

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ &  
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ



Εκτίμηση της επικινδυνότητας ξηρασίας στο  
Υ.Δ. Κρήτης με τη χρήση πολυκριτηριακής  
ανάλυσης σε περιβάλλον GIS

---

*ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ*

ΑΝΥΦΑΝΤΗ ΙΩΑΝΝΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής Καρατζάς Γεώργιος (Επιβλέπων)

Δρ. Κουργιαλάς Νεκτάριος

Επίκουρη καθηγήτρια Τσουχλαράκη Ανδρονίκη

ΑΝΑΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟ ΜΕΛΟΣ

Καθηγητής Νικολαΐδης Νικόλαος

Χανιά, Σεπτέμβριος 2016

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος με θέμα «Εκτίμηση της επικινδυνότητας ξηρασίας στο Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης σε περιβάλλον GIS».

Πριν την ανάπτυξη του συγκεκριμένου θέματος και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που συνεργάστηκα μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην υλοποίηση αυτής της εργασίας.

Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, κ. Καρατζά Γεώργιο για την εμπιστοσύνη και την εκτίμηση που έδειξε προς το πρόσωπό μου, αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, αλλά και για τη στήριξη και τις συμβουλές του.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κουργιαλά Νεκτάριο, διδάκτορα του τμήματος, η συνεχής βοήθεια του οποίου ήταν καθοριστική για την εκπόνηση και την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω και την κ. Τσουχλαράκη Ανδρονίκη, επίκουρη καθηγήτρια, η οποία δέχτηκε να είναι μέλος της επιτροπής αξιολόγησης της διπλωματικής εργασίας μου.

Ακόμη, ευχαριστώ εκ βάθρων τις φίλες και τους φίλους μου, για τη στήριξη και τη συμπαράσταση που συνεχώς μου προσφέρουν. Από αυτούς, θα ήθελα ξεχωριστά να ευχαριστήσω τον κ. Παμφίλη Γεώργιο, ο οποίος βοήθησε τα μέγιστα στη συλλογή των πρωτογενών δεδομένων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλη την οικογένειά μου, αλλά κυρίως τους γονείς μου Βασίλη και Ελένη και τον αδερφό μου Μανώλη και ιδιαίτερα τη θεία μου Βάσω και τη γιαγιά μου Μέλπω, καθώς η ηθική συμπαράσταση και υποστήριξη όλων τους έπαιξε καθοριστικό ρόλο κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει στόχο την εκτίμηση της επικινδυνότητας ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης με χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης σε περιβάλλον γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), με τη βοήθεια των οποίων επιδιώκεται ο προσδιορισμός των περιοχών όπου αναμένεται ο κίνδυνος εμφάνισης του φαινομένου. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίστηκαν οι παράγοντες εκείνοι οι οποίοι δύναται να επηρεάσουν τα υδατικά αποθέματα και να συμβάλλουν στην έλλειψη νερού. Οι παράγοντες αυτοί, οι οποίοι και αναπαραστάθηκαν χωρικά περιλαμβάνουν: α) τη βροχόπτωση, β) την εξατμισοδιαπνοή από τη φυσική βλάστηση και τις καλλιέργειες, γ) τη διαθέσιμη χωρητικότητα νερού (υδατοϊκανότητα) του εδάφους, δ) τη συσσώρευση της επιφανειακής ροής, ε) τα αρδευτικά δίκτυα, στ) τη στάθμη των υπογείων υδάτων, ζ) την υδρογεωλογία (βάθος εδαφικού υποστρώματος) και η) την υφαλμύριση της παράκτιας ζώνης του Υδατικού Διαμερίσματος της Κρήτης. Η βροχόπτωση και η εξατμισοδιαπνοή αποτελούν την κατηγορία των δυναμικών παραγόντων και οι υπόλοιποι αποτελούν αυτή των σταθερών.

Το μαθηματικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίζεται η συγκεκριμένη εργασία είναι τα ασαφή σύνολα. Αρχικά, έχει θεωρηθεί ότι η εμφάνιση του φαινομένου της ξηρασίας αντιπροσωπεύεται από την τιμή 1, ενώ η μη εμφάνισή του από την τιμή 0. Μέσω της χρήσης των κατάλληλων συναρτήσεων ασαφοποίησης προσδίδεται στις αριθμητικές τιμές του κάθε παράγοντα που εξετάζεται ένας βαθμός συμμετοχής στο φαινόμενο της ξηρασίας. Στη συνέχεια, γίνεται ο συνδυασμός μεταξύ των ασαφοποιημένων παραγόντων της κάθε κατηγορίας και έπειτα ο συνδυασμός μεταξύ των δύο κατηγοριών, ώστε να προσδιοριστεί ο τελικός βαθμός συμμετοχής που εμφανίζει κάθε περιοχή στο φαινόμενο.

Τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν για την απεικόνιση των δύο πρώτων παραγόντων-χαρτών αφορούν δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους: α) από το 1977 έως το 1997 και β) από το 2010 έως και το 2015, προκειμένου να διαπιστωθεί η συμπεριφορά του φαινομένου σε σχέση με τη δυναμική των παραγόντων αυτών, ενώ οι υπόλοιποι παράγοντες διατηρούνται σταθεροί. Ο τελικός χάρτης προκύπτει από το μέσο όρο/συνδυασμό των δύο παραπάνω περιόδων, οι περιοχές του οποίου

κατηγοριοποιούνται ως πολύ χαμηλής, χαμηλής, μέσης, υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας.

## **ABSTRACT**

The present thesis aims to assess the risk of drought in the aqueous compartment of Crete, using multi-criteria analysis in Geographic Information Systems (G.I.S) environment. More specifically, the factors that may affect water supplies and contribute to water scarcity were identified, and then were divided into two categories, after having been spatially modeled into maps. The first category is that of the dynamic factors and includes: a) precipitation and b) evapotranspiration by natural and cultivated vegetation. The second one is that of the stable factors and includes: a) available water capacity of the soil, b) surface flow accumulation, c) irrigation networks, d) groundwater level, e) hydrogeology of the area (depth to rock) and f) water intrusion in the coastal zones of Crete.

Fuzzy sets is the mathematical background on which this thesis is based. At first place, the occurrence of drought is assigned with the value 1, while the opposite phenomenon (non- occurrence) is assigned with the value 0. Then, with the use of the appropriate fuzzification functions, the numerical values of each factor are assigned with a degree of membership to the drought phenomenon. Through the use of the proper overlay functions, the fuzzified values of the factors of each category are combined and after that, the two different categories are combined as well, in order to determine each region's degree of membership to drought.

The data that were processed in order to depict the dynamic factors are derived from the measurements of two different time periods: a) from 1977 until 1997 and b) from 2010 until 2015, so that to observe the behavior of these factors in correlation with the stable ones. The final map is the mean average of the above periods and its regions are classified as of very low, low, medium, high and very high risk of drought occurrence.

## Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
Περιεχόμενα Πινάκων.....	6
Περιεχόμενα Εικόνων .....	6
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή.....	8
1.1 – Το φαινόμενο της ξηρασίας.....	8
1.2 – Ορισμός.....	8
1.3 – Δημιουργία του φαινομένου .....	15
1.4 – Οι επιπτώσεις της ξηρασίας.....	16
1.5 – Σκοπός.....	19
Κεφάλαιο 2 – Παράγοντες που εξετάστηκαν .....	21
2.1 – Σταθεροί παράγοντες.....	21
2.1.1 – Υδατοϊκανότητα .....	21
2.1.2 – Συσσώρευση της επιφανειακής ροής.....	23
2.1.3 – Αρδευτικά συστήματα .....	24
2.1.4 – Στάθμη των υπογείων υδάτων .....	25
2.1.5 – Βάθος εδάφους.....	28
2.1.6 – Υφαλμύριση της παράκτιας ζώνης .....	32
2.2 – Δυναμικοί Παράγοντες .....	34
2.2.1 – Βροχόπτωση.....	34
2.2.2 – Εξατμισοδιαπνοή .....	35
Κεφάλαιο 3 – Εργαλεία και μέσα επεξεργασίας .....	39
3.1 – Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.....	39
3.2 – Ασαφής λογική.....	40
3.3 – Εφαρμογή των ασαφών συνόλων ως εργαλείο στο GIS.....	42
3.3 – Ασαφής επικάλυψη (Fuzzy Overlay) .....	48
Κεφάλαιο 4 – Μεθοδολογία .....	51
4.1 – Ορισμός του προβλήματος .....	52
Κεφάλαιο 5 – Χάρτες σταθερών παραγόντων.....	53
5.1 – Υδατοϊκανότητα του εδάφους.....	53
5.2 – Συσσώρευση της επιφανειακής ροής.....	54
5.3 – Αρδευτικά συστήματα .....	55

5.4 – Στάθμη των υπογείων υδάτων.....	56
5.5 – Βάθος εδάφους.....	57
5.6 – Υφαλμύριση της παράκτιας ζώνης.....	58
Κεφάλαιο 6 – Χάρτες δυναμικών παραγόντων .....	61
6.1 – Χάρτες βροχοπτώσεων .....	61
6.1.1 – Περίοδος 1977-1997 .....	61
6.1.2 – Περίοδος 2010-2015 .....	63
6.2 – Χάρτες εξατμισοδιαπνοής.....	66
6.2.1 – Φυτικός συντελεστής.....	66
6.2.2 – Δημιουργία χαρτών εξατμισοδιαπνοής αναφοράς .....	68
6.2.2α – Περίοδος 1977-1997 .....	70
6.2.2β – Περίοδος 2010-2015 .....	71
6.2.3 – Χάρτες εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας .....	71
6.2.3α – Περίοδος 1977-1997 .....	72
6.2.3β – Περίοδος 2010-2015 .....	73
Κεφάλαιο 7 – Αποτελέσματα.....	75
7.1 – Επικάλυψη των σταθερών παραγόντων.....	75
7.2 – Επικάλυψη των δυναμικών παραγόντων .....	77
7.2.1 – Περίοδος 1977-1997 .....	78
7.2.2 – Περίοδος 2010-2015 .....	80
7.3 – Συνδυασμός μεταξύ σταθερών και δυναμικών παραγόντων .....	82
7.3.1 – Περίοδος 1977-1997 .....	83
7.3.2 – Περίοδος 2010-2015 .....	85
7.4 – Τελικός χάρτης .....	87
Κεφάλαιο 8 – Συμπεράσματα.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	96
Παράρτημα Ι: διαγράμματα θερμοβαθμίδων περιόδου 1977- 1997 .....	96
Παράρτημα ΙΙ: διαγράμματα θερμοβαθμίδων περιόδου 2010 -2015 .....	100

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Λειτουργικοί ορισμοί για την ξηρασία (Belal et al., 2012).	10
Πίνακας 2: Πειραματικοί προσδιορισμοί τάσης στην υδατοϊκανότητα ανάλογα με την υφή του εδάφους. (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).	22
Πίνακας 3: Διαφοροποιήσεις μεταξύ υπόγειων και επιφανειακών υδάτων.	26
Πίνακας 4: Κατηγοριοποίηση του εδαφικού βάθους σύμφωνα με το Τμήμα Εδαφών και Περιβάλλοντος του SLU ( <a href="http://www.markinfo.slu.se/eng/soildes/jdjup/skjdjup1.html">http://www.markinfo.slu.se/eng/soildes/jdjup/skjdjup1.html</a> )	30
Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση του εδαφικού βάθους σύμφωνα με το πρόγραμμα RECARE. ( <a href="http://www.recare-hub.eu/glossary/92-soil-depth">http://www.recare-hub.eu/glossary/92-soil-depth</a> )	31
Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση του εδαφικού βάθους σύμφωνα με το Εργαστήριο Εδαφολογίας, τμήματος Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Καβάλας. ( <a href="http://www.teidasorponias.gr/site/news/xtra/morfologia/fisikes_idiotites_edafous.pdf">http://www.teidasorponias.gr/site/news/xtra/morfologia/fisikes_idiotites_edafous.pdf</a> )	31
Πίνακας 7: Κλάσεις επικινδυνότητας ξηρασίας.	52
Πίνακας 8: Σύνοψη εφαρμογής συναρτήσεων.	60
Πίνακας 9: Τιμές φυτικού συντελεστή	67
Πίνακας 10: Πίνακας συντελεστή $p$ για την Κρήτη ( <a href="http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e07.htm">http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e07.htm</a> )	69
Πίνακας 11: Κλάσεις βαθμού συμμετοχής των δυναμικών παραγόντων	77

## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Αλληλουχία των γεγονότων ξηρασίας και οι επιπτώσεις στους κοινά αποδεκτούς τύπους ξηρασίας. ( <a href="http://drought.unl.edu/DroughtBasics/TypesofDrought.aspx">http://drought.unl.edu/DroughtBasics/TypesofDrought.aspx</a> )	19
Εικόνα 2: Εύρεση εδαφικού βάθους κατά τις δοκιμές στο πεδίο. ( <a href="http://www-markinfo.slu.se/eng/soildes/jdjup/skjdjup1.html">http://www-markinfo.slu.se/eng/soildes/jdjup/skjdjup1.html</a> )	32
Εικόνα 3: Διάγραμμα Fuzzy Gaussian	43
Εικόνα 4: Διάγραμμα Fuzzy Large	44
Εικόνα 5: Διάγραμμα Fuzzy Linear	45
Εικόνα 6: Διάγραμμα Fuzzy Near	47
Εικόνα 7: Διάγραμμα Fuzzy Small	48
Εικόνα 8: Διάγραμμα για τη συσχέτιση της τιμής της δύναμης $\gamma$ με τις άλλες συναρτήσεις επικάλυψης	51
Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής εργασιών	52
Εικόνα 10: Χάρτης υδατοϊκανότητας εδάφους	53
Εικόνα 11: Χάρτης συσσώρευσης της επιφανειακής ροής	55
Εικόνα 12: Χάρτης αρδευτικών συστημάτων	56
Εικόνα 13: Χάρτης στάθμης υπογείων υδάτων	57
Εικόνα 14: Χάρτης βάθους εδάφους	58
Εικόνα 15: Χάρτης υφαλμύρισης	59
Εικόνα 16: Βροχομετρικοί σταθμοί	61
Εικόνα 17: Χάρτης βροχοπτώσεων περιόδου 1977-1997	62
Εικόνα 18: Χάρτης ασαφопоιημένης βροχόπτωσης περιόδου 1977-1997	63

Εικόνα 19: Μετεωρολογικοί σταθμοί Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών .....	63
Εικόνα 20: Διάγραμμα βροχοβαθμίδας Ανατολικής Κρήτης.....	64
Εικόνα 21: Διάγραμμα βροχοβαθμίδας Δυτικής Κρήτης.....	64
Εικόνα 22: Χάρτης βροχοπτώσεων περιόδου 2010-2015 .....	65
Εικόνα 23: Χάρτης ασαφοποιημένης βροχόπτωσης περιόδου 2010 -2015.....	66
Εικόνα 24: Χάρτης για τον φυτικό συντελεστή $K_c$ .....	68
Εικόνα 25: Χάρτης μετεωρολογικών σταθμών Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας.....	69
Εικόνα 26: Χάρτης εξατμισοδιαπνοής αναφοράς περιόδου 1977 – 1997 .....	70
Εικόνα 27: Χάρτης εξατμισοδιαπνοής αναφοράς περιόδου 2010-2015.....	71
Εικόνα 28: Χάρτης εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας περιόδου 1977-1997 .....	72
Εικόνα 29: Χάρτης ασαφοποιημένης εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας περιόδου 1977-1997..	73
Εικόνα 30: Χάρτης εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας περιόδου 2010-2015 .....	73
Εικόνα 31: Χάρτης ασαφοποιημένης εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας περιόδου 2010-2015..	74
Εικόνα 32: Χάρτης ασαφούς επικάλυψης μεταξύ των σταθερών παραγόντων .....	75
Εικόνα 33: Βαθμός συμμετοχής περιοχών Τυμπακίου, Μυλοποτάμου, Μαλεβιζίου, Γαζίου και Τσούτσουρα .....	76
Εικόνα 34: Βαθμός συμμετοχής περιοχών Μαλίων- Αγίου Νικολάου και Καβουσίου.....	77
Εικόνα 35: Χάρτης ασαφούς επικάλυψης μεταξύ των δυναμικών παραγόντων περιόδου 1977-1997 .....	78
Εικόνα 36: Χάρτης ασαφούς επικάλυψης μεταξύ των δυναμικών παραγόντων περιόδου 2010-2015 .....	80
Εικόνα 37: Μεγέθυνση όπου διακρίνονται οι μικρές περιοχές πολύ υψηλού βαθμού συμμετοχής .....	81
Εικόνα 38: Χάρτης ασαφούς επικάλυψης μεταξύ σταθερών και δυναμικών παραγόντων περιόδου 1977- 1997 .....	83
Εικόνα 39: Χάρτης ασαφούς επικάλυψης μεταξύ σταθερών και δυναμικών παραγόντων περιόδου 2010-2015.....	85
Εικόνα 4040: Τελικός χάρτης επικινδυνότητας .....	88



## Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

### 1.1 – Το φαινόμενο της ξηρασίας

Η ξηρασία αποτελεί ένα φυσικό κίνδυνο ο οποίος είναι αρκετά δύσκολο να κατανοηθεί, καθώς είναι φαινόμενο με μεγάλη πολυπλοκότητα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο προσεγγίζεται από πολλούς διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους, όπως είναι οι περιβαλλοντικές επιστήμες, οι γεωεπιστήμες, η οικολογία, η υδρολογία, η μετεωρολογία, καθώς και οι γεωργικές επιστήμες, με αποτέλεσμα να έχουν διατυπωθεί αρκετοί ορισμοί στην προσπάθεια κατανόησης του φαινομένου (Mishra and Singh, 2010). Ανεξαρτήτως όμως του ορισμού που χρησιμοποιείται κάθε φορά, μπορεί να προκαλέσει τόσο άμεσες, όσο και έμμεσες, αρνητικές επιπτώσεις. Επιπλέον, αν και διαφέρει κατά πολλές έννοιες από άλλους φυσικούς κινδύνους, η ξηρασία θα μπορούσε να καταταχθεί στην πρώτη θέση ως τέτοιος, αν ληφθεί ως μέτρο σύγκρισης το μέγεθος του πληθυσμού που επηρεάζει, ενώ γεωγραφικά είναι ο δεύτερος εκτενέστερος μετά τις πλημμύρες. Η πλειοψηφία τόσο της δημόσιας αναγνώρισης όσο και των ερευνών που διεξάγονται για τις επιπτώσεις του φαινομένου επικεντρώνονται κυρίως στον αγροτικό τομέα, αλλά αυτό μπορεί εν δυνάμει να προκαλέσει εκτενέστερες καταστροφές, συμπεριλαμβανομένων αυτών των περιβαλλοντικών και των κοινωνικοοικονομικών συστημάτων (Blauhut et al., 2015). Η κλιματική αλλαγή και η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας έχουν ως συνέπεια την αυξημένη εμφάνιση ακραίων γεγονότων, μέσα στα οποία περιλαμβάνεται και η ξηρασία, η οποία όμως δεν έχει μελετηθεί τόσο όσο άλλα φαινόμενα όπως είναι για παράδειγμα οι πλημμύρες (Mishra and Singh, 2010). Τα τελευταία χρόνια μόνο έχει αναπτυχθεί ο τομέας της μοντελοποίησης των ξηρασιών, η οποία μπορεί να κυμαίνεται από πολύ απλουστευτικές προσεγγίσεις μέχρι σε πιο πολύπλοκα μοντέλα (Belal et al., 2012).

### 1.2 – Ορισμός

Πριν αναπτυχθεί πλήρως η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική διατριβή θεωρείται σκόπιμο να γίνει μια εκτενής αναφορά στον ορισμό του φαινομένου και αυτό γιατί συχνά υπάρχει σύγχυση μεταξύ της ξηρότητας, του

καύσωνα και της ξηρασίας. Η ξηρότητα αποτελεί ένα μόνιμο γνώρισμα του κλίματος μιας ορισμένης περιοχής και περιορίζεται σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις. Σε αντίθεση η ξηρασία είναι μια παροδική παρέκκλιση από τα χαρακτηριστικά του κλίματος που επικρατεί σε μια περιοχή. Από την άλλη πλευρά, ο καύσωνας περιορίζεται σε εβδομαδιαία τυπική χρονική διάρκεια, ενώ η αντίστοιχη χρονική κλίμακα για την ξηρασία είναι οι μήνες ή ακόμη και τα έτη. Ο συνδυασμός ενός από τα άλλα δύο φαινόμενα με αυτό της ξηρασίας μπορεί να εντείνει τις επιπτώσεις της και να οδηγήσει άμεσα σε ακόμα περισσότερο καταστροφικές συνέπειες (Belal et al., 2012).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι επιστημονικοί κλάδοι που ασχολούνται με το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι πολλοί και διαφορετικοί και για αυτό το λόγο είναι δύσκολο να διατυπωθεί ένας σαφής, ολοκληρωμένος και από όλους αποδεκτός ορισμός. Άλλοι παράγοντες που δυσχεραίνουν τη διαμόρφωση ενός και μόνο ακριβούς ορισμού είναι οι διαφοροποιήσεις των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών, οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες και η στοχαστική φύση της ζήτησης του νερού, οι οποίοι διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Έτσι, μπορεί να εκφραστεί ανάλογα με το κλίμα της περιοχής που αναφέρεται και με την παράμετρο που χρησιμοποιείται και κάθε φορά μπορεί να είναι διαφορετική. Επομένως, η διατύπωση ενός ορισμού δεν επηρεάζεται μόνο από τις διαφορετικές επιστήμες που προσεγγίζουν την ξηρασία ως φυσικό φαινόμενο, αλλά και από τις κοινωνικές και οικονομικές διαστάσεις του φαινομένου αυτού που είναι σε θέση να επηρεάσουν την κοινωνική ζωή, την αγροτική, βιομηχανική και ενεργειακή παραγωγή και την οικονομία ενός τόπου γενικότερα. Για το λόγο αυτό, υπάρχει διάκριση μεταξύ των ορισμών που διατυπώνονται ανάλογα και με το σκοπό που αυτός εξυπηρετεί για να επικοινωνήσει την υπάρχουσα πληροφορία. Έτσι, διαμορφώνονται οι εννοιολογικοί και οι λειτουργικοί ορισμοί (Mishra and Singh, 2010).

Οι εννοιολογικοί ορισμοί διατυπώνονται με τη βοήθεια σχετικών όρων και σε γενικές γραμμές αποσκοπούν στο να βοηθούν στην κατανόηση της συγκεκριμένης έννοιας. Για παράδειγμα «η ξηρασία είναι μια μακρά, ξηρή περίοδος» ή «η ξηρασία είναι μια παρατεταμένη περίοδος ανεπάρκειας κατακρημνισμάτων, που έχει ως αποτέλεσμα εκτενείς βλάβες στις καλλιέργειες και ως εκ τούτου απώλεια σοδειάς». Επιπλέον, οι

εννοιολογικοί ορισμοί έχουν εξαιρετική σημασία για τη διασάφηση του φαινομένου όταν αυτό και οι συνέπειές του πρόκειται να αντιμετωπιστούν μέσω της διαμόρφωσης και της καθιέρωσης συγκεκριμένου στρατηγικού σχεδιασμού.

Οι λειτουργικοί ορισμοί επιχειρούν την αναγνώριση των φυσικών χαρακτηριστικών του φαινομένου και πιο συγκεκριμένα της αρχής, της δριμύτητας και της λήξης των ξηρών περιόδων. Ο λειτουργικά ορισμένος όρος της ξηρασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση της συχνότητας, της δριμύτητας και της διάρκειας του φαινομένου για μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς. Κάτι τέτοιο απαιτεί δεδομένα μεγάλου όγκου, η φύση των οποίων διαφέρει ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο ορισμό, αλλά συμβάλλει στην αναγνώριση και την ανάπτυξη της κλιματολογίας για την ξηρασία μιας περιοχής, δίνοντας τη δυνατότητα καλύτερης κατανόησης των χαρακτηριστικών της. Μια τέτοιου είδους πληροφόρηση είναι εξαιρετικά χρήσιμη στην ανάπτυξη στρατηγικών που αποσκοπούν σε άμεση απόκριση προς το φαινόμενο και της άμβλυνσής του (National Drought Mitigation Center, <http://drought.unl.edu/droughtbasics/whatisdrought.aspx> ).

Μέσω ερευνών που έγιναν στις αρχές της δεκαετίας του 1980 ανακαλύφθηκε ότι υπήρχαν περισσότερο από 150 δημοσιευμένοι ορισμοί για την ξηρασία. Στον πίνακα 1 που ακολουθεί καταγράφονται κάποιοι λειτουργικοί ορισμοί για το φαινόμενο.

**Πίνακας 1: Λειτουργικοί ορισμοί για την ξηρασία (Belal et al., 2012).**

Ορισμός	Αναφορά
Ξηρασία είναι μια παρατεταμένη περίοδος χρόνου χωρίς σημαντική βροχόπτωση.	Linsely et al. (1959)
Ξηρασία είναι η μικρότερη ετήσια τιμή για την καθημερινή ροή ενός ρέματος.	Gumbel (1963)
Ξηρασία είναι μια σημαντική απόκλιση από τις κανονικές υδρολογικές συνθήκες μιας περιοχής.	Palmer (1965)
Ο FAO ορίζει την ξηρασία ως φυσική απειλή ως το «ποσοστό των ετών κατά τα οποία η σοδειά καταρρέει λόγω έλλειψης υγρασίας».	FAO (1983)

Ξηρασία σημαίνει μια παρατεταμένη, εκτεταμένη ανεπάρκεια κατακρημνισμάτων.	WMO (1986)
Ξηρασία σημαίνει το φυσικά επερχόμενο φαινόμενο που υπάρχει όταν τα κατακρημνίσματα βρίσκονται σημαντικά πολύ κάτω από τα κανονικά καταγεγραμμένα επίπεδα, προκαλώντας σοβαρές υδρολογικές ανισορροπίες που επηρεάζουν δυσμενώς τους εδαφικούς πόρους των παραγωγικών συστημάτων.	UN Secretariat General, the UN Convention to Combat Drought and Desertification (1994)
Μια παρατεταμένη περίοδος –εποχή, χρόνος, ή αρκετά χρόνια- ανεπαρκούς βροχής σε σχέση με το στατιστικό πολυετή μέσο μιας περιοχής.	Schneider (1996)
Η ξηρασία είναι ένα κανονικό μέρος του κλίματος, παρά μια απόκλιση από το κανονικό κλίμα.	Glantz (2003)
Η ξηρασία δεν είναι μια λέξη με ακριβή ορισμό. Μια ξηρασία είναι απλά μια περίοδος κατά την οποία η βροχή είναι σημαντικά χαμηλότερη από το μέσο όρο για το συγκεκριμένο χρόνο μέσα στο έτος και για το συγκεκριμένο μέρος, και συνεπώς, το νερό είναι σε τόσο μικρή παροχή ώστε να επηρεάζει την οικιακή, βιομηχανική και αγροτική χρήση και την άγρια ζωή.	Allaby (2003)
Η ξηρασία είναι ένας ύπουλος φυσικός κίνδυνος που προέρχεται από την έλλειψη κατακρημνισμάτων σε σχέση με το αναμενόμενο ή το κανονικό ώστε, όταν εκτείνεται για μια εποχή ή περισσότερο, να είναι ανεπαρκές για την ικανοποίηση της ζήτησης για τις ανθρώπινες δραστηριότητες και το περιβάλλον.	Wilhite and Buchanan-Smith (2005)
Η ξηρασία είναι ένα κανονικό επαναλαμβανόμενο χαρακτηριστικό του κλίματος, παρόλο που συχνά λανθασμένα θεωρείται ένα απρόοπτο και ασύνηθες γεγονός. Είναι μια παροδική παρέκκλιση στη φυσική μεταβλητότητα και μπορεί να θεωρηθεί ως ύπουλος	MWD (2007)

φυσικός κίνδυνος· διαφέρει από την ξηρότητα η οποία είναι ένα μακροπρόθεσμο, τυπικό μέσο χαρακτηριστικό του κλίματος.	
Ξηρασία είναι μια περίοδος ξηρότερη από τις κανονικές συνθήκες ως αποτέλεσμα προβλημάτων σχετιζόμενων με το νερό. Είναι η περίοδος κατά την οποία η βροχόπτωση είναι λιγότερη από την κανονική για αρκετές εβδομάδες, μήνες ή χρόνια, η ροή των ρεμάτων και των ποταμών μειώνεται και τα επίπεδα νερού στις λίμνες και τους ταμιευτήρες κατεβαίνουν και το βάθος του νερού στα πηγάδια αυξάνεται.	Nagarajan (2009)
Η ξηρασία είναι ένα επαναλαμβανόμενο ακραίο κλιματικό γεγονός που αφορά το έδαφος, χαρακτηρίζεται από κάτω των κανονικών κατακρημνίσματα για μια περίοδο από μήνες έως και έτη. Η ξηρασία είναι μια παροδική ξηρή περίοδος, σε αντίθεση με τη μόνιμη ξηρότητα σε ξηρές περιοχές.	Dai (2010)
Η ξηρασία είναι μακράν η πιο σημαντική περιβαλλοντική πίεση στη γεωργία, προκαλώντας σημαντικές απώλειες εσοδείας κάθε χρόνο.	Mastrangelo et al. (2012)

Σύμφωνα με τις δημοσιεύσεις α) Wilhite and Glantz, 1985 β) American Meteorology Society, 2004 και γ) Hennessy et al. 2008, οι ξηρασίες κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες: α) τη μετεωρολογική, β) την υδρολογική, γ) την αγροτική και δ) την κοινωνικοοικονομική, ενώ συχνά γίνεται λόγος για έναν ακόμη τύπο ξηρασίας, αυτής των υπόγειων υδάτων. Ακολουθεί μια εκτενέστερη αναφορά στους προαναφερθέντες τύπους ξηρασίας.

- Η **μετεωρολογική** ξηρασία ορίζεται ως έλλειψη των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε μια περιοχή για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η οποία διαφέρει ανάλογα με την περιοχή μελέτης. Με άλλα λόγια, είναι μια

περίοδος, η οποία κυμαίνεται από μήνες έως και έτη και κατά την οποία οι ατμοσφαιρικές συνθήκες έχουν ως αποτέλεσμα τη χαμηλή βροχόπτωση. Σε κάποιες αναλύσεις της μετεωρολογικής ξηρασίας γίνεται σύγκριση του ελλείμματος των κατακρημνισμάτων σε σχέση με τις αντίστοιχες μέσες τιμές, ενώ σε άλλες γίνεται προσέγγιση της διάρκειας και της δριμύτητας σε σχέση με την αθροιστική ανεπάρκεια των κατακρημνισμάτων. Το φαινόμενο μπορεί να ενταθεί λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και των τιμών της εξατμισοδιαπνοής, της χαμηλής υγρασίας και των ξηρών ανέμων.

- Η **υδρολογική** ξηρασία σχετίζεται με μια περίοδο ανεπάρκειας των επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων που προορίζονται για τις καθιερωμένες χρήσεις νερού ενός δεδομένου συστήματος διαχείρισης. Διαφορετικά, είναι μια παρατεταμένη περίοδος ελλείμματος υγρασίας, η οποία επηρεάζει τις επιφανειακές και υπόγειες παροχές ύδατος, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τα επίπεδα των απορροών, των υπογείων υδάτων, των ταμιευτήρων και των λιμνών. Επιπλέον, μπορεί να επιμείνει για μεγάλο διάστημα αφότου έχει τελειώσει η μετεωρολογική ξηρασία, καθώς υστερεί χρονικά σε σχέση με αυτήν. Για την ανάλυση της υδραυλικής ξηρασίας χρησιμοποιούνται ευρέως δεδομένα απορροής, ενώ από αναλύσεις παλινδρόμησης οι οποίες συσχετίζουν την ξηρασία στις απορροές με τις ιδιότητες της λεκάνης απορροής, έχει βρεθεί ότι η γεωλογία είναι ένας από τους κύριους παράγοντες επιρροής της υδρολογικής ξηρασίας. Η συχνότητα και η δριμύτητα της υδρολογικής ξηρασίας συχνά ορίζονται σε κλίμακα υδροκρίτη ή λεκάνης απορροής.
- Η **αγροτική** ξηρασία, συνήθως, αναφέρεται σε μια περίοδο με μειούμενη εδαφική υγρασία ή με μείωση της εδαφικής υγρασίας κάτω από την εξατμισοδιαπνοή ή με μείωση της εδαφικής υγρασίας κατά την κρίσιμη περίοδο ανάπτυξης των φυτών, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της γεωργικής παραγωγής ή και την αποτυχία της, χωρίς να έχουν ληφθεί υπόψη οι επιφανειακοί υδατικοί πόροι. Πιο συγκεκριμένα, η αγροτική ξηρασία είναι μια βραχυπρόθεσμη αφυδάτωση του επιφανειακού εδάφους, στη ζώνη ριζοβολίας, κατά την κρίσιμη περίοδο ανάπτυξης. Η αρχή και το τέλος της

αγροτικής ξηρασίας υστερούν χρονικά της μετεωρολογικής, καθώς εξαρτώνται από την προϋπάρχουσα κατάσταση της εδαφικής υγρασίας. Η μείωση της εδαφικής υγρασίας επηρεάζεται από τη μετεωρολογική και την υδρολογική ξηρασία σε συνδυασμό με τις διαφορές μεταξύ της πραγματικής και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί για την προσέγγιση της αγροτικής ξηρασίας αρκετοί δείκτες ξηρασίας βασιζόμενοι στο συνδυασμό κατακρημνίσεων, θερμοκρασίας και εδαφικής υγρασίας. Ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αγροτική ξηρασία είναι οι απαιτήσεις των φυτών σε νερό, οι οποίες εξαρτώνται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, τα βιολογικά χαρακτηριστικά του κάθε φυτού, το στάδιο ανάπτυξής και τις φυσικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους.

- Η **κοινωνικοοικονομική** ξηρασία είναι η ανεπάρκεια των συστημάτων διαχείρισης υδατικών πόρων να αντιμετωπίσουν τη ζήτηση νερού, συσχετίζοντας έτσι την ξηρασία με τη ζήτηση και την προσφορά ενός οικονομικού αγαθού, του νερού στην προκειμένη περίπτωση. Πρακτικά, κοινωνικοοικονομική ξηρασία υπάρχει όταν η ζήτηση του νερού ξεπερνά την προσφορά του ως αποτέλεσμα έλλειψής του λόγω των καιρικών συνθηκών. Με άλλα λόγια, αποτελεί τη συνέπεια όλων των στοιχείων των παραπάνω τύπων ξηρασίας αναφορικά με τη ζήτηση και την προσφορά των οικονομικών αγαθών και της ανθρώπινης ευημερίας (Belal et al., 2012).

Τέλος, θα ήταν σκόπιμο να γίνει ξεχωριστή αναφορά και στην ξηρασία των **υπογείων υδάτων**, η οποία δεν συμπεριλαμβάνεται στην προαναφερθείσα κατηγοριοποίηση. Ως τέτοια αναγνωρίζεται η ξηρασία που συμβαίνει όταν τα συστήματα των υπόγειων υδάτων επηρεάζονται από τους τρεις πρώτους τύπους ξηρασίας και γίνεται εμφανής αρχικά μέσω της μείωσης της επαναφόρτισης και αργότερα μέσω της μείωσης της αποφόρτισης και της στάθμης των υπόγειων υδάτων. Τέτοιου είδους ξηρασίες συμβαίνουν σε χρονική κλίμακα μηνών ή ετών και ορίζονται και ποσοτικοποιούνται συνήθως μέσω της πτώσης στάθμης των υπόγειων υδάτων, αλλά και πιο σπάνια μέσω της αποθηκευτικότητας, της φόρτισης και της αποφόρτισης (Mishra and Singh, 2010).

### 1.3 – Δημιουργία του φαινομένου

Η ξηρασία οφείλεται σε δύο ειδών παράγοντες, περιβαλλοντικούς και ανθρωπογενείς. Είναι κατανοητό ότι η ξηρασία σχετίζεται κατ' αρχάς με την ανεπάρκεια νερού, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τη διαθεσιμότητα των επιφανειακών και των υπόγειων υδατικών πόρων. Μερικοί από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που συντελούν στην ανεπάρκεια του νερού είναι οι τιμές της θερμοκρασίας, οι υψηλοί άνεμοι, η χαμηλή σχετική υγρασία, η διάρκεια και η ένταση των βροχοπτώσεων, αλλά και οι ημέρες βροχόπτωσης κατά την έναρξη, τη διάρκεια και το πέρας της ανάπτυξης των καλλιεργειών. Ακόμη, η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο το οποίο μπορεί να ανατροφοδοτεί τον εαυτό της καθώς εάν υπάρχει έλλειψη ή ανεπάρκεια νερού σε κάποιο από τα κομμάτια του υδρολογικού κύκλου, αυτή εξελίσσεται και επεκτείνεται κατά την πορεία των υδάτων σε αυτόν. Για παράδειγμα, σε περίπτωση έλλειψης κατακρημνισμάτων, μειώνονται οι απορροές και στη συνέχεια και το διαθέσιμο νερό, άρα και η άρδευση, αφού δεν υπάρχουν διαθέσιμοι πόροι. Κατ' επέκταση γίνεται μείωση της εξατμοσσοδιαπνοής, επομένως πέφτουν τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας στην ατμόσφαιρα και έτσι μειώνονται και οι κατακρημνίσεις.

Οι ανθρωπογενείς παράγοντες έχουν να κάνουν με την κλιματική αλλαγή, τη ρύπανση των υδατικών πόρων και την αύξηση του πληθυσμού. Αρχικά αν θεωρηθεί ότι η κλιματική αλλαγή οφείλεται εν μέρει σε ανθρωπογενείς παράγοντες, τότε και η μείωση των βροχοπτώσεων και η αύξηση της θερμοκρασίας, που αποτελούν εκφάνσεις αυτής, συντελούν σημαντικά στην εμφάνιση της ξηρασίας. Επιπλέον, με παρεμβάσεις όπως είναι η υπερβολική άντληση των υπογείων υδάτων, η οποία μπορεί να οδηγήσει και στην υφαλμύρισή του υπόγειου υδροφορέα, αν πρόκειται για παράκτιες περιοχές, ή η ρύπανση των επιφανειακών και των υπόγειων υδατικών πόρων γίνεται υποβάθμιση τόσο στην ποιότητα όσο και στην ποσότητά του φρέσκου διαθέσιμου ύδατος προς χρήση. Ένας ακόμη παράγοντας αποτελεί και η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και συνεπώς η αύξηση των κατά κεφαλήν αναγκών σε νερό καθώς και η αύξηση της ζήτησης για την ικανοποίηση των αυξανόμενων αναγκών του αγροτικού, βιομηχανικού και ενεργειακού τομέα (Mishra and Singh, 2010, Belal et al., 2012).



## 1.4 – Οι επιπτώσεις της ξηρασίας

Η ανάλυση των επιπτώσεων της ξηρασίας είναι ένα διεπιστημονικό αντικείμενο με μεγάλη σπουδαιότητα. Το νερό αποτελεί το σημαντικότερο αγαθό για τη ζωή, καθώς είναι αυτό που μπορεί να τη διατηρήσει πάνω στον πλανήτη και είναι ολοκληρωτικός παράγοντας για την παραγωγή αγαθών και την παροχή υπηρεσιών. Γίνεται, λοιπόν, κατανοητό ότι η έλλειψή του μπορεί να προκαλέσει καταστροφικές συνέπειες για την κοινωνία και την ανθρώπινη ζωή (Belal et al., 2012). Από την περίοδο που η ανθρώπινη ζωή άρχισε να εξαρτάται από τη συγκομιδή σοδειάς, η οποία καλλιεργούνταν σε τόπους μόνιμης πλέον εγκατάστασης, η έλλειψη νερού και η ξηρασία θα μπορούσαν να αποτελέσουν τα αίτια για αλλαγή των συνθηκών ζωής, να επηρεάσουν την παραγωγή, αλλά και να λειτουργήσουν ως λόγος για μετεγκαταστάσεις πληθυσμών. Ακόμα, ιστορικές υποθέσεις διατυπώνουν ότι μεγάλης διάρκειας ξηρασία μπορεί να ευθύνεται και για την κατάρρευση ή την εξαφάνιση ολοκληρωμένων πολιτισμών όπως είναι το αρχαίο βασίλειο της Αιγύπτου ή ο αρχαίος πολιτισμός των Maya (Τσακίρης και Βαγγέλης, 2013).

Οι επιπτώσεις της ξηρασίας μπορεί να είτε άμεσες είτε έμμεσες και αφορούν τον οικονομικό, τον κοινωνικό και τον περιβαλλοντικό τομέα. Οι άμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν μειωμένη παραγωγικότητα στις καλλιέργειες, τις δασικές και τις λιβαδικές εκτάσεις, αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιών, μείωση της στάθμης των υδάτων, αύξηση στη θνησιμότητα των ζώων εκτροφής, αλλά και των άγριων ζώων καθώς και καταστροφή των φυσικών τους οικοτόπων. Οι συνέπειες των άμεσων επιπτώσεων συντελούν στην εμφάνιση έμμεσων επιπτώσεων, όπως είναι οι αυξημένες τιμές στα τρόφιμα, την ξυλεία και άλλα είδη πρώτης ανάγκης, τα χαμηλά εισοδήματα για τους αγρότες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε κατασχέσεις, ακόμα και η μετανάστευση.

Πιο αναλυτικά, στην οικονομία, η ξηρασία επηρεάζει την παραγωγή, τις πωλήσεις και τη λειτουργία των επιχειρήσεων σε μια πληθώρα βιομηχανιών. Η αγροτική οικονομία μπορεί να καταστραφεί λόγω της αφυδάτωσης των καλλιεργειών και της εγκατάλειψης των καλλιεργούμενων εκτάσεων και της μάρανσης των βοσκότοπων. Τα παραπάνω προκαλούν έμμεσες συνέπειες στην ευρύτερη οικονομία, οι οποίες

εξαρτώνται από τη σχέση και τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση με την αγροτική οικονομία. Ακόμη, οι παροχές νερού όπως είναι τα ρέματα, οι ταμιευτήρες και τα υπόγεια ύδατα επηρεάζουν και τον τουρισμό, τις δημόσιες υπηρεσίες, την ψυχαγωγία και άλλες επιχειρήσεις που απαιτούν σημαντική κατανάλωση νερού.

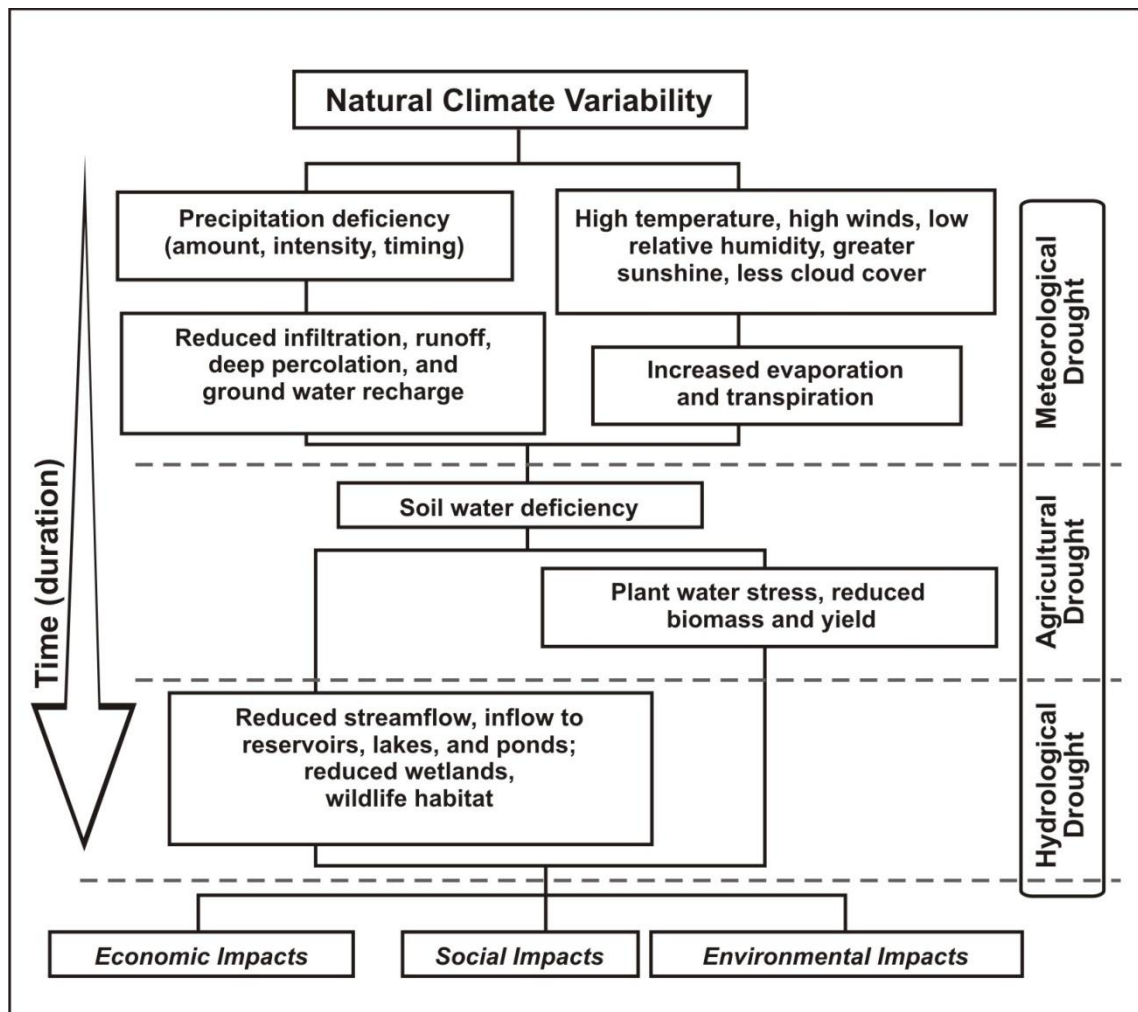
Οι κοινωνικές διαστάσεις των συνεπειών της ξηρασίας ποικίλουν και συνήθως εντείνουν τα ήδη υπάρχοντα κοινωνικά προβλήματα. Για παράδειγμα, εάν μια κοινωνία αντιμετωπίζει προβλήματα σε διάφορους τομείς όπως είναι η υγεία, η παιδεία, η στέγαση και η ανεργία, τότε η ξηρασία προσθέτει ένα ακόμη παράγοντα πίεσης και επιδρά αρνητικά στην ικανότητα των παρόχων να προσφέρουν αποτελεσματικά ποιοτικές υπηρεσίες. Μερικές από τις κοινωνικές επιπτώσεις που προκύπτουν ως αποτέλεσμα ξηρασίας και έχουν εντοπιστεί από έρευνες είναι τα παρακάτω:

- Απροθυμία για συμμετοχή σε κοινωνικές δραστηριότητες
- Υποβάθμιση των παραδοσιακών βιομηχανιών
- Η αναζήτηση εργασίας πέρα εκτός του αγροτικού τομέα
- Αυξημένη οικονομική πίεση
- Υποβάθμιση της φυσικής και πνευματικής υγείας των πολιτών
- Απώλεια της αγροτικής εργασίας
- Αύξηση των ωρών εργασίας με μικρή δυνατότητα για την ψυχαγωγία και την οικογενειακή ζωή

Τέλος, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναφέρονται συνήθως στην αδυναμία εύρεσης νερού και τροφής για τα άγρια ζώα καθώς και στη συρρίκνωση ή καταστροφή του φυσικού τους περιβάλλοντος. Επιπλέον, η ξηρασία μπορεί να οδηγήσει στην ολοκληρωτική απώλεια τόσο φυτικών όσο και ζωικών ειδών, στην υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, των υδάτων και του τοπίου, αλλά και στη διάβρωση του εδάφους. Κάποιες από τις παραπάνω απώλειες μπορεί να είναι παροδικές και να μπορούν να αντιμετωπιστούν μετά τη λήξη του εκάστοτε περιστατικού ξηρασίας, ενώ άλλες να παραμείνουν μόνιμα (Belal et al., 2012).

Κατά τον 20ό αιώνα, τα γεγονότα ξηρασίας ήταν δυνατόν να καταγραφούν πιο συστηματικά και έτσι υπάρχουν πολλά ιστορικά παραδείγματα που καταδεικνύουν τις αρνητικές συνέπειες του φαινομένου. Μερικά από αυτά είναι η ερημοποίηση της ζώνης Sahel της κεντρικής Αφρικής στα μέσα της δεκαετίας του 1980 και τη μετακίνηση δέκα εκατομμυρίων ανθρώπων, η μείωση της αγροτικής παραγωγής κατά 50% τη δεκαετία του 1950 στην περιοχή Great Plains των Η.Π.Α. και η έλλειψη τροφής στους βοσκότοπους που ανάγκασε τους κτηνοτρόφους να χρησιμοποιούν υψηλού κόστους ζωοτροφές. Παραδείγματα από την Ευρώπη αποτελούν η μείωση της παραγωγής γάλακτος κατά 25% και η θανάτωση είκοσι χιλιάδων χοίρων λόγω ανεπάρκειας του νερού για την κάλυψη των κτηνοτροφικών αναγκών το 1976 στη Γαλλία, η μείωση της παραγωγής κατά 22% στη Γερμανία και η διακοπή των αρδεύσεων στη Βουλγαρία το 1992. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η ερημοποίηση στη ζώνη Sahel προέκυψε ως αποτέλεσμα πολλαπλών περιστατικών ξηρασίας, οι οποίες ήταν σφοδρότατες και οδήγησαν τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών στη σύνθεση συνθήκης για την Καταπολέμηση της Ερημοποίησης και της Ξηρασίας (Τσακίρης και Βαγγέλης, 2013).

Στην ακόλουθη εικόνα (Εικόνα 1) φαίνεται η αλληλουχία των επιπτώσεων ξηρασίας σε σχέση με τους τρεις πρώτους τύπους αυτής.



Εικόνα 1: Αλληλουχία των γεγονότων ξηρασίας και οι επιπτώσεις στους κοινά αποδεκτούς τύπους ξηρασίας. (<http://drought.unl.edu/DroughtBasics/TypesofDrought.aspx> )

## 1.5 – Σκοπός

Από όλες τις φυσικές καταστροφές που έχουν συμβεί κατά τον 20ό αιώνα, τα περιστατικά ξηρασίας αναγνωρίζονται ως αυτά με τις περισσότερες επιβλαβείς συνέπειες, επιφέροντας μεγάλο κόστος στην οικονομία, την κοινωνία και το περιβάλλον (Mishra and Singh, 2010). Το γεγονός ότι σε δημοσιεύσεις αναφέρεται ότι η ξηρασία σε ευρωπαϊκές περιοχές έχει γίνει εντονότερη, τα αποτελέσματα μοντελοποιήσεων που δείχνουν σημαντική αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης φαινομένων ξηρασίας στη νότια και νοτιοανατολική Ευρώπη, καθώς και ότι τα φαινόμενα αυτά αναμένεται να ενταθούν στην κεντρική Ευρώπη και την περιοχή της Μεσογείου λόγω της κλιματικής αλλαγής (Blauhut et al., 2015) συνετέλεσαν στην απόφαση για τη μελέτη του συγκεκριμένου φαινομένου στα γεωγραφικά όρια της

Κρήτης. Στα παραπάνω προστίθεται το γεγονός ότι η ξηρασία αποτελεί μείζονος σημασίας παράγοντα για τον προγραμματισμό και τη διαχείριση των υδατικών πόρων, αφού αποτελεί ένδειξη για το κατά πόσο αυτοί είναι διαθέσιμοι (Belal et al., 2012).

Μέσω της μελέτης αυτής αναμένεται η καλύτερη κατανόηση του φαινομένου και η εκτίμηση επικινδυνότητας εμφάνισής του, ώστε αυτή να μπορεί να μπορεί να παρέχει τις κατάλληλες πληροφορίες για την κατάρτιση σχεδίων ετοιμότητας για την αντιμετώπιση του κινδύνου, για τον περιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν την ευαισθησία της τοπικής κοινωνίας στον κίνδυνο αυτό, αλλά και για την υποστήριξη των συστημάτων λήψης αποφάσεων που αφορούν την διαχείριση των υδατικών πόρων. Τέλος, επιλέγεται η χαρτογράφηση ως μέθοδος για την επικοινωνία της πληροφορίας αυτής, καθώς αποτελεί την πλέον κατάλληλη για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας που παρουσιάζουν τα χωρικά δεδομένα.

## Κεφάλαιο 2 – Παράγοντες που εξετάστηκαν

Για την εκτίμηση της επικινδυνότητας της ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης λήφθηκαν υπόψη παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τα αποθέματα νερού. Οι παράγοντες αυτοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους σταθερούς και τους δυναμικούς, ανάλογα με το ρυθμό μεταβολής τους. Η υδατοϊκανότητα του εδάφους, η συσσώρευση της επιφανειακής ροής, τα αρδευτικά δίκτυα, η στάθμη των υπογείων υδάτων, η υδρογεωλογία και η υφαλμύριση της παράκτιας ζώνης απαρτίζουν τους σταθερούς παράγοντες, ενώ στους δυναμικούς παράγοντες που εξετάστηκαν κατατάσσονται η βροχόπτωση και η εξατμισοδιαπνοή, καθώς ο ρυθμός μεταβολής τους είναι πιο γρήγορος σε σχέση με αυτόν των σταθερών. Στη συνέχεια, αναλύεται ξεχωριστά καθένας από αυτούς.

### 2.1 – Σταθεροί παράγοντες

#### 2.1.1 – Υδατοϊκανότητα

Υδατοϊκανότητα είναι η ποσότητα του νερού που από την κατάσταση κορεσμού παραμένει στο έδαφος μετά από 48ωρη στράγγιση ([http://www.lib.teiher.gr/webnotes/steg/Geniki\\_Georgia/lecture4/lecture4.htm](http://www.lib.teiher.gr/webnotes/steg/Geniki_Georgia/lecture4/lecture4.htm)). Ως υδατοϊκανότητα μπορεί να οριστεί η υγρασία που συγκρατεί ένα βαθύ, ομοιόμορφο και καλά στραγγιζόμενο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού. Αν ένα κορεσμένο έδαφος αφεθεί να στραγγίσει, μια ποσότητα νερού που βρίσκεται στους πόρους κινείται υπό την επίδραση της βαρύτητας σχετικά εύκολα προς τα κάτω. Το νερό που παραμένει στο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού λέγεται τριχοειδές, που κινείται προς κάθε κατεύθυνση ανάλογα με τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις, αλλά με πολύ μικρότερη ταχύτητα από ότι το ελεύθερο. Αν νερό συνεχίσει να απομακρύνεται, φτάνει κάποια στιγμή που αυτό που απομένει συγκρατείται πολύ ισχυρά από τα μόρια του εδάφους, ιδιαίτερα από τα κολλοειδή του, και σε σημαντική αναλογία δεν είναι πια σε υγρή κατάσταση, μετακινούμενο με τη μορφή υδρατμών. Το νερό αυτό λέγεται υγροσκοπικό. Επομένως, θα λέγαμε ότι η υδατοϊκανότητα του εδάφους είναι η υγρασία του εδάφους που συνίσταται από το τριχοειδές και το υγροσκοπικό νερό.

Κατά τη στράγγιση, γίνεται ελάττωση της εδαφικής υγρασίας και επομένως και της τιμής της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας. Η καθοριστική στιγμή κατά την οποία η τιμή αυτή γίνεται τόσο μικρή ώστε η κίνηση του νερού πρακτικά να θεωρείται ανύπαρκτη ακόμα και σε εδάφη με μεγάλη υδραυλική κλίση είναι το χρονικό σημείο κατά το οποίο μπορεί να γίνεται λόγος για την υδατοϊκανότητα. Με άλλα λόγια, υδατοϊκανότητα είναι το όριο της εδαφικής υγρασίας στο οποίο η τιμή της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας που αντιστοιχεί είναι τόσο μικρή που ώστε πρακτικά να έχει πάψει κάθε ουσιαστική κίνηση νερού στο έδαφος ανεξαρτήτως από τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις.

Συνήθως, η υγρασία του εδάφους θεωρείται ότι φτάνει το όριο της υδατοϊκανότητας από τρεις μέχρι πέντε μέρες μετά από βροχή ή άρδευση, ανάλογα με την υφή και τη δομή του. Ο προσδιορισμός της υδατοϊκανότητας μπορεί να γίνει με τη μέτρηση της τάσης της εδαφικής υγρασίας που αντιστοιχεί σε αυτή. Η τάση διαφέρει αυτή διαφέρει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των εδαφών, ένα εκ των οποίων είναι και η υφή. Πειραματικοί προσδιορισμοί έδωσαν την παρακάτω αντιστοιχία ανάμεσα στην υδατοϊκανότητα και την τάση σε διάφορους τύπους υφής εδαφών, που φαίνεται στον πίνακα 2. Τέλος, η υδατοϊκανότητα αποτελεί το πάνω όριο της χρήσιμης εδαφικής υγρασίας για τα φυτά (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

**Πίνακας 2: Πειραματικοί προσδιορισμοί τάσης στην υδατοϊκανότητα ανάλογα με την υφή του εδάφους. (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997)**

Τύπος υφής εδάφους	Τάση στην υδατοϊκανότητα (cm)
αμμώδες (χονδρόκοκκο)	60
αμμοπηλώδες	100
ιλοπηλώδες	300
αργιλώδες	600

### 2.1.2 – Συσσώρευση της επιφανειακής ροής

Ο όρος επιφανειακή απορροή αναφέρεται στο τμήμα του νερού των κατακρημνισμάτων που μόλις φτάσει στο έδαφος ρέει επιφανειακά, εισέρχεται στο υδρογραφικό σύστημα και τελικά ρέει κατά μήκος των φυσικών υδατορευμάτων. Στην επιφανειακή απορροή συγκαταλέγονται και οι μικρές ποσότητες νερού που διαπερνούν την επιφάνεια του εδάφους, κινούνται για λίγο στα τμήματα του υπεδάφους χωρίς να φθάσουν τους υπόγειους υδροφορείς και τέλος επανέρχονται στην επιφάνεια για να ενσωματωθούν και αυτά στο υδρογραφικό δίκτυο. Στον ορισμό αυτό δεν γίνεται διάκριση της κλίμακας των φυσικών υδατορευμάτων, περιλαμβάνοντας έτσι όλο το φάσμα τους, από ένα ακαθόριστων ορίων ρυάκι μέχρι και τα μεγαλύτερα ποτάμια.

Η δρώσα δύναμη για την κίνηση του νερού πάνω στην επιφάνεια του εδάφους είναι η βαρύτητα. Η σχέση μεταξύ βροχοπτώσεων και επιφανειακής απορροής τόσο χρονική όσο και χωρική μεταβολή. Το μέγεθος της επιφανειακής απορροής εξαρτάται από κλιματικούς- μετεωρολογικούς και φυσιογραφικούς παράγοντες καθώς και από γεωλογικούς (τη σύσταση των πετρωμάτων και του εδάφους) και γεωμορφολογικούς παράγοντες της λεκάνης απορροής. Για το λόγο αυτό, είναι συχνό φαινόμενο παρόμοιες βροχοπτώσεις να προκαλούν διαφορετικές μορφές επιφανειακής απορροής.

Οι απορροές όχι μόνο δεν αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι του υδρολογικού κύκλου, αλλά είναι και αυτό που έχει την αμεσότερη σχέση με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Επιπλέον, αποτελούν τη βασική υδρολογική παράμετρο σε μια σειρά από έργα που γίνονται για τον έλεγχο, την αξιοποίηση ή την προστασία των υδατικών πόρων και ταυτόχρονα μεγάλος αριθμός τεχνικών έργων σχεδιάζονται βάσει των μεγεθών της απορροής. Η ξηρασία αποτελεί ακραίο φαινόμενο απορροής μαζί με τα πλημμυρικά φαινόμενα. Η πρώτη παρουσιάζεται σε συνθήκες έλλειψης των απορροών, ενώ τα δεύτερα σε συνθήκες υπερβολικής παροχής αυτών.

Με τον όρο συσσώρευση επιφανειακής απορροής εννοείται η ποσότητα του νερού που συσσωρεύεται κατά την πορεία που αυτό ακολουθεί κατά μήκος του



υδρογραφικού δικτύου από τα ανάντη προς τα κατόντη της λεκάνης απορροής (Κουτσογιαννης και Ξανθόπουλος, 2016).

### 2.1.3 – Αρδευτικά συστήματα

Σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για την κανονική ανάπτυξη και τη μεγιστοποίηση της απόδοσής, αλλά και της παραγωγής προϊόντων υψηλής ποιότητας, (<http://www.minagric.gr/index.php/el/for-farmer-2/eggeiesbeltioseis>). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η υδατοϊκανότητα αποτελεί το πάνω όριο της χρήσιμης στα φυτά εδαφικής υγρασίας. Το αντίστοιχο κάτω όριο ονομάζεται σημείο μόνιμης μάρανσης. Τα φυτά μπορούν να λάβουν το απαραίτητο νερό για την ανάπτυξή τους είτε από την εδαφική υγρασία, είτε από τα υπόγεια ύδατα, αναλόγως με το βάθος της στάθμης του υδροφορέα ή άμεσα από τη βροχόπτωση. Όταν οι πηγές αυτές δεν επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών των φυτών σε νερό, που πρακτικά ταυτίζονται με το ύψος νερού που απομακρύνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής, είναι αναγκαίο να δοθεί το νερό που ελλείπει μέσω άρδευσης.

Ως συνέπεια της άρδευσης, συγκεντρώνονται άλατα στο στρώμα ριζοβολίας των φυτών. Έτσι, πέρα από τις καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας για νερό, χρειάζονται επιπλέον ποσότητες και για την έκπλυση των αλάτων, καθώς η αύξηση της αλατότητας είναι σε θέση να υποβιβάσει τη γονιμότητα του εδάφους. Ακόμη, στο νερό που εφαρμόζεται σε μια έκταση πρέπει να συμπεριληφθούν και οι ποσότητες για την κάλυψη των απωλειών λόγω μεταφοράς και εφαρμογής του.

Από την άλλη πλευρά είναι σημαντικό η ποσότητα του νερού που διατίθεται να μην ξεπερνά κατά πολύ τις ποσότητες που είναι απαραίτητες ή το ρυθμό διήθησης του εδάφους, διότι το πλεονάζον νερό χάνεται με βαθειά διήθηση ή με επιφανειακή απορροή αντίστοιχα. Επίσης, υπερβολική υγρασία στο ριζόστρωμα μπορεί να δράσει ανασταλτικά στην ανάπτυξη των φυτών, προκαλώντας ασθένειες ή ακόμα και την καταστροφή τους. Προκειμένου να μην χαθούν σημαντικές ποσότητες νερού και να γίνει βέλτιστη εφαρμογή νερού στις καλλιέργειες καταρτίζονται προγράμματα αρδεύσεων για κάθε καλλιέργεια, τα οποία είναι δυνατό να εφαρμοστούν με

διάφορες μεθόδους. Επιπλέον, για την απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού, μαζί με την κατασκευή ενός αρδευτικού δικτύου είναι απαραίτητο να κατασκευάζεται και στραγγιστικό δίκτυο (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Η συλλογή και η διάθεση αρδευτικού νερού γίνεται μέσω των αρδευτικών συστημάτων. Αρδευτικά συστήματα αποτελούν τα φράγματα, οι λιμνοδεξαμενές, τα αρδευτικά δίκτυα διανομής και οι γεωτρήσεις. Τα παραπάνω έργα έχουν σκοπό την εξασφάλιση και την εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού, την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων, αλλά και τον έλεγχο της ποιότητας των αρδευτικών υδάτων (<https://el.wikipedia.org/wiki/Αρδευση>). Θεωρώντας, λοιπόν, ότι σε περιοχές που υπάρχουν τέτοιου είδους συστήματα γίνεται καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων, είναι λιγότερο πιθανό να εμφανιστεί ο κίνδυνος ξηρασίας.

#### **2.1.4 – Στάθμη των υπογείων υδάτων**

Υπόγειο ονομάζεται το ύδωρ που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια της γης και πιο συγκεκριμένα στα κενά που δημιουργούνται από τους πόρους του εδάφους και τους διάφορους υπόγειους γεωλογικούς σχηματισμούς. Πετρώματα ή μη ενοποιημένα ιζήματα αποκαλούνται υδροφορείς όταν φέρουν μια αξιοποιήσιμη ποσότητα νερού. Το βάθος στο οποίο οι εδαφικοί πόροι και τα διάκενα των βράχων είναι εντελώς κορεσμένα με νερό καλείται υδροφόρος ορίζοντας. Τα υπόγεια ύδατα επαναφορτίζονται από την επιφάνεια και ρέουν προς αυτήν φυσικά. Η φυσική αποφόρτιση συχνά συμβαίνει μέσω των πηγών και άλλων διαρροών, σχηματίζοντας έτσι υγρότοπους. Το υπόγειο ύδωρ αντλείται συχνά μέσω των πηγαδιών ή γεωτρήσεων βιομηχανική ή άλλη χρήση, καθώς και για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών, ιδιαίτερα την εποχή του καλοκαιριού, όταν υπάρχει μείωση ή ακόμη και διακοπή της ροής των υδάτινων ρευμάτων.

Τυπικά, το υπόγειο ύδωρ αντιμετωπίζεται ως νερό που ρέει διαμέσου αβαθών υδροφορέων, αλλά από τεχνικής απόψεως περιλαμβάνει και την εδαφική υγρασία, σχηματισμούς του εδάφους που έχουν παγώσει, ακίνητο νερό που έχει παγιδευτεί σε χαμηλής διαπερατότητας έδαφος, αλλά και το βαθύτερο γεωθερμικό νερό. Άλλη μια

σημαντική πληροφορία για το υπόγειο νερό είναι ότι μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο για τη διευκόλυνση της κίνησης των ρηγμάτων.

Η ρύπανση των υπογείων υδάτων είναι λιγότερο ορατή, αλλά δυσκολότερα αντιμετωπίσιμη από αυτή στα ποτάμια και τις λίμνες. Κατά κύριο λόγο προκύπτει από ακατάλληλη διάθεση αποβλήτων στο έδαφος με κυριότερες πηγές ρύπανσης τις οικιακές και βιομηχανικές χημικές ουσίες, τους χώρους διάθεσης απορριμμάτων, λιπάσματα και εντομοκτόνα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία, δεξαμενές ή λίμνες βιομηχανικών αποβλήτων, αστοχίες σε υπόγειες δεξαμενές αποθήκευσης πετρελαίου και τα υγρά απόβλητα και την ιλύ που προκύπτει από τις διεργασίες επεξεργασίας βιομηχανικών και βιοτεχνικών δραστηριοτήτων (<https://en.wikipedia.org/wiki/Groundwater>).

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3) συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τα υπόγεια από τα επιφανειακά ύδατα (Wiener, 1972; Bear, 1979):

**Πίνακας 3: Διαφοροποιήσεις μεταξύ υπόγειων και επιφανειακών υδάτων.**

	<b>Επιφανειακά Ύδατα</b>	<b>Υπόγεια Ύδατα</b>
Κατανομή στο χώρο	Εμφανίζονται τοπικά ή ακολουθούν συγκεκριμένη πορεία, καθιστώντας έτσι την εκμετάλλευσή τους αρκετά δαπανηρή μέσω της δημιουργίας συστημάτων μεταφοράς.	Καταλαμβάνουν τεράστιες εκτάσεις, ικανοποιώντας έτσι την τοπική ζήτηση με την εφαρμογή απευθείας αντλήσεων.
Χρονική μεταβλητότητα	Μεγάλη μεταβλητότητα σε σχέση με το χρόνο.	Πολύ μικρή χρονική μεταβλητότητα,

		δίνοντας έτσι τη δυνατότητα αποθήκευσης στο έδαφος καθώς και τη δυνατότητα κάλυψης των αναγκών σε διάφορες χρονικές περιόδους.
Κόστος εγκαταστάσεων και λειτουργίας	Μεγάλο κόστος των έργων συλλογής τους, αλλά μικρό κόστος λειτουργίας.	Χαμηλό κόστος των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, αλλά υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης των έργων αυτών, ιδιαίτερα όταν οι αντλήσεις εφαρμόζονται σε μεγάλο βάθος.
Ποιότητα του νερού	Ιδιαίτερα ευάλωτο στη ρύπανση.	Λιγότερο εκτεθειμένο στη ρύπανση, αλλά σε περίπτωση ύπαρξής της, η διαδικασία εξυγίανσης είναι πολύ δύσκολη και ιδιαίτερα δαπανηρή.

Τα υδροφόρα στρώματα στο έδαφος εξυπηρετούν πολλαπλούς στόχους:

- Αποτελούν πηγές παροχής νερού: αυτή είναι και η βασική τους λειτουργία και λόγω της επαναπλήρωσης των αποθεμάτων με τις κατακρημνίσεις, τα υπόγεια ύδατα θεωρούνται ανανεώσιμοι πόροι.
- Συνιστούν δεξαμενές αποθήκευσης: υπάρχει η δυνατότητα ανανέωσης των αποθεμάτων, αλλά και η αποθήκευση εξαιρετικά μεγάλων ποσοτήτων. Η αποθηκευτική ικανότητα μπορεί να αυξηθεί μέσω της τεχνικής του τεχνητού εμπλουτισμού.
- Λειτουργούν ως αγωγοί μεταφοράς: Η λειτουργία αυτή μπορεί να ενεργοποιηθεί μόνο με την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα, όπως για παράδειγμα με τη μεταβολή των τοπικών υδραυλικών συνθηκών.
- Μπορούν να λειτουργήσουν ως φίλτρα καθαρισμού: Μέσω τεχνικών του τεχνητού εμπλουτισμού ακάθαρτα επιφανειακά ύδατα μπορούν να διηθηθούν στο έδαφος για μερικό ή πλήρη καθαρισμό τους.
- Μπορούν να ρυθμίσουν τις παροχές των επιφανειακών νερών: Η λειτουργία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο στα ποτάμια όσο και στις πηγές με τη ρύθμιση της στάθμης των υπόγειων νερών, π.χ. με αντλήσεις, στα υδροφόρα στρώματα που επικοινωνούν υδραυλικά με επιφανειακά ύδατα.

Επομένως, γίνεται κατανοητή η μεγάλη σημασία που έχουν στη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Στην παρούσα μελέτη, εξετάζεται η στάθμη του υπόγειου υδροφορέα, που πρακτικά αποτελεί ένδειξη των διαθέσιμων ποσοτήτων του υπόγειου ύδατος, αλλά και της αλληλεπίδρασής του με το επιφανειακό.

### **2.1.5 – Βάθος εδάφους**

Το βάθος του εδάφους δείχνει πόσο παχύ είναι το στρώμα του εδάφους και αποτελεί το προφίλ του από την επιφάνεια μέχρι το βραχώδες υπόστρωμα ή το αρχικό εδαφικό υλικό ή το στρώμα παρεμπόδισης της ριζοβολίας (<http://www.recare-hub.eu/glossary/92-soil-depth>). Το ακριβές βάθος του εδάφους εξαρτάται από την υδρογεωλογία της περιοχής μελέτης και είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Συνήθως,

υπολογίζεται με βάση υδρογεωλογικές πληροφορίες της περιοχής μελέτης, με μέσα τοπογραφίας, από την εμφάνιση του βραχώδους υποστρώματος και από την παρατήρηση των εκσκαφών για τη λήψη δειγμάτων. Επιπλέον, διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και αποτελεί βασικό κριτήριο για την κατάταξη των εδαφών (<http://www.markinfo.slu.se/eng/soildes/jorddjup.html>). Τέλος, το εδαφικό βάθος καθορίζει το εν δυνάμει βάθος ριζοβολίας των αναπτυσσόμενων φυτών, παίζει σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα των καλλιεργειών, ενώ τυχόν ασυνέχειές του μπορούν να δυσκολέψουν την εφαρμογή των αρδεύσεων (<http://articles.extension.org/pages/38044/is-soil-depth-an-important-consideration-affecting-irrigation>).

Από τη βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε ότι η κατηγοριοποίηση του εδαφικού βάθους είναι διαφορετική ανάλογα με τα κριτήρια που έχει θεσπίσει κάθε ερευνητικό κέντρο, αλλά συνήθως γίνεται σε τέσσερις ή πέντε κλάσεις, των οποίων όμως τα όρια είναι διαφορετικά. Έτσι σύμφωνα με το Τμήμα Εδαφών και Περιβάλλοντος του Σουηδικού Πανεπιστημίου Γεωργικών Επιστημών η κατηγοριοποίηση γίνεται όπως φαίνεται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4: Κατηγοριοποίηση του εδαφικού βάθους σύμφωνα με το Τμήμα Εδαφών και Περιβάλλοντος του SLU (<http://www.markinfo.slu.se/eng/soildes/jdiup/skidiup1.html>)

Βαθύ έδαφος	Το μέσο βάθος εδάφους είναι μεγαλύτερο από 70 cm. Η εμφάνιση βραχώδους υποστρώματος λείπει και από την περιοχή των δοκιμών και από την άμεσα κοντινή περιοχή με παρόμοια τοπογραφία.
Αρκετά αβαθές έδαφος	Το μέσο βάθος είναι από 20 έως 70 cm. Περιστασιακά υπάρχει παρουσία του βραχώδους υποστρώματος. Αν υπάρχει μόνο ένα τέτοιο στρώμα, τότε αυτό θα πρέπει είτε μερικώς είτε εξ ολοκλήρου να βρίσκεται στην περιοχή των δοκιμών.
Πολύ αβαθές έδαφος	Το μέσο βάθος εδάφους είναι λιγότερο από 20 cm. Υπάρχει συχνή εμφάνιση του βραχώδους υποστρώματος και θα πρέπει να εμφανιστεί τουλάχιστον μία φορά στην περιοχή των δοκιμών. Το έδαφος μπορεί να είναι και βαθύ εντός μικρών σχισμών του βραχώδους υποστρώματος.
Μεταβαλλόμενου βάθους εδάφος	Υπάρχει ευρεία ποικιλομορφία εντός της περιοχής των δοκιμών λόγω εκτεταμένων ρωγμών στο βραχώδες υπόστρωμα, το οποίο περιστασιακά εμφανίζεται στην επιφάνεια.

Από την άλλη πλευρά στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα RECARE, για την προστασία και την αποκατάσταση των εδαφών η κατηγοριοποίηση γίνεται σύμφωνα με τον πίνακα 5.

Πίνακας 5: Κατηγοριοποίηση του εδαφικού βάθους σύμφωνα με το πρόγραμμα RECARE.

(<http://www.recare-hub.eu/glossary/92-soil-depth>)

Πολύ αβαθές έδαφος	Λιγότερο από 25 cm
Αβαθές έδαφος	25 cm – 50 cm
Μέτρια βαθύ έδαφος	50 cm – 90 cm
Βαθύ έδαφος	90 cm – 150 cm
Πολύ βαθύ έδαφος	Περισσότερο από 150 cm

ενώ από ελληνική βιβλιογραφία υπάρχει η κατάταξη του πίνακα 6:

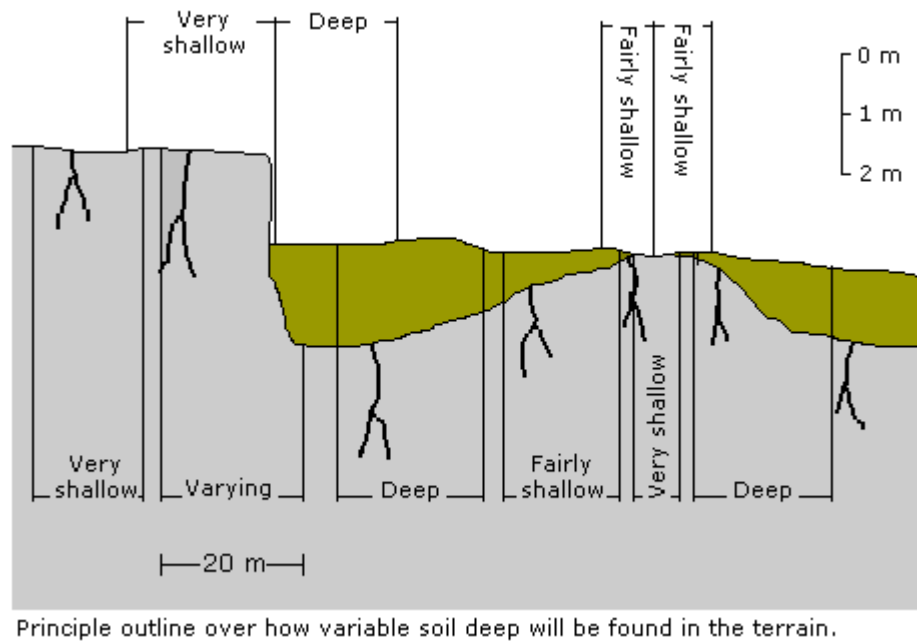
Πίνακας 6:Κατηγοριοποίηση του εδαφικού βάθους σύμφωνα με το Εργαστήριο Εδαφολογίας, τμήματος Δασοπονία και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Καβάλας.

([http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/fisikes\\_idiotites\\_edafous.pdf](http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/fisikes_idiotites_edafous.pdf))

Κατηγορία	Βάθος, cm
Πολύ αβαθές έδαφος	<15
Αβαθές έδαφος	15-30
Μετρίως βαθύ έδαφος	30-60
Βαθύ έδαφος	60-100
Πολύ βαθύ έδαφος	>100



Στην εικόνα 2 παρουσιάζονται οι πιθανές καταστάσεις του εδαφικού βάθους κατά τις δοκιμές στο πεδίο.



Εικόνα 2: Εύρεση εδαφικού βάθους κατά τις δοκιμές στο πεδίο. (<http://www-markinfo.slu.se/eng/soildes/idiup/skidiup1.html>)

Στην Ελλάδα, το βάθος του εδάφους συνήθως κυμαίνεται από τα 30 cm έως τα 80 cm. Τα δασικά εδάφη έχουν συνήθως βάθος 50 cm και σπανιότερα 1 m. Μικρό βάθος συναντάται σε περιοχές με σκληρά πετρώματα, μεγάλες κλίσεις και συνεχή διάβρωση όπως είναι τα ορεινά δάση. Αντίθετα, στις πεδινές περιοχές σχηματίζονται βαθιά εδάφη λόγω βαθύτερης διήθησης νερού έλλειψης διάβρωσης ([http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/fisikes\\_idiotites\\_edafous.pdf](http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/fisikes_idiotites_edafous.pdf)).

#### 2.1.6 – Υφαλμύριση της παράκτιας ζώνης

Η υφαλμύριση αποτελεί μια ξεχωριστή κατηγορία υπόγειας ροής και παρατηρείται τόσο σε ελεύθερους όσο και σε περιορισμένους υδροφορείς. Με τον όρο αυτό εννοείται η εισροή αλμυρού ύδατος σε υπόγειους υδροφορείς με ταυτόχρονη αύξηση της αλατότητάς τους. Το φαινόμενο αυτό είναι έντονο στις παράκτιες περιοχές και στην Ελλάδα εντείνεται περισσότερο στα νησιά. Η υφαλμύριση ενός υπόγειου υδροφορέα μπορεί να οφείλεται σε δύο κυρίως αιτίες (Καρατζάς, 2004):

- Φυσικές, λόγω της ύπαρξης θαλασσινού νερού και άλμης που βρίσκεται σε κατώτερα γεωλογικά στρώματα
- Ανθρωπογενείς, είτε λόγω υπεράντλησης ύδατος από παράκτιες περιοχές, είτε λόγω της διείσδυσης στο έδαφος του αλατιού που χρησιμοποιείται για την τήξη των πάγων ή των υγρών διασταλλαγμάτων των χωματερών.

Λόγω του γεγονότος ότι το θαλασσινό νερό είναι πυκνότερο από το γλυκό, το γλυκό νερό επιπλέει πάνω από το θαλασσινό. Το όριο μεταξύ των δύο ζωνών διαφορετικού τύπου νερού δεν είναι ευδιάκριτο και τα θαλασσινό και το γλυκό νερό αναμιγνύονται, δημιουργώντας έτσι μια ζώνη υφάλμυρου νερού. Η ζώνη αυτή επηρεάζεται από τις βροχοπτώσεις και το μέρος αυτών που διηθείται, αλλά και από τις αντλήσεις ύδατος από τον υπόγειο υδροφόρο, οι οποίες οδηγούν σε γρηγορότερη παρείσφρηση του θαλασσινού νερού.

Από την εξίσωση Ghyben – Herzberg, μπορεί να υπολογιστεί η θέση της διεπιφάνειας γλυκού –αλμυρού νερού κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η εξίσωση αυτή είναι:  $\xi = \frac{\rho_{\gamma\lambda}}{\rho_{\alpha\lambda\mu} - \rho_{\gamma\lambda}} \cdot h_{\gamma\lambda} \cong 40 h_{\gamma\lambda}$ , όπου  $\rho_{\gamma\lambda}$  και  $\rho_{\alpha\lambda\mu}$  είναι η πυκνότητα του γλυκού και του αλμυρού νερού αντίστοιχα. Από αυτή την εξίσωση γίνεται κατανοητό ότι για κάθε 1 μέτρο γλυκού νερού από τα υπόγεια ύδατα που βρίσκεται πάνω από τη στάθμη της θάλασσας αντιστοιχούν 40 μέτρα γλυκού νερού που βρίσκονται κάτω από αυτή. Σε περιπτώσεις λοιπόν μεγάλων αντλήσεων και επομένως πτώσης της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ακόμη και κατά μισό μέτρο το ύψος του θαλασσινού νερού που εισχωρεί φτάνει τα 20 μέτρα. Αντίστοιχα, για την υποχώρηση της διεπιφάνειας αυτής κατά 1 μέτρο απαιτούνται 40 μέτρα γλυκού νερού. Αυτό σημαίνει ότι τα αποθέματα του γλυκού και επομένως χρήσιμου για τις ανθρώπινες δραστηριότητες νερού μειώνονται πολύ πιο εύκολα από ότι μπορούν να αναπληρωθούν. Επιπλέον, ακόμη και ελάχιστες ποσότητες αλμυρού νερού είναι σε θέση να υποβαθμίσουν την ποιότητα των υδροφόρων στρωμάτων (Καρατζάς, 2004; Kourgialas and Karatzas, 2015).

Συμπερασματικά, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το φαινόμενο της υφαλμύρισης συνδέεται άμεσα και με την ποιοτική υποβάθμιση των υπογείων υδάτων, αλλά και με

τη μείωση των ποσοτήτων τους, συμβάλλοντας με αυτό τον ιδιαίτερο τρόπο στο φαινόμενο της ξηρασίας.

## 2.2 – Δυναμικοί Παράγοντες

### 2.2.1 – Βροχόπτωση

Η βροχόπτωση αποτελεί το κομμάτι εκείνο του υδρολογικού κύκλου κατά το οποίο το νερό που έχει απομακρυνθεί, μέσω της εξάτμισης, από την επιφάνεια της γης και έχει μετατραπεί σε υδρατμούς μπορεί να επανέλθει σε αυτήν. Οι υδρατμοί μεταφέρονται από αέριες μάζες και κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες συμπυκνώνονται σε σύννεφα. Προκειμένου αυτοί οι υδρατμοί να υγροποιηθούν και να σχηματίσουν σταγόνες αρκετά βαριές ώστε αυτές να φτάσουν ως την επιφάνεια πρέπει η συγκέντρωσή τους να είναι αρκετά υψηλή. Για να προκληθεί βροχή, υπάρχουν τρεις δυνατοί τρόποι, καθώς και όλοι οι μεταξύ τους συνδυασμοί:

- να ψυχθεί ο αέρας, δηλ. να ελαττωθεί η θερμοκρασία του, ώστε να ελαττωθεί η ικανότητά του να συγκρατεί τους υδρατμούς σε αέρια μορφή ή σε μορφή νεφών
- να αυξηθεί η ατμοσφαιρική πίεση ώστε να ελαττωθεί η ικανότητα του αέρα να συγκρατεί τους υδρατμούς στις δύο παραπάνω μορφές
- να αυξηθεί η συγκέντρωση της υγρασίας, ώστε αυτή να υπερβεί την ικανότητα συγκράτησής της για τη συγκεκριμένη πίεση και θερμοκρασία (<https://el.wikipedia.org/wiki/Βροχή>)

Τα βασικά χαρακτηριστικά της βροχής είναι το μέγεθος και η χρονική και η χωρική κατανομή της, για τα οποία παρουσιάζεται μεγάλη ανισοκατανομή στην Ελλάδα. Η ποσότητα της βροχής διαφοροποιείται σημαντικά ακόμα και σε πολύ μικρές αποστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι πεδινές περιοχές κατά μήκος των δυτικών ακτών έχουν σχεδόν διπλάσια ετήσια βροχόπτωση από τις αντίστοιχες στην ανατολική πλευρά. Επίσης, στις ορεινές περιοχές της Πίνδου και την προέκτασή της στα νότια, αλλά και στους ορεινούς όγκους στα βόρεια της χώρας, παρατηρείται πολλαπλάσια βροχόπτωση σε σχέση με τις αρκετά κοντινές προς αυτούς πεδινές περιοχές.

Πράγματι, καταγραφές έχουν δείξει ότι υπάρχει απόκλιση μετρήσεων ακόμα και μεγαλύτερη από 20% σε απόσταση μικρότερη των 8 m. Στα νότια, το μέσο ύψος βροχής φτάνει τα 350-400 mm, ενώ στα δυτικά της Πίνδου και σε άλλα ορεινά συγκροτήματα υπερβαίνει τα 1600 mm.

Όσον αφορά τη χρονική κατανομή των βροχών, το μεγαλύτερο ύψος έχει παρατηρηθεί κατά τους ψυχρούς μήνες του έτους, αλλά υπάρχουν και σημαντικές διαφοροποιήσεις στο συγκεκριμένο πλαίσιο αναφορικά με την περιοχή. Για παράδειγμα, στα νότια και στα νησιά, το μέγιστο της βροχής καταγράφεται το φθινόπωρο και το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι και μέρος της άνοιξης υπάρχει έντονη ανομβρία. Σε αντίθεση, στα βόρεια της χώρας, παρατηρείται ισοκατανομή των βροχοπτώσεων κατά τις εποχές του φθινοπώρου, του χειμώνα και της άνοιξης, ενώ το καλοκαίρι είναι σχεδόν ξερό (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Η χωροχρονική μεταβολή της βροχής αποτελεί βασική συνιστώσα για όλες τις μελέτες που σχετίζονται με την αξιοποίηση και τη διαχείριση των υδατικών πόρων και τις υδρολογικές μελέτες. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η ελάχιστη κατακρήμνιση συμπίπτει με τη μέγιστη ζήτηση σε μια περιοχή. Έτσι, εάν αυτή η ελάχιστη κατακρήμνιση δεν εκπληρωθεί, τότε η θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η συγκεκριμένη περιοχή αντιμετωπίζει σοβαρά τον κίνδυνο της ξηρασίας.

Η συνολική βροχόπτωση που φθάνει στο έδαφος κατανέμεται στη συνέχεια σε διάφορες διεργασίες. Μέρος αυτής καλύπτει κοιλώματα στην επιφάνεια του εδάφους τελικά εξατμίζεται, ενώ άλλο μέρος καλύπτει τις ανάγκες της εδαφικής υγρασίας και έπειτα εμπλουτίζει τα υπόγεια αποθέματα. Η πραγματική κατανομή των κατακρημνισμάτων εξαρτάται από το ολικό ύψος της βροχής, τις συνθήκες της εδαφικής υγρασίας, την τοπογραφία, την κάλυψη και τη χρήση της γης (Μπαλτάς, 2013).

### **2.2.2 – Εξατμισοδιαπνοή**

Η εξατμισοδιαπνοή κατέχει πολύ σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδατικών πόρων, καθώς όταν το νερό εισέρχεται στη φάση της εξάτμισης του υδρολογικού κύκλου είναι πλέον μη προσιτό και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί

περαιτέρω. Ο όρος εξατμισοδιαπνοή, ET, χρησιμοποιείται για την περιγραφή της συνολικής διεργασίας μεταφοράς ύδατος στην ατμόσφαιρα από φυτοκαλυμμένες επιφάνειες. Πιο συγκεκριμένα, η διεργασία αυτή αποτελείται από δύο επιμέρους φαινόμενα, της εξάτμισης και της διαπνοής του νερού. Η εξάτμιση του νερού στην ατμόσφαιρα γίνεται από τις υδάτινες μάζες, όπως είναι οι λίμνες, οι ωκεανοί, τα ποτάμια, τα έλη αλλά και από την υγρή επιφάνεια του εδάφους και τις υγρές καλλιέργειες. Φυτά τα οποία βρίσκονται σε ανάπτυξη παίρνουν, παίρνουν με τις ρίζες τους το νερό και τα διαλυμένα σε αυτό θρεπτικά στοιχεία και έτσι μέσω της διαδρομής του νερού, αυτά παρέχονται για την ανάπτυξη των κυττάρων του. Η διαπνοή είναι η εξάτμιση του νερού που έχει περάσει μέσα από τους φυτικούς ιστούς, έχει καταλήξει στα φύλλα και εξέρχεται στην ατμόσφαιρα δια μέσου των ανοικτών στομάτων με μορφή υδρατμών. Στις φυτοκαλυμμένες επιφάνειες, οι δύο αυτές διεργασίες γίνονται ταυτόχρονα και ως εκ τούτου είναι δύσκολο να διαχωριστούν οι υδρατμοί που παράγονται από την κάθε μία. Επομένως, ο όρος που χρησιμοποιείται είναι αυτός της εξατμισοδιαπνοής (Παπαϊωάννου, 2013).

Το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας και των συνθηκών που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το φύλλωμά της. Τα χαρακτηριστικά αυτά των καλλιεργειών διαφέρουν ανάλογα με τη βλαστική περίοδο, το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος και την ανακλαστικότητα του φυλλώματος, σε ότι αφορά τα είδη των φυτών που την απαρτίζουν, αλλά και ανάλογα με την πυκνότητα, την έκταση και το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φύλλωμά της, σε ότι αφορά τον τρόπο που αυτές λαμβάνουν χώρα. Η ατμόσφαιρα που περιβάλλει το φύλλωμα της καλλιέργειας χαρακτηρίζεται κυρίως από την κινητικότητα των υδρατμών, η οποία διαμορφώνεται από την ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Επιπλέον κλιματικό παράγοντα που παίζει ρόλο στη διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής αποτελεί και η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία. Επομένως, κάθε σχέση υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, για να είναι αξιόπιστη, πρέπει να βασίζεται στην ποσοτική εκτίμηση των παραμέτρων που έχουν σχέση τόσο με την καλλιέργεια, όσο και με το κλίμα. Ο μέγιστος ρυθμός εξατμισοδιαπνοής κάτω

από ορισμένες μετεωρολογικές συνθήκες, από μια φυτοκαλυμμένη επιφάνεια που έχει επάρκεια νερού περιγράφει την έννοια της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής  $ET_p$ .

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας  $ET_c$  αντιπροσωπεύει τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό και ουσιαστικά αποτελεί το νερό που χρειάζεται μια καλλιέργεια για την κανονική της ανάπτυξη και τη βέλτιστη απόδοσή της. Αυτό είναι και το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια ελεύθερη από κάθε είδους φυτικές ασθένειες και η οποία αναπτύσσεται σε μεγάλα χωράφια, χωρίς περιορισμούς στη διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών στοιχείων και επιτυγχάνει το μέγιστο της απόδοσης κάτω από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η  $ET_c$  είναι ισοδύναμη με τη μέγιστη εξατμισοδιαπνοή  $ET_{max}$ . Το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια κάτω από τις επικρατούσες συνθήκες του χωραφιού στο οποίο αναπτύσσεται είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή  $ET_a$ , άνω όριο της οποίας είναι η  $ET_{max}$ , ενώ το νερό που καταναλώνεται με τον ελάχιστο δυνατό ρυθμό εξάτμισης από μια υγρή επιφάνεια αποτελεί την εξατμισοδιαπνοή ισορροπίας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας εξαρτάται από το κλίμα και τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Η επίδραση του κλίματος στην  $ET_c$  εκφράζεται από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ή βασική εξατμισοδιαπνοή  $ET_0$ , ενώ αυτή των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας από το φυτικό συντελεστή  $k_c$ . Ο όρος «εξατμισοδιαπνοή αναφοράς» εισήχθη για πρώτη φορά το 1977 και έπειτα από την αποδοχή της εξίσωσης Penman-Monteith για τον καλύτερο προσδιορισμό της έχει διαμορφωθεί ως εξής: «εξατμισοδιαπνοή αναφοράς είναι ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής από μια υποθετική βλάστηση ύψους 12 cm, αντίστασης φυτού  $70 \text{ sm}^{-1}$  και λευκαύγειας 0,23, που θα μπορούσε να ομοιάζει με την εξατμισοδιαπνοή από μια εκτεταμένη επιφάνεια που είναι καλυμμένη με πράσινο γρασίδι που έχει ομοιόμορφο ύψος, αυξάνεται ενεργά, σκεπάζει εξ ολοκλήρου το έδαφος και έχει επάρκεια νερού». Ο φυτικός συντελεστής εκφράζει τη διαφοροποίηση της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς μέσω της σχέσης  $ET_c = k_c \cdot ET_0$ . Η διαφοροποίηση αυτή αποτελεί συνέπεια των διαφορετικών μορφολογικών και φυσιολογικών χαρακτηριστικών μεταξύ των καλλιεργειών.

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς θεωρείται ότι διαμορφώνεται από τους κλιματικούς και μόνο παράγοντες μιας περιοχής και γι αυτό ο υπολογισμός της γίνεται με διαδικασίες που βασίζονται σε μετρήσιμες κλιματικές παραμέτρους. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον αριθμό και το είδος των κλιματικών παραμέτρων που χρησιμοποιούν και τον τρόπο διασύνδεσής τους. Η πρώτη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε σε παγκόσμια κλίμακα για την κατά προσέγγιση εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής είναι αυτή των Blaney-Criddle το 1950 και χρησιμοποιεί τη θερμοκρασία ως τη μόνη κλιματική παράμετρο. Αυτή που σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως είναι η τροποποιημένη μέθοδος Penman, γιατί θεωρείται ότι δίνει καλή προσέγγιση της  $ETo$ , ενώ μια πιο απλή από αυτήν είναι η τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle. Η πιο πρόσφατη μέθοδος που παρουσιάστηκε είναι η συνδυασμένη μέθοδος των Penman- Monteith και από την μέχρι τώρα εφαρμογή της δείχνει να είναι η ακριβέστερη, αλλά και η πιο σύνθετη όλων.

Ο φυτικός συντελεστής προσδιορίζεται πειραματικά- εμπειρικά και αντιπροσωπεύει τις επιδράσεις της φυσιολογίας του φυτού. Οι φυτικοί συντελεστές διαφέρουν από καλλιέργεια σε καλλιέργεια, αλλά και για την ίδια καλλιέργεια παρουσιάζουν διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε καλλιέργειας, οι κλιματικές συνθήκες, η καλλιεργητική πρακτική και η διάρκεια της βλαστικής περιόδου διαμορφώνουν τις τιμές των φυτικών συντελεστών. Στις ετήσιες καλλιέργειες, επιπλέον παράγοντες που τις επηρεάζουν αποτελούν ο χρόνος σποράς ή φύτευσης, ο ρυθμός και η συχνότητα των βροχών και των αρδεύσεων κατά το αρχικό στάδιο ανάπτυξης, ενώ στις πολυετείς χορτοδοτικές καλλιέργειες διαμορφώνονται και σε σχέση με τον αριθμό των κοπών (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

## Κεφάλαιο 3 – Εργαλεία και μέσα επεξεργασίας

### 3.1 – Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Η επεξεργασία των χωρικών δεδομένων έγινε σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) ή Geographic Information Systems (G.I.S.). Ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι ένα σύστημα βασιζόμενο σε υπολογιστικό εξοπλισμό το οποίο χαρτογραφεί και αναλύει οντότητες που υφίστανται στην επιφάνεια της γης καθώς και γεγονότα που συμβαίνουν σε δεδομένη χρονική πραγματικότητα στον γεωγραφικό της χώρο (Burrough, 1986; Demers, 2000; Κουτσόπουλος, 2002).

Το ArcGIS Desktop είναι ένα σύστημα από τμήματα λογισμικού τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν σε ένα μεμονωμένο Η/Υ για να γίνεται χρήση από ένα χρήστη κάθε φορά, ή να διατίθενται σε ένα ετερογενές δίκτυο προσωπικών Η/Υ ή σταθμών εργασίας ή εξυπηρετητών. Είναι προϊόν της αμερικάνικης εταιρίας ESRI και σήμερα κατέχει εξέχουσα θέση στην παγκόσμια αγορά των GIS.

Το ArcGIS Desktop είναι διαθέσιμο σε τρεις εκδόσεις (license type):

- την ArcView: δίνει τη δυνατότητα χρήσης χωρικών και περιγραφικών δεδομένων, τη χαρτογράφηση και την ανάλυση των δεδομένων αυτών.
- την ArcEditor: παρέχει τις δυνατότητες της ArcView, καθώς και δυνατότητες δημιουργίας και διόρθωσης δεδομένων, αλλά και επιπλέον χωρικές επεξεργασίες.
- την ArcInfo: παρέχει όλες τις δυνατότητες των δύο προηγούμενων εκδόσεων και επιπλέον εργαλεία ανάλυσης χωρικών δεδομένων.

Κάθε μία από τις εκδόσεις περιέχει τρεις βασικές εφαρμογές:

- 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.



- ArcCatalog: επιτρέπει στο χρήστη να έχει πρόσβαση και να διαχειρίζεται εύκολα τα γεωγραφικά δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στους τοπικούς δίσκους και σε προσβάσιμες βάσεις δεδομένων από το χρήστη. Τα δεδομένα μπορούν να αντιγραφούν, να διαγραφούν, να εμφανιστούν και να μεταβληθούν. Ακόμη, δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας νέων αρχείων δεδομένων.
- ArcToolBox: παρέχει διάφορα εργαλεία γεωεπεξεργασίας. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει τα χωρικά δεδομένα από μια μορφή σε μια άλλη και να αλλάξει το προβολικό σύστημα των δεδομένων του. Το ArcToolBox διανέμεται σε δύο εκδόσεις, η πρώτη είναι η πλήρης έκδοση του ArcInfo και περιλαμβάνει 150 εργαλεία, ενώ η δεύτερη, που αναφέρεται και ως έκδοση του ArcView περιέχει πολύ λιγότερα.

Επίσης, υπάρχουν και προαιρετικές επεκτάσεις, οι οποίες εμπλουτίζουν τις δυνατότητες του λογισμικού, όπως είναι οι Spatial Analyst, 3D Analyst, Geostatistical Analyst, Network Analyst κ.ά. (Τσουχλαράκη και Αχιλλέως, 2010)

Η έκδοση που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας είναι η ArcInfo του ArcGIS Desktop 10.

### 3.2 – Ασαφής λογική

Η ασαφής λογική αποτελεί το βασικό μαθηματικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίχθηκε η επεξεργασία των χωρικών δεδομένων, έτσι ώστε να προκύψει ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας.

Η ασαφής λογική (fuzzy logic) θεμελιώθηκε το 1965 από τον Lotfi A. Zadeh, ο οποίος έθεσε τις βάσεις της θεωρίας των ασαφών συνόλων με τη δημοσίευση της εργασίας του «Fuzzy Sets», στα ελληνικά «Ασαφή Σύνολα». Σύμφωνα με αυτήν, «ένα ασαφές σύνολο είναι μια κλάση αντικειμένων των οποίων ο βαθμός συμμετοχής είναι συνεχής. Ένα τέτοιο σύνολο χαρακτηρίζεται από μία (χαρακτηριστική) συνάρτηση συμμετοχής η οποία αποδίδει σε κάθε αντικείμενο ένα βαθμό συμμετοχής ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ του μηδενός και του ένα. Οι έννοιες των κλασικών συνόλων

επεκτείνονται σε τέτοια σύνολα και θεμελιώνονται διάφορες ιδιότητες των εννοιών αυτών στο πλαίσιο των ασαφών συνόλων» (Zadeh, 1965).

Η ασαφής λογική είναι μια γενικευμένη έκφραση των ασαφών συνόλων με τη μορφή λογικής πολλών τιμών και αποτελεί μια μαθηματική θεωρία μοντελοποίησης της αβεβαιότητας που σχετίζεται με την έλλειψη ενός γενικά αποδεκτού ορισμού μιας έννοιας ή με την αμφιβολία για το περιεχόμενό της. Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί ένα τρόπο μεταφοράς της φυσικής γλώσσας στη γλώσσα των μαθηματικών, να αποτελέσει ένα κοινό σημείο συνάντησης των δύο και να λειτουργήσει ως μέτρο αντιμετώπισης της ασάφειας που εκδηλώνεται από τη χρήση της φυσικής γλώσσας.

Η λογική αυτή βασίζεται στην επέκταση από την έννοια του κλασσικού συνόλου, το οποίο ορίζεται στο δίτιμο σύνολο  $\{0,1\}$ , στην έννοια του ασαφούς συνόλου, το οποίο ορίζεται στο πλειότιμο κλειστό διάστημα  $[0,1]$ . Πιο συγκεκριμένα, το κλασσικό σύνολο  $A$  (ως προς σύνολο αναφοράς  $X$ ) επεκτείνεται στο ασαφές σύνολο  $A$  και η χαρακτηριστική συνάρτηση  $I_A$  του κλασσικού συνόλου  $A$  επεκτείνεται στη συνάρτηση συμμετοχής (membership function)  $\mu_A$  του ασαφούς συνόλου  $A$ . Οι αντίστοιχες μαθηματικές εκφράσεις είναι:

$$I_A : x \in X \rightarrow I_A(x) \in \{0,1\}$$

$$\mu_A : x \in X \rightarrow \mu_A(x) \in [0,1]$$

Η αρχή που διέπει την ασαφή λογική είναι η «αρχή της ασάφειας», σύμφωνα με την οποία «τα πάντα είναι θέμα βαθμού», έτσι πρέπει να ισχύει η προϋπόθεση ότι ο περιβάλλον χώρος απαρτίζεται από στοιχεία που ανήκουν σε διάφορα σύνολα με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής. Επομένως, ο αριθμός  $\mu_A(x) \in [0,1]$  δηλώνει το βαθμό συμμετοχής με τον οποίο το στοιχείο  $x \in X$  ανήκει –συμμετέχει στο ασαφές υποσύνολο  $A$  του  $X$ . Δηλαδή:

$$\mu_A(x) = 1, \text{ σημαίνει ότι το } x \text{ ανήκει ολοκληρωτικά στο } A \text{ (1)}$$

$$\mu_A(x) = 0, \text{ σημαίνει ότι το } x \text{ δεν ανήκει καθόλου στο } A \text{ (2)}$$

$$0 < \mu_A(x) < 1, \text{ σημαίνει ότι το } x \text{ ανήκει μερικά, δηλαδή κατά κάποιο βαθμό, στο } A \text{ (3)}$$

Από τις προτάσεις (1) και (2), συμπεραίνεται ότι η έννοια του ασαφούς υποσυνόλου  $\mu_A(x)$  εμπεριέχει την έννοια του κλασσικού υποσυνόλου  $I_A(x)$ , ενώ από την πρόταση (3) γίνεται κατανοητό ότι η Ασαφής Λογική αρχίζει όταν παύει να ισχύει η Αρχή της Αποκλίσεως του Τρίτου της κλασσικής δίτιμης λογικής, σύμφωνα με την οποία μια λογική πρόταση μπορεί να είναι αληθής ή ψευδής, αποκλείοντας τρίτη λύση (Θεοδώρου, 2010).

### 3.3 – Εφαρμογή των ασαφών συνόλων ως εργαλείο στο GIS

Στην συγκεκριμένη έκδοση της εφαρμογής που χρησιμοποιήθηκε, υπάρχει η δυνατότητα ασαφοποίησης των χωρικών δεδομένων με τη χρήση του εργαλείου Fuzzy Membership, αλλά και να γίνει ο κατάλληλος συνδυασμός τους με τη χρήση διαφορετικών συναρτήσεων μέσω του εργαλείου Fuzzy Overlay. Τα δύο αυτά εργαλεία ανήκουν στην ομάδα Overlay του ArcToolbox και ο τρόπος λειτουργίας και εφαρμογής τους αναλύεται στη συνέχεια.

Το εργαλείο Fuzzy Membership ανακατατάσσει ή μετατρέπει τα εισαγόμενα δεδομένα σε μια κλίμακα μεταξύ του 0 και του 1 βασιζόμενο στην πιθανότητα (possibility) τους να ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο σύνολο. Το 0 αποδίδεται στα μέλη-δεδομένα εκείνα τα οποία δεν ανήκουν στο σύνολο αυτό, το 1 αποδίδεται στα μέλη-δεδομένα που ανήκουν στο σύνολο αυτό και όλες οι ενδιάμεσες τιμές μεταξύ του 0 και του 1 αποδίδονται σε ένα βαθμό πιθανής συμμετοχής. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να ανήκει στο σύνολο αυτό. Καθώς μια έκφραση δεν εξαρτάται μόνο από την ίδια την έννοια, αλλά και από το γενικό νοηματικό περιβάλλον όπου αυτή χρησιμοποιείται, σημαίνει ότι η ίδια ασαφής έννοια μπορεί να εκφράζεται από πολλά και διαφορετικά ασαφή σύνολα και η επιλογή του κατάλληλου ασαφούς συνόλου είναι υποκειμενική, αφού τα όρια ενός ασαφούς συνόλου είναι ασαφή και επομένως εξαρτώνται τελικά από την κρίση του παρατηρητή. Το εργαλείο αυτό δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να κάνει την παραπάνω μετατροπή συνεχών τιμών εισόδου επιλέγοντας μέσα από μια σειρά συναρτήσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως στις διαδικασίες ασαφοποίησης, αυτήν που θεωρεί ότι εκφράζει καλύτερα τη συμπεριφορά των δεδομένων και εξυπηρετεί καλύτερα τον επιδιωκόμενο σκοπό (ArcGIS Desktop Help).

Οι συναρτήσεις μέσα από τις οποίες μπορεί να επιλέξει ο χρήστης είναι:

- **FuzzyGaussian:** Καθορίζει μια συνάρτηση συμμετοχής μέσω κανονικής κατανομής ή κατανομής Gauss, η οποία στηρίζεται στην ύπαρξη ενός καθορισμένου από το χρήστη κεντρικού σημείου, στο οποίο αποδίδεται βαθμός συμμετοχής ίσος με το 1, και σε μια ορισμένη, φθίνουσα προς το 0, διασπορά. Η συνάρτηση αυτή χρησιμεύει όταν η συμμετοχή είναι κοντά σε μια συγκεκριμένη τιμή. Ο τύπος της εξίσωσης αυτής είναι:

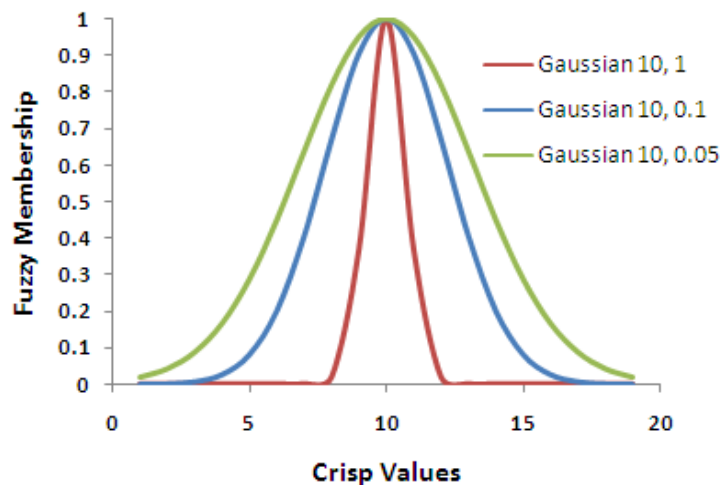
$$\mu(x) = e^{-f_1 \cdot (x-f_2)^2}$$

όπου

$f_1$ : η διασπορά και

$f_2$ : το κεντρικό σημείο

Οι τιμές αυτές μπορεί να είναι είτε θετικές ακέραιες είτε θετικές δεκαδικές, ενώ αυξάνοντας τη διασπορά, η καμπύλη γίνεται πιο απότομη, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της εικόνας 3.



Εικόνα 3: Διάγραμμα Fuzzy Gaussian

- **FuzzyLarge:** Καθορίζει μια συνάρτηση συμμετοχής κατά την οποία αποδίδεται βαθμός συμμετοχής κοντινότερος στο 1 στις μεγαλύτερες τιμές εισόδου. Ο χρήστης καθορίζει ένα κεντρικό σημείο, το οποίο παίρνει βαθμό συμμετοχής ίσο με 0,5 και τη διασπορά. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται όταν μεγάλες

τιμές εισόδου έχουν μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής και ορίζεται από τον τύπο:

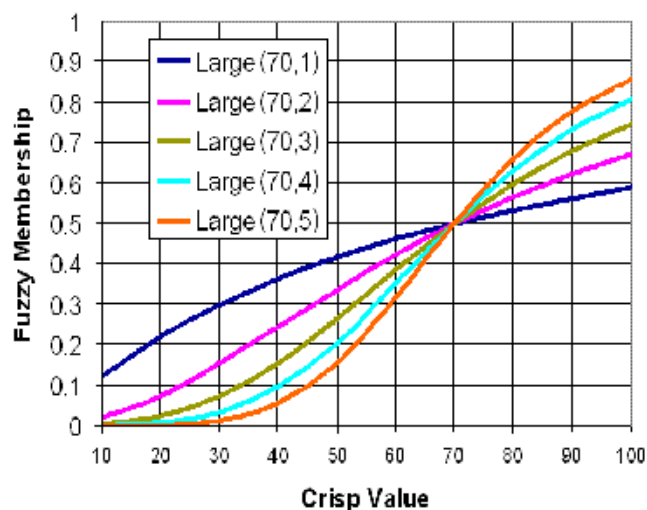
$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{-f_1}}$$

όπου

$f_1$ : η διασπορά και

$f_2$ : το κεντρικό σημείο

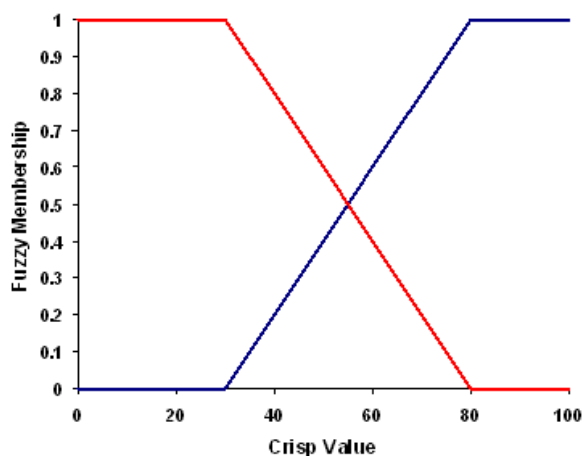
Οι τιμές αυτές μπορεί να είναι είτε θετικές ακέραιες είτε θετικές δεκαδικές, ενώ αυξάνοντας τη διασπορά, η καμπύλη γίνεται πιο απότομη, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της εικόνας 4.



Εικόνα 4: Διάγραμμα Fuzzy Large

- **FuzzyLinear:** Καθορίζει μια συνάρτηση κατά την οποία αποδίδεται βαθμός συμμετοχής ίσος με το 0 στην ελάχιστη τιμή που έχει ορίσει ο χρήστης, βαθμός συμμετοχής ίσος με το 1 στη μέγιστη τιμή που έχει ορίσει ο χρήστης, ενώ στις ενδιάμεσες αυτών τιμές αποδίδονται βαθμοί συμμετοχής οι οποίοι μεταβάλλονται γραμμικά. Η συνάρτηση έχει θετική κλίση όταν οι τιμές αυξάνονται γραμμικά σε σχέση με το βαθμό συμμετοχής, ενώ στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλ. οι τιμές μειώνονται γραμμικά σε σχέση με το βαθμό

συμμετοχής, η συνάρτηση έχει αρνητική κλίση, όπως παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα (εικόνα 5).



Εικόνα 5: Διάγραμμα Fuzzy Linear

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η γραμμική συνάρτηση δεν λειτουργεί με αρνητικούς αριθμούς.

- **FuzzyMSLarge:** Καθορίζει μια συνάρτηση συμμετοχής κατά την οποία αποδίδονται στις μεγαλύτερες τιμές βαθμοί συμμετοχής πιο κοντά στο 1. Η συνάρτηση βασίζεται στο μέσο όρο και την τυπική απόκλιση και χρησιμοποιείται όταν οι μεγάλες τιμές εισόδου έχουν μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Τα δεδομένα εισόδου μπορεί να είναι ακέραιες ή δεκαδικές θετικές τιμές. Υπάρχουν δύο εξισώσεις για τη συνάρτηση αυτή:

1) Εάν  $x > a \cdot m$ , τότε:

$$u(x) = \frac{1 - (b \cdot s)}{(x - (a \cdot m) + (b \cdot s))}$$

όπου:

m: ο μέσος όρος

s: η τυπική απόκλιση

a: ένας πολλαπλασιαστής του μέσου όρου

b: ένας πολλαπλασιαστής της τυπικής απόκλισης

2) Εάν  $x \leq a \cdot m$ , τότε:

$$u(x) = 0$$

Οι  $a$  και  $b$  αποτελούν παραμέτρους που εισάγονται από το χρήστη. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι παρόμοιο με αυτό της FuzzyLarge, κάτι το οποίο εξαρτάται από τον ορισμό των πολλαπλασιαστών του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης.

- **FuzzyMSSmall:** Καθορίζει μια συνάρτηση συμμετοχής κατά την οποία αποδίδονται στις μικρότερες τιμές βαθμοί συμμετοχής πιο κοντά στο 1. Η συνάρτηση βασίζεται στο μέσο όρο και την τυπική απόκλιση και χρησιμοποιείται όταν οι μικρές τιμές εισόδου έχουν μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής. Τα δεδομένα εισόδου μπορεί να είναι ακέραιες ή δεκαδικές θετικές τιμές. Υπάρχουν δύο εξισώσεις για τη συνάρτηση αυτή:

1) Εάν  $x > a \cdot m$ , τότε:

$$u(x) = \frac{1 - (b \cdot s)}{(x - (a \cdot m) + (b \cdot s))}$$

όπου:

$m$ : ο μέσος όρος

$s$ : η τυπική απόκλιση

$a$ : ένας πολλαπλασιαστής του μέσου όρου

$b$ : ένας πολλαπλασιαστής της τυπικής απόκλισης

2) Εάν  $x \leq a \cdot m$ , τότε:

$$u(x) = 0$$

Οι  $a$  και  $b$  αποτελούν παραμέτρους που εισάγονται από το χρήστη. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι παρόμοιο με αυτό της FuzzySmall, κάτι το οποίο εξαρτάται από τον ορισμό των πολλαπλασιαστών του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης.

Μπορεί οι μαθηματικές εξισώσεις των συναρτήσεων των MSSmall και MSLarge να είναι οι ίδιες, η διαφοροποίηση όμως γίνεται κατά την εκτέλεση των αλγορίθμων κάθε συνάρτησης από το λογισμικό.

- **FuzzyNear:** Καθορίζει μια συνάρτηση συμμετοχής γύρω από μια συγκεκριμένη τιμή και με μια ορισμένη διασπορά. Η τιμή αυτή είναι ένα κεντρικό σημείο που ορίζει ο χρήστης και της αποδίδεται βαθμός συμμετοχής ίσος με το 1, ενώ η διασπορά μειώνεται προς το 0. Η συγκεκριμένη συνάρτηση χρησιμοποιείται

όταν ο βαθμός συμμετοχής είναι κοντά σε μια συγκεκριμένη τιμή. Ο τύπος της εξίσωσης αυτής είναι:

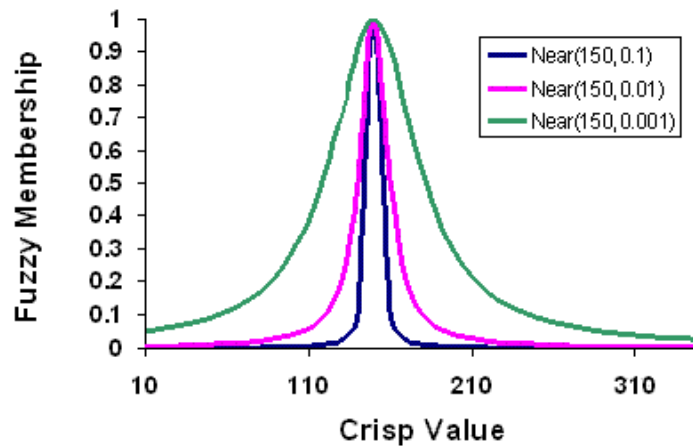
$$\mu(x) = \frac{1}{1 + f_1 \cdot (x - f_2)^2}$$

όπου

$f_1$ : η διασπορά και

$f_2$ : το κεντρικό σημείο

Οι τιμές αυτές μπορεί να είναι είτε θετικές ακέραιες είτε θετικές δεκαδικές, ενώ αυξάνοντας τη διασπορά, η καμπύλη γίνεται πιο απότομη, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της εικόνας 6. Η συνάρτηση αυτή είναι παρόμοια με τη FuzzyGaussian, αλλά έχει μια πιο «στενή» διασπορά.



Εικόνα 6: Διάγραμμα Fuzzy Near

- **FuzzySmall:** Καθορίζει μια συνάρτηση συμμετοχής κατά την οποία αποδίδεται βαθμός συμμετοχής κοντινότερος στο 1 στις μικρότερες τιμές εισόδου. Ο χρήστης καθορίζει ένα κεντρικό σημείο, το οποίο παίρνει βαθμό συμμετοχής ίσο με 0,5 και τη διασπορά. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται όταν μικρές τιμές εισόδου έχουν μεγαλύτερο βαθμό συμμετοχής και ορίζεται από τον τύπο:

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{f_2}\right)^{f_1}}$$

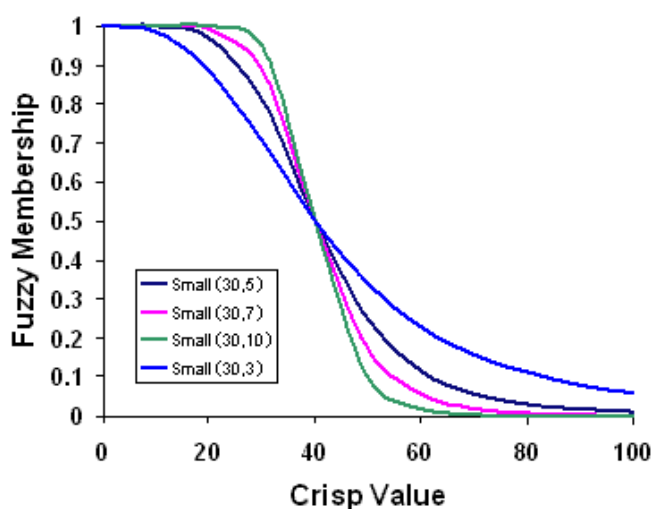


όπου

$f_1$ : η διασπορά και

$f_2$ : το κεντρικό σημείο

Οι τιμές αυτές μπορεί να είναι είτε θετικές ακέραιες είτε θετικές δεκαδικές, ενώ αυξάνοντας τη διασπορά, η καμπύλη γίνεται πιο απότομη, όπως αναπαριστάται και από το διάγραμμα της εικόνας 7.



Εικόνα 7: Διάγραμμα Fuzzy Small

### 3.3 – Ασαφής επικάλυψη (Fuzzy Overlay)

Σε μια πολυκριτηριακής επικάλυψης ανάλυση (multicriteria overlay analysis), το εργαλείο Fuzzy Overlay επιτρέπει την ανάλυση της πιθανότητας ενός φαινομένου να ανήκει σε πολλαπλά σύνολα. Το εργαλείο αυτό μπορεί να καθορίσει σε ποια σύνολα πιθανώς ανήκει ένα φαινόμενο, αλλά και να αναλύσει τις σχέσεις μεταξύ των βαθμών συμμετοχής των πολλαπλών αυτών συνόλων. Με την εφαρμογή του γίνεται συνδυασμός των δεδομένων, τα οποία είναι σε μορφή raster και έχουν δημιουργηθεί από την ασαφопоίηση των αρχικών δεδομένων με τη χρήση του εργαλείου Fuzzy Membership, βάσει ενός τύπου επικάλυψης που επιλέγεται από το χρήστη. Ο τύπος επικάλυψης (overlay type) αναφέρεται στις μεθόδους που είναι διαθέσιμοι για το συνδυασμό των δεδομένων που βασίζεται στην ανάλυση θεωρίας συνόλων (ArcGIS Desktop Help). Κάθε μέθοδος, που πρακτικά αποτελεί ένα μαθηματικό τελεστή,

εξετάζει με μια διαφορετική προσέγγιση τη συμμετοχή του κάθε κελιού να ανήκει στα διάφορα πολλαπλά κριτήρια που έχουν οριστεί (Αντωνάκος, 2012). Οι μέθοδοι αυτές αναλύονται στη συνέχεια.

- **Fuzzy And:** Ο συγκεκριμένος τύπος επικάλυψης επιστρέφει για κάθε κελί την ελάχιστη τιμή των συνόλων που ανήκουν στο κελί. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται όταν επιδιώκεται η ταυτοποίηση του ελάχιστου κοινού παρονομαστή για τη συμμετοχή όλων των κριτηρίων που έχουν ληφθεί υπόψη. Στην ουσία είναι το καρτεσιανό γινόμενο ή το ασαφές «ΚΑΙ» και υπολογίζεται από τη συνάρτηση:

$$\mu_{AND} = \min(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$$

- **Fuzzy Or:** Η μέθοδος αυτή επιστρέφει για κάθε κελί τη μέγιστη τιμή των συνόλων που ανήκουν στο κελί. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται όταν επιδιώκεται η ταυτοποίηση των υψηλότερων βαθμών συμμετοχής για οποιοδήποτε –έστω και ενός- από τα κριτήρια που έχουν ληφθεί υπόψη. Στην ουσία είναι το καρτεσιανό άθροισμα ή το ασαφές «Η» και υπολογίζεται από τη συνάρτηση:

$$\mu_{OR} = \max(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$$

- **Fuzzy Product:** Αυτός ο τύπος επικάλυψης πολλαπλασιάζει για κάθε κελί τις ασαφείς τιμές όλων των κριτηρίων. Το τελικό γινόμενο θα είναι μικρότερο από οποιαδήποτε από τις τιμές εισόδου, ενώ όταν εισάγεται μια τιμή που ανήκει σε πολλά σύνολα, τότε η τιμή που επιστρέφεται μπορεί να είναι πολύ μικρή. Είναι δύσκολο να γίνει κάποια συσχέτιση μεταξύ του γινομένου όλων των κριτηρίων και της σχέσης των τιμών. Το γεγονός αυτό ίσως αποτελεί και λόγο για τον οποίο το Fuzzy Product δεν χρησιμοποιείται συχνά. Αυτός ο τύπος επικάλυψης εκφράζεται από την ακόλουθη μαθηματική έκφραση του αλγεβρικού γινομένου:

$$\mu_P = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

- **Fuzzy Sum:** Η συγκεκριμένη μέθοδος προσθέτει τις ασαφείς τιμές κάθε συνόλου ενός κελιού. Το τελικό άθροισμα είναι ένας αύξον γραμμικός

συνδυασμός ο οποίος βασίζεται στο πλήθος των κριτηρίων που εισάγονται στην ανάλυση. Το Fuzzy Sum δεν χρησιμοποιείται τόσο συχνά, ενώ ο μαθηματικός τύπος που εκφράζει το συγκεκριμένο τύπο επικάλυψης είναι:

$$\mu_S = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$$

Το Fuzzy Sum δεν αποτελεί αλγεβρικό γινόμενο και δεν θα πρέπει να συγχέεται με την προσθετική προσέγγιση που χρησιμοποιείται στα εργαλεία Weighted Overlay και Weighted Sum.

- **Fuzzy Gamma:** Ο τύπος αυτός είναι ένα αλγεβρικό γινόμενο των Fuzzy Product και Fuzzy Sum, τα οποία έχουν προηγουμένως υψωθεί σε μια δύναμη  $\gamma$ . Η μαθηματική εξίσωση είναι:

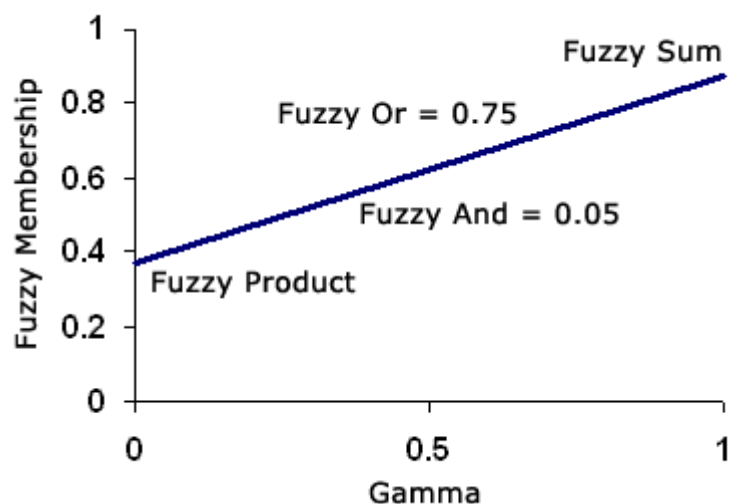
$$\mu_\gamma = \left[ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right]^\gamma \cdot \left[ \prod_{i=1}^n \mu_i \right]^{1-\gamma}$$

Έτσι,

εάν  $\gamma=1$ , τότε  $\mu_\gamma = \mu_S$ , ενώ

εάν  $\gamma=0$ , τότε  $\mu_\gamma = \mu_P$

Η Fuzzy Gamma είναι σε θέση να συμβιβάζει την αυξητική επίδραση του Fuzzy Sum με την μειωτική επίδραση του Fuzzy Product. Το Fuzzy Gamma εγκαθιδρύει σχέσεις μεταξύ των πολλαπλών κριτηρίων και δεν επιστρέφει απλά την τιμή ενός και μόνο συνόλου συμμετοχής όπως τα Fuzzy Or και Fuzzy And. Συνήθως χρησιμοποιείται όταν οι επιθυμητές τιμές είναι μεγαλύτερες από αυτές του Fuzzy Or και μικρότερες από αυτές του Fuzzy Sum. Στο διάγραμμα της εικόνας 8 που ακολουθεί φαίνεται η συσχέτιση της τιμής του  $\gamma$  με το Fuzzy Sum και το Fuzzy Product.

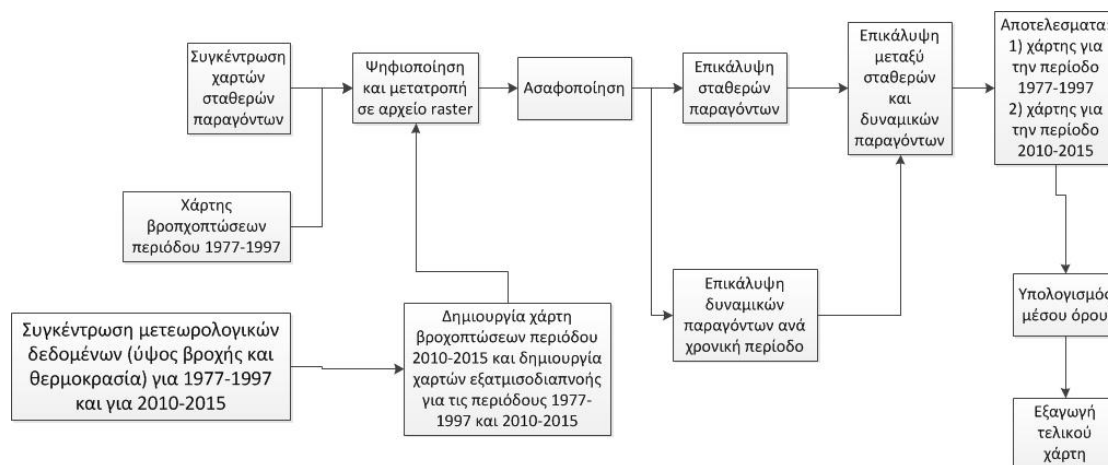


Εικόνα 8: Διάγραμμα για τη συσχέτιση της τιμής της δύναμης  $\gamma$  με τις άλλες συναρτήσεις επικάλυψης

## Κεφάλαιο 4 – Μεθοδολογία

Οι παράγοντες που αναλύθηκαν στο θεωρητικό μέρος έχουν αναπαρασταθεί χωρικά και διαμορφώνονται όπως φαίνεται στους αντίστοιχους χάρτες, ώστε να γίνει η περαιτέρω επεξεργασία τους μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.). Οι αναλογικοί χάρτες για τους σταθερούς παράγοντες συγκεντρώθηκαν από τις διάφορες πηγές, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες της εργασίας. Για τους δυναμικούς παράγοντες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα δύο διαφορετικών χρονικών περιόδων, η πρώτη είναι από το 1977-1997 και η δεύτερη από το 2010 έως και το 2015. Οι αντίστοιχοι χάρτες δημιουργήθηκαν έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία των διαθέσιμων μετεωρολογικών δεδομένων ή, στην περίπτωση του χάρτη βροχοπτώσεων για την περίοδο 1977-1997, από την ψηφιοποίηση ενός ήδη υπάρχοντος αναλογικού χάρτη. Στην συνέχεια, οι χάρτες αυτοί μετατράπηκαν κατάλληλα ώστε τα δεδομένα τα οποία απεικονίζουν να είναι σε μορφή καννάβου, δηλ. αρχείο raster, και έγινε ασαφопоίηση των αριθμητικών τιμών των δεδομένων με τη χρήση των κατάλληλων συναρτήσεων συμμετοχής. Έπειτα, έγιναν τριών ειδών επικαλύψεις, πάλι με τη χρήση των κατάλληλων μεθόδων, ώστε να προκύψει ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας ξηρασίας στο Υδατικό Διαμέρισμα Κρήτης. Στο ακόλουθο διάγραμμα (Εικόνα 9) αναπαριστάται σχηματικά η ροή των εργασιών που ακολουθήθηκαν από τη συγκέντρωση ή τη δημιουργία των αρχικών χαρτών μέχρι την

εξαγωγή του τελικού χάρτη. Η εφαρμογή της όλης διαδικασίας αναλύεται στη συνέχεια.



Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής εργασιών

#### 4.1 – Ορισμός του προβλήματος

Αντικειμενικός σκοπός της εργασίας αυτής αποτελεί η αναγνώριση των περιοχών που υπάρχει πιθανότητα να αντιμετωπίσουν τον κίνδυνο ξηρασίας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού ορίζεται η τιμή 1 για την περίπτωση εμφάνισης ξηρασίας και η τιμή 0 για την περίπτωση μη εμφάνισης του φαινομένου. Επιπλέον, όλες οι τιμές του κλειστού διαστήματος  $[0,1]$  χωρίζονται σε πέντε κλάσεις, όπως φαίνεται στον πίνακα 7, ώστε να αντιπροσωπεύουν το βαθμό επικινδυνότητας εμφάνισης του φαινομένου με τον ακόλουθο τρόπο:

Πίνακας 7: Κλάσεις επικινδυνότητας ξηρασίας

Κλάση	Τιμή	Επικινδυνότητα
1	$< 0,55$	πολύ χαμηλή
2	$0,55 - 0,75$	χαμηλή
3	$0,75 - 0,85$	μέση
4	$0,85 - 0,95$	υψηλή
5	$0,95 - 1$	πολύ υψηλή

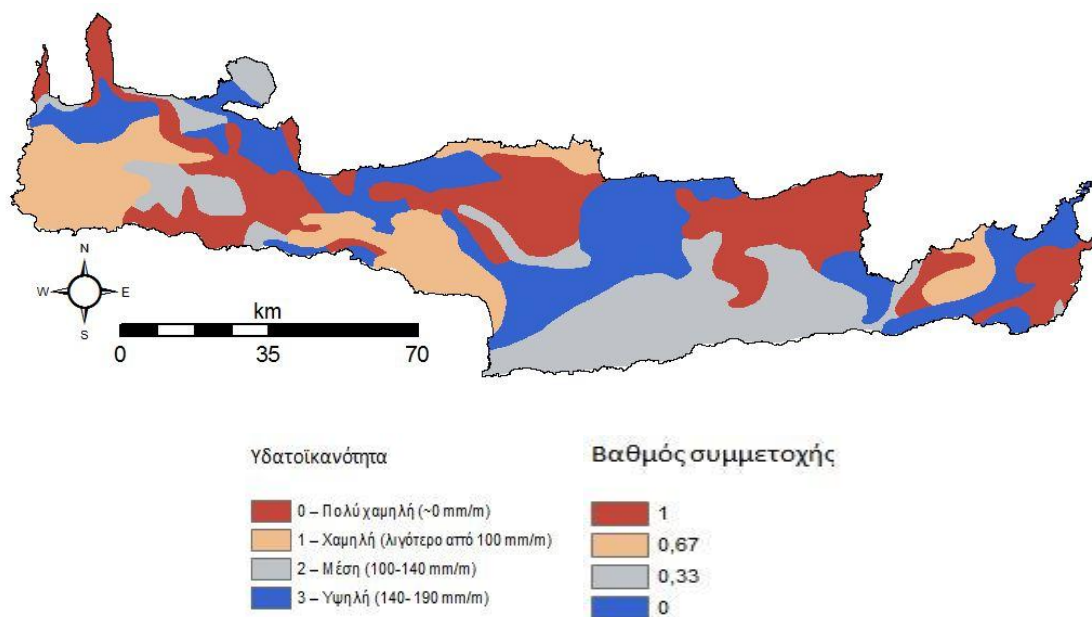
Οι κατάλληλες συναρτήσεις για την ασαφοποίηση των αριθμητικών τιμών των παραγόντων- κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν για την προσέγγιση του φαινομένου επιλέχθηκαν βάσει του παραπάνω σκεπτικού και σε συνδυασμό με το πώς ο καθένας από αυτούς επηρεάζει το φαινόμενο.

## Κεφάλαιο 5 – Χάρτες σταθερών παραγόντων

Οι αρχικοί χάρτες των σταθερών παραγόντων ασαφοποιήθηκαν όλοι με τη χρήση γραμμικής συνάρτησης, της Fuzzy Linear. Μέσω της επιλογής της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής, καθορίζεται εάν η συνάρτηση θα έχει θετική ή αρνητική κλίση. Έτσι, πρακτικά, με αυτό τον τρόπο γίνεται η επιλογή των τιμών που έχουν μεγαλύτερη συμμετοχή στο σύνολο του 1 ή στο σύνολο του 0 και επομένως για το συγκεκριμένο πρόβλημα, εάν επηρεάζουν την εμφάνιση ή όχι του φαινομένου της ξηρασίας

### 5.1 – Υδατοϊκανότητα του εδάφους

Ο χάρτης για την υδατοϊκανότητα του εδάφους στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης διαμορφώνεται όπως φαίνεται στην εικόνα 10 που ακολουθεί. Σε αυτήν φαίνεται η κατηγοριοποίηση ανάλογα με την υδατοϊκανότητα του εδάφους και ταυτόχρονα αποτελεί και χάρτης του βαθμού συμμετοχής έπειτα από την ασαφοποίηση.

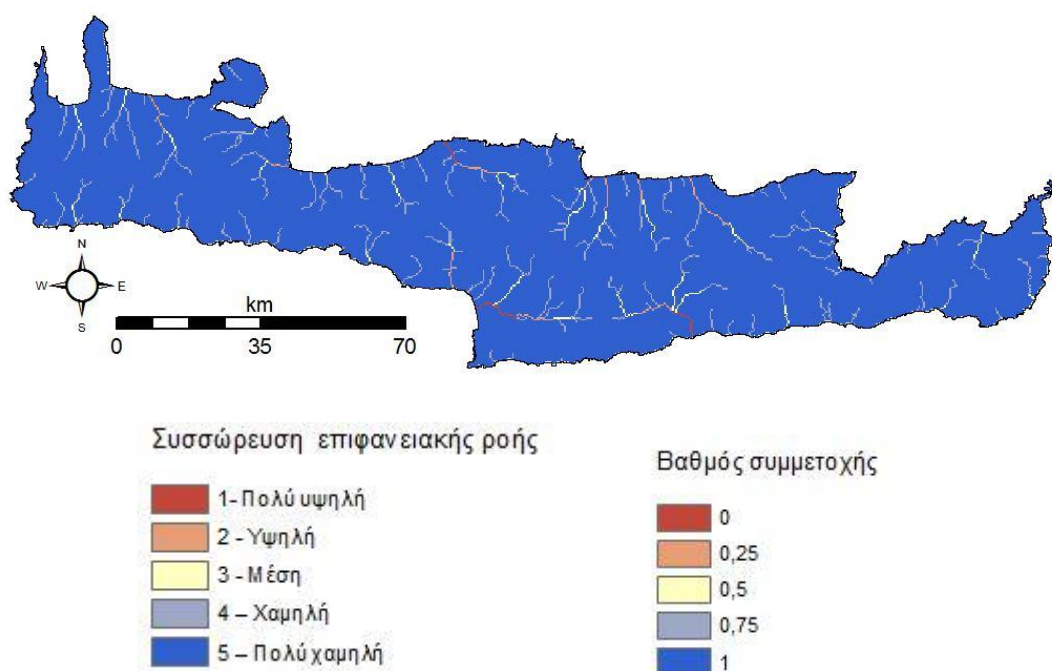


Εικόνα 10: Χάρτης υδατοϊκανότητας εδάφους

Η υδατοϊκανότητα όσο μεγαλύτερη είναι, τόσο μικρότερος είναι ο κίνδυνος εμφάνισης ξηρασίας. Άρα οι μικρότερες τιμές έχουν μεγαλύτερη συμμετοχή στο 1, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές έχουν μεγαλύτερη συμμετοχή στο 0. Με αυτό το κριτήριο, επιλέγεται η ελάχιστη τιμή ίση με 3 και η μέγιστη ίση με 0 και η κλίση της συνάρτησης ασαφοποίησης θα είναι αρνητική. Ο βαθμός συμμετοχής του χάρτη αυτού υπολογίζεται μετά την εφαρμογή της εξίσωσης Fuzzy Linear.

## 5.2 – Συσσώρευση της επιφανειακής ροής

Στον χάρτη αυτό (Εικόνα 11) φαίνεται η συσσώρευση της επιφανειακής ροής, της οποίας οι τιμές χωρίζονται σε 5 κλάσεις (Kourgialas and Karatzas, 2015). Η τιμή 5 αντιπροσωπεύει τις περιοχές με πολύ χαμηλή συσσώρευση και εντοπίζεται στις ορεινές περιοχές, ενώ η τιμή 1 αντιπροσωπεύει τις περιοχές με πολύ υψηλή συσσώρευση. Επιπλέον, για τις κλάσεις 4 έως 1 παρατηρείται ότι ακολουθεί μοτίβο αντίστοιχο με αυτό του υδρογραφικού δικτύου και καθώς κατευθυνόμαστε προς τις εξόδους των λεκανών απορροής, η επιφανειακή συσσώρευση γίνεται όλο και μεγαλύτερη. Όσο μεγαλύτερος ο όγκος του νερού που συσσωρεύεται, τόσο μικρότερος ο κίνδυνος εμφάνισης ξηρασίας. Άρα οι μεγαλύτερες τιμές, που στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουν αποδοθεί στις περιοχές με τη μικρότερη συσσώρευση, έχουν μεγαλύτερη συμμετοχή στο 1. Επομένως, επιλέγεται η ελάχιστη τιμή ίση με 1 και η μέγιστη ίση με 5 και η κλίση της συνάρτησης ασαφοποίησης θα είναι θετική. Η εικόνα 11 ταυτόχρονα αποτελεί και χάρτη του βαθμού συμμετοχής για τη συσσώρευση της επιφανειακής ροής έπειτα από την ασαφοποίηση

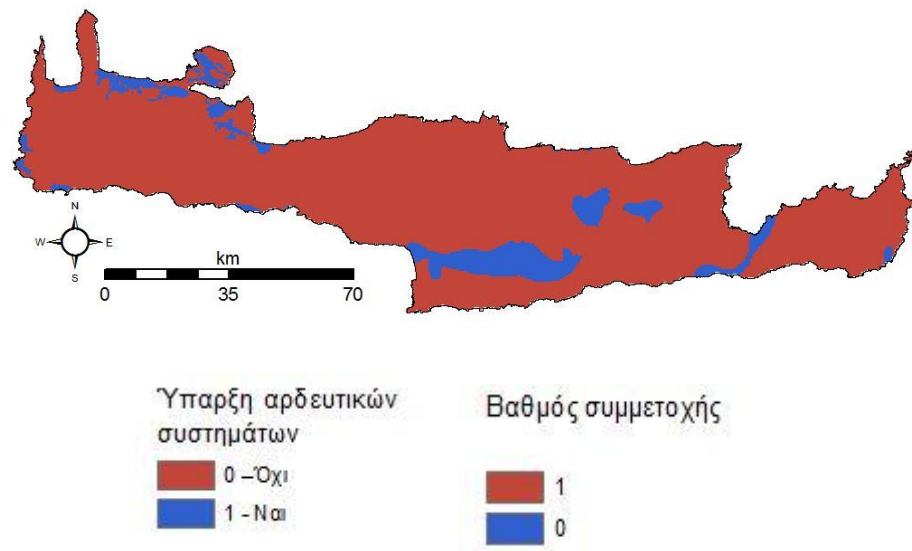


Εικόνα 11 : Χάρτης συσσώρευσης της επιφανειακής ροής

### 5.3 – Αρδευτικά συστήματα

Στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 12) με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές όπου υπάρχουν αρδευτικά συστήματα (European Soil Bureau Network (<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/wrb/>)). Πρόκειται για περιοχές όπου η οικονομία βασίζεται κυρίως στην καλλιέργεια γης και η παραγωγή αγροτικών προϊόντων είναι μεγάλη. Τα τμήματα αυτά εντοπίζονται στην Ιεράπετρα, στο Οροπέδιο Λασιθίου, στις Μοίρες, στη Μεσσαρά, στην πρώην επαρχία Πεδιάδος, στο Ακρωτήριο Χανίων, στα πεδινά του δήμου Κισσάμου, στο βόρειο πεδινό μέτωπο των δήμων Πλατανιά και Χανίων και σε περιοχές του Αποκόρωνα και της Γεωργιούπολης. Η μη ύπαρξη αρδευτικών συστημάτων σε μια περιοχή (τιμή 0), συμβάλλει θετικά στην εμφάνιση ξηρασίας, ενώ η ύπαρξή τους (τιμή 1) συμβάλλει αρνητικά. Επομένως, η μικρότερη τιμή έχει συμμετοχή στο 1 και η μεγαλύτερη έχει συμμετοχή στο 0. Για αυτό το λόγο η ελάχιστη τιμή ορίζεται ίση με 1 και η μέγιστη ίση με 0 και η κλίση της συνάρτησης ασαφοποίησης θα είναι αρνητική. Στην εικόνα 12 φαίνεται ταυτόχρονα και ο βαθμός συμμετοχής έπειτα από την ασαφοποίηση.

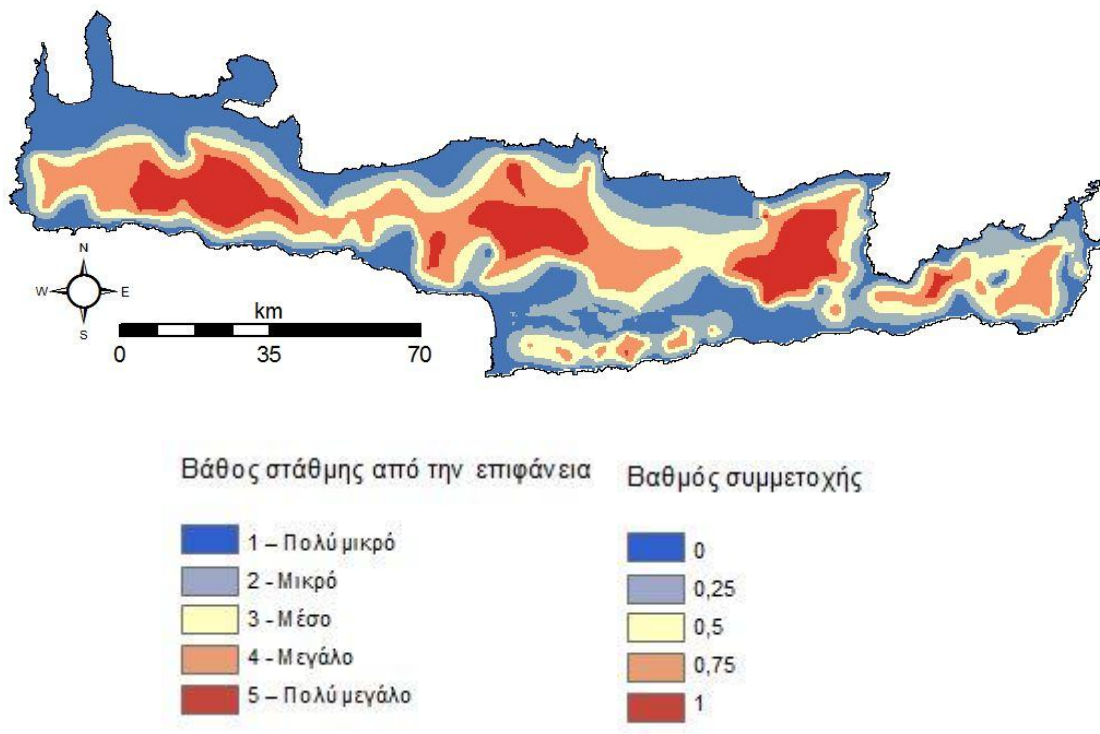




Εικόνα 12: Χάρτης αρδευτικών συστημάτων

#### 5.4 – Στάθμη των υπογείων υδάτων

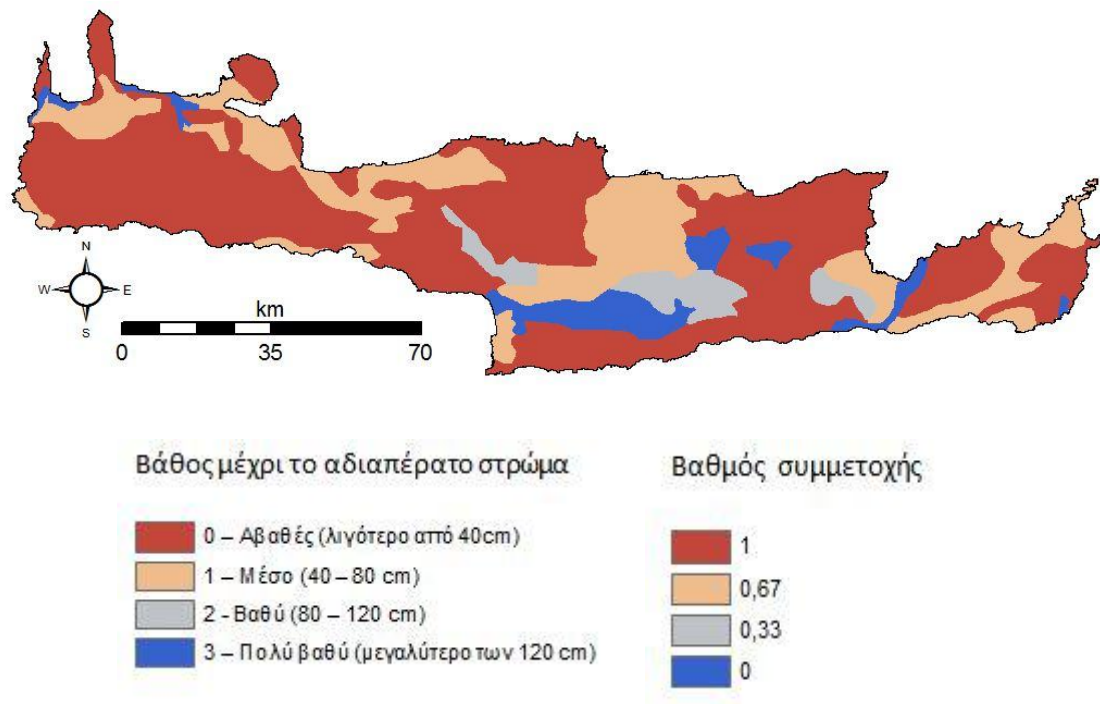
Στο συγκεκριμένο χάρτη (Εικόνα 13) βλέπουμε πώς διαμορφώνεται η απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα (Kourgialas and Karatzas, 2015). Η τιμή 1 αντιπροσωπεύει τις περιοχές όπου η απόσταση αυτή είναι η μικρότερη, ενώ η τιμή 5 τις περιοχές η απόσταση είναι η μεγαλύτερη. Παρατηρείται ότι η στάθμη του υδροφορέα είναι πιο κοντά στην επιφάνεια προς το εξωτερικό του νησιού, ενώ καθώς προχωράμε προς την ενδοχώρα η στάθμη απομακρύνεται από την επιφάνεια. Μάλιστα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το βάθος μέχρι τη στάθμη του υδροφορέα είναι μεγαλύτερο εκεί όπου απαντώνται οι μεγάλοι ορεινοί όγκοι του νησιού. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος εμφάνισης ξηρασίας, καθώς η ύπαρξη τμημάτων του εδάφους που είναι σε θέση να συντηρήσουν την υγρασία στην επιφάνειά του βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από αυτήν. Επομένως, οι μεγαλύτερες τιμές έχουν συμμετοχή στο 1, ενώ οι μικρότερες έχουν συμμετοχή στο 0 και έτσι επιλέγεται η ελάχιστη τιμή ίση με 1 και η μέγιστη ίση με 5 και η κλίση της συνάρτησης ασαφοποίησης θα είναι θετική. Η εικόνα 13 αποτελεί και χάρτη του βαθμού συμμετοχής της στάθμης των υπογείων υδάτων έπειτα από την ασαφοποίηση.



Εικόνα 13: Χάρτης στάθμης υπογείων υδάτων

### 5.5 – Βάθος εδάφους

Στο χάρτη αυτό (Εικόνα 14) παρατηρούμε την υδρογεωλογία του νησιού της Κρήτης και πιο συγκεκριμένα το βάθος του εδάφους μέχρι το αδιαπέρατο στρώμα (European Soil Bureau Network (<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/wrb/>)). Στα μεγαλύτερα τμήματα του νησιού ο ελεύθερος υδροφορέας είναι αβαθής, ενώ στη δεύτερη σε σχέση με την έκταση θέση βρίσκονται περιοχές με μέσο βάθος. Τέλος, οι περιοχές με πολύ μεγάλο βάθος καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με αυτές όπου ο ελεύθερος υδροφορέας είναι απλά βαθύς. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος του υδροφορέα, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα του νερού που μπορεί να συγκρατήσει, άρα είναι μικρότερος ο κίνδυνος να υπάρξει ξηρασία. Στην αντίθετη περίπτωση, το αδιαπέρατο στρώμα είναι πιο κοντά στην επιφάνεια και έτσι δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος για να αποθηκευτεί το νερό. Οι μεγαλύτερες τιμές, λοιπόν, θα έχουν μεγαλύτερη συμμετοχή στο 0 και έτσι η ελάχιστη τιμή της συνάρτησης ορίστηκε ίση με 3, η μέγιστη ίση με το 0 και επομένως η συνάρτηση θα έχει αρνητική κλίση. Η εικόνα 14 αποτελεί και χάρτη του βαθμού συμμετοχής του εδαφικού βάθους έπειτα από την ασαφοποίηση.

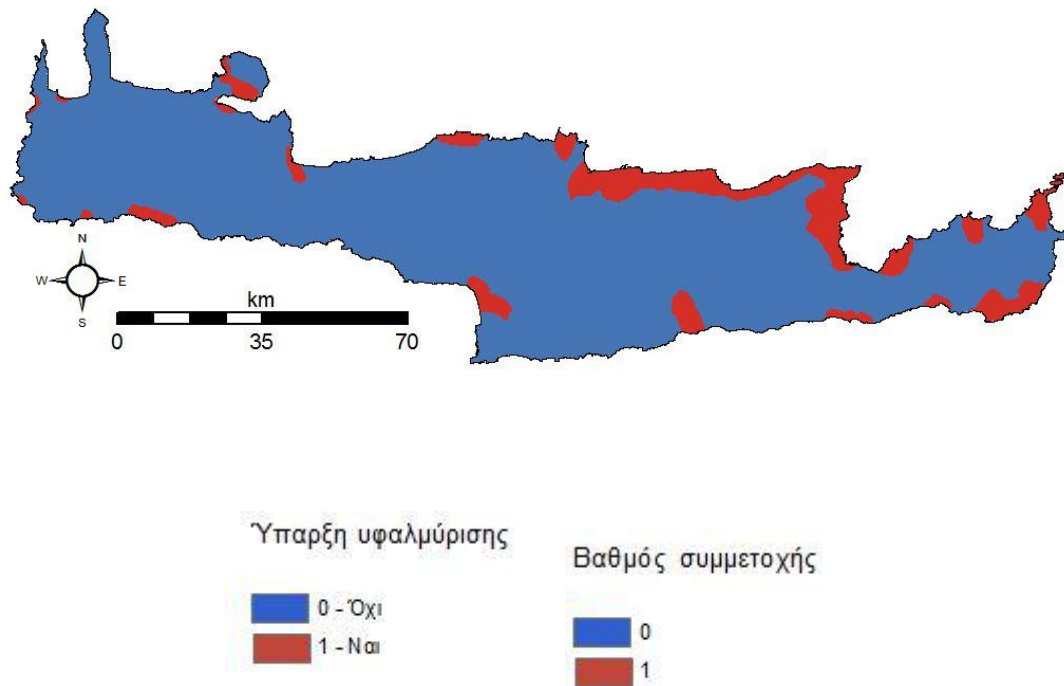


Εικόνα 14: Χάρτης βάθους εδάφους

## 5.6 – Υφαλμύριση της παράκτιας ζώνης

Στο συγκεκριμένο χάρτη (Εικόνα 15) απεικονίζονται οι περιοχές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της υφαλμύρισης στην παράκτια ζώνη (Kourgialas and Karatzas, 2015). Πρόκειται για διάσπαρτες περιοχές στους νομούς Χανίων και Ρεθύμνου και πιο συγκεκριμένα στα Φαλάσαρνα, το Ελαφονήσι, την Παλαιόχωρα, την περιοχή κατά μήκος της ακτογραμμής από τη Σούγια μέχρι την Αγιά Ρουμέλη, την περιοχή του Ακρωτηρίου, τη Σούδα, τη Γεωργιούπολη, το Πάνορμο και τις Σίσεις. Στην ανατολική Κρήτη, τέτοιες περιοχές εντοπίζονται στο Τυμπάκι, τον Κερατόκαμπο, την Ιεράπετρα, το Μακρύ Γιαλό, τον Ξερόκαμπο, τη Σητεία, το Καβούσι και την ανατολικότερη χερσόνησο στα βόρεια του νησιού. Το μεγαλύτερο συνεχόμενο τμήμα όπου παρουσιάζεται αυτό το πρόβλημα είναι στην ακτογραμμή του νησιού από την περιοχή του Γαζίου στο Ηράκλειο μέχρι τον Άγιο Νικόλαο. Η εισχώρηση θαλασσινού νερού σε υπόγειους υδροφορείς των παράκτιων περιοχών μειώνει το απόθεμα του νερού που μπορεί να αντληθεί για χρήση και επομένως επηρεάζει θετικά τον κίνδυνο εμφάνισης ξηρασίας. Έτσι, η ύπαρξη υφαλμύρισης (τιμή 1) έχει συμμετοχή στο 1, ενώ η μη ύπαρξή της έχει συμμετοχή στο 0. Σύμφωνα με την παραπάνω πρόταση, δίνεται για

το ελάχιστο η τιμή 0, για το μέγιστο η τιμή 1 και η συνάρτηση θα έχει θετική κλίση. Ο βαθμός συμμετοχής μετά την ασαφопоίηση απεικονίζεται και αυτός στην εικόνα 15.



Εικόνα 15: Χάρτης υφαλμύρισης

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8) καταγράφεται το κριτήριο που οδήγησε στην επιλογή των μέγιστων και των ελάχιστων τιμών, ξεχωριστά για κάθε παράγοντα.

Πίνακας 8: Σύνοψη εφαρμογής συναρτήσεων

Χάρτης- Παράγοντας	Σκεπτικό		Εφαρμογή της Fuzzy Linear		Κλίση
	συμμετοχή:	στο:	Min	Max	
Υδατοϊκανότητα	Της μικρότερης τιμής	1	3	0	αρνητική
Συσώρευση επιφανειακής ροής	Της μεγαλύτερης τιμής	1	1	5	θετική
Αρδευτικά συστήματα	Της μικρότερης τιμής	1	1	0	αρνητική
Στάθμη των υπογείων υδάτων	Της μεγαλύτερης τιμής	1	1	5	θετική
Υδρογεωλογία	Της μεγαλύτερης τιμής	0	3	0	αρνητική
Υφαλμύριση της παράκτιας ζώνης	Της μεγαλύτερης τιμής	1	0	1	θετική

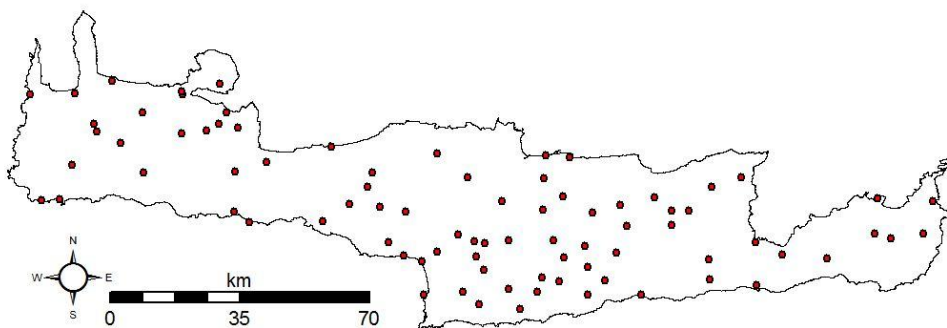
## Κεφάλαιο 6 – Χάρτες δυναμικών παραγόντων

Στους δυναμικούς παράγοντες συγκαταλέγονται η βροχόπτωση και η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας. Για κάθε ένα από αυτούς τους παράγοντες δημιουργήθηκαν δύο χάρτες, καθένας από τους οποίους αναφέρεται σε διαφορετικό χρονικό διάστημα. Οι χάρτες αυτοί ασαφοποιήθηκαν με τη χρήση των σιγμοειδών συναρτήσεων Fuzzy Small και Fuzzy Large.

### 6.1 – Χάρτες βροχοπτώσεων

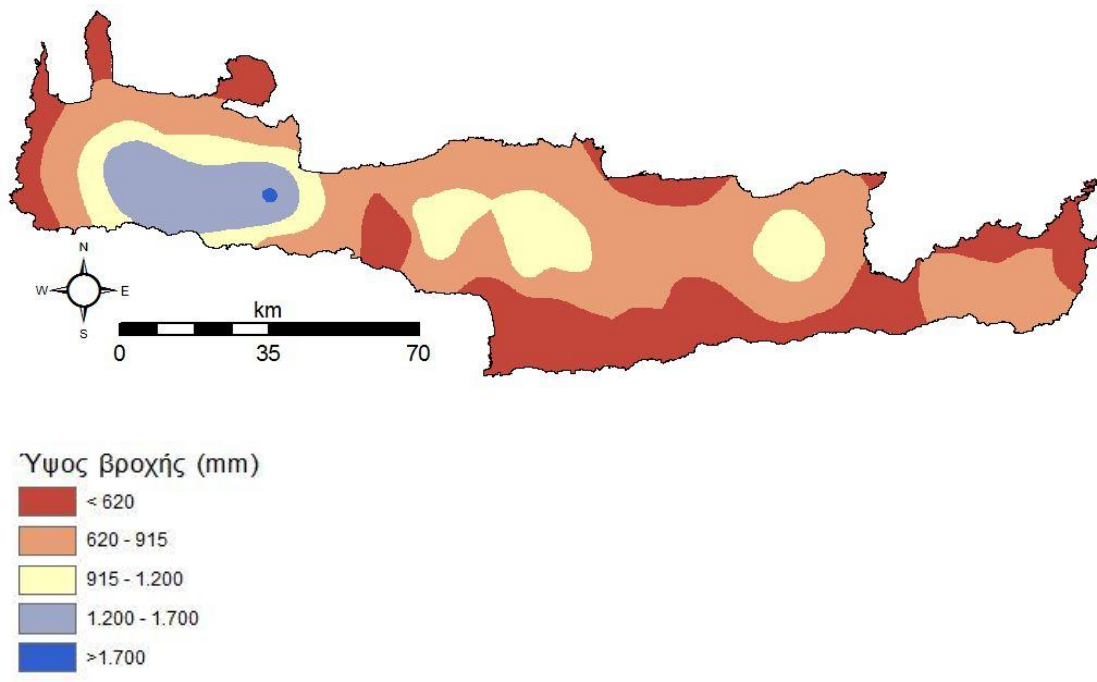
#### 6.1.1 – Περίοδος 1977-1997

Ο χάρτης της χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων δημιουργήθηκε από βιβλιογραφικά δεδομένα της περιφέρειας Κρήτης και αποτέλεσε τον παράγοντα πάνω στον οποίο στηρίχθηκε η αναζήτηση και για τα υπόλοιπα μετεωρολογικά δεδομένα. Για τη δημιουργία του χάρτη αυτού έχουν χρησιμοποιηθεί τα δεδομένα των βροχομετρικών σταθμών που φαίνονται στην εικόνα 16:



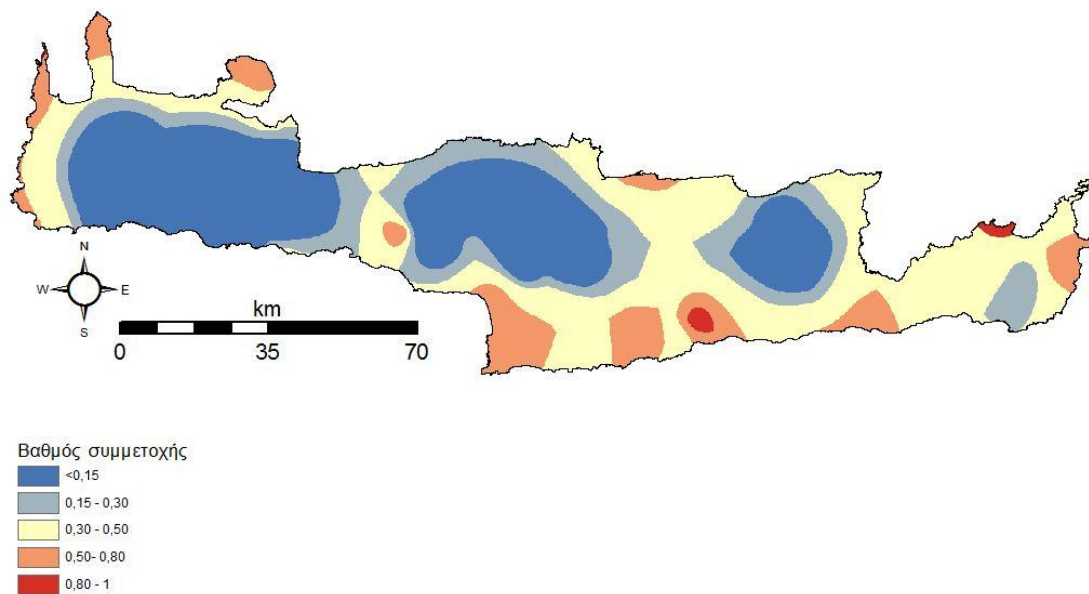
Εικόνα 16: Βροχομετρικοί σταθμοί

Ο χάρτης ψηφιοποιήθηκε ώστε να μπορεί να επεξεργαστεί κατάλληλα και αφού μετατράπηκε σε αρχείο raster, παρουσιάζει την ακόλουθη μορφή (Εικόνα 17):



Εικόνα 17:Χάρτης βροχοπτώσεων περιόδου 1977-1997

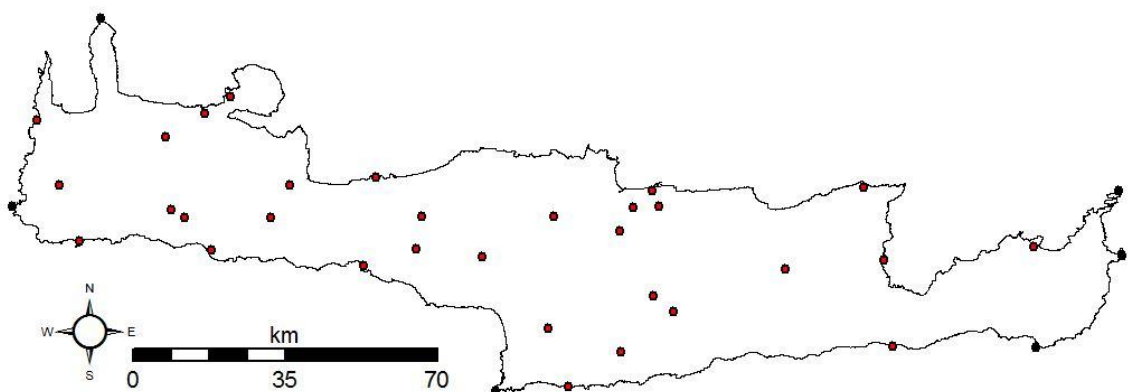
Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ύψος βροχής, 1700 mm, εντοπίζεται στις ορεινές περιοχές του νησιού, που έχουν μεγάλο υψόμετρο, ενώ το μικρότερο εντοπίζεται στα νότια του νομού Ηρακλείου και σε τμήματα των βόρειων και δυτικών ακτογραμμών του νομού Χανίων. Η συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε για την ασαφοποίηση των δεδομένων αυτών είναι η Fuzzy Small, με κεντρικό σημείο ίσο με 600 και διασπορά ίση με 5. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιήθηκε γιατί συσχετίζει την πλειοψηφία των πιο μικρών τιμών με το 1 και αυτή των πιο μεγάλων με το 0, ενώ αποδίδεται συσχέτιση ίση με 0,5 για την τιμή 600. Αυτό αποδίδει ικανοποιητικά το συλλογισμό ότι οι περιοχές όπου είναι μεγαλύτερη η βροχόπτωση είναι λιγότερο πιθανό να αντιμετωπίσουν τον κίνδυνο εμφάνισης ξηρασίας. Το αντίθετο ισχύει για τις περιοχές όπου η βροχόπτωση είναι μικρότερη, ενώ τα 600 mm βροχόπτωσης έχουν καθοριστεί ως όριο επικινδυνότητας για την εμφάνιση ή όχι του φαινομένου, σε σχέση με τον παράγοντα αυτό. Ο χάρτης με τα ασαφή χωρικά δεδομένα παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 18):



Εικόνα 18: Χάρτης ασαφοποιημένης βροχόπτωσης περιόδου 1977-1997

### 6.1.2 – Περίοδος 2010-2015

Ο χάρτης της χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων για την περίοδο 2010-2015 δημιουργήθηκε έπειτα από την επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων των σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών που είναι εγκατεστημένοι στα σημεία που φαίνονται στον επόμενο χάρτη (Εικόνα 19):

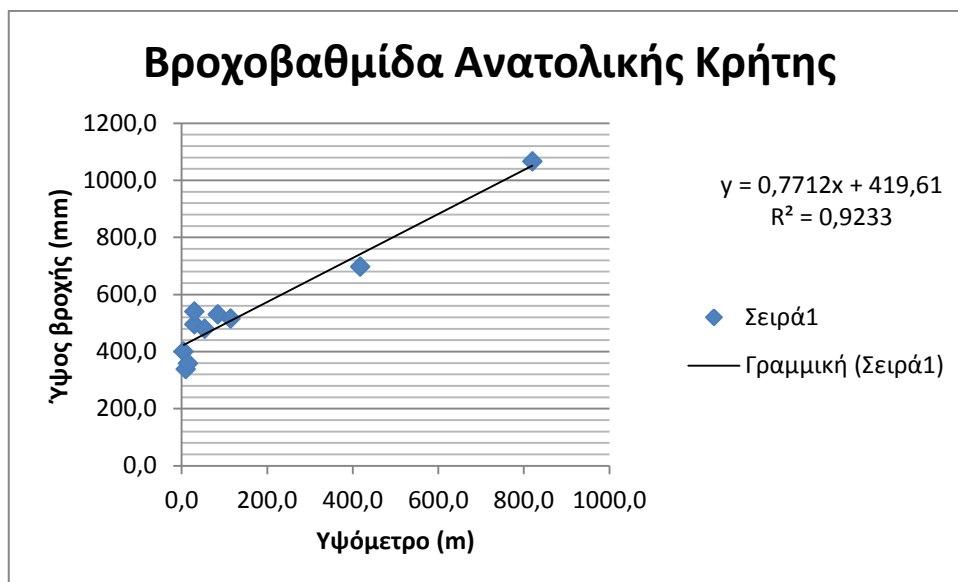


Εικόνα 19: Μετεωρολογικοί σταθμοί Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών

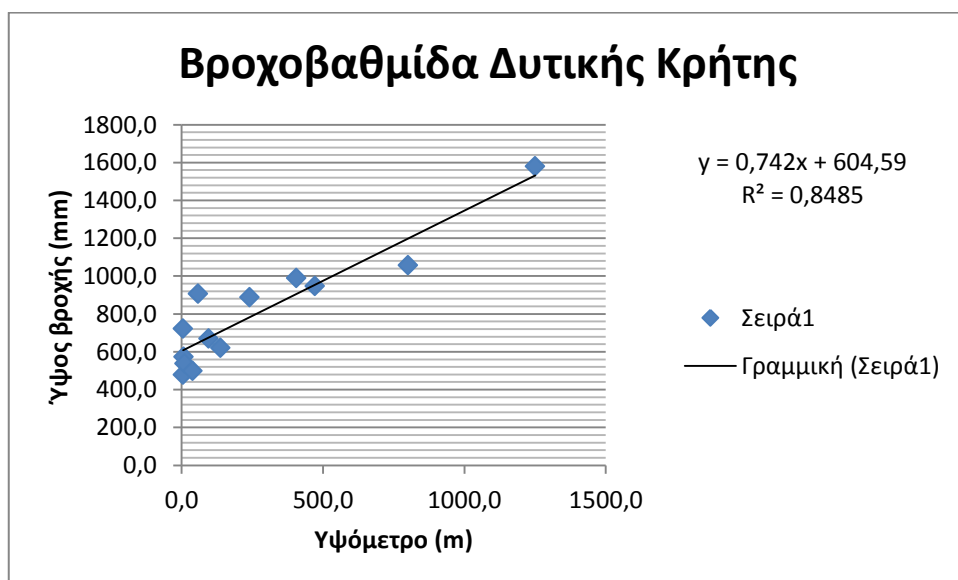
Με κόκκινο απεικονίζονται πραγματικοί σταθμοί του Αστεροσκοπείου, ενώ με μαύρο θεωρητικοί σταθμοί που προστέθηκαν ώστε τα δεδομένα των πρώτων να μπορούν να ολοκληρωθούν σε όλη την έκταση του νησιού.



Πιο αναλυτικά, για κάθε πραγματικό σταθμό και για κάθε χρόνο της περιόδου 2010-2015 βρέθηκε το συνολικό ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος για την περίοδο αυτή. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν δύο βροχοβαθμίδες, διαγράμματα του ύψους βροχής σε σχέση με το υψόμετρο, μία για την Ανατολική Κρήτη (Εικόνα 20) και μία για τη Δυτική Κρήτη (Εικόνα 21):



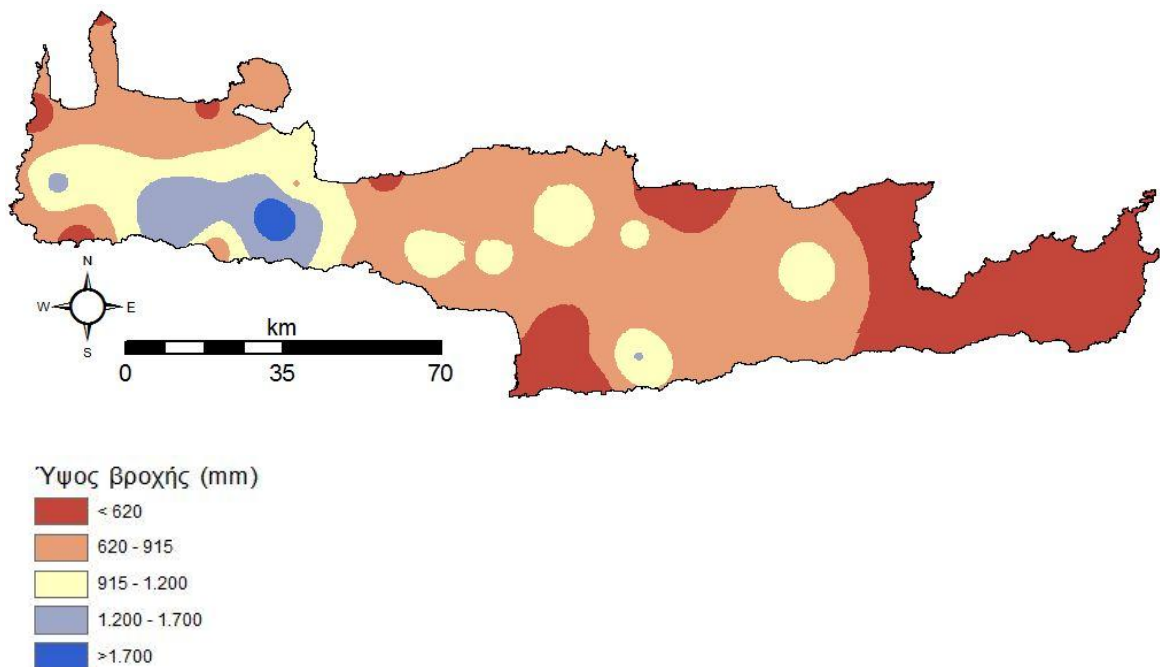
Εικόνα 20:Διάγραμμα βροχοβαθμίδας Ανατολικής Κρήτης



Εικόνα 21:Διάγραμμα βροχοβαθμίδας Δυτικής Κρήτης

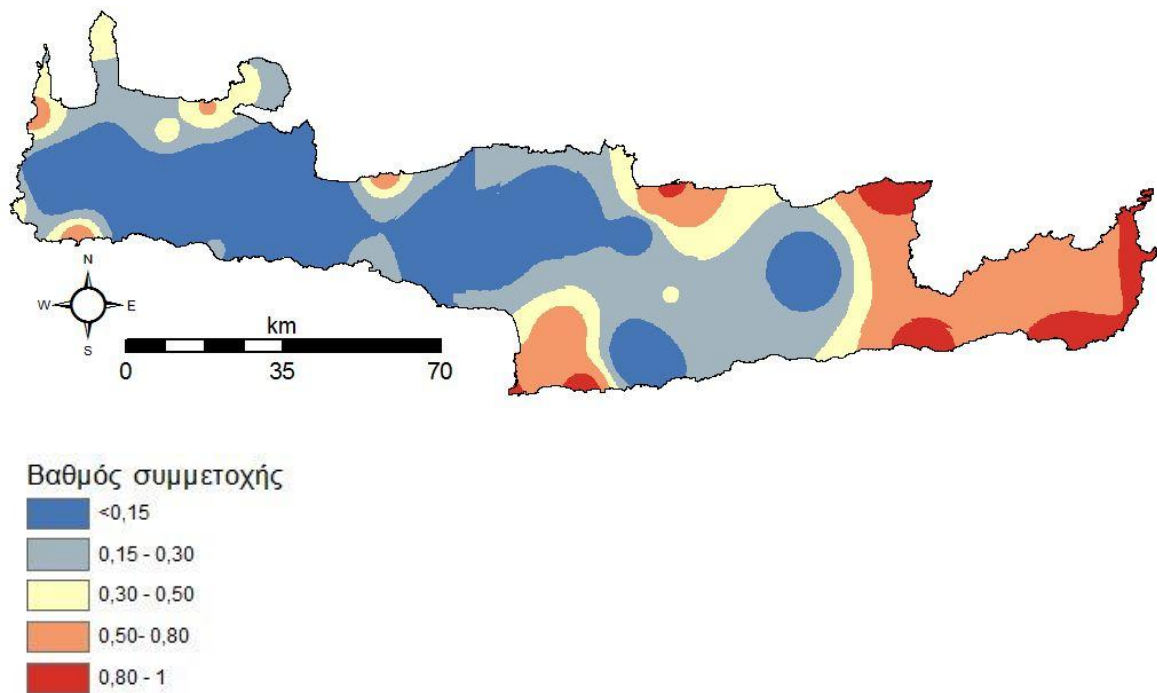
Στις εξισώσεις που προκύπτουν από τα παραπάνω διαγράμματα, εάν θέσουμε όπου  $x=0$  m, δηλ. το υψόμετρο του επιπέδου της θάλασσας, βρίσκεται το ύψος της βροχής που παρουσιάζεται στους θεωρητικούς σταθμούς, οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί πάνω στην ακτογραμμή.

Αυτά τα δεδομένα των βροχοπτώσεων ψηφιοποιήθηκαν και στη συνέχεια έγινε η επιφανειακή τους ολοκλήρωση με τη χρήση της εντολής IDW της κατηγορίας Interpolation του Spatial Analyst από το ArcToolbox, η οποία χρησιμοποιεί τη μέθοδο των αντίστροφων αποστάσεων για την εύρεση των ενδιάμεσων τιμών μεταξύ των σημείων όπου οι τιμές είναι γνωστές. Έτσι, ο χάρτης των βροχοπτώσεων που προέκυψε για την περίοδο 2010-2015 φαίνεται στην εικόνα 22 που ακολουθεί:



**Εικόνα 22: Χάρτης βροχοπτώσεων περιόδου 2010-2015**

Η ασαφοποίηση των δεδομένων αυτών έγινε ακριβώς όπως και για το χάρτη της περιόδου 1977- 1997 και το αποτέλεσμα αυτής είναι το ακόλουθο (Εικόνα 23):



Εικόνα 23: Χάρτης ασαφοποιημένης βροχόπτωσης περιόδου 2010 -2015

## 6.2 – Χάρτες εξατμισοδιαπνοής

Για τη δημιουργία αυτών των χαρτών χρειάζεται αρχικά να προσδιοριστούν δύο παράγοντες, η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς  $ET_0$  και ο φυτικός συντελεστής  $k_c$ , έτσι ώστε πολλαπλασιάζοντάς τους να βρεθεί η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας.

### 6.2.1 – Φυτικός συντελεστής

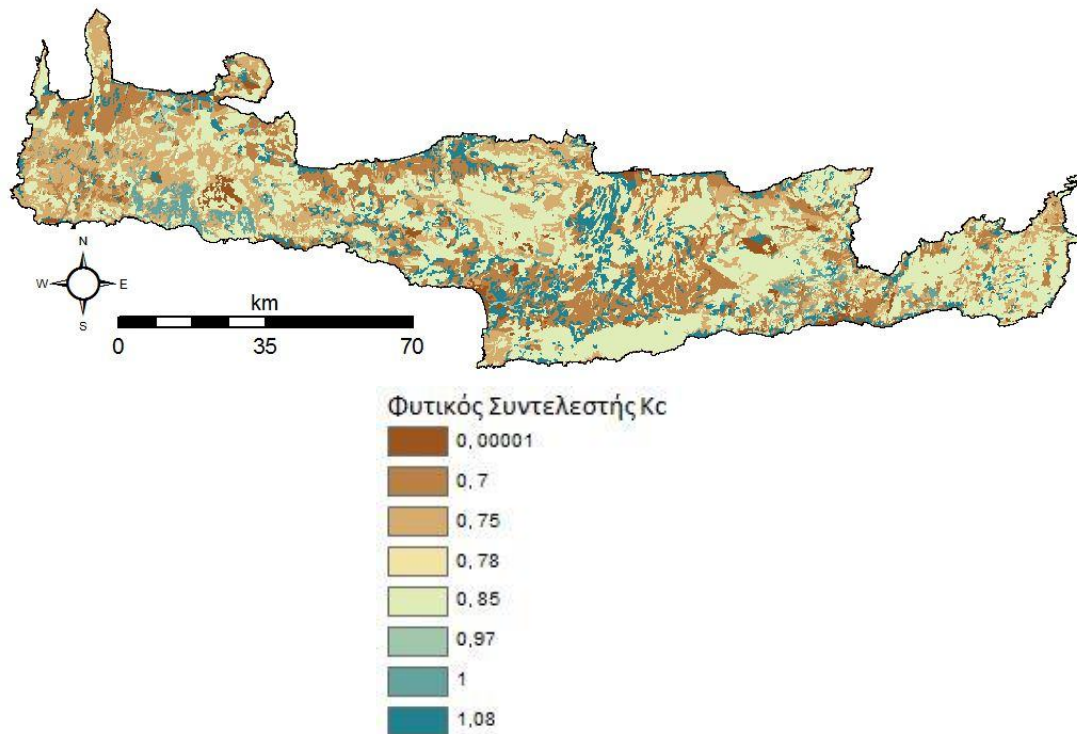
Ο φυτικός συντελεστής προσδιορίστηκε μέσω του χάρτη χρήσεων γης, έτσι όπως έχει διαμορφωθεί από το μοντέλο corine για την Κρήτη. Το μοντέλο αυτό κατατάσσει τις χρήσεις γης στις ακόλουθες κατηγορίες: 1) αεροδρόμια, 2) αρχαιολογικοί χώροι, 3) απογυμνωμένοι βράχοι, 4) παραλίες- αμμόλοφοι- αμμουδιές, 5) αποτεφρωμένες εκτάσεις, 6) βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες, 7) διακεκομμένη αστική δόμηση, 8) ζώνες λιμένων, 9) μη αρδεύσιμη- αρόσιμη γη, 10) ροές υδάτων, 11) συλλογές υδάτων, 12) συνεχής αστική δόμηση, 13) χώροι εξόρυξης ορυκτών, 14) χώροι οικοδόμησης, 15) αγροτικές δασικές περιοχές, 16) δάσος κωνοφόρων, 17) δάσος πλατύφυλλων, 18) μικτό δάσος, 19) αμπελώνες, 20) γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία, με

σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης, 21) εκτάσεις με αραιή βλάστηση, 22) φυσικοί βοσκότοποι, 23) ελαιώνες, 24) θάμνοι και χερσότοποι, 25) μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις , 26) σκληροφυλλική βλάστηση, 27) μόνιμα αρδευόμενη γη, 28) σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, 29) οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς. Για την αποτελεσματικότερη επεξεργασία τους, οι παραπάνω κατηγορίες ομαδοποιήθηκαν σε οχτώ ομάδες και για την κάθε ομάδα επιλέχθηκε μία τιμή για το φυτικό συντελεστή. Η επιλογή αυτή έγινε με βάση βιβλιογραφικές πηγές για κάποιες ομάδες, ενώ για άλλες που δεν ήταν δυνατή η εύρεσή του, έγινε προσεγγιστικά και σε σχέση με τις τιμές που επιλέχθηκαν για τις υπόλοιπες. Έτσι έχουμε τον πίνακα 9 που ακολουθεί:

**Πίνακας 9: Τιμές φυτικού συντελεστή**

Ομάδα	Κατηγορίες που περιλαμβάνει	Φυτικός συντελεστής $k_c$
0	1 έως και 14	0,00
1	15,16, 17, 18	1,00
2	19	0,78
3	20, 21, 22	0,85
4	23	0,70
5	24, 25, 26	0,75
6	27, 28	1,08
7	29	0,97

Σύμφωνα με τα παραπάνω, δημιουργήθηκε ο χάρτης που ακολουθεί για τον φυτικό συντελεστή των καλλιεργειών και της φυσικής βλάστησης στην Κρήτη (Εικόνα 24):



Εικόνα 24: Χάρτης για τον φυτικό συντελεστή Kc

### 6.2.2 – Δημιουργία χαρτών εξατμισοδιαπνοής αναφοράς

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Blaney- Criddle (<http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e07.htm>), η οποία χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα θερμοκρασίας και μία παράμετρο p, συνδυάζοντάς τα με τον ακόλουθο τύπο:

$$ET_0 = p \cdot (0,46 \cdot T_{mean} + 8) \text{ (mm} \cdot \text{day}^{-1}\text{)}$$

όπου  $T_{mean}$ : η μέση θερμοκρασία του μήνα σε °C

και p: το ποσοστό ωρών ημέρας του μήνα ως προς τις ώρες ημέρας του έτους, το οποίο για το γεωγραφικό πλάτος της Κρήτης, 35° βόρεια, καταγράφεται για κάθε μήνα στον πίνακα 10:

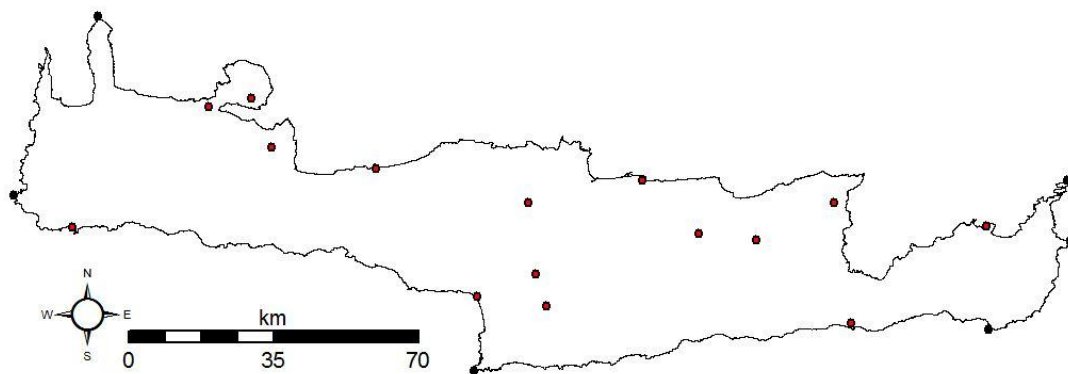
Πίνακας 10: Πίνακας συντελεστή  $p$  για την Κρήτη

(<http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e07.htm>)

Γεωγραφικό πλάτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μάι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοε	Δεκ
35° βόρεια	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22

Η μέθοδος αυτή, αν και δεν είναι αρκετά ακριβής, καθώς χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα θερμοκρασίας (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997), είναι σε θέση να δώσει μια αρκετά καλή προσέγγιση για την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και μάλιστα προτείνεται και από τη Διεθνή Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (FAO). Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε λόγω του ότι τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούσαν μετρήσεις θερμοκρασίας.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, προέρχονται για την περίοδο 1977-1997 από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και απεικονίζονται στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 25), όπου με κόκκινο φαίνονται οι πραγματικοί μετεωρολογικοί σταθμοί, ενώ με μαύρο οι θεωρητικοί.



Εικόνα 25: Χάρτης μετεωρολογικών σταθμών Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας

Για την περίοδο 2010-2015 προέρχονται από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Εικόνα 19).

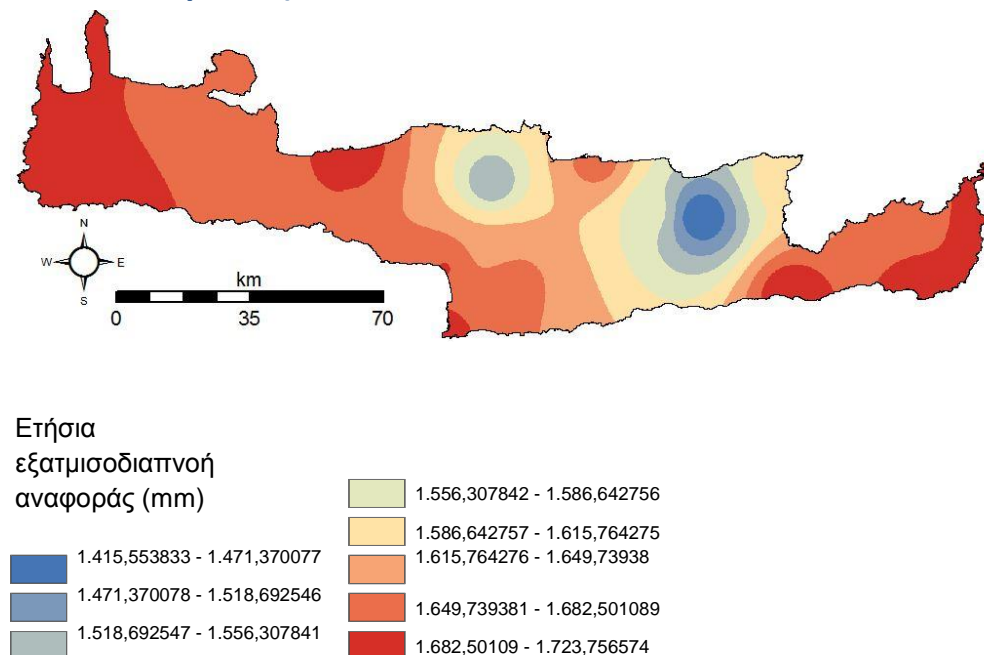
Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν διαγράμματα θερμοβαθμίδων, δηλ. διαγράμματα της μέσης θερμοκρασίας σε σχέση με το υψόμετρο, για κάθε μήνα. Λόγω του μεγάλου

όγκου των διαγραμμάτων αυτών, παρατίθενται όλα μαζί στα παραρτήματα I και II, για κάθε περίοδο αντίστοιχα. Εάν στις εξισώσεις που προκύπτουν, τεθεί όπου  $x=0$  m, τότε βρίσκεται η θερμοκρασία που συναντάται στο επίπεδο της θάλασσας και επομένως στο υψόμετρο των θεωρητικών μετεωρολογικών σταθμών.

Με την εφαρμογή της εξίσωσης Blaney –Cridle, υπολογίστηκε για κάθε σταθμό η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς του κάθε μήνα για κάθε χρονιά. Στη συνέχεια, έγινε η άθροισή τους ώστε να υπολογιστεί η αντίστοιχη ετήσια και εξήχθη ο μέσος όρος των ετήσιων εξατμισοδιαπνοών για κάθε μία από τις περιόδους που εξετάστηκαν.

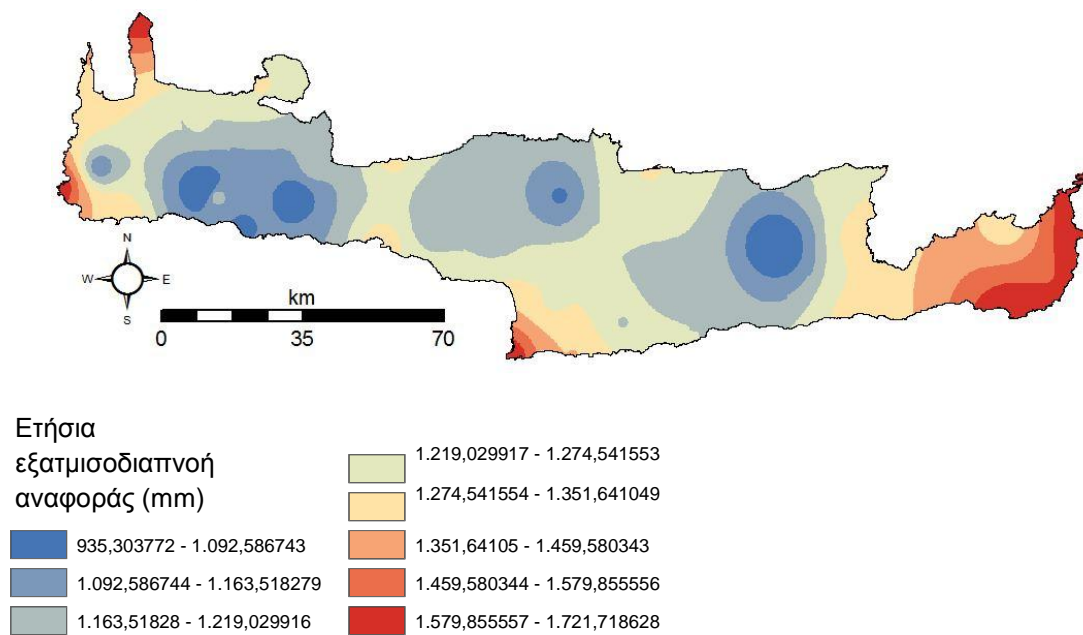
Τα παραπάνω δεδομένα της  $ET_0$  ψηφιοποιήθηκαν και στη συνέχεια η επιφανειακή τους ολοκλήρωση έγινε και πάλι με τη χρήση της εντολής IDW, για την εύρεση των ενδιάμεσων τιμών μεταξύ των σημείων όπου οι τιμές είναι γνωστές. Ακολουθούν οι χάρτες της βασικής εξατμισοδιαπνοής για τις δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους.

### 6.2.2α – Περίοδος 1977-1997



Εικόνα 26: Χάρτης εξατμισοδιαπνοής αναφοράς περιόδου 1977 – 1997

### 6.2.2β – Περίοδος 2010-2015



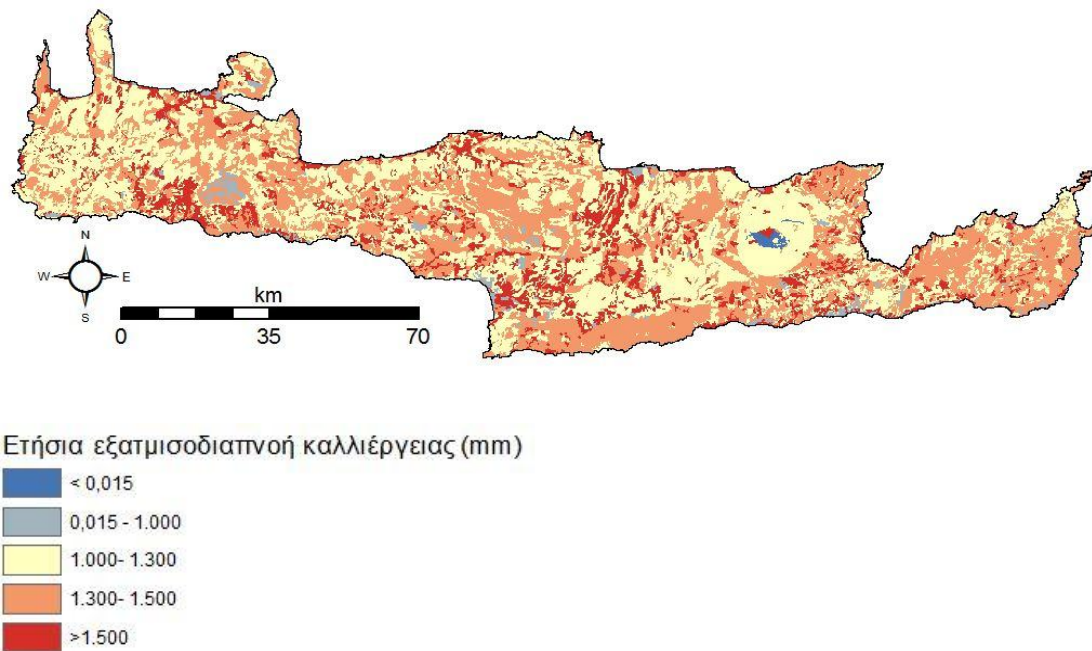
Εικόνα 27: Χάρτης εξατμισοδιαπνοής αναφοράς περιόδου 2010-2015

### 6.2.3 – Χάρτες εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας

Για την εξαγωγή των χαρτών εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας κάθε περιόδου (εικόνες 28 και 30) έγινε ο πολλαπλασιασμός του χάρτη φυτικού συντελεστή (Εικόνα 24) με τους χάρτες βασικής εξατμισοδιαπνοής (εικόνες 26 και 27).

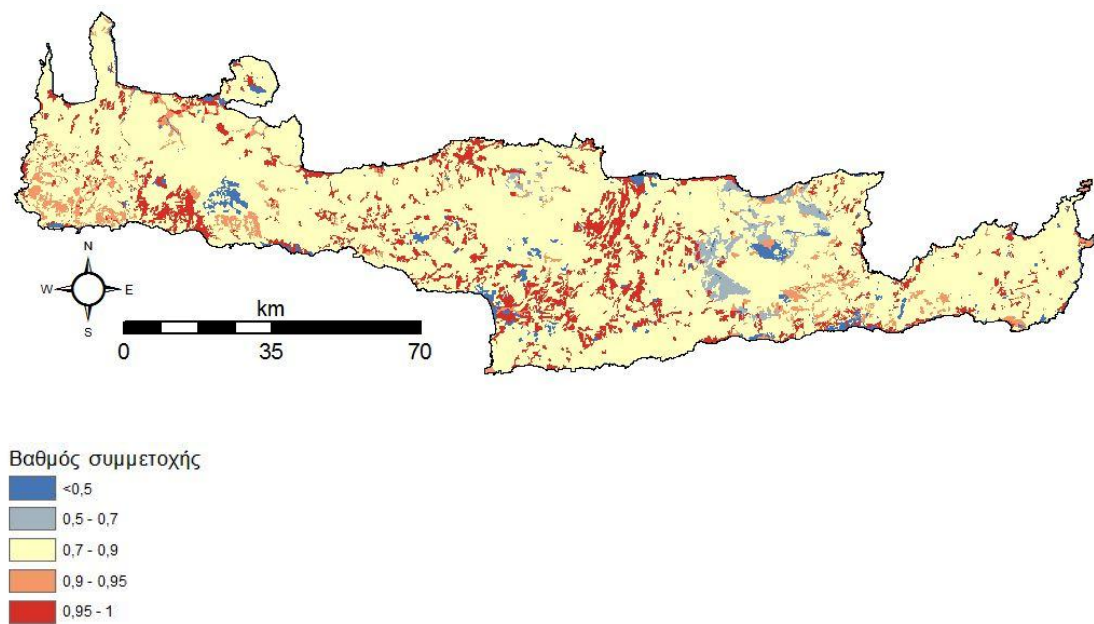


### 6.2.3α – Περίοδος 1977-1997



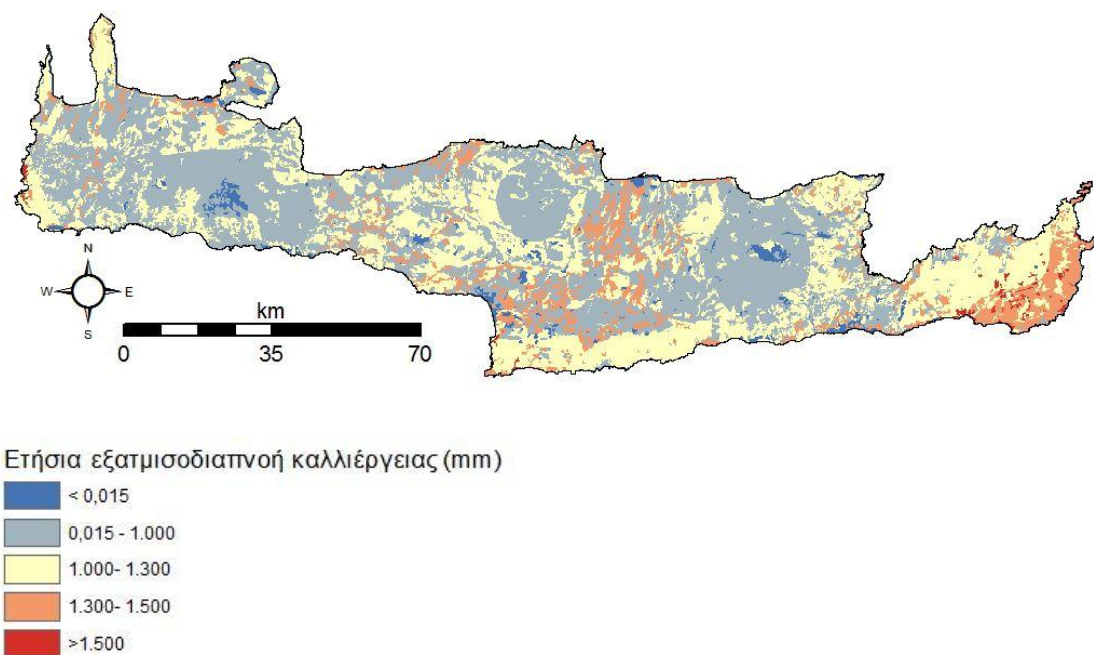
Εικόνα 28: Χάρτης εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας περιόδου 1977-1997

Ο χάρτης της εικόνας 28 ασαφοποιήθηκε με χρήση της συνάρτησης Fuzzy Large, η οποία συσχετίζει την πλειοψηφία των πιο μικρών τιμών με το 0 και αυτή των πιο μεγάλων με το 1, ενώ αποδίδεται συσχέτιση ίση με 0,5 για την μεσαία τιμή 931,48, που ορίστηκε και κεντρικό σημείο από την προεπιλογή του προγράμματος. Ως δείκτης διασποράς επιλέχθηκε η τιμή 5. Τα παραπάνω αποδίδουν ικανοποιητικά το συλλογισμό ότι οι περιοχές όπου είναι μεγαλύτερη η εξατμισοδιαπνοή είναι περισσότερο πιθανό να αντιμετωπίσουν τον κίνδυνο εμφάνισης ξηρασίας. Το αντίθετο ισχύει για τις περιοχές όπου η εξατμισοδιαπνοή είναι μικρότερη, ενώ τα 931,48 mm έχουν καθοριστεί ως όριο επικινδυνότητας για την εμφάνιση ή όχι του φαινομένου, σε σχέση με τον παράγοντα αυτό. Τα ασαφή πλέον χωρικά δεδομένα παρουσιάζονται στον ακόλουθο χάρτη (Εικόνα 29):



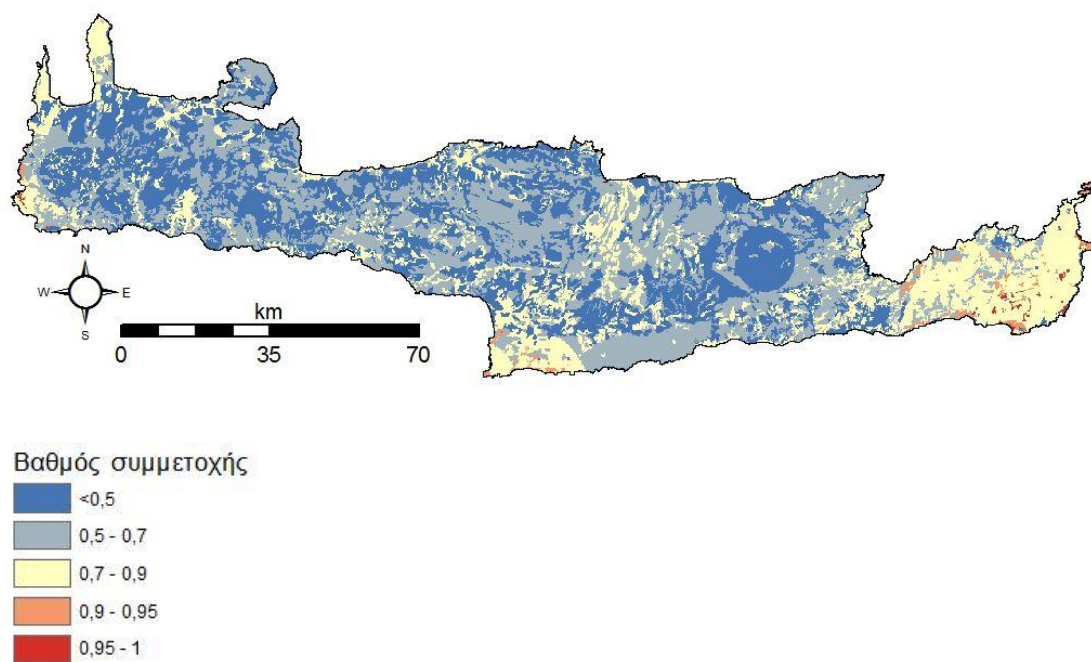
Εικόνα 29: Χάρτης ασαφοποιημένης εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας περιόδου 1977-1997

### 6.2.3β – Περίοδος 2010-2015



Εικόνα 30: Χάρτης εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας περιόδου 2010-2015

Η ασαφοποίηση του συγκεκριμένου χάρτη της εικόνας 30 έγινε ομοίως με αυτή του προηγούμενου (Εικόνα 28). Επομένως, ο χάρτης που προκύπτει μετά την εφαρμογή της συνάρτησης ασαφοποίησης φαίνεται στην εικόνα 31.

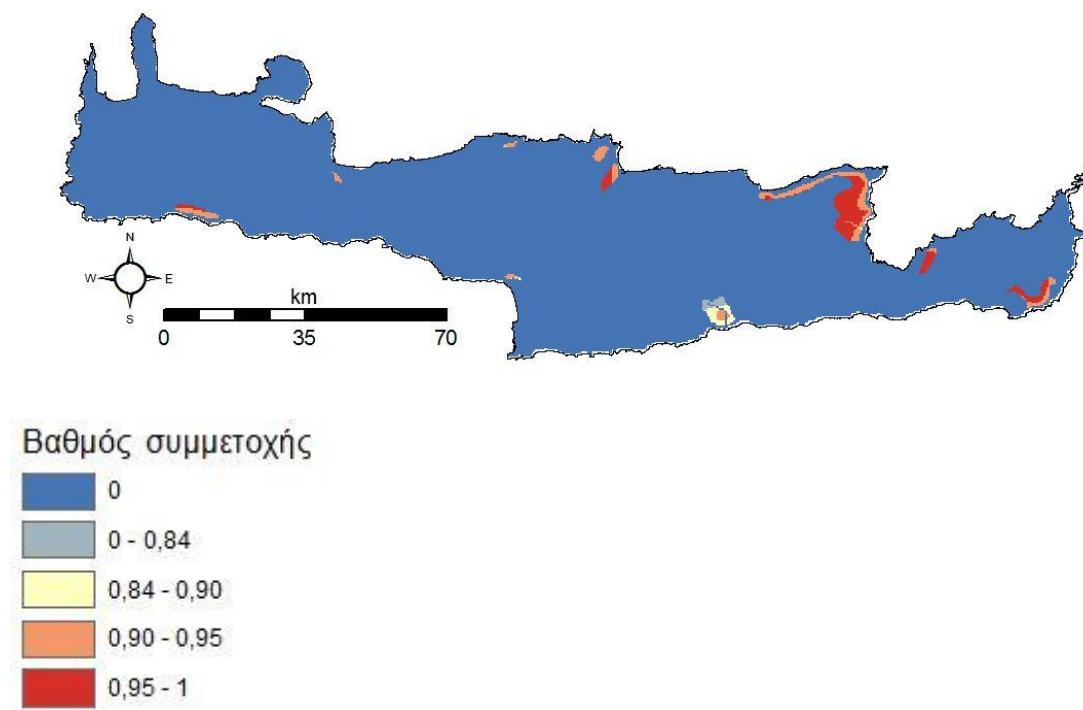


Εικόνα 31: Χάρτης ασαφопоιημένης εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας περιόδου 2010-2015

## Κεφάλαιο 7 – Αποτελέσματα

### 7.1 – Επικάλυψη των σταθερών παραγόντων

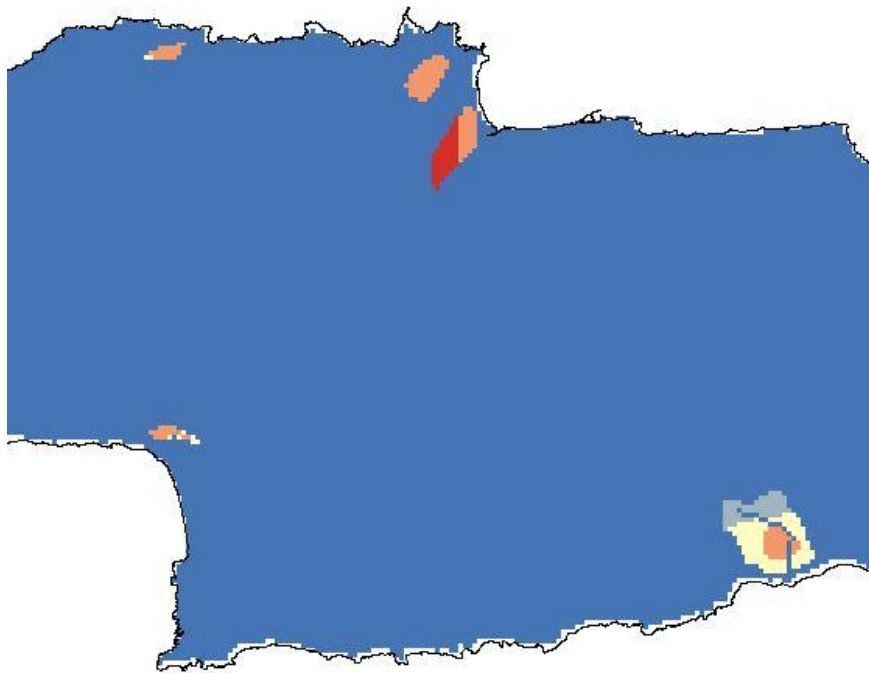
Ο συνδυασμός των ασαφοποιημένων πλέον χαρτών των σταθερών παραγόντων έγινε με τη λειτουργία του εργαλείου Fuzzy Overlay, κατά την εφαρμογή του οποίου επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση Fuzzy Gamma με δύναμη  $\gamma=0,95$ , καθώς η συγκεκριμένη συνάρτηση δημιουργεί συσχετίσεις μεταξύ των πολλαπλών κριτηρίων. Έτσι, διαμορφώνεται ο χάρτης της εικόνας 32, στον οποίο απεικονίζεται η επίδραση της συγκεκριμένης ομάδας κριτηρίων:



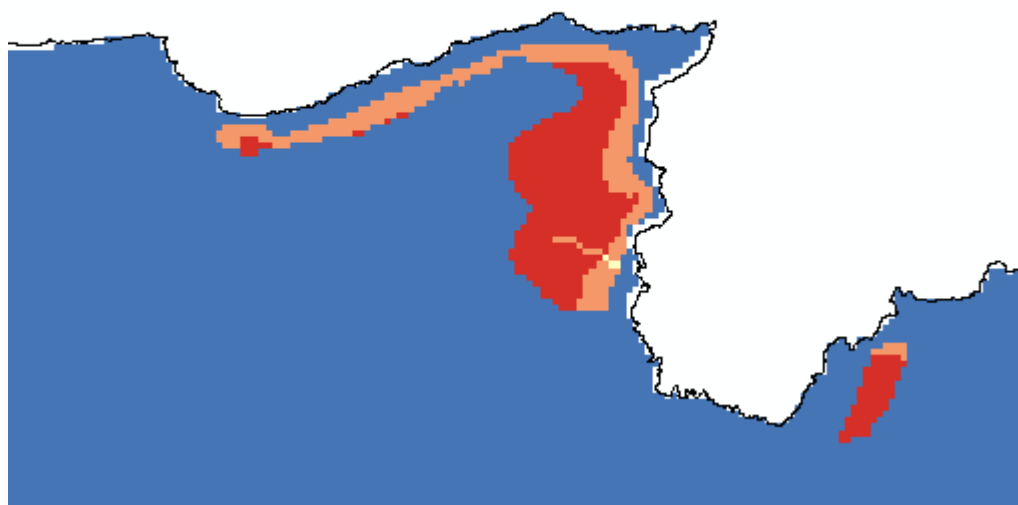
Εικόνα 32: Χάρτης ασαφούς επικάλυψης μεταξύ των σταθερών παραγόντων

Από τον χάρτη αυτό προκύπτει ότι ο κίνδυνος εμφάνισης ξηρασίας, που βασίζεται μόνο στους σταθερούς παράγοντες, έχει πολύ χαμηλές τιμές στη μεγαλύτερη έκταση του νησιού. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή 0 που υποδηλώνει πολύ χαμηλό κίνδυνο είναι αυτή που καταλαμβάνει και τη μεγαλύτερη έκταση του νησιού. Σε μια μικρότερης έκτασης περιοχή μεταξύ των παραλιών Τσούτσουρα και Κερατόκαμπου εμφανίζονται βαθμοί συμμετοχής χαμηλοί, μέσοι και πολύ υψηλοί, οι οποίοι ανήκουν αντίστοιχα στη δεύτερη, την τρίτη και την τέταρτη κλάση (Εικόνα 33). Στις περιοχές του

Μαλεβιζίου και του Κουρνά εντοπίζονται δύο περιοχές αμιγώς υψηλού βαθμού συμμετοχής (0,90-0,95), ενώ στο Τυμπάκι και στο Μυλοπόταμο οι περιοχές που εντοπίζονται έχουν στη μεγαλύτερη έκτασή τους βαθμό συμμετοχής υψηλό και ακριβώς δίπλα τους βρίσκονται πολύ μικρότερες περιοχές με μέσο βαθμό συμμετοχής (0,84 - 0,90) (Εικόνα 33). Ο βαθμός συμμετοχής των περιοχών που εντοπίζονται α) μεταξύ Σούγιας και Αγίας Ρουμέλης, β) στην περιοχή του Γαζίου στο Ηράκλειο, γ) στην περιοχή του Καβουσίου στο Λασιθί (Εικόνα 34), δ) στην περιοχή μεταξύ Ζάκρου και Χανδρά στο Λασιθί, και ε) της περιοχής που εκτείνεται σχεδόν παράλληλα της ακτογραμμής από τα Μάλια μέχρι και τον Άγιο Νικόλαο (Εικόνα 34), ανήκει είτε στην τέταρτη είτε στην πέμπτη κλάση βαθμού συμμετοχής, υψηλού και πολύ υψηλού αντίστοιχα. Στην τελευταία περιοχή (ε), εντοπίζεται και ένα πολύ μικρό τμήμα μέσου βαθμού συμμετοχής.



**Εικόνα 33: Βαθμός συμμετοχής περιοχών Τυμπακίου, Μυλοποτάμου, Μαλεβιζίου, Γαζίου και Τσούτσουρα**



Εικόνα 34: Βαθμός συμμετοχής περιοχών Μαλίων- Αγίου Νικολάου και Καβουσίου

## 7.2 – Επικάλυψη των δυναμικών παραγόντων

Ο συνδυασμός των ασαφопоιημένων χαρτών των δυναμικών παραγόντων έγινε και αυτός με τη λειτουργία του εργαλείου Fuzzy Overlay, κατά την εφαρμογή του οποίου επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί και πάλι η συνάρτηση Fuzzy Sum. Έτσι, διαμορφώνονται οι χάρτες στους οποίους απεικονίζεται η επίδραση της δεύτερης ομάδας κριτηρίων. Η κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων για το βαθμό συμμετοχής των περιοχών έγινε στις παρακάτω πέντε κλάσεις ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των δύο περιόδων (Πίνακας 11).

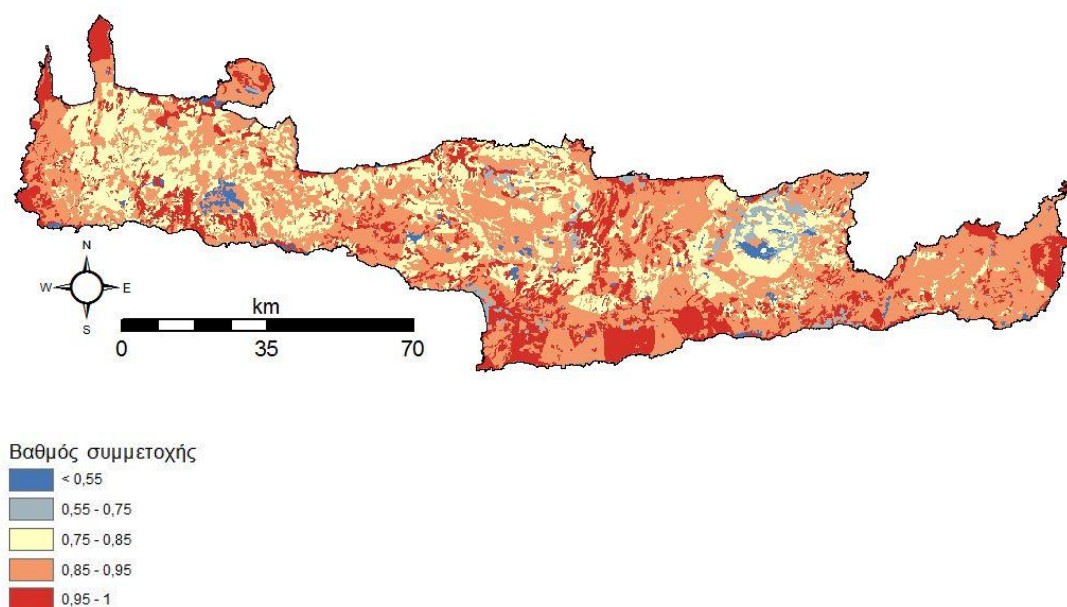
Πίνακας 11: Κλάσεις βαθμού συμμετοχής των δυναμικών παραγόντων

Κλάση	Τιμή	Βαθμός Συμμετοχής
1	<0,55	Πολύ χαμηλός
2	0,55 – 0,75	Χαμηλός
3	0,75 – 0,85	Μέσος
4	0,85 – 0,95	Υψηλός
5	0,95 – 1	Πολύ υψηλός



Από τους παρακάτω χάρτες (εικόνες 35 και 36) γίνεται αντιληπτός ο βαθμός συμμετοχής των περιοχών της Κρήτης στο φαινόμενο της ξηρασίας σε σχέση με τους δυναμικούς παράγοντες που εξετάστηκαν για τις δύο διαφορετικές περιόδους. Κατά την περίοδο 1977 – 1997, η μεγαλύτερη έκταση του νησιού παρουσιάζει υψηλό βαθμό συμμετοχής, σε αντίθεση με την περίοδο 2010 – 2015, κατά την οποία η μεγαλύτερη έκταση παρουσιάζει χαμηλή και πολύ χαμηλή. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αναλύονται χωριστά για κάθε νομό.

### 7.2.1 – Περίοδος 1977-1997



**Εικόνα 35:Χάρτης ασαφούς επικάλυψης μεταξύ των δυναμικών παραγόντων περιόδου 1977-1997**

Στο νομό Χανίων, κατά την περίοδο 1977 -1997, η μεγαλύτερη έκταση έχει βαθμό συμμετοχής μέσο και υψηλό και οι αμέσως επόμενες σε έκταση περιοχές έχουν είτε πολύ υψηλό είτε πολύ χαμηλό βαθμό συμμετοχής. Λιγότερες σε πλήθος και μικρότερες σε έκταση περιοχές έχουν πολύ χαμηλό βαθμό συμμετοχής. Ο πολύ χαμηλός βαθμός συμμετοχής εμφανίζεται κυρίως σε ένα μικρό τμήμα δυτικά της Παλαιόχωρας, σε περιοχή εντός των ορίων του δρυμού της Σαμαριάς, στο Φραγκοκάστελο, στις αστικές περιοχές της Σούδας και των Χανίων και σποραδικά στην ενδοχώρα του νομού. Το βόρειο παραλιακό μέτωπο του κόλπου Κισσάμου, αλλά

και τμήματα του Ακρωτηρίου παρουσιάζουν πολύ υψηλό βαθμό συμμετοχής. Το βόρειο παραλιακό μέτωπο του κόλπου Κισσάμου παρουσιάζει και μέσο βαθμό συμμετοχής, ενώ στο Ακρωτήριο επικρατεί η τέταρτη κλάση. Τέλος, υπάρχει και μια ζώνη υψηλού βαθμού συμμετοχής στα δυτικά του νομού, ενώ τα βόρεια τμήματα των χερσονήσων Κόρυκος και Ροδωπού παρουσιάζουν πολύ υψηλό βαθμό συμμετοχής.

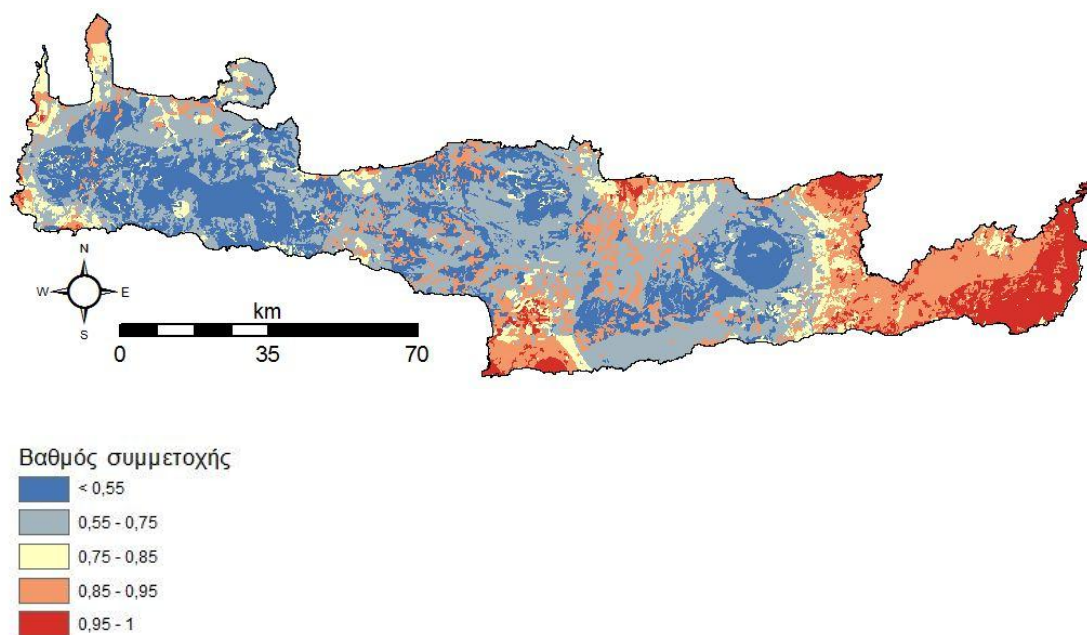
Ο νομός Ρεθύμνης παρουσιάζει και αυτός στη μεγαλύτερη έκτασή του υψηλό βαθμό συμμετοχής. Το μεγαλύτερο και σχετικά περισσότερο συνεχές τμήμα της κλάσης αυτής βρίσκεται στα νοτιοδυτικά του νομού, στο οποίο παρεμβάλλονται και περιοχές πολύ υψηλού βαθμού συμμετοχής. Στο ανατολικότερο τμήμα του, υπάρχουν αρκετές περιοχές με χαμηλό και πολύ χαμηλό βαθμό συμμετοχής, ενώ περισσότερες είναι αυτές με μέσο, και πολύ υψηλό βαθμό συμμετοχής. Από αυτές, οι περιοχές με μέσο είναι περισσότερες σε σχέση με αυτές του πολύ υψηλού βαθμού συμμετοχής.

Η περιοχή που καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση του νομού Ηρακλείου είναι και πάλι υψηλού βαθμού συμμετοχής. Στην περιοχή αυτή παρεμβάλλονται άλλες μικρότερες πολύ υψηλού και χαμηλού βαθμού συμμετοχής, ενώ είναι ελάχιστες οι περιοχές πολύ χαμηλού βαθμού συμμετοχής. Στο μέσο του νομού εμφανίζονται και περιοχές με μέσο βαθμό συμμετοχής, οι οποίες καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με αυτές των δύο χαμηλότερων της κλάσεων.

Ο νομός Λασηθίου χαρακτηρίζεται και αυτός στη μεγαλύτερή του έκταση από υψηλό βαθμό συμμετοχής. Στην περιοχή της Σητείας και στην περιοχή από το Παλαίικαστρο μέχρι τη Ζάκρο εμφανίζονται δύο τμήματα πολύ υψηλού βαθμού συμμετοχής, ενώ άλλα πολύ μικρότερα που ανήκουν στην ίδια κλάση υπάρχουν διάσπαρτα σε όλο το νομό. Το κεντρικό τμήμα στα ανατολικά του νομού χαρακτηρίζεται από μια αρκετά εκτενή περιοχή με μέσο βαθμό συμμετοχής, στην οποία υπάρχουν και μικρότερα τμήματα χαμηλού και πολύ χαμηλού βαθμού συμμετοχής, με αυτά της κατηγορίας του χαμηλού να είναι περισσότερα από εκείνα του πολύ χαμηλού. Τέλος, ένα σημαντικό τμήμα με χαμηλό βαθμό συμμετοχής εντοπίζεται στην Ιεράπετρα.

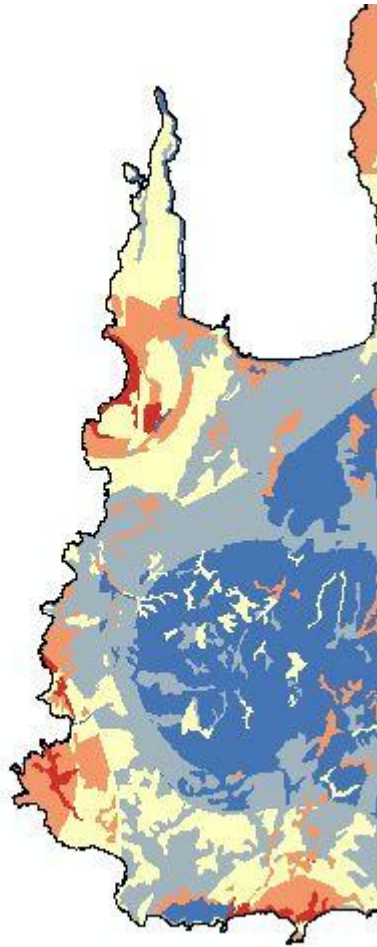


### 7.2.2 – Περίοδος 2010-2015



Εικόνα 36: Χάρτης ασαφούς επικάλυψης μεταξύ των δυναμικών παραγόντων περιόδου 2010-2015

Κατά τη διάρκεια της περιόδου από 2010 έως και το 2015, στις δύο δυτικότερες χερσονήσους του νομού, καθώς και στα νοτιοδυτικά παράλια του επικρατεί μέσος και υψηλός βαθμός συμμετοχής, ενώ πολύ υψηλός βαθμός συμμετοχής εμφανίζεται σε τρεις πολύ μικρές περιοχές στα δυτικά, όπως διακρίνεται και από την επόμενη μεγέθυνση (Εικόνα 37).



**Εικόνα 37: Μεγέθυνση όπου διακρίνονται οι μικρές περιοχές πολύ υψηλού βαθμού συμμετοχής**

Ο μεγάλος περιορισμός των περιοχών με υψηλό βαθμό συμμετοχής γίνεται αισθητός και στο νομό Ρεθύμνης. Αρχικά, παρατηρείται ότι οι περιοχές που κατά την προηγούμενη είχαν πολύ υψηλό βαθμό συμμετοχής, τώρα οι περισσότερες από αυτές κατατάσσονται στην κατηγορία του υψηλού βαθμού συμμετοχής και οι λιγότερες στην τρίτη κλάση, μέσου βαθμού συμμετοχής. Οι περιοχές που είχαν υψηλό βαθμό συμμετοχής τώρα εμφανίζουν χαμηλό βαθμό συμμετοχής και αυτές που είχαν μέσο, τώρα εμφανίζουν πολύ χαμηλό. Το ίδιο βαθμό συμμετοχής με την προηγούμενη περίοδο διατηρεί μόνο μία περιοχή στα δυτικά της πόλης του Ρεθύμνου. Έτσι, γίνεται κατανοητό ότι περιορίζονται πάρα πολύ οι περιοχές με πολύ υψηλή και μέση επικινδυνότητα, σε σχέση με τους δυναμικούς παράγοντες, και επικρατέστερες είναι οι περιοχές με πολύ χαμηλό, χαμηλό και υψηλό βαθμό συμμετοχής.

Την ίδια ακριβώς συμπεριφορά με το νομό Ρεθύμνου, παρουσιάζει και ο νομός Ηρακλείου. Από τις περιοχές που διατηρούνται στην κλάση του πολύ υψηλού βαθμού συμμετοχής η μία βρίσκεται στα νότια και δυτικά, στην περιοχή της Μεσαράς και η άλλη στο βόρειο τμήμα του νομού (περιοχή Ξεροποτάμου). Επιπλέον, υπάρχει και μια περιοχή στα βόρεια και ανατολικά του νομού, που ενώ πριν ήταν υψηλού βαθμού συμμετοχής, τώρα έχει γίνει μέσου.

Στο ανατολικότερο τμήμα του νομού Λασηθίου διατηρείται, σε γενικές γραμμές ο υψηλός βαθμός συμμετοχής. Σε αντίθεση, όμως, με το νομό Χανίων, που υπήρχε μεγάλος περιορισμός του πολύ υψηλού βαθμού συμμετοχής, εδώ υπάρχει επέκταση των αντίστοιχων περιοχών, η οποία γίνεται κατανοητή από την εμφάνιση μιας ζώνης πολύ υψηλού βαθμού συμμετοχής η οποία εκτείνεται από τη Μονή Τοπλού μέχρι και το Μακρύ Γιαλό. Άλλη μία τέτοια περιοχή εμφανίζεται στο βορειοδυτικό τμήμα του κόλπου του Μεραμβέλου, από την Πλάκα μέχρι τη Μίλατο. Η περιοχή της Σητείας, τώρα πλέον χαρακτηρίζεται από μέσο βαθμό συμμετοχής. Τέλος, στα δυτικά του νομού, όπου πριν επικρατούσε μέσος βαθμός συμμετοχής, τώρα η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλό και χαμηλό βαθμό συμμετοχής και μια ζώνη μέσου βαθμού συμμετοχής εμφανίζεται εκεί όπου πριν η περιοχή ήταν υψηλού.

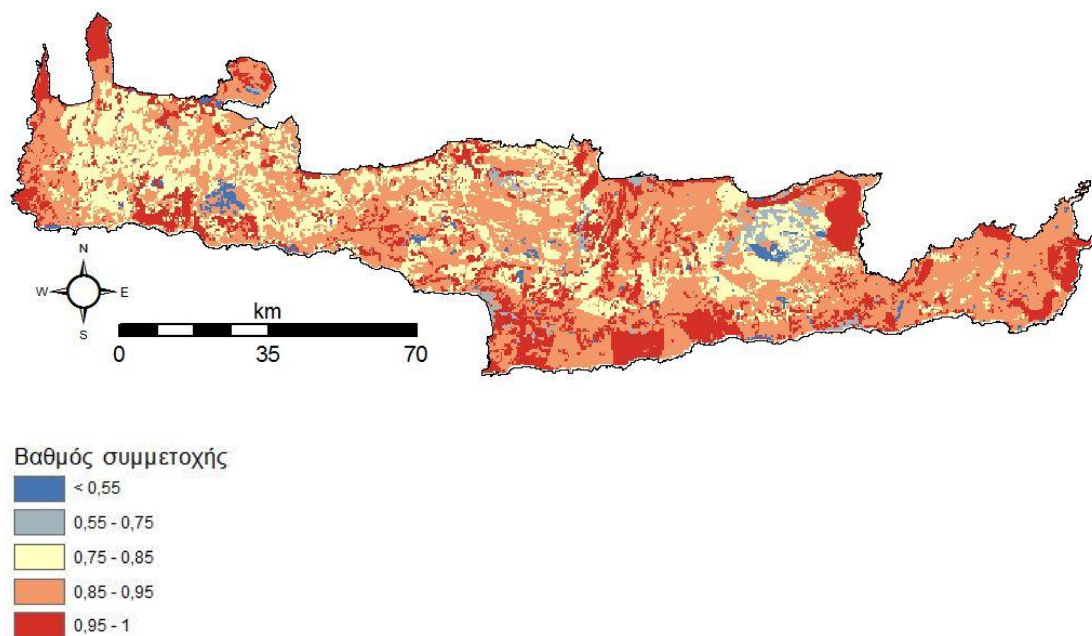
Σαν γενικό συμπέρασμα προκύπτει ότι στα δυτικά της Κρήτης ο βαθμός συμμετοχής κάποιων περιοχών μειώνεται, ενώ στα ανατολικά υπάρχει αύξησή του. Επιπλέον, κατά τη δεύτερη περίοδο, οι περιοχές με πολύ χαμηλό και χαμηλό βαθμό συμμετοχής παρουσιάζουν δραματική αύξηση, κάτι που ίσως οφείλεται στην καλύτερη χωρική κατανομή που έχουν οι μετεωρολογικοί σταθμοί, σε σχέση με αυτούς της πρώτης περιόδου, αλλά και στην αυξημένη συνολική βροχόπτωση που παρουσιάζεται κατά την περίοδο αυτή.

### **7.3 – Συνδυασμός μεταξύ σταθερών και δυναμικών παραγόντων**

Η επικάλυψη μεταξύ των χαρτών των δυναμικών και των σταθερών παραγόντων έγινε με τη λειτουργία του εργαλείου Fuzzy Overlay, κατά την εφαρμογή του οποίου επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση Fuzzy Sum. Η συγκεκριμένη συνάρτηση είναι αυξητική και χρησιμοποιείται όταν ο συνδυασμός πολλαπλών παραγόντων είναι

πιο σημαντικός από ότι είναι ο κάθε ένας από αυτούς ξεχωριστά, έτσι στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται επειδή αν συνδυαστούν οι συγκεκριμένοι παράγοντες, έχουν πολύ πιο σημαντική επίδραση από ότι θα είχε ο καθένας μόνος του στην εμφάνιση του φαινομένου της ξηρασίας. Τελικά, διαμορφώθηκαν δύο χάρτες επικινδυνότητας ξηρασίας, μία για κάθε περίοδο (Εικόνες 38 και 39), όπου αφού έχουν συνδυαστεί όλες οι παράμετροι, οι βαθμοί συμμετοχής αποτελούν ταυτόχρονα και το βαθμό επικινδυνότητας εμφάνισης του φαινομένου της ξηρασίας.

### 7.3.1 – Περίοδος 1977-1997



**Εικόνα 38:** Χάρτης ασαφούς επικάλυψης μεταξύ σταθερών και δυναμικών παραγόντων περιόδου 1977- 1997

Αρχικά, κατά την περίοδο αυτή παρατηρείται ότι για την ανατολική Κρήτη η επικρατούσα κλάση επικινδυνότητας είναι αυτή της υψηλής, ενώ για δυτική είναι αυτή της μέσης. Πιο συγκεκριμένα, για το νομό Χανίων παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη έκτασή του καταλαμβάνεται από περιοχές μέση επικινδυνότητα. Αμέσως μικρότερες σε έκταση είναι οι περιοχές με υψηλή επικινδυνότητα, οι οποίες σχηματίζουν μια εκτεταμένη ζώνη στη δυτική πλευρά του νομού, ενώ άλλα σημαντικές περιοχές αυτής της κατηγορίας αποτελούν το Ακρωτήριο και το κάτω τμήμα

της χερσονήσου του Ροδωπού. Περιοχές με πολύ χαμηλή επικινδυνότητα εντοπίζονται εντός των ορίων του δρυμού της Σαμαριάς, στο Φραγκοκάστελο, σε μια μικρή περιοχή δυτικά της Παλαιόχωρας και στις αστικές περιοχές των Χανίων και της Σούδας. Στο Ακρωτήρι υπάρχει μια ζώνη η οποία χωρίζεται σε δύο τμήματα, ένα χαμηλής και ένα πολύ χαμηλής επικινδυνότητας. Τέλος, σημαντικά τμήματα με πολύ υψηλή επικινδυνότητα αποτελούν η χερσόνησος Κόρυκος, το πάνω τμήμα της χερσονήσου Ροδωπού, η παραλία του Κουρνά, η περιοχή από τη Χρυσοσκαλίτισσα μέχρι το Ελαφονήσι και άλλη μία από τη Σούγια μέχρι την Αγία Ρουμέλη, η οποία εκτείνεται προς τα μέσα μέχρι τον Ομαλό, ενώ στα βόρεια του νομού υπάρχουν και άλλες διάσπαρτες περιοχές.

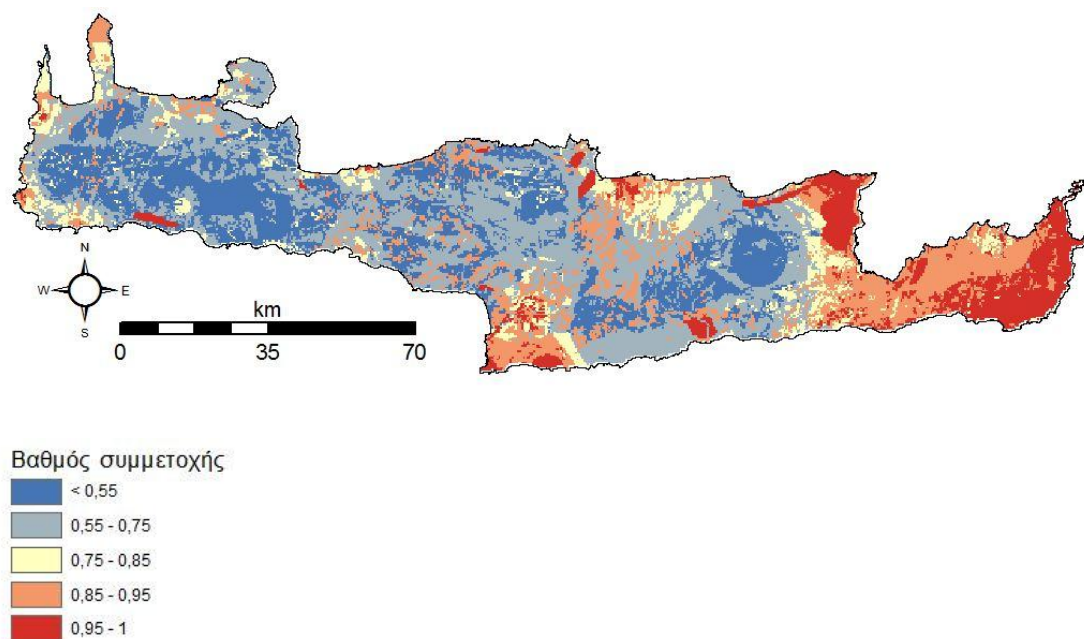
Όσον αφορά το Ρέθυμνο, εντοπίζεται μια αρκετά μεγάλη περιοχή στα νότια από τον Πλακιά μέχρι και λίγο πιο μετά από τον Πρέβελι, η οποία εκτείνεται προς τα πάνω και ξεπερνά το μέσον του πλάτους του νησιού στο σημείο εκείνο. Αυτή η περιοχή είναι υψηλής επικινδυνότητας, στην οποία υπάρχουν και αρκετές περιοχές πολύ υψηλής επικινδυνότητας. Ακριβώς δίπλα, στα ανατολικά του τμήματος αυτού και μέχρι τα όρια με το νομό Ηρακλείου βρίσκεται ένα μεγάλο τμήμα που χαρακτηρίζεται από υψηλή, πολύ υψηλή και μέση επικινδυνότητα, ενώ υπάρχουν και μικρότερα τμήματα με πολύ χαμηλή επικινδυνότητα. Στα βόρεια και ανατολικά του νομού Ρεθύμνης, η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλή επικινδυνότητα, ενώ υπάρχει και ένα τμήμα χαμηλής επικινδυνότητας, όσον αφορά το εσωτερικό της περιοχής αυτής, ενώ οι βόρειες ακτές εμφανίζουν μέση επικινδυνότητα, με εξαίρεση μια περιοχή πολύ υψηλής επικινδυνότητας στο Πάνορμο.

Στο νομό Ηρακλείου, παρατηρείται ότι στα όρια με το νομό Ρεθύμνης υπάρχουν περιοχές όλων των κλάσεων επικινδυνότητας. Στο μέσον βρίσκονται οι περιοχές των τεσσάρων πρώτων κλάσεων, στα άκρα οι περιοχές είναι υψηλής και πολύ υψηλής επικινδυνότητας, ενώ το Τυμπάκι εμφανίζει χαμηλή επικινδυνότητα. Προχωρώντας προς τα ανατολικά, βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος του νομού εμφανίζει υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα, ενώ υπάρχουν και σημαντικές περιοχές με μέση επικινδυνότητα και πολύ λίγες με χαμηλή και πολύ χαμηλή. Στα όρια με το νομό Λασηθίου παρατηρείται η ίδια κατάσταση με αυτή των δυτικών ορίων του νομού με το Ρέθυμνο.

Όσον αφορά το νομό Λασηθίου, χαρακτηρίζεται κυρίως από υψηλή επικινδυνότητα, ενώ σποραδικά εμφανίζονται περιοχές με πολύ υψηλή και πολύ χαμηλή επικινδυνότητα. Στα ανατολικά, υπάρχουν και λίγες περιοχές μέσης επικινδυνότητας, ενώ στο δυτικό μέρος του νομού υπάρχει μια αρκετά μεγάλη περιοχή αυτής της κλάσης. Επίσης, εκτενείς περιοχές με χαμηλή επικινδυνότητα βρίσκονται στη δυτική πλευρά, καθώς και στην περιοχή της Ιεράπετρας.

Τέλος, είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι οι περιοχές που βρίσκονται στην ανατολική Κρήτη και είχαν χαρακτηριστεί από πολύ υψηλό ή υψηλό βαθμό συμμετοχής σε σχέση με τους σταθερούς παράγοντες, τώρα παρατηρούνται ως ενιαία τμήματα πολύ υψηλής επικινδυνότητας για εμφάνιση ξηρασίας. Στην περιοχή του Τσούτσουρα, η οποία είχε βαθμούς συμμετοχής όλων των κλάσεων, σε σχέση με τους σταθερούς παράγοντες, μετά την τελική επικάλυψη, ο αντίστοιχος βαθμός συμμετοχής έχει ενταθεί και η περιοχή εμφανίζει πολύ υψηλή επικινδυνότητα.

### 7.3.2 – Περίοδος 2010-2015



Εικόνα 39:Χάρτης ασαφούς επικάλυψης μεταξύ σταθερών και δυναμικών παραγόντων περιόδου 2010-2015

Αρχικά, στη συγκεκριμένη περίοδο παρατηρείται ότι περιοχές που λόγω των σταθερών παραγόντων χαρακτηρίζονταν από βαθμό συμμετοχής από χαμηλό έως πολύ υψηλό, τώρα εμφανίζουν πολύ υψηλή επικινδυνότητα, ενώ εμφανίζονται και κάποιες επιπλέον περιοχές με πολύ υψηλή επικινδυνότητα, οι οποίες είναι ίδιες με αυτές του υψηλού βαθμού συμμετοχής που εμφανίζονται κατά την ίδια περίοδο και αφορούν τους δυναμικούς παράγοντες (Εικόνα 37 και περιοχή ανατολικού Λασηθίου).

Κατά τη διάρκεια της περιόδου από 2010 έως και το 2015, το μεγαλύτερο τμήμα του νομού Χανίων που πριν είχε είτε μέση, είτε υψηλή επικινδυνότητα, τώρα παρουσιάζει πολύ χαμηλή και χαμηλή επικινδυνότητα. Τμήματα του νομού με μέσο βαθμό συμμετοχής βρίσκονται εντός των ορίων του δρυμού της Σαμαριάς, στην κάτω πλευρά της χερσονήσου του Ροδωπού, στη χερσόνησο Κόρυκος και στα νότια και δυτικά παράλια του νομού. Στις δύο τελευταίες περιοχές υπάρχουν και τμήματα υψηλής επικινδυνότητας. Πολύ υψηλός βαθμός συμμετοχής εμφανίζεται σε δύο πολύ μικρές περιοχές στα δυτικά, στον Κουρνά, καθώς και σε μια ζώνη από τη Σούγια μέχρι και την Αγία Ρουμέλη. Αρκετές είναι και οι περιοχές με υψηλό βαθμό συμμετοχής οι οποίες είναι διάσπαρτες κυρίως στα δυτικά και στα βόρεια του νομού.

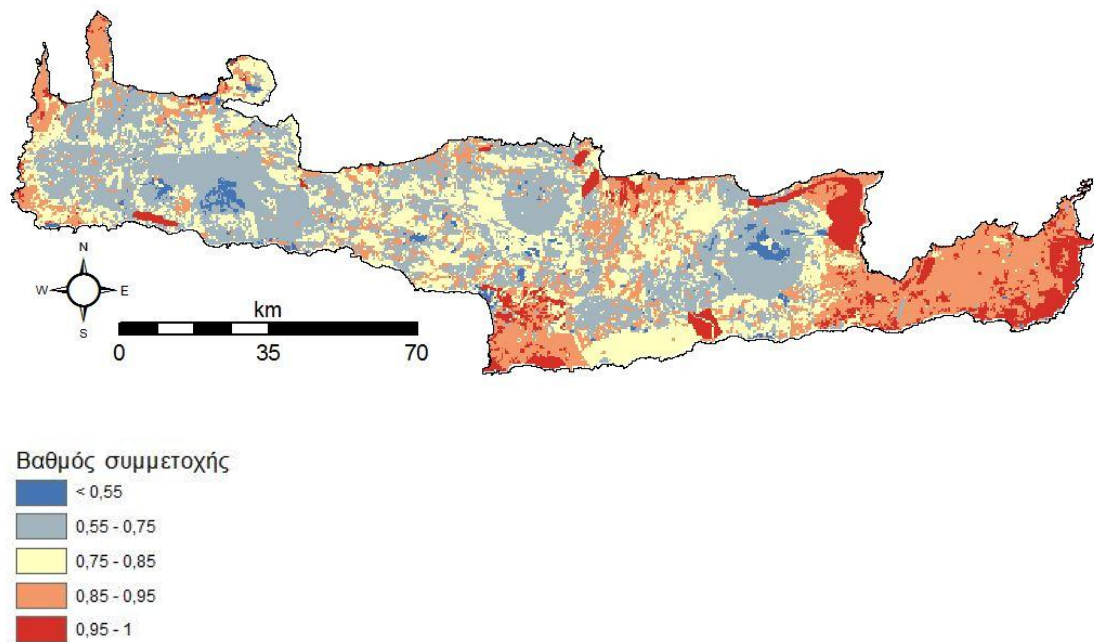
Την ίδια συμπεριφορά παρουσιάζουν και οι νομοί Ρεθύμνης και Ηρακλείου, όπου οι περιοχές που κατά την προηγούμενη περίοδο εμφάνιζαν μέση επικινδυνότητα, τώρα εμφανίζουν πολύ χαμηλή, αυτές που εμφάνιζαν υψηλή, τώρα έχουν αποκτήσει χαμηλή και αυτές που εμφάνιζαν πολύ υψηλή επικινδυνότητα, τώρα χαρακτηρίζονται από υψηλή. Σταθερά στην κλάση της πολύ υψηλής επικινδυνότητας παραμένουν οι περιοχές του Τσούτσουρα, του Γαζίου, του Μαλεβιζίου, κάτι που οφείλεται στην επίδραση των σταθερών παραγόντων, καθώς και της Μεσαράς και του Ξεροποτάμου, ακολουθώντας το ίδιο μοτίβο με τους δυναμικούς παράγοντες της περιόδου αυτής. Επιπλέον, υπάρχει μια περιοχή στα βόρεια και ανατολικά του νομού Ηρακλείου που ενώ πριν ήταν υψηλού βαθμού συμμετοχής, τώρα έχει γίνει μέσου. Τέλος, με μέσο βαθμό συμμετοχής παραμένει και ένα τμήμα στα νοτιοδυτικά της πόλης του Ρεθύμνου.

Στο ανατολικότερο τμήμα του νομού Λασηθίου διατηρείται, σε γενικές γραμμές ο υψηλός βαθμός συμμετοχής. Στο ανατολικό τμήμα κάνει την εμφάνισή της μιας ζώνη πολύ υψηλής επικινδυνότητας, η οποία εκτείνεται από τη Μονή Τοπλού μέχρι και το Μακρύ Γιαλό, καθώς και στην περιοχή της Σητείας υπάρχει ένα τμήμα με μέση επικινδυνότητα. Στα δυτικά του νομού, όπου πριν επικρατούσε μέσος βαθμός συμμετοχής, τώρα η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλό και χαμηλό βαθμό συμμετοχής και μια ζώνη μέσου βαθμού συμμετοχής εμφανίζεται εκεί όπου πριν η περιοχή ήταν υψηλού. Τέλος, βλέπουμε τα τμήματα πολύ υψηλής επικινδυνότητας που υπάρχουν λόγω του υψηλού βαθμού συμμετοχής που εμφανίζουν αυτά εξ αιτίας των σταθερών παραγόντων.

#### **7.4 – Τελικός χάρτης**

Ο τελικός χάρτης (Εικόνα 40) που παρουσιάζεται στη συνέχεια προέκυψε από τον υπολογισμό του μέσου όρου των τιμών του βαθμού συμμετοχής των δύο διαφορετικών περιόδων, με τη βοήθεια του Raster Calculator του ArcToolBox. Δεδομένου ότι για τη δημιουργία των δύο προηγούμενων χαρτών έχουν ληφθεί υπόψη όλοι οι παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνιση του φαινομένου, δε θεωρείται σκόπιμη η χρήση της εντολής Fuzzy Overlay, διότι θα γινόταν επικάλυψη των ίδιων παραγόντων, που στην ουσία έχουν ήδη συνυπολογιστεί και θα αναμενόταν αύξηση των τιμών του βαθμού συμμετοχής, η οποία δεν είναι επιθυμητή. Με τη χρήση του μέσου όρου, αντίθετα, το εύρος των τιμών του βαθμού συμμετοχής κινείται στα ενδιάμεσα επίπεδα των δύο προηγούμενων χαρτών.





**Εικόνα 4040: Τελικός χάρτης επικινδυνότητας**

Από το χάρτη αυτό παρατηρείται ότι η περιοχή του ανατολικού Λασηθίου χαρακτηρίζεται από υψηλή και σε κάποια σημεία από πολύ υψηλή επικινδυνότητα και μάλιστα αποτελεί το εκτενέστερο και σχετικά πιο ομοιογενές τμήμα υψηλής επικινδυνότητας. Τα τμήματα της πολύ υψηλής επικινδυνότητας εμφανίζονται στην περιοχή από τα Μάλια μέχρι και τον Άγιο Νικόλαο, στην περιοχή του Καβουσίου και από το Παλαίικαστρο μέχρι το Μακρύ Γιαλό. Από αυτές, οι δύο πρώτες οφείλουν την ύπαρξή τους στους σταθερούς παράγοντες, καθώς είναι αυτές που εμφανίζουν και τους υψηλότερους βαθμούς συμμετοχής σε σχέση με τους σταθερούς παράγοντες, ενώ η τρίτη την οφείλει τόσο στους σταθερούς όσο και στους δυναμικούς παράγοντες για τον ίδιο λόγο. Στο τμήμα αυτό του νομού Λασηθίου υπάρχουν και πολύ μικρές διάσπαρτες περιοχές με μέση, χαμηλή και πολύ χαμηλή επικινδυνότητα. Στο δυτικό τμήμα του νομού Λασηθίου επικρατεί η κλάση της χαμηλής επικινδυνότητας, η οποία έχει κυκλικό κατά κάποιο τρόπο σχήμα, στο κέντρο του οποίου βρίσκεται μια περιοχή πολύ χαμηλής επικινδυνότητας, ενώ περιμετρικά αυτού, αλλά μόνο από την πλευρά του Λασηθίου εμφανίζεται μια ζώνη μέσης επικινδυνότητας.

Από την άλλη πλευρά της κυκλικής περιοχής, στο νομό Ηρακλείου υπάρχει μια ζώνη χαμηλής επικινδυνότητας, η οποία ξεκινάει από εκεί και κατευθύνεται νοτιοδυτικά

μέχρι και την περιοχή της Μεσαράς. Εκατέρωθεν της ζώνης αυτής, οι περιοχές χαρακτηρίζονται από μέση επικινδυνότητα. Στην περιοχή του Τσούτσουρα μόνο και κατά το μοτίβο που εμφανίζει ο βαθμός συμμετοχής της περιοχής αυτής σε σχέση με τους σταθερούς παράγοντες, η επικινδυνότητα είναι πολύ υψηλή. Στην πάνω περιοχή μέσης επικινδυνότητας εμφανίζονται τμήματα υψηλής επικινδυνότητας, τα οποία πυκνώνουν προχωρώντας προς τις βόρειες ακτές του νομού, ενώ αν προχωρήσουμε προς τα δυτικά και προς την πλευρά του νομού Ρεθύμνης, οι περιοχές εκείνες χαρακτηρίζονται από μέση και χαμηλή επικινδυνότητα, στις οποίες παρεμβάλλονται και μικρές περιοχές πολύ χαμηλής επικινδυνότητας. Η περιοχή της Μεσαράς χαρακτηρίζεται από υψηλή και πολύ υψηλή σε κάποια τμήματα επικινδυνότητα, ενώ πολύ υψηλής επικινδυνότητας για την εμφάνιση ξηρασίας είναι και η περιοχή του Ξηροποτάμου, καθώς και του Γαζίου και του Μαλεβιζίου, που είχαν ήδη εντοπιστεί από την ανάλυση των σταθερών παραγόντων.

Ο νομός Ρεθύμνης χαρακτηρίζεται από πολλές, εναλλασσόμενα μεταξύ τους τμήματα μέσης και χαμηλής επικινδυνότητας, ενώ υπάρχουν λιγότερα που παρουσιάζουν υψηλή επικινδυνότητα, καθώς και διάσπαρτα τμήματα πολύ χαμηλής επικινδυνότητας. Ακόμη, εντοπίζεται μια περιοχή που κατατάσσεται ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας και οφείλεται στον υψηλό βαθμό συμμετοχής που έχει λόγω των σταθερών παραγόντων.

Δύο ίδιες περιοχές, πολύ υψηλής επικινδυνότητας λόγω υψηλού βαθμού συμμετοχής των σταθερών παραγόντων εμφανίζονται και στα Χανιά, μία στην περιοχή του Κουρνά και μία στην περιοχή από τη Σούγια μέχρι την Αγία Ρουμέλη. Ο υπόλοιπος νομός Χανίων χαρακτηρίζεται στη μεγαλύτερή του έκταση από χαμηλή επικινδυνότητα, ενώ αρκετά σημαντικές, αλλά μικρότερες σε έκταση είναι και οι περιοχές μέσης επικινδυνότητας, οι οποίες εμφανίζονται περιμετρικά της περιοχής χαμηλής επικινδυνότητας. Στο εσωτερικό των περιοχών με χαμηλή επικινδυνότητα εμφανίζονται και δύο περιοχές πολύ χαμηλής επικινδυνότητας, μία βόρεια της περιοχής των Σφακίων και μία στα βόρεια της περιοχής της Σούγιας. Ακόμη, υψηλός βαθμός συμμετοχής και επομένως και υψηλή επικινδυνότητα παρουσιάζεται στις χερσονήσους Κόρυκος και Ροδωπού, σε σημεία στο Ακρωτήριο καθώς και στα νότια των δυτικών ακτών και στα δυτικά των νότιων ακτών του νομού. Τέλος, πολύ υψηλή

επικινδυνότητα, εκτός από τις περιοχές που έχουν ήδη αναφερθεί, παρουσιάζουν και μικρής έκτασης διάσπαρτες περιοχές που εντοπίζονται στις παραπάνω περιοχές υψηλής επικινδυνότητας.

## **Κεφάλαιο 8 – Συμπεράσματα**

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, αλλά και από όλη την εξέλιξη της εκπόνησης της παρούσας εργασίας μπορούν να προκύψουν γενικά συμπεράσματα αναφορικά τόσο με τη συμπεριφορά της επικινδυνότητας εμφάνισης ξηρασίας στο νησί της Κρήτης, όσο και με τη φύση των δεδομένων και των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίησή της.

Αντιπαραβάλλοντας τον τελικό χάρτη με έναν απλό γεωγραφικό χάρτη της Κρήτης, διαπιστώνεται ότι οι περιοχές με πολύ χαμηλή επικινδυνότητα βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο και όπου υπάρχουν μεγάλοι ορεινοί όγκοι, όπως για παράδειγμα τα Λευκά Όρη, ο Ψηλορείτης και η Δίκτυ. Ταυτόχρονα παρατηρείται ότι οι περιοχές αυτές είναι εκείνες που έχουν και το χαμηλότερο φυτικό συντελεστή. Αντίθετα, σε περιοχές χαμηλότερου υψομέτρου η επικινδυνότητα είναι υψηλή, ενώ στις μεταβατικές ζώνες, από την πολύ χαμηλή στην υψηλή επικινδυνότητα και από τα μεγαλύτερα προς τα χαμηλότερα υψόμετρα, οι περιοχές χαρακτηρίζονται από χαμηλή και μέση επικινδυνότητα, η διαβάθμιση των κλάσεων, όμως, των περιοχών δεν είναι γραμμική σε σχέση με το υψόμετρο.

Οι περιοχές όπου εμφανίζεται πολύ υψηλή επικινδυνότητα είναι αυτές που παρουσιάζουν βαθμό συμμετοχής από χαμηλό έως και πολύ υψηλό κατά την ανάλυσή τους στην ομάδα των σταθερών παραγόντων ή κάποιες από αυτές που παρουσιάζουν πολύ υψηλό βαθμό συμμετοχής κατά την ανάλυσή τους στην ομάδα των δυναμικών παραγόντων. Πολλές από τις περιοχές της δεύτερης ομάδας είναι εκείνες που έχουν και το μεγαλύτερο φυτικό συντελεστή. Ακόμη, παρατηρείται ότι υπάρχει και για τις περιοχές των υπόλοιπων κλάσεων επικινδυνότητας μια αναλογική συσχέτιση μεταξύ της τιμής του φυτικού συντελεστή και της επικινδυνότητας που εμφανίζουν για την ξηρασία, δηλ. χαμηλός φυτικός συντελεστής σημαίνει και χαμηλή επικινδυνότητα και μέσος φυτικός συντελεστής σημαίνει και μέση επικινδυνότητα

κ.ο.κ.. Υπάρχουν όμως και δύο περιοχές που ενώ εμφανίζουν μια μεσαία τιμή φυτικού συντελεστή, κατηγοριοποιούνται ως χαμηλής επικινδυνότητας και μάλιστα το μοτίβο που παρουσιάζουν είναι ίδιο με αυτό της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας και των βροχοπτώσεων. Έτσι, γίνεται κατανοητή η συνεισφορά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων καθώς και της βασικής εξατμισοδιαπνοής και κατ' επέκταση, η ευαισθησία του φαινομένου στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Η σημασία των βροχοπτώσεων γίνεται καλύτερα κατανοητή από το γεγονός ότι η ανατολική Κρήτη, όπου οι βροχοπτώσεις είναι πολύ λιγότερες σε σχέση με τη δυτική εμφανίζει και τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα.

Ακόμη, κατά την πρώτη περίοδο, οι περιοχές με χαμηλή επικινδυνότητα είναι πολύ περιορισμένες, σχεδόν ανύπαρκτες, σε σχέση με τη δεύτερη περίοδο. Αυτό οφείλεται κυρίως στη συμπεριφορά των δυναμικών παραγόντων, καθώς παρατηρείται το ίδιο μοτίβο μεταξύ των χαρτών επικάλυψης των δυναμικών παραγόντων και των τελικών χαρτών για τις ίδιες περιόδους. Εξετάζοντας βαθύτερα, αυτό μπορεί να οφείλεται στη διεύρυνση του εύρους τιμών της βροχόπτωσης και της εξατμισοδιαπνοής που παρατηρούνται κατά τη δεύτερη περίοδο σε σχέση με την πρώτη ή στη χωρική κατανομή και το πλήθος των μετεωρολογικών σταθμών, των οποίων τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν. Κατά την πρώτη περίοδο, οι μετεωρολογικοί σταθμοί που υπήρχαν στην Κρήτη ήταν μόνο 15, ενώ κατά την πιο πρόσφατη περίοδο υπήρχαν 33, ο οποίοι μάλιστα είναι καλύτερα κατανεμημένοι χωρικά, αφού αρκετοί από αυτούς βρίσκονται και στην ενδοχώρα του νησιού, όπου κατά την προηγούμενη περίοδο δεν υπήρχαν. Επομένως, στην πρώτη περίοδο, οι μετεωρολογικοί σταθμοί ήταν σε τέτοιες θέσεις που δεν επιτρέπουν ικανοποιητική ακρίβεια για τις ενδιάμεσες περιοχές.

Επιπλέον, ο ακόμη και χαμηλής κλάσης βαθμός συμμετοχής των περιοχών που παρουσιάζουν οι σταθεροί παράγοντες αυξάνεται και εντείνεται από την επίδραση των δυναμικών παραγόντων, η οποία δείχνει να εξαλείφει τις διαβαθμίσεις μεταξύ των διαφορετικών κλάσεων τους και έτσι γίνεται αντιληπτό ότι οι σταθεροί παράγοντες δεν είναι σε θέση να μετριάσουν την επικινδυνότητα εμφάνισης του φαινομένου.

Πέραν όμως των παραπάνω συμπερασμάτων, τα οποία αφορούν κυρίως στη συμπεριφορά του φαινομένου, προκύπτουν και άλλα τα οποία αφορούν συγκεκριμένες περιοχές, ώστε να είναι δυνατή η λήψη προληπτικών μέτρων από τους αρμόδιους φορείς. Ιδιαίτερης προσοχής χρήζουν οι περιοχές του ανατολικού Λασηθίου, της Μεσαράς, του Τσούτσουρα, του βόρειου Ηρακλείου και στα νότια των Χανίων στην περιοχή της Σούγιας. Στις περιοχές αυτές υπάρχει έντονη ενασχόληση τόσο στον τουριστικό τομέα όσο και με την καλλιέργεια γης, δραστηριότητες οι οποίες και οι δύο προϋποθέτουν αυξημένη κατανάλωση νερού. Έτσι, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι βρίσκονται στις κατηγορίες της πολύ υψηλής και της υψηλής επικινδυνότητας καθίσταται αναγκαία η ανάπτυξη σχεδίων για τη διαχείριση του φαινομένου της ξηρασίας, αλλά και για αυτή των διαθέσιμων υδατικών πόρων. Στις υπόλοιπες περιοχές του νησιού, επειδή χαρακτηρίζονται από χαμηλότερους βαθμούς επικινδυνότητας, η ανάπτυξη αντίστοιχων σχεδίων θα ήταν καλό να αποφασιστεί σε σχέση με τις δραστηριότητες και τις χρήσεις γης που λαμβάνουν χώρα σε αυτές.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Διεθνής Βιβλιογραφία**

Mishra A., Vijay P. Singh V., 2010, A review of drought concepts, Journal of Hydrology, 391 (2010) 202-216.

Belal A., El – Ramady H., Elsayed M., Saleh A., 2012, Drought risk assessment using remote sensing and GIS techniques, Saudi Society for Geosciences 2012.

Reeshmidevi T. V., Eldho T.I., Jana R., 2009, A GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds, Agricultural Systems, 101 (2009) 101-109

Blauhut V., Gudmundsson L., Stahl K., 2015, Towards pan-European drought risk maps: quantifying the link between drought indices and reported drought impacts, Environmental Research Letters, IOP Science.

Zadeh L.A. , 1965, Fuzzy Sets, Information and Control 8, 338-353 (1965).

FAO irrigation and Drainage Paper, No 56, Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)

Kourgialas N. & Karatzas G., 2015, Groundwater contamination risk assessment in Crete, Greece, using numerical tools within a GIS framework, Hydrological Sciences Journal, 60:1, 111-132, DOI:10.1080/02626667.2014.885653

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Γ. Τσακίρης, Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία και Εισαγωγή στη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2013.

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

Ευάγγελος Α. Μπαλτάς, Εφαρμοσμένη Μετεωρολογία, Εκδόσεις Ζήτη, 2<sup>η</sup> αναθεωρημένη έκδοση, Οκτώβριος 2013, Θεσσαλονίκη.

Γιάννης Α. Θεοδώρου, Εισαγωγή στην ασαφή λογική (Fuzzy Logic) – βασικές αρχές της ασαφούς λογικής με εφαρμογές στην τεχνολογία, εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2010.

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

Ανδρέας Αντωνάκος, Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) για επίλυση προβλημάτων περιβαλλοντικής υδρογεωλογίας στο νομό Κορινθίας, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2012.

Γεώργιος Π. Καρατζάς, Ροή Υπογείων Υδάτων και Μεταφορά Ρύπων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2004.

Γεώργιος Π. Καρατζάς, Ροή Υπογείων Υδάτων και Μεταφορά Ρύπων, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις 2: Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008.

Δ. Κουτσογιάννης και Θ. Ξανθόπουλος, Τεχνική Υδρολογία, Ε.Μ.Π., 2016

### **Διαδικτυακές Πηγές**

[https://en.wikipedia.org/wiki/Blaney%E2%80%93Criddle\\_equation](https://en.wikipedia.org/wiki/Blaney%E2%80%93Criddle_equation)

<http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e07.htm>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Groundwater>

<http://www-markinfo.slu.se/eng/soildes/jorddjup.html>

<http://www-markinfo.slu.se/eng/soildes/ldjup/skldjup1.html>

<http://www.recare-hub.eu/glossary/92-soil-depth>

<http://articles.extension.org/pages/38044/is-soil-depth-an-important-consideration-affecting-irrigation>

[http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/fisikes\\_idiotites\\_edafous.pdf](http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/fisikes_idiotites_edafous.pdf)

[http://kpe-kastor.kas.sch.gr/the\\_lake/lexiko/epifaniaki\\_aporoi.htm](http://kpe-kastor.kas.sch.gr/the_lake/lexiko/epifaniaki_aporoi.htm)

<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/dasos/lexiko/epifaneiaki.htm>

<http://www.minagric.gr/index.php/el/for-farmer-2/eggeiesbeltioseis>

<https://el.wikipedia.org/wiki/Αρδευση>

[http://www.lib.teiher.gr/webnotes/steg/Geniki\\_Georgia/lecture4/lecture4.htm](http://www.lib.teiher.gr/webnotes/steg/Geniki_Georgia/lecture4/lecture4.htm)

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%AE>

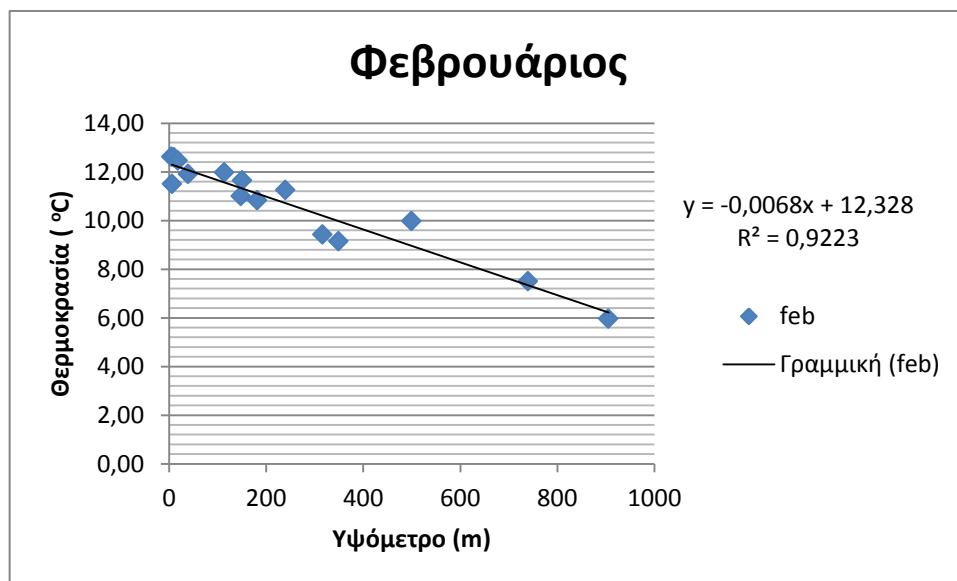
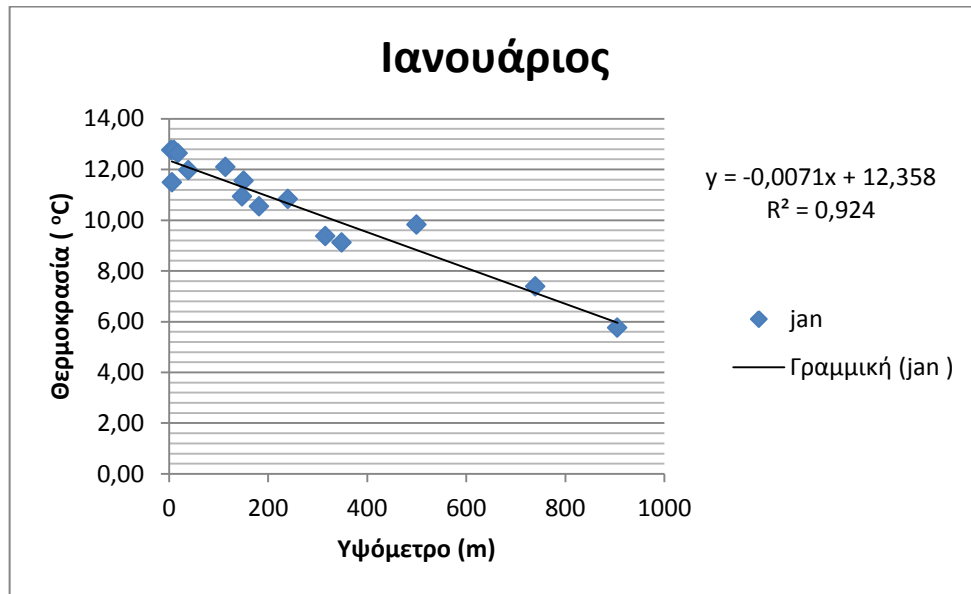
### **Άλλες Πηγές**

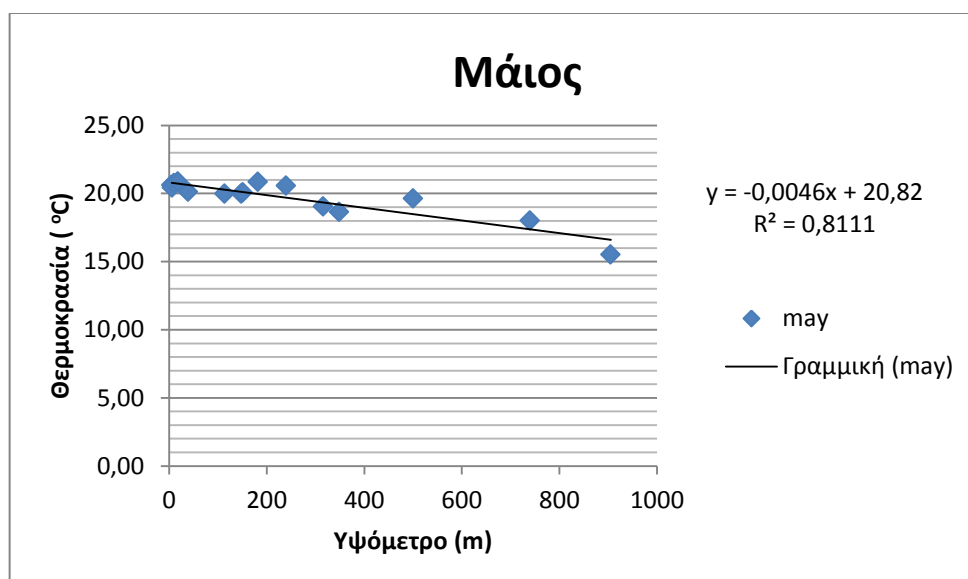
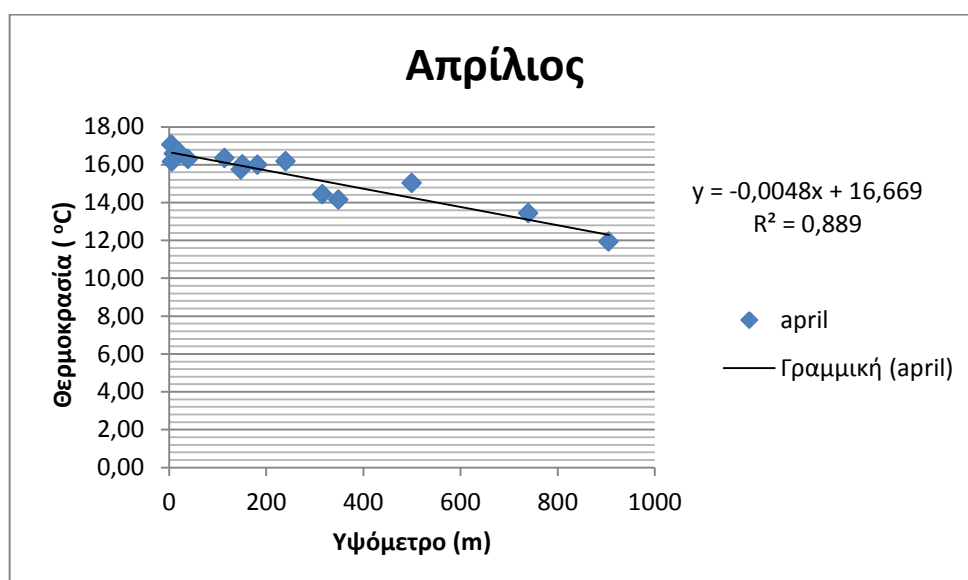
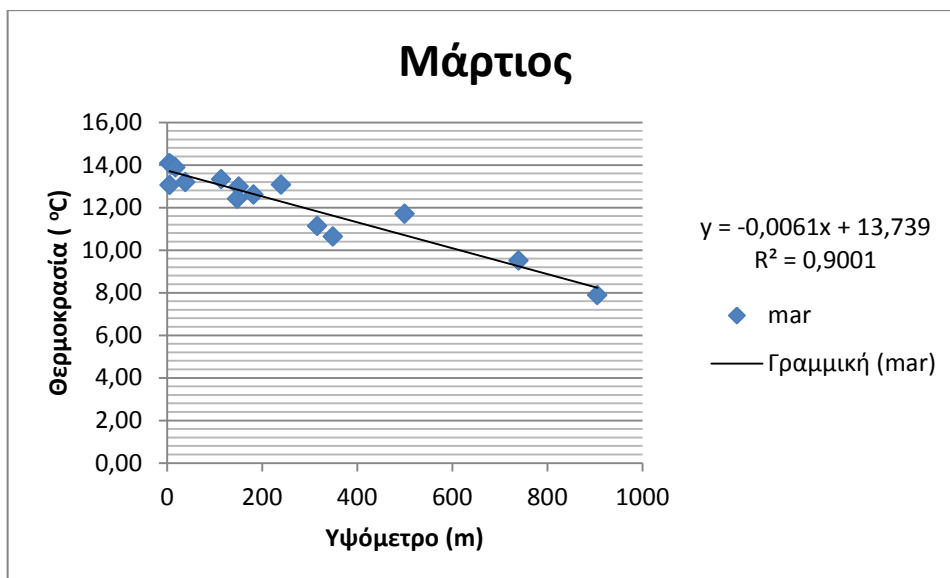
ArcGIS Desktop Help

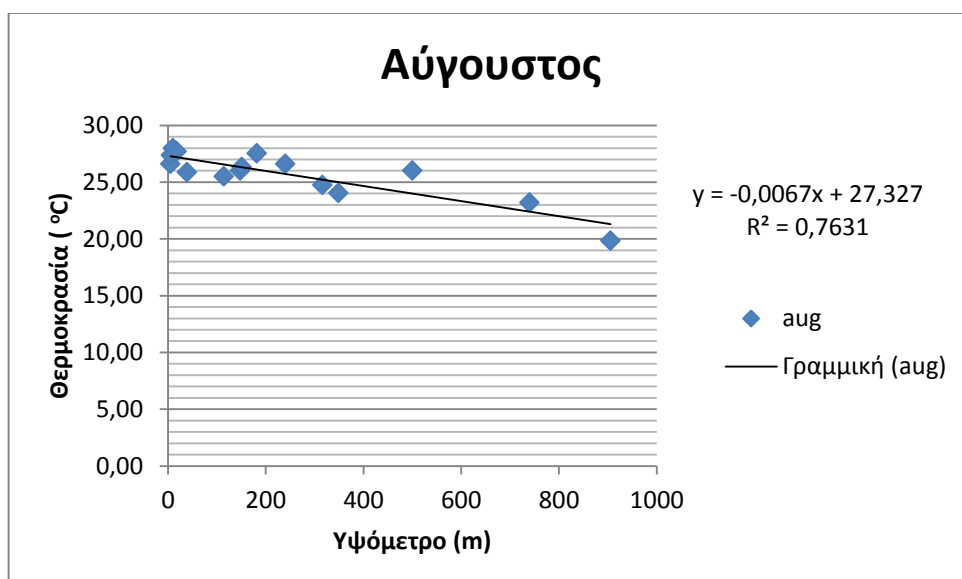
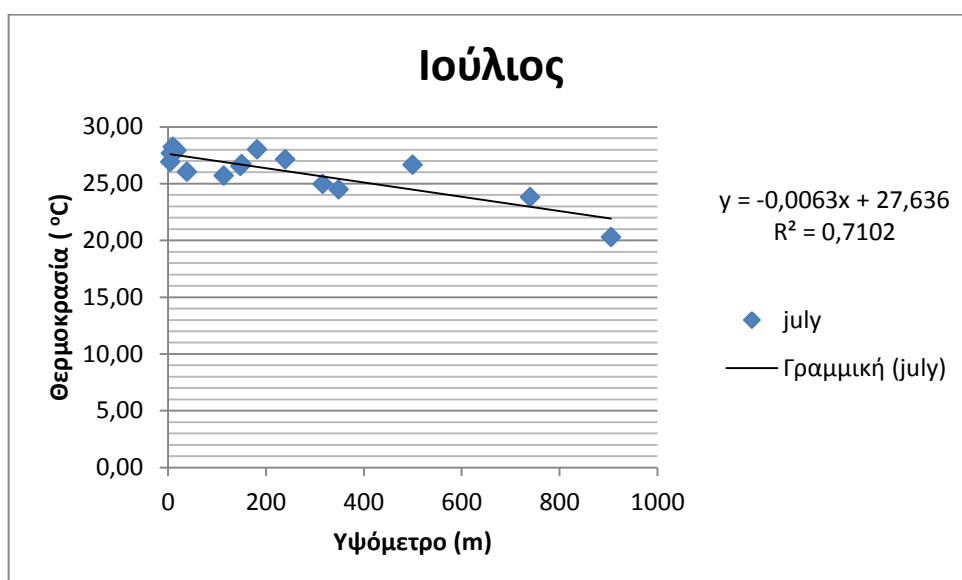
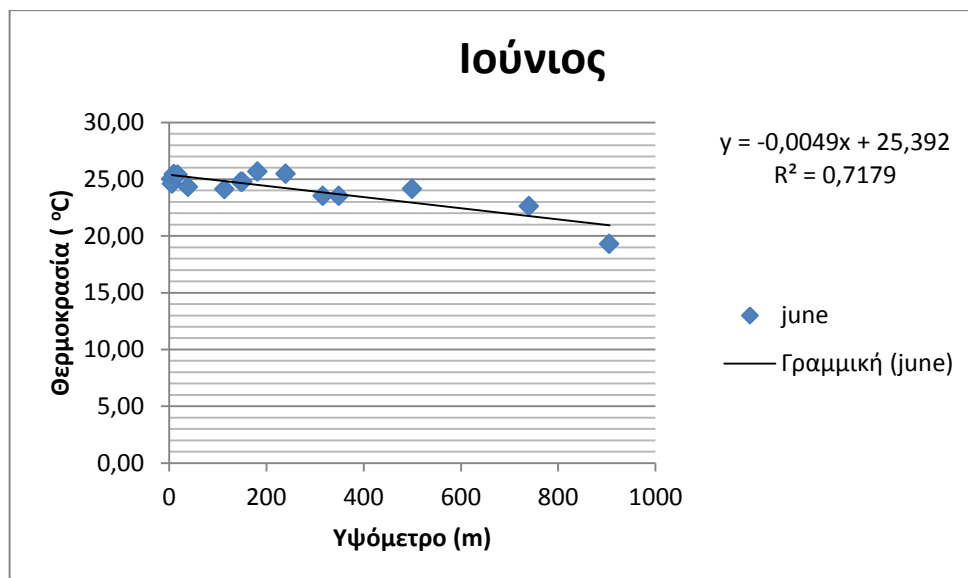


## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

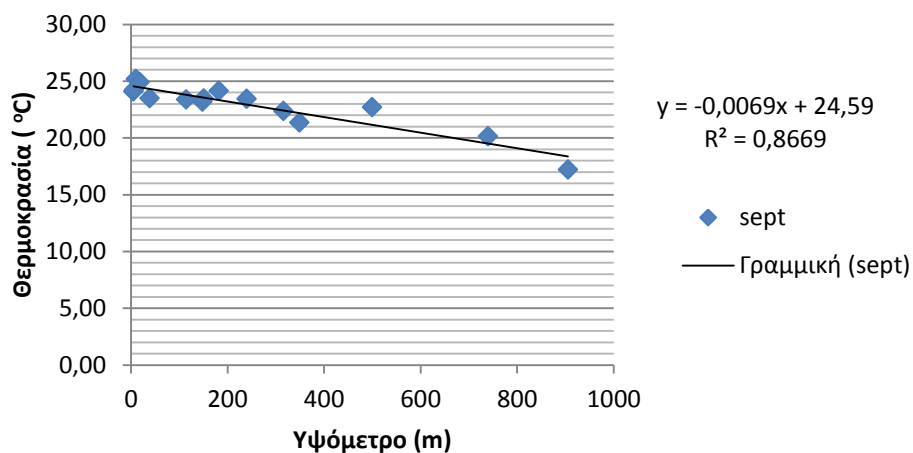
### Παράτημα Ι: διαγράμματα θερμοβαθμίδων περιόδου 1977- 1997



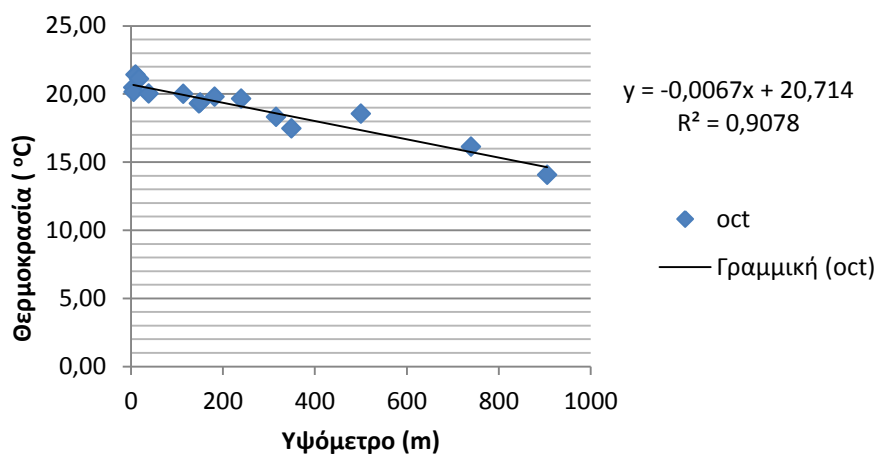




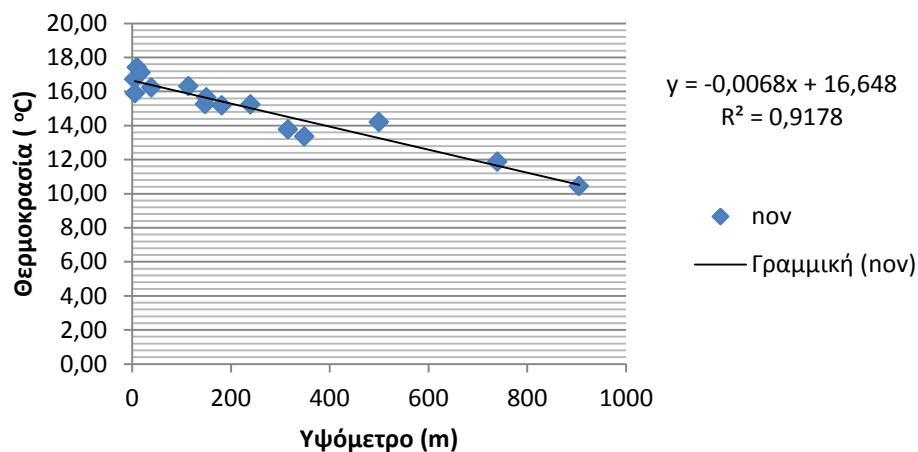
## Σεπτέμβριος

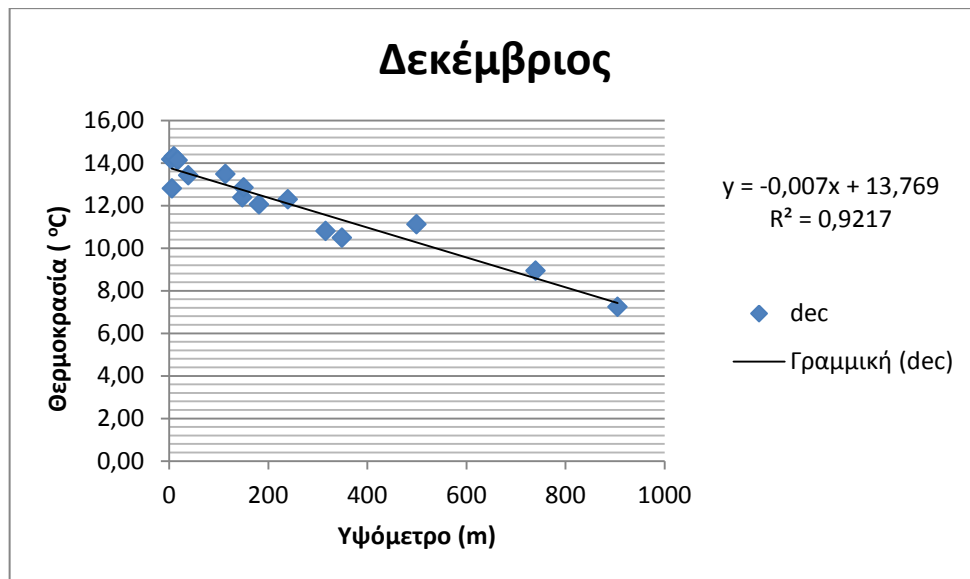


## Οκτώβριος



## Νοέμβριος





## Παράρτημα II: διαγράμματα θερμοβαθμίδων περιόδου 2010 -2015

