλλιεργήσιμων εκτάσεων, γίνεται αντιληπτό ότι η σπατάλη του νερού στην άρδευση αποτελεί σημαντική πηγή απωλειών. Οι απώλειες αυτές κυρίως σε περιόδους ξηρασίας και ανομβρίας είναι πολύ σημαντικές.

Η εκτίμηση της ζήτησης σε νερό για το Ν. Ηρακλείου, βασίζεται στις εξής παραδοχές. Πρώτον θεωρήθηκε ότι η ποσότητα των κατακρημνισμάτων δεν θα μεταβληθεί και ότι οι αρδευόμενες εκτάσεις στην περιοχή του Ηρακλείου δεν θα αυξηθούν. Ωστόσο σύμφωνα με την αναφορά του IPCC το 2014 για την κλιματική αλλαγή υπάρχει πιθανότητα η μέση βροχόπτωση να μειωθεί σε υποτροπικές ξηρές περιοχές, όπως η Κρήτη.

Η συνολική ζήτηση σε αρδευτικό νερό είναι $166,5 \text{ Mm}^3/\text{έτος}$. Σύμφωνα με το 'Σχέδιο Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών για το υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης, 2015', οι αρδευτικές ανάγκες είναι περίπου $134 \text{ Mm}^3/\text{έτος}$. Το νούμερο αυτό είναι πολύ κοντά στο αποτέλεσμα που βρέθηκε, παρόλο που η περίοδος που μελετήθηκε για τις δύο εργασίες ήταν διαφορετική. Ακόμα, το ποσοστό σφάλματος της τροποποιημένης μεθόδου Blaney-Criddle, που χρησιμοποιήθηκε λόγω έλλειψης επαρκών μετεωρολογικών δεδομένων, είναι αρκετά μεγάλο. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, όπως των Xu, Singh, 2001 και Alireza et al., 2014 το ποσοστό σφάλματος της μεθόδου κυμαίνεται μεταξύ 30% και 50%.

Ακόμη, η απόκλιση που παρατηρείται, έγκειται και στο γεγονός ότι ο υπολογισμός των αναγκών στο 'Σχέδιο διαχείρισης' δεν περιελάμβανε μόνο την καλλιέργεια της ελιάς. Συνυπολογίζοντας τους παράγοντες που αναφέρθηκαν και ελλείψη στοιχείων για την αρδευόμενη έκταση των ελαιώνων, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο μέρος της αρδευόμενης έκτασης στο Ν. Ηρακλείου καλύπτεται από ελιές. Η συσχέτιση αυτή, λοιπόν, ενισχύει την εγκυρότητα των υπολογισμών και αποδεικνύει ότι τα αποτελέσματα ανταποκρίνονται σε μεγάλο βαθμό στις πραγματικές ανάγκες σε νερό άρδευσης για το Ν. Ηρακλείου.

Η ταχεία ανάπτυξη της Κρήτης τα τελευταία 30 χρόνια άσκησε έντονες πιέσεις σε πολλούς φυσικούς πόρους. Η αστικοποίηση και η ανάπτυξη της γεωργίας και της τουριστικής βιομηχανίας έχουν έντονο αντίκτυπο στους υδάτινους πόρους του νησιού, αυξάνοντας σημαντικά τη ζήτηση νερού. Η χρήση νερού στην Κρήτη αυξήθηκε μετά την επέκταση της αρδευόμενης γης πάνω από 55% κατά την περίοδο 1985-2000 (Donta et al., 2005). Εκτός από τα δεδομένα που αναφέρθηκαν θα πρέπει να γίνει αναφορά και σε ακόμη δύο παραμέτρους που θα επηρεάσουν την κατανάλωση νερού και τα αποθέματα αυτού στα επόμενα χρόνια. Πρώτον, ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού κατά την περίοδο 1991-2001 για το Ηράκλειο ήταν 10,41% και για την Κρήτη 11,31% (Γεωργόπουλος, 2009). Είναι πολύ πιθανό λοιπόν τα επόμενα χρόνια ο ρυθμός αύξησης να παραμείνει στα ίδια επίπεδα. Επίσης, άλλος ένας κλάδος της οικονομίας που επηρεάζει τα διαθέσιμα αποθέματα νερού κατά τους καλοκαιρινούς μήνες στην Κρήτη είναι ο τουρισμός. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ οι αφίξεις τα τελευταία χρόνια σημειώνουν αύξηση, ενώ παρόμοια αναμένεται και η πορεία μέχρι το 2020. Τα δεδομένα αυτά θα επιφέρουν ανάγκη για πιθανή αύξηση των γεωργικών προϊόντων και συνεπώς των αρδευόμενων καλλιεργήσιμων εκτάσεων στην Κρήτη.

Επίσης, ακραία καιρικά φαινόμενα έρχονται να προστεθούν στις δυσκολίες που υπάρχουν για τη πρόβλεψη των αναγκών σε νερό. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι σύμφωνα με έρευνες επισημαίνεται ότι το καλοκαίρι του 2003 ένα κύμα καύσωνα χτύπησε την Ευρώπη, ενώ διαπιστώθηκε ότι ήταν το πιο ζεστό καλοκαίρι από το 1540 (Beniston, 2004, Schär et al., 2004). Σύμφωνα και με τη παρούσα εργασία το έτος 2003 παρατηρήθηκε το καλοκαίρι με τις υψηλότερες θερμοκρασίες και τη χαμηλότερη βροχόπτωση για την περίοδο που εξετάζεται.

Ακόμη, σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε για την περιοχή της Αθήνας διαπιστώθηκε πως κατά τις μέρες με υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται και μεγαλύτερες καταναλώσεις νερού ύδρευσης, ενώ οι βροχοπτώσεις οδηγούν σε μείωση της ζήτησης σε σχέση με το ίδιο θερμές ημέρες (Μπριλάκης, 2015). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την πιθανή αύξηση του πληθυσμού, καθώς και με την αύξηση της θερμοκρασίας, της ρύπανσης των υδάτων και της οικονομικής

προόδου καθιστούν τη διαθεσιμότητά του νερού σε παγκόσμια κλίμακα στο μέλλον αβέβαιη (Davies and Simonovic, 2011).

Όλες αυτές οι παράμετροι που αναφέρθηκαν θα επιβαρύνουν ακόμα περισσότερο το υδρολογικό σύστημα στην Κρήτη και θα θέσουν τα όρια για τη ποσότητα του νερού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Είναι σωστό λοιπόν, σε μία μελλοντική έρευνα με παρόμοιο περιεχόμενο να ληφθούν υπόψη τα δεδομένα που παρατέθηκαν ώστε να εξαχθεί ένα αποτέλεσμα με μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια.

Συμπεράσματα

Η μέση ετήσια βροχόπτωση για το Ν. Ηρακλείου είναι περίπου 760 mm. Το 40% (315 mm) περίπου της βροχόπτωσης για την περιοχή του Ηρακλείου λαμβάνει χώρα κατά τους μήνες Δεκέμβριο (21%) και Ιανουάριο (21%). Αντίθετα κατά την περίοδο του Απριλίου μέχρι και το Σεπτέμβριο, τους μήνες δηλαδή με τη μεγαλύτερη ζήτηση τόσο σε αρδευτικό νερό όσο και σε νερό ύδρευσης, η μέση βροχόπτωση αγγίζει μόλις τα 75 mm, δηλαδή το 10% περίπου της ετήσιας βροχόπτωσης. Αντίστοιχα για την ίδια περίοδο οι ανάγκες για νερό φτάνουν στο 85% της ετήσιας ζήτησης.

Η μέγιστη τιμή για τη μέση βροχόπτωση συναντάται στο σταθμό Βορίζια (1240 mm), ενώ η περιοχή με τη μικρότερη βροχόπτωση για την εξεταζόμενη περίοδο βρίσκεται στον παραθαλάσσιο οικισμό Καψάλη (520 mm). Η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών σταθμών φτάνει τα 720 mm, γεγονός το οποίο αποδεικνύει τη μεγάλη ανομοιομορφία ως προς τις βροχοπτώσεις για το Ν. Ηρακλείου. Το συμπέρασμα αυτό έρχεται να ενισχυθεί και από το γεγονός ότι κατά το μήνα Σεπτέμβριο η διαφορά μεταξύ του σταθμού με τις μέγιστες ανάγκες σε νερό άρδευσης για την καλλιέργεια της ελιάς (Πόμπια-119 mm) και του σταθμού με τις μικρότερες ανάγκες για τον μήνα αυτό (Αγία Βαρβάρα-11,5 mm), είναι πολύ μεγάλες. Πιο συγκεκριμένα, η διαφορά μεταξύ των δύο σταθμών φτάνει τα 107 mm, τιμή η οποία αντιστοιχεί στο 89% των αναγκών του σταθμού Πόμπια.

Επίσης κατά το ξηρότερο έτος, το οποίο για την περίοδο που εξετάζεται είναι το 1999, το ετήσιο ύψος των βροχοπτώσεων για τον οικισμό Καψάλη φαίνεται μειωμένο κατά 60% σε σχέση με το μέσο όρο των βροχοπτώσεων για το σταθμό αυτό. Αντίθετα, για τους σταθμούς της Αγίας Βαρβάρας και της Φοινικιάς η μείωση της βροχόπτωσης για το έτος 1999 ήταν μόλις 6-10%.

Παρατηρείται λοιπόν ότι για μία μικρή περιοχή σαν το Ν. Ηρακλείου υπάρχουν τόσο μεγάλες διακυμάνσεις στη βροχόπτωση και συνεπώς και στις ανάγκες για νερό. Συνεπώς, για να μπορεί ένας αγρότης να πάρει όσο πιο ακριβή δεδομένα μπορεί για την περιοχή της καλλιέργειάς του και για να κάνει τον απαραίτητο σχεδιασμό για την άρδευση, θα πρέπει οι μελέτες για την ανάγκη των καλλιεργειών σε νερό να λαμβάνουν χώρα σε μικρότερες περιοχές.

Το χειρότερο δυνατό ενδεχόμενο που εξετάζεται στην παρούσα εργασία για την αύξηση της θερμοκρασίας εκφράζεται από το κλιματικό σενάριο RCP 8,5, και πιο συγκεκριμένα με τη μέγιστη δυνατή αύξηση που φτάνει τους 3,7°C σε σχέση με την περίοδο 1986-2005. Οι μέσες αρδευτικές ανάγκες με βάση το σενάριο αυτό εκτιμήθηκαν σε 847 mm. Η τιμή αυτή είναι κατά 12% υψηλότερη από την αντίστοιχη για την περίοδο 1996-2004 που φτάνει τα 750 mm. Επίσης, οι τιμές της ζήτησης σε νερό για το έτος 1999 (έτος με μεγαλύτερες ανάγκες-818 mm) είναι κατά μόλις 3,5% χαμηλότερες από αυτές που βρέθηκαν για τη μεγαλύτερη τιμή του σεναρίου RCP 8,5 (+ 3,7°C).

Κατά το έτος 2003 παρατηρήθηκε το καλοκαίρι με τις υψηλότερες θερμοκρασίες και τη χαμηλότερη βροχόπτωση για την περίοδο που εξετάζεται. Συνεπώς καταγράφηκαν και οι μεγαλύτερες αρδευτικές ανάγκες για την καλλιέργεια της ελιάς που φτάνουν τα 395 mm. Η τιμή αυτή είναι κατά 2,3 % μεγαλύτερη σε σχέση με τη μέση ανάγκη για την καλοκαιρινή περίοδο από το 1996-2004 (386 mm). Παρόλο λοιπόν που το καλοκαίρι του 2003 ήταν το πιο ζεστό για την περίοδο που μελετήθηκε, δεν διαπιστώθηκε σημαντική διαφορά με τη μέση τιμή της μελετώμενης περιόδου. Επίσης είναι σημαντικό να σημειωθεί πως το 2003 δεν αποτέλεσε το έτος με τις μεγαλύτερες ετήσιες ανάγκες της περιόδου.

Σύμφωνα με το μέσο όρο των τεσσάρων σεναρίων για την περίοδο 2016-2035 η πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας κατά 0,5 °C, σε σχέση με τις χρονιές 1986-2005 (στην εργασία έγινε σύγκριση με την περίοδο 1995-2005) θα επιφέρει αύξηση των αρδευτικών αναγκών για την καλλιέργεια της ελιάς κατά 12mm (769mm από 757mm), όπως φαίνεται και στον Πίνακας 4**Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..** Η διαφορά αυτή στο επίπεδο της αρδευόμενης έκτασης του νομού είναι περίπου 3Mm³ νερό ανά έτος (170Mm³/έτος). Για την περίοδο 2046-2065 η μέση αύξηση υπολογίζεται ότι θα είναι 1,5°C με συνέπεια η ζήτηση σε νερό να φτάσει τα 175 Mm³/έτος. Για την περίοδο 2081-2100 η μέση αύξηση προβλέπεται να είναι περίπου 2°C και οι ανάγκες θα φτάσουν τα 178 Mm³/έτος. Σύμφωνα με το σενάριο RCP 8,5 η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί κατά 3,7°C την ίδια περίοδο. Στην περίπτωση που συμβεί αυτό η ζήτηση θα αυξηθεί κατά 20 Mm³/έτος (187 Mm³).

<u>Πίνακας 4: Ανάγκες σε νερό για την καλλιέργεια της ελιάς για το ν. Ηρακλείου για αρδευόμενη έκταση 220 km², σύμφωνα με τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής από τον IPCC.</u>					
Περίοδος	1995-2005	2016-2035	2046-2065	2081-2100	2081-2100
Αύξηση σε °C	0	0,5	1,5	2	3,7
Ανάγκες σε νερό (mm)	757	769	793	805	847
Ανάγκες σε νερό (Mm ³)	167	170	175	178	187

Κεφάλαιο 8. Βιβλιογραφία

Alireza J., Javad K. D., Hamid Z. A., Evaluating Different Estimation methods of reference evapotranspiration with FAO Evaporation pan in both dry and Humid Climate of Caspian Sea Basin, 2014.

Angelakis AN, Diamadopoulos E. Water resources management in Greece: current status and prospective outlook. Water SciTechnol 1995.

Aristeidis G. Koutroulis, Ioannis K. Tsanis, Ioannis N. Daliakopoulos, Daniela Jacob, Impact of climate change on water resources status: A case study for Crete Island, Greece, 2012.

Arnell, N.W., van Vuuren, D.P., Isaac, M., 2011. The implications of climate policy for the impacts of climate change on global water resources.

Barnett R. T., T. P., Hasselmann, K., Chelliah, M., Delworth, T., Hegerl, G., Jones, P., Rasmusson, E., Roeckner, E.,Ropelewski, C., Santer, B. & Tett, S. (1999) Detection and attribution of recent climate change: a status report.

Barnett, T. P., Adam J. C. & Lettenmaier, D. P. (2005) Potential impacts of a warming climate on water availability in snow dominated regions.

Beniston, M., 2004. The 2003 heat wave in Europe: a shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. Geophysical Research

Ciscar, J. C., Feyen, L., Soria, A., Lavalle, C., Raes, F., Perry, M., Nemry, F., Demirel, H., Rozsai, M., Dosio, A., and Donatelli, M.: Climate Impacts in Europe- The JRC PESETA II project, 2014

Davey, M. K., Huddleston, M., Sperber, *et al.* (2002) STOIC: a study of coupled model climatology and variability in tropical ocean regions

Davies, E.G.R., Simonovic, S.P., 2011. Global water resources modelling with an integrated model of the social–economic–environmental system.

Dialynas, G. E., Diamadopoulos, E., & Angelakis, A. N. (1995). Water resources management in Crete, Greece.

Diffenbaugh, N.S., Pal, J.S., Giorgi, F., Gao, X., 2007. Heat stress intensification in the Mediterranean climate change Hotspot.

Donta, A., Lange, M.A., Herrmann, A., 2005. Water on Mediterranean Islands: current conditions and prospects for sustainable management. Centre for Environment Research (CER), University of Muenster (Germany), vol. 5, 516p.

ESRI, Geostatistical Analyst Tutorial, 2010

FAO irrigation and Drainage Paper, No 56, Crop Evapotranspiration, 1998.

Forrester David I., Transpiration and water-use efficiency in mixed-species forests versus monocultures: effects of tree size, stand density and season, 2015.

Giannakopoulos C, P. Le Sager, M. Bindi, M. Moriondo , E. Kostopoulou , C.M. Goodess, Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global warming, 2009

Gleick P., The World's Water: The Biennial Report on Freshwater Resources (1998-99) (Island, Washington, DC, 1998)

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Joel Guiot and Wolfgang Cramer, Climate change: The 2015 Paris Agreement thresholds and Mediterranean basin ecosystems, 2016.

Koutsoyiannis Demetris, 2003, Climate change, the Hurst phenomenon, and hydrological statistics

Lam N. (1983), Spatial Interpolation Methods: A Review, The American Cartographer, Vol. 10, No. 2, pp. 129-149

Li, J. and Heap, A.D. A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists, 2008

Milly, P. C. D., Dunne, K. A. & Vecchia, A. V. (2005) Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature* 438, 347–350.

Naoum, S., Tsanis, I.K., 2004. Orographic precipitation modelling with multiple linear regression.

Nikolaidis E Nikolaos, Hsien-Lun Hu and Christopher Ecsedy, Effects of climatic variability on the hydrologic response of a freshwater watershed, 1994

Papadimitriou Lamprini V., Koutroulis Aristeidis G., Grillakis Manolis G., and Tsanis Ioannis K., High-end climate change impact on European runoff and low flows – exploring the effects of forcing biases, 2015

Przybylak, R., 2000, Temporal and spatial variation of surface air temperature over the period of instrumental observations in the Arctic. *Int. J. Climatol.* 20, 587–614.

Schär, C., Vidale, P., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A., Appenzeller, C., 2004. The role of increasing temperature variability for European summer heatwaves.

Schewe, J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., Dankers, R., Eisner, S., Fekete, B. M., Colón-González, F. J., Gosling, S. N., Kim, H., Liu, X., Masaki, Y., Portmann, F. T., Satoh, Y., Stacke, T., Tang, Q., Wada, Y., Wisser, D., Albrecht, T., Frieler, K., Piontek, F., Warszawski, L. and Kabat, P.: Multimodel assessment of water scarcity under climate change, *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 111, 3245–3250,

Smith, J.B., Schellnhuber, H.-J., et al., 2001. Vulnerability to climate change and reasons for concern: a synthesis. In: McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White, K.S. (Eds.), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 913–967.

Sterling D. (2003), A Comparison of Spatial Interpolation Techniques For Determining Shoaling Rates of The Atlantic Ocean Channel, Master of Science In Geography, Blacksburg, Virginia

Stott, P. A., Tett, S. F. B., Jones, G. S., Allen, M. R., Mitchell, J. F. B. & Jenkins, G. J., 2000, External control of 20th century temperature by natural and anthropogenic forcings. *Science* 290, 2133–2137

Tsanis, I.K., Koutroulis, A.G., Daliakopoulos, I.N., Jacob, D., 2011. Severe climate induced water shortage and extremes in Crete. *Clim. Change* 106 (4), 667–677.

United Nations, Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World (overview document) (World Meteorological Organization, Geneva, 1997).

Van Vliet, M. T. H., Franssen, W. H. P., Yearsley, J. R., Ludwig, F., Haddeland, I., Lettenmaier, D. P., and Kabat, P.: Global river discharge and water temperature under climate change, 2013.

Vasilaki R., Paranychanakis N., Gekas V., 2008, The Threat of Desertification in the Island of Crete: Current Status, Future Trends and Management Practices.

Vautard, R., Gobiet, A., Jacob, D., Belda, M., Colette, A., Déqué, M., Fernández, J., García-Díez, M., Goergen, K., Güttler, I., Halenka, T., Karacostas, T., Katragkou, E., Keuler, K., Kotlarski, S., Mayer, S., van Meijgaard, E., Nikulin, G., Patarčić, M., Scinocca, J., Sobolowski, S., Suklitsch, M., Teichmann, C., Warrach-Sagi, K., Wulfmeyer, V., and Yiou, P.: The simulation of European heat waves from an ensemble of regional climate models within the EURO-CORDEX project, *Clim. Dynam.*, 41, 2555–2575, 2013.

Vergara, W., Deeb, A. M., Valencia, A. M., Bradley, R. S., Francou, B., Zarzar, A., Grünwaldt, A. & Haeussling, S. M. (2007) Economic impacts of rapid glacier retreat in the Andes. *EOS* 88(25) 261–264.

Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J.-I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Sanchez-Lorenzo, A., García-Ruiz, J. M., Azorin-Molina, C., Morán-Tejeda, E., Revuelto, J., Trigo, R., Coelho, F., and Espejo, F.: Evidence of increasing drought severity caused by temperature rise in southern Europe, *Environ. Res. Lett.*, 9, 044001, doi:10.1088/1748-9326/9/4/044001, 2014.

Vorosmarty C. J., C. A. Federer, A. Schloss, *J. Hydrol.* 207, 147 (1998).

Watson Zinyowera, and Richard H. Moss, *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change*, 1995.

World Resources: A Guide to the Global Environment 1996-97 (World Resources Institute, Washington DC, 1996)

Xu C.-Y. and Singh V. P., Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation, 2001

Γεωργόπουλος Κωνσταντίνος, Κοστολόγηση και τιμολόγηση νερού στην Ελλάδα, Μεταπτυχιακή Εργασία, 2009.

Γκριτζάπη Α., 2011, Ανάπτυξη ΓΠΣ και Χωρική Ανάλυση Μετεωρολογικών Δεδομένων στον Ελλαδικό Χώρο, Μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Καραμάνος Ανδρέας, Βολουδάκης Δημήτρης, Η επίδραση της κλιματικής μεταβολής στη γεωργία και τα γεωργικά εδάφη, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, 2011

Κουτσόπουλος Κ., Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2002

Μπριλάκης Σ. Δημήτριος, Περιβάλλον Ανάπτυξης για Τεχνικές Πρόβλεψης: Πρόβλεψη Ζήτησης Νερού σε Αστικές Περιοχές- Η περίπτωση της ΕΥΔΑΠ, Μεταπτυχιακή Εργασία, 2015

Νικολακόπουλος Κ., Κατσάνου Κ., Λαμπράκης Ν., Χωρική Παρεμβολή, 2015

Παγάνης Α., Παπακωνσταντίνου Δ., Κασσιός Κ., Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από Συμβατικές και Εναλλακτικές Καλλιέργειες με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, 2013

Παπαζαφειρίου, Ζαφείρης Γ. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1984.

Σχέδιο διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών ΥΔ Κρήτης (GR13), 2015, Περιφέρεια Κρήτης

Τερζίδης Γ. Α., Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., Γεωργική Υδραυλική, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1997.

Τσουχλαράκη Α., Αχιλλέως Γ., Μαθαίνοντας τα GIS στην πράξη – Το ArcGIS 9.3, Εκδόσεις Δίσιγμα, 2010

Χριστόπουλος Δ., 2014, Εφαρμοσμένη Γεωστατιστική, Σημειώσεις Μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης