



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ-ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ:
ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΙ
ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ.

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Γ.Ν.ΦΩΤΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού μου προγράμματος σπουδών Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων το χρονικό διάστημα από το Φεβρουάριο του 2016 έως το Σεπτέμβριο του 2016.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου, Αναπληρωτή Καθηγητή Γεώργιο Φώτη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την δυνατότητα που μου έδωσε να εκπονήσω την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, αλλά και την βοήθεια που μου πρόσφερε καθ' όλη την διάρκεια αυτής. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την επίβλεψη και την καθοδήγηση σε όλα τα στάδια της εργασίας. Επιπλέον, ευχαριστώ την κυρία Πηγάκη Μαρία, Ε.ΔΙ.Π του Ε.Μ.Π, για την παροχή δεδομένων απαραίτητα για την εργασία αυτή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου αλλά και τον αδελφό μου που με στηρίζουν στις προσπάθειές μου καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, ευχαριστώ τις φίλες μου για την εμπύχωσή τους αλλά και τον Κωνσταντίνο για την υποστήριξή του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Μαρία Παπαδοπούλου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία επιχειρείται η διερεύνηση της χωροχρονικής κατανομής της βροχόπτωσης στην Κρήτη, με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS. Η μελέτη βασίστηκε σε δεδομένα μετρήσεων που πάρθηκαν από βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής και τα οποία αφορούσαν τη χρονική περίοδο 1978-2008. Η χαρτογραφική παρουσίαση έγινε με ψηφιακή διαδικασία, μέσω της τεχνικής Kernel.

Διερευνάται η ύπαρξη χωρικής αυτοσυσχέτισης των βροχομετρικών δεδομένων καθώς και δύο ακόμα μεταβλητών, της δυναμικότητας και χρονικότητας των βροχομετρικών σταθμών. Η εξέταση πραγματοποιείται τόσο με τον ολικό όσο και με τον τοπικό δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I, ενώ στη συνέχεια δημιουργούνται ομάδες βροχομετρικών σταθμών οι οποίες παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά ως προς τις τρεις μεταβλητές.

Γίνεται εισαγωγή σε πλημμυρικά γεγονότα που έχουν καταγραφεί στην Κρήτη την χρονική περίοδο 2000-2008 και εξετάζονται οι παράμετροι που πιθανόν να σχετίζονται με την δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων, οι οποίοι πέρα της βροχόπτωσης μπορεί να είναι: το υψόμετρο, οι χρήσεις γης, το υδρογραφικό δίκτυο κ.α.

Τέλος, γίνεται ανάλυση συσχέτισης με τον συντελεστή Pearson r για να διερευνηθεί ποιές παράμετροι επηρεάζουν περισσότερο την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων στην Κρήτη αλλά και ανάλυση παλινδρόμησης ώστε να δημιουργηθεί ένα μοντέλο παλινδρόμησης για το πλήθος των πλημμυρικών γεγονότων.

ABSTRACT

The present thesis attempts to investigate the spatial and temporal distribution of rainfall in Crete, using the ArcGIS software. The study based on data measurements taken from rain gauges stations which are located in Crete, during the period 1978-2008. The cartographic visualization is created by Kernel density tool of GIS.

The spatial autocorrelation of rainfall and two more variables, capacity and temporality of rainfall stations, is investigated using the global and local Moran's I index. The grouping analysis tool of ArcGIS is used in order to create groups of rainfall stations with similar characteristics in terms of the three variables.

The thesis investigates flood events occurred in Crete during the period 2000-2008, while examines potential factors which may be responsible for the floods. These factors can be: the altitude, land use, rivers etc.

The tool that is used in this study in order to measure the strength of the relationship between flood events and the other variables, is Pearson's correlation coefficient. Finally, a regression model is constructed for the amount of floods occurred in Crete.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
Αντικείμενο-Στόχος Διπλωματικής εργασίας.....	7
Διάρθρωση εργασίας	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	9
1.1 Γενικά για τα κατακρημνίσματα.....	9
1.1.2 Σχηματισμός ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων	9
1.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	11
Κεφάλαιο 2	14
Υδατικό διαμέρισμα Κρήτης - Περιγραφή περιοχής μελέτης.....	14
2.1 Γεωγραφικά στοιχεία	14
2.2 Γεωμορφολογία νησιού	15
2.3 Το κλίμα.....	16
2.4 Το υδρογραφικό δίκτυο	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	19
3.1 Γεωγραφικά συστήματα Πληροφοριών.....	19
3.2 Εφαρμογές των Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	22
Χωροχρονική Κατανομή της βροχόπτωσης	22
4.1 Γενικά στοιχεία για την κατανομή της βροχόπτωσης στην Κρήτη.....	22
4.2 Μελέτη της χωροχρονικής κατανομής της βροχόπτωσης στην Κρήτη	23
4.3 Μέθοδος Kernel στη χαρτογραφική αποτύπωση και εκτίμηση της χωροχρονικής κατανομής της βροχόπτωσης.....	26
4.4 Εκτίμηση της μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης.....	28
4.5 Εκτίμηση της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης	36
4.6 Μέση μηνιαία βροχόπτωση ανά νομό.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	58
5.1 Χωρική αυτοσυσχέτιση	58
5.2 Συντελεστής χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran	59
5.3 Μελέτη χωρικής αυτοσυσχέτισης.....	59
5.4 Αξιολόγηση στατιστικής σημαντικότητας του δείκτη Moran's I.....	68
5.5 Αποτελέσματα χωρικής αυτοσυσχέτισης	69
5.6 Τοπικός δείκτης Moran's I.....	74
5.6.1 Local Moran αναλυτικά για κάθε μεταβλητή.....	75

5.7 Ομαδοποίηση Βροχομετρικών Σταθμών	80
5.7.1 Χωρικές ομάδες.....	81
5.7.2 Χωρικές γειτονικές ομάδες	87
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	93
6.1 Γενικά για τις πλημμύρες	93
6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση πλημμυρικών γεγονότων	93
6.3 Πλημμυρικά γεγονότα στην Κρήτη	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	99
Ανάλυση συσχέτισης και ανάλυση παλινδρόμησης.....	99
7.1 Συντελεστής συσχέτισης Pearson	99
7.1.1 Η έννοια της συνδιακύμανσης	99
7.1.2 Υπολογισμός συντελεστή συσχέτισης Pearson.....	100
7.2 Συντελεστής συσχέτισης Pearson στα δεδομένα των πλημμυρών	102
7.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ.....	105
7.3.1 Η εξίσωση της απλής παλινδρόμησης	105
7.3.2 Η εξίσωση της πολλαπλής παλινδρόμησης	107
7.4 Αξιολόγηση του μοντέλου της παλινδρόμησης.....	108
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	113
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	117

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο-Στόχος Διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της χωρικής και χρονικής κατανομής της βροχόπτωσης στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης, όπου για αρκετά χρόνια λειτουργεί ένα δίκτυο βροχομετρικών σταθμών, το οποίο παρέχει μηνιαία δεδομένα ύψους βροχής. Για την καλύτερη κατανόηση της χωροχρονικής εξέλιξης των βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκε το Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας ArcGIS.

Επιπλέον γίνεται συσχέτιση πλημμυρικών γεγονότων που έχουν καταγραφεί στην Κρήτη, με τα δεδομένα των βροχοπτώσεων καθώς και άλλων παραγόντων που πιθανόν να επηρεάζουν την δημιουργία πλημμυρών. Τέλος, επιχειρείται η δημιουργία ενός μοντέλου παλινδρόμησης για το πλήθος των πλημμυρών με ανεξάρτητους συντελεστές τους πιθανούς παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων.

Διάρθρωση εργασίας

Η διάρθρωση της μεταπτυχιακής εργασίας περιγράφεται περιληπτικά ως ακολούθως:

Στο κεφάλαιο 1 δίνονται εισαγωγικές πληροφορίες σχετικά με το φαινόμενο των κατακρημνισμάτων και συγκεκριμένα στον τρόπο που σχηματίζονται αλλά και στους παράγοντες που συντελούν στην δημιουργία τους. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο φαινόμενο της βροχόπτωσης καθώς και στον τρόπο μέτρησής της.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και περιγράφονται εν συντομία τα γεωγραφικά στοιχεία της Κρήτης, η γεωμορφολογία του νησιού, το κλίμα και το υδρογραφικό δίκτυο.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται συνοπτική περιγραφή των Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας καθώς και των εφαρμογών που έχουν.

Στο κεφάλαιο 4 μελετάται η χωροχρονική κατανομή της βροχόπτωσης για την περιφέρεια της Κρήτης και παρατίθενται θεματικοί χάρτες που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου Kernel density του συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας ArcGIS. Η μελέτη αφορά τόσο στην διακύμανση του ετήσιου, όσο και του μηνιαίου ύψους βροχής, ενώ παρουσιάζονται και γραφήματα ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητή η διαφορά στα ύψη βροχής.

Στο κεφάλαιο 5 εξετάζεται η πιθανότητα ύπαρξης χωρικής αυτοσυσχέτισης, ώστε να διερευνηθεί αν τα χωρικά πρότυπα των τριών μεταβλητών που εξετάζονται (βροχόπτωση, δυναμικότητα και χρονικότητα βροχομετρικών σταθμών) είναι τυχαία κατανεμημένα στο χώρο ή εμφανίζουν κάποια ομαδοποίηση. Η χωρική συσχέτιση πραγματοποιήθηκε τόσο με τον ολικό, όσο και με τον τοπικό δείκτη Moran's I. Τέλος, δημιουργούνται ομάδες βροχομετρικών σταθμών οι οποίες παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά ως προς τις τρεις μεταβλητές.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται εισαγωγή στο φαινόμενο της πλημμύρας, στους παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση τέτοιων φαινομένων, ενώ γίνεται μια σύντομη ανάλυση σχετικά με τα πλημμυρικά γεγονότα που συνέβησαν στην Κρήτη κατά την χρονική περίοδο 2000-2008.

Στο κεφάλαιο 7 γίνεται ανάλυση συσχέτισης με τον συντελεστή Pearson r για να διερευνηθεί ποιές παράμετροι επηρεάζουν περισσότερο την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων στην Κρήτη, οι οποίοι πέρα της βροχόπτωσης μπορεί να είναι: το υψόμετρο, οι χρήσεις γης, το υδρογραφικό δίκτυο κ.α. Τέλος, πραγματοποιείται ανάλυση παλινδρόμησης ώστε να δημιουργηθεί ένα μοντέλο (μία εξίσωση) για το πλήθος των πλημμυρών με ανεξάρτητους συντελεστές τους πιθανούς παράγοντες που επηρεάζουν περισσότερο την δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Γενικά για τα κατακρημνίσματα

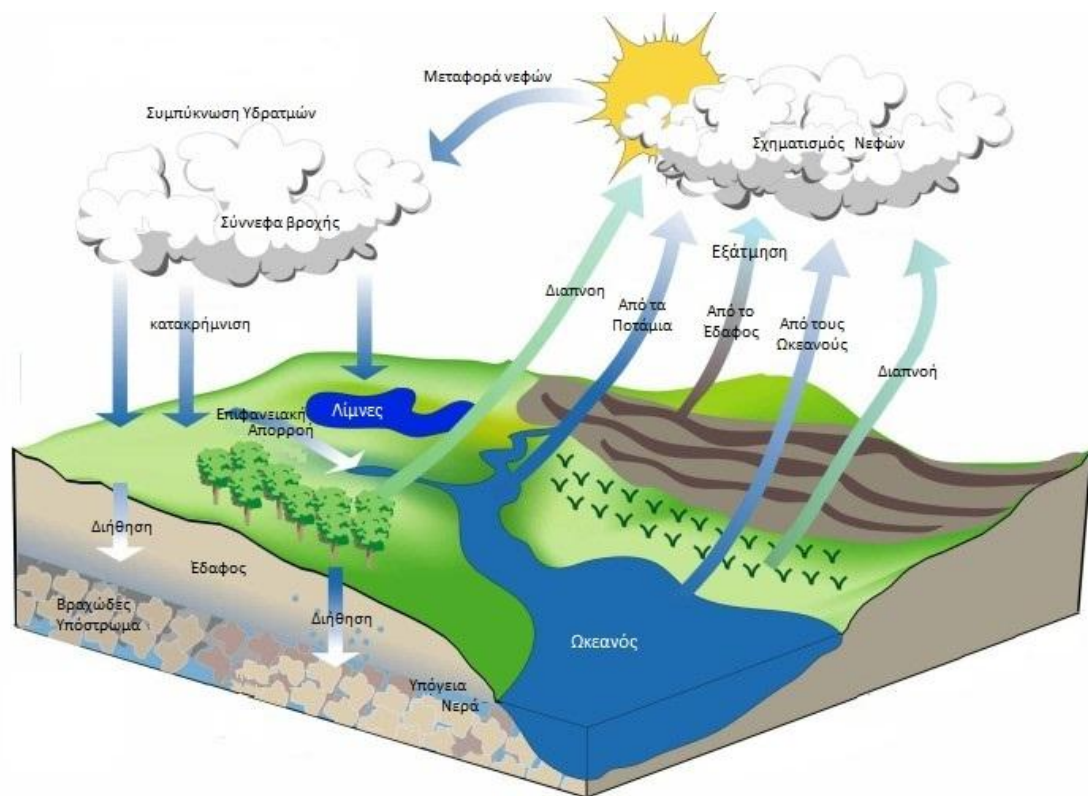
Στον όρο κατακρημνίσματα περιλαμβάνεται κάθε μορφή υγρασίας που πέφτει από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης. Η υγρασία της ατμόσφαιρας προέρχεται κυρίως από την εξάτμιση του νερού από υγρές επιφάνειες και από τη διαπνοή. Μεγάλοι όγκοι νερού και εκτεταμένες εδαφικές ζώνες καλυμμένες με πλούσια βλάστηση αποτελούν άριστες πηγές εμπλουτισμού της ατμόσφαιρας σε υγρασία. Στη χώρα μας τέτοια κύρια πηγή εμπλουτισμού της ατμόσφαιρας σε υγρασία αποτελεί η κεντρική και δυτική λεκάνη της Μεσογείου. Οι πιο σημαντικές βροχές εμφανίζονται όταν οι υγρές αέριες μάζες από την περιοχή αυτή μεταφέρονται με δυτικούς ανέμους κυρίως στη Δυτική Ελλάδα (Παπαζαφειρίου, 1983)

1.1.2 Σχηματισμός ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

Τα κατακρημνίσματα αποτελούν τη βασική συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου. Τροφοδοτούν τους επιφανειακούς αποδέκτες, ανανεώνουν τα αποθέματα της εδαφικής υγρασίας και εμπλουτίζουν τους υπόγειους υδροφορείς. Οι μορφές των κατακρημνισμάτων είναι η βροχή, το χιόνι, το χαλάζι καθώς και παραλλαγές αυτών (χιονόβροχο, δρόσος, πάχνη, ομίχλη). Η μορφή και η ποσότητα των κατακρημνισμάτων (προϊόν των υδρατμών της ατμόσφαιρας) εξαρτάται από κλιματικούς παράγοντες όπως ο άνεμος, η θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική πίεση, ενώ η ατμοσφαιρική υγρασία είναι απαραίτητη αλλά όχι αρκετή για την πρόκληση κατακρήμνισης (Μιμίκου, 1990). Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ο μηχανισμός δημιουργίας των κατακρημνισμάτων (Σχήμα 1.1).

Ορισμός υδρολογικού κύκλου: *Με τον όρο υδρολογικό κύκλο εννοούμε την σταθερή και αδιάκοπη κίνηση του νερού στην ατμόσφαιρα, στην επιφάνεια της γης και στο υπέδαφος.*

Η αρχή του υδρολογικού κύκλου μπορεί θεωρητικά να τοποθετηθεί στην ατμόσφαιρα, στην οποία συγκεντρώνονται οι υδρατμοί από την εξάτμιση που προκαλείται στην ξηρά, από κάποια υδάτινη επιφάνεια (θάλασσα, λίμνη κλπ) καθώς και από την διαπνοή των φυτών δέντρων. Οι υδρατμοί μεταφέρονται με την επίδραση των ανέμων και αφού συμπυκνωθούν σε νέφη επιστρέφουν στην επιφάνεια της γης με την μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.



Σχήμα 1.1: Απεικόνιση του μηχανισμού δημιουργίας των κατακρημνισμάτων

Οι σπουδαιότεροι παράγοντες που παίζουν ρόλο στην δημιουργία των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι (Σ.Λέκκας - Απ.Αλεξόπουλος, 2009):

- Η εποχή του έτους. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αλλάζουν για την ίδια περιοχή, ανάλογα με την εποχή.
- Η μέση θερμοκρασία της περιοχής
- Η υγρασία της περιοχής
- Το υψόμετρο και η μορφολογία της περιοχής. Όσο αυξάνει το υψόμετρο μιας περιοχής, αυξάνει και το μέσο ετήσιο ύψος βροχής

- Το γεωγραφικό πλάτος και η απόσταση μιας περιοχής από τη θάλασσα. Η γειτνίαση μιας περιοχής με τη θάλασσα θα μπορούσε να επιφέρει το εξής αποτέλεσμα: Η θάλασσα έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα και μικρότερη αγωγιμότητα από την ξηρά. Αυτό συνεπάγεται ότι ο αέρας πάνω από την ξηρά ψύχεται ταχύτερα από τον αέρα που υπέρκειται της θάλασσας. Αυτό οδηγεί σύντομα σε ατμοσφαιρική αστάθεια, η οποία οδηγεί σε δημιουργία καταιγισμοφόρων νεφών και άρα καταιγισμοφόρων βροχών (Παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της Αττικής) (Ελένη Κανελλοπούλου, 2007).

1.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Η βροχή μεταβάλλεται γεωγραφικά, χρονικά και εποχιακά. Έχει παρατηρηθεί πως η ποσότητα της βροχής σε μια περιοχή μπορεί να αποκλίνει σημαντικά για πολύ μικρές αποστάσεις, όπως ακόμα και για αποστάσεις μικρότερες των 8 m. Η χωροχρονική μεταβολή της βροχής είναι βασική συνιστώσα για όλες τις μελέτες που σχετίζονται με την αξιοποίηση και την διαχείριση των υδατικών πόρων και τις υδρολογικές μελέτες.

Οι σταγόνες της βροχής έχουν διάμετρο από 0,5 mm έως 7 mm. Ανάλογα με το ύψος της βροχής, αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως:

- *Ελαφρά ή ασθενής* όταν: ύψος βροχής $< 2,5$ mm/hr
- *Μέση ή μέτρια* όταν: $2,5$ mm/hr $\leq$ ύψος βροχής $< 7,5$ mm/hr
- *Έντονη ή ισχυρή* όταν: ύψος βροχής $\geq 7,5$ mm/hr
- *Ψιχάλα* όταν το ύψος βροχής είναι μικρότερο από 1,0 mm/hr, οι σταγόνες της βροχής έχουν διάμετρο μικρότερη από 0,5 mm και η βροχή πέφτει με ομοιόμορφο ρυθμό.

Σήμερα υπάρχει σε χρήση ένας μεγάλος αριθμός τύπων οργάνων που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση του μεγέθους της βροχής. Οι περισσότεροι χρησιμοποιούμενοι τύποι είναι τα *βροχόμετρα* και οι *βροχογράφοι*.

Βροχόμετρα

Τα βροχόμετρα είναι εγκατεστημένα σε κατάλληλες θέσεις και συλλέγουν κυρίως τη βροχόπτωση και βοηθητικά την χιονόπτωση. Για την σωστή τοποθέτηση τους λαμβάνονται υπόψη η μορφολογία, το υψομετρικό εύρος της περιοχής, η διεύθυνση των πνεόντων ανέμων και η ευκολία πρόσβασης στο χώρο του βροχομέτρου για την λήψη της μέτρησης. Είναι όργανα σημειακής μέτρησης της βροχής και δίνουν ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα την ολική σημειακή βροχόπτωση με την ανάγνωση μιας ένδειξης από έναν παρατηρητή.

Βροχογράφοι

Οι βροχογράφοι είναι και αυτοί όργανα σημειακής μέτρησης της βροχής όπου καταγράφουν με απλό ωρολογιακό μηχανισμό τη μεταβολή του ύψους βροχής στο χρόνο, περιγράφοντας με αυτό τον τρόπο τη χρονική κατανομή της σημειακής βροχόπτωσης. Δίνουν παρατηρήσεις για μικρά χρονικά διαστήματα και για το λόγο αυτό είναι κατάλληλοι για την μελέτη της διακύμανσης της έντασης μιας βροχής.



Σχήμα 1.2: Βροχογράφος

*Ύψος βροχής: Η συνολική ποσότητα του νερού που πέφτει με οποιαδήποτε μορφή κατακρημνισμάτων πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα (ώρα, ημέρα, μήνας, χρόνος) εκφράζεται με το ύψος βροχής και μετριέται σε χιλιοστά του μέτρου ανά μονάδα χρόνου.
(Εμμ. Ανδρεαδάκης)*

Κεφάλαιο 2

Υδατικό διαμέρισμα Κρήτης - Περιγραφή περιοχής μελέτης

2.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Η Κρήτη αποτελεί το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το Πέμπτο μεγαλύτερο της Μεσογείου με έκταση 8.303 Km². Το μήκος της φτάνει τα 255 Km, το πλάτος της κυμαίνεται από 12 έως 55 Km και η ακτογραμμή της ξεπερνά τα 1.000 Km. Στα βόρεια βρέχεται από το Κρητικό πέλαγος ενώ στα νότια από το Λυβικό. Το υδατικό διαμέρισμά της αποτελείται από την ομώνυμη μεγαλόνησο και από τα μικρά νησιά που βρίσκονται γύρω από αυτήν, με κυριότερα τη Γαύδο και το Δία. Το γεωγραφικό διαμέρισμα της Κρήτης αποτελείται από τέσσερις νομούς οι οποίοι με σειρά από τα δυτικά προς τα ανατολικά είναι: νομός Χανίων, νομός Ρεθύμνου, νομός Ηρακλείου, νομός Λασιθίου.



Σχήμα 2.1: Χάρτης νήσου Κρήτης (Πηγή: Ντίνος Αυγουστής- palmografos.com)

2.2 Γεωμορφολογία νησιού

Στα δυτικά του νησιού υψώνονται τα Λευκά Όρη ή Μαδάρες, με τουλάχιστον 20 κορυφές των οποίων το ύψος ξεπερνά τα 2.200m, με ψηλότερη κορυφή τις Πάχνες σε υψόμετρο 2.453m. Στα Λευκά Όρη σχηματίζονται τα οροπέδια του Ομαλού και του Ασκύφου, ενώ στο νότιο τμήμα οι ακτές της περιοχής είναι απότομες με απόκρημνες κλίσεις και φαράγγια, οι οποίες συνεχίζονται ανατολικά με ηπιότερα πρόβουνα.

Στο κεντρικό τμήμα του νησιού εκτείνεται το ψηλότερο βουνό της Κρήτης, ο Ψηλορείτης ή Ίδη, με ψηλότερη κορυφή τον Τίμιο Σταυρό (2.456m), μόλις 3m ψηλότερο από τις Πάχνες των Λευκών Όρεων. Βόρεια του Ψηλορείτη σχηματίζεται η κοιλάδα του Μυλοπόταμου, ενώ βορειότερα υψώνεται ο ορεινός όγκος του Κουλούκωνα με υψόμετρο που φτάνει τα 1.083m. Νότια του Ψηλορείτη, κοντά στις ακτές του νησιού, βρίσκονται τα Αστερούσια Όρη με μέγιστο υψόμετρο 1231m. Ανάμεσα στα δύο προαναφερθέντα όρη, σχηματίζονται η κοιλάδα της Μεσσαρά και πιο ανατολικά αυτή του Ηρακλείου.

Βορειότερα από τα Λευκά όρη και τον Ψηλορείτη σχηματίζεται μια επιμήκης πεδιάδα με αρκετές λοφώδεις εξάρσεις στο εσωτερικό της καθώς επίσης και φαράγγια, κυρίως προς την περιοχή του Ρεθύμνου.

Νότια και ανατολικά από την Ίδη βρίσκεται η πεδιάδα της Μεσσαράς, η οποία είναι η μεγαλύτερη του νησιού, ενώ βορειοδυτικά από τη Δίκτη, αναπτύσσεται η πεδιάδα των Ηρακλείου – Μαλλίων με αρκετούς λόφους στο εσωτερικό της.

Πιο ανατολικά, στον Νομό Λασιθίου βρίσκεται το όρος Δίκτη με υψόμετρο 2.148m. Βορειοδυτικά του όρους συναντάμε το Οροπέδιο Λασιθίου το οποίο αποτελεί την μεγαλύτερη επίπεδη έκταση του νησιού, σε υψόμετρο 850m με απότομες κλίσεις προς τα νότια. Τέλος, ακόμη πιο ανατολικά εκτείνονται τα Λασιθιώτικα Όρη ή Όρη της Θρυπτής ή Όρη της Σητείας με υψόμετρο 1.476m.

Γενικότερα, η έκταση που καλύπτουν τα βουνά της Κρήτης ανέρχεται στο 52% της συνολικής της έκτασης, σε αντιδιαστολή με τις πεδινές εκτάσεις, που καλύπτουν μόλις το 3,6% (Chaniotis 1999).

Όσον αφορά τις ακτές της Κρήτης, στα νότια του νησιού είναι κυρίως βραχώδεις και απόκρημνες, ενώ το βόρειο τμήμα της είναι πιο ήπιο.

Λιμναία συστήματα στο νησί δεν υπάρχουν με εξαίρεση τον Νομό Χανίων που περιλαμβάνει την μοναδική φυσική λίμνη του Κουρνά και την πιο μικρή τεχνητή λίμνη της Αγιάς.

Λόγω της ιδιομορφίας του σχήματος της Κρήτης (επίμηκες σχήμα) δεν ευνοείται ο σχηματισμός μεγάλων ποταμών και τα περισσότερα ποτάμια είναι μικρού μήκους.



Σχήμα 2.2: Απεικόνιση της γεωμορφολογίας της Κρήτης

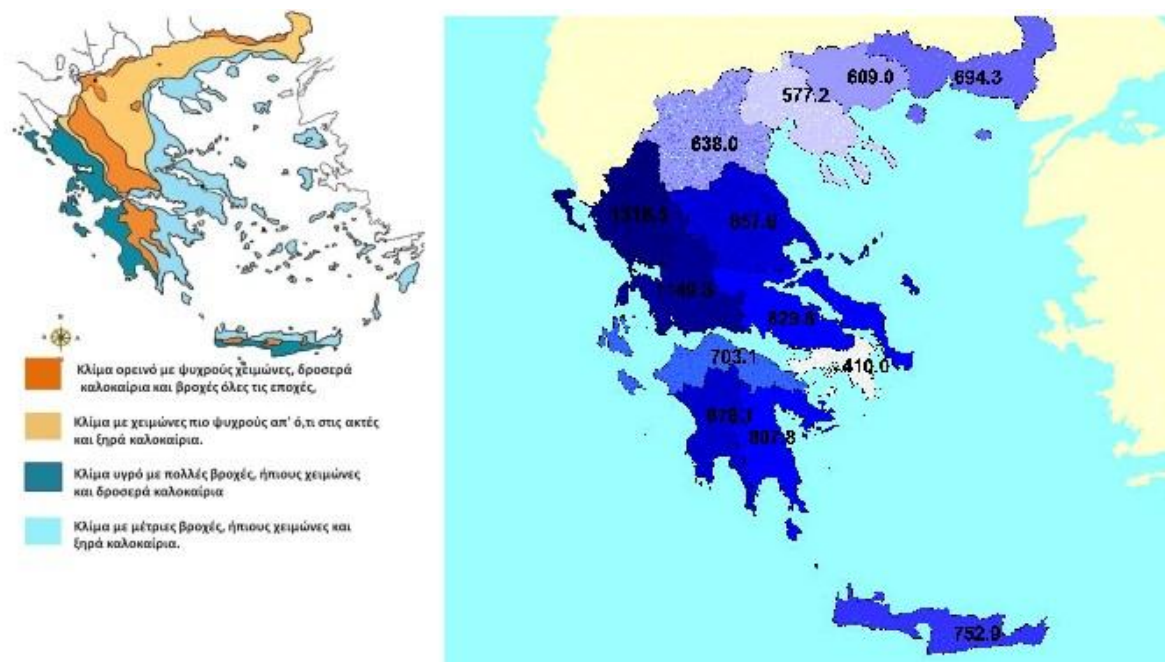
2.3 Το κλίμα

Το κλίμα της Κρήτης χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, αν και η έντονη γεωμορφολογία του νησιού προκαλεί διαφοροποιήσεις στο κλίμα τόσο από βορρά προς νότο, όσο και από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Έτσι, ανατολικά και νότια του νησιού παρατηρούνται υψηλότερες θερμοκρασίες απ' ότι στα βόρεια και δυτικά. Το καλοκαίρι διαρκεί τουλάχιστον 4 μήνες (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος), ενώ πιο ζεστός μήνας θεωρείται ο Ιούλιος. Η χειμερινή περίοδος αρχίζει μέσα Δεκεμβρίου, ενώ ο Φλεβάρης θεωρείται ο πιο ψυχρός μήνας, ο οποίος θερμοκρασιακά διαφέρει ελάχιστα από τον Ιανουάριο. Οι χειμώνες στην Κρήτη θεωρούνται βροχεροί και ήπιοι, ενώ τα καλοκαίρια ζεστά και ξηρά.

Όσον αφορά τη βροχόπτωση, υπάρχει σημαντική ανισοκατανομή του ετήσιου ύψους βροχής τόσο από τα ανατολικά προς τα δυτικά, όσο και μεταξύ ορεινών και πεδινών περιοχών.

Σημαντικός παράγοντας στις διαδικασίες βροχόπτωσης στην Ελλάδα αποτελεί η οροσειρά της Πίνδου που διασχίζει τη χώρα από τα

βορειοδυτικά προς τα νότια και αποτελεί παράγοντα διαφοροποίησης της βροχόπτωσης μεταξύ δυτικής και ανατολικής Κρήτης. Η οροσειρά, λόγω του όγκου της εμποδίζει τους υγρούς δυτικούς ανέμους που έρχονται από τη θάλασσα να περάσουν στα ανατολικά διαμερίσματα της χώρας με αποτέλεσμα σημαντικός αριθμός βροχοπτώσεων να πέφτουν στη Δυτική Ελλάδα με τη μέση ετήσια βροχόπτωση να ξεπερνάει τα 1800 mm. Αντίθετα, στα ανατολικά τμήματα της χώρας οι τιμές είναι αρκετά χαμηλότερες και φθάνουν ακόμη και τα 400 mm.



Σχήμα 2.3: Επίδραση της οροσειράς της Πίνδου στο κλίμα της Ελλάδας. Σχήμα 2.4: Μέση υπερετήσια βροχόπτωση (mm) για την περίοδο 1960-1990 ανά υδατικό διαμέρισμα (Πηγή: ΕΤΥΜΠ)

2.4 Το υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο του νησιού είναι αρκετά πυκνό στο δυτικό τμήμα σε αντίθεση με το ανατολικό τμήμα (Νομός Λασιθίου) που δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένο. Χαρακτηριστικό της Κρήτης είναι το μικρό μήκος των ποταμών της, που οφείλεται στο απότομο ανάγλυφο του νησιού, την εναλλαγή περατών και αδιαπέρατων σχηματισμών καθώς και στο επίμηκες σχήμα του νησιού. Για τους λόγους αυτούς έχει ευνοηθεί ο σχηματισμός χειμάρρων, ενώ λίγα είναι τα ρέματα που διατηρούν τη ροή τους σε όλη τη διάρκεια του έτους, όπως είναι στα Χανιά ο Γεροπόταμος και ο Πλατανιάς αλλά και ο Κουρταλιώτης Ρεθύμνου.

Με την απόφαση 706/16-7-2010 (ΦΕΚ 1383Β/2-9-2010 & ΦΕΚ 1572Β/28-9-2010), της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων «περί καθορισμού των Λεκανών Απορροής Ποταμών της χώρας και ορισμού των αρμόδιων Περιφερειών για τη διαχείριση και προστασία τους» επικυρώθηκαν για το υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης, τρεις λεκάνες απορροής οι οποίες περιλαμβάνουν: Ρέματα Βορείου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR39), Ρέματα Νοτίου Τμήματος Χανίων - Ρεθύμνου - Ηρακλείου (GR40), Ρέματα Ανατολικής Κρήτης (GR41).

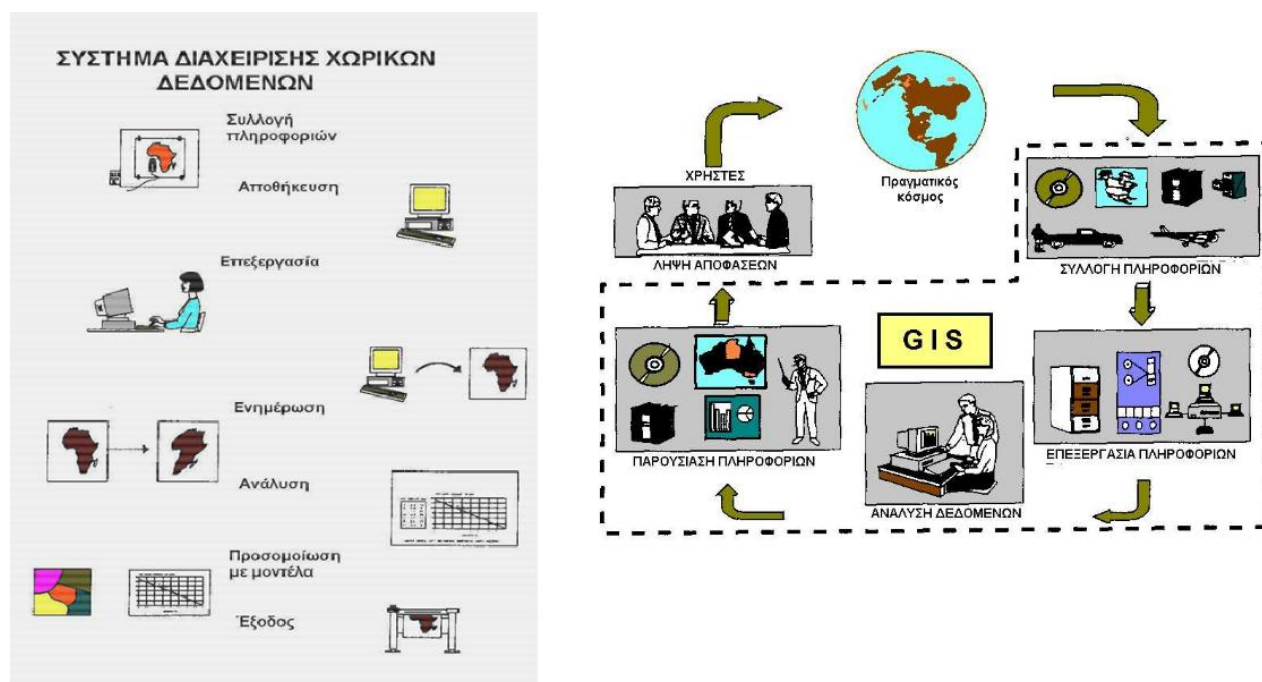


Εικ.2.5: Απεικόνιση των τριών λεκανών απορροής του υδατικού διαμερίσματος της Κρήτης (Πηγή: ΥΠΕΚΑ)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Γεωγραφικά συστήματα Πληροφοριών

Τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών είναι πληροφοριακά συστήματα τα οποία συγκεντρώνουν, αποθηκεύουν, ενημερώνουν, επεξεργάζονται, αναλύουν και παρουσιάζουν όλους τους τύπους γεωγραφικών πληροφοριών. Συγκεντρώνουν και συνδυάζουν πλήθος απαραίτητων πληροφοριών προκειμένου να αναγνωρίσουν και να επισημάνουν την ύπαρξη και τη θέση ενός προβλήματος, είτε για να ανιχνεύσουν και να αναλύσουν τις διάφορες εναλλακτικές λύσεις ώστε να βοηθήσουν στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων.



Σχήμα 3.1: Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Ιωάννης Κ. Καπαγερίδης, 2006

Η Ανάλυση Χώρου στοχεύει (Haining, 1994) :

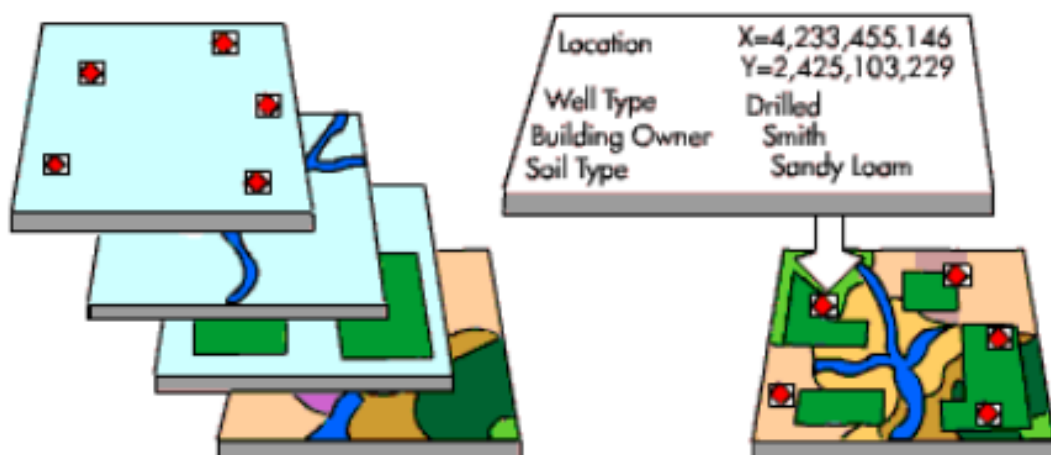
- Στη σωστή περιγραφή γεγονότων στο χώρο.
- Στη συστηματική διερεύνηση των χωρικών προτύπων και των χωρικών σχέσεων με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των

διαδικασιών που ευθύνονται για τα χωρικά πρότυπα και τις σχέσεις που παρατηρούμε.

- Στην αύξηση της ικανότητας πρόβλεψης και ελέγχου γεγονότων που συμβαίνουν στον γεωγραφικό χώρο.
- Στη χρησιμοποίησή της σαν εργαλείο λήψης αποφάσεων για το χώρο.

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών απεικονίζουν στοιχεία που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, αντιπροσωπεύοντας τον πραγματικό κόσμο. Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται από τα ΓΣΠ υπό μορφή σημείων, γραμμών και πολύγωνων.

- Σημείο: Ένα σημείο καθορίζει γεωγραφική τοποθεσία και αποτελεί στοιχείο του οποίου πρέπει να γνωρίζουμε την ακριβή θέση (συντεταγμένες X,Y). Το στοιχείο αυτό μπορεί να αφορά, για παράδειγμα, ένα κτίριο, το επίκεντρο ενός σεισμού κλπ.
- Γραμμή: Μία γραμμή καθορίζει το σχήμα και την τοποθεσία ενός γεωγραφικού στοιχείου που έχει κάποιο μήκος. Αυτό μπορεί να αφορά δρόμο, ποτάμι, σύνορο κλπ.
- Πολύγωνο: Το πολύγωνο αποτελεί κλειστό χώρο (πολύπλευρο σχήμα) το οποίο αντιπροσωπεύει το σχήμα και την τοποθεσία ενός στοιχείου. Το στοιχείο αυτό μπορεί να αφορά σε αγροτεμάχιο, νομό, πόλη, χρήση γης κλπ.



Σχήμα 3.2: Γεωγραφική απεικόνιση στοιχείων σε ένα σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας (Πηγή: Ε.Κ.Ε.Τ.Α. / Ι.Τ.Ε.Σ.Κ.)

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούν τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών έχουν μια γεωγραφική ή χωρική αναφορά κάποιας μορφής (Καλογήρου, 2013). Στην παρούσα εργασία η χωρική αναφορά των δεδομένων είναι οι βροχομετρικοί σταθμοί της Κρήτης για τους οποίους δίνεται η δυνατότητα τόσο για ανάλυση, όσο και για την διαχείρισή τους με σκοπό μια ολοκληρωμένη χωρική προσέγγιση.

3.2 Εφαρμογές των Γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών έχουν ευρεία εφαρμογή καθώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε η παράμετρος της γεωγραφικής πληροφορίας υπεισέρχεται άμεσα ή έμμεσα, όπως: περιπτώσεις αστικών και περιφερειακών μελετών, διαχείριση φυσικών πόρων, διαχείριση αποβλήτων, κτηματολόγιο και πολεοδομικός σχεδιασμός, μελέτη κυκλοφοριακών συνθηκών, διαχείριση επειγόντων περιστατικών, δημογραφικά ζητήματα κλπ.

Η αξιοποίηση των δεδομένων για την δημιουργία θεματικών χαρτών, αποτελεί εύχρηστο και κατανοητό τρόπο διάδοσης της πληροφορίας ακόμα και σε χρήστες χωρίς πείρα ή κάποια εξοικείωση στην γεωγραφική απόδοση του χώρου. Θεματικοί χάρτες περιβαλλοντικών μελετών, πολεοδομικών σχεδιασμών, διαχείρισης έκτατων αναγκών κλπ, έχουν δημιουργηθεί για πολλές περιοχές στην Ελλάδα, από διάφορους φορείς όπως: η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, το Ινστιτούτο Γεωλογικών Μελετών Ελλάδος, από υπουργεία αλλά και ακαδημαϊκά και ερευνητικά ιδρύματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Χωροχρονική Κατανομή της βροχόπτωσης

4.1 Γενικά στοιχεία για την κατανομή της βροχόπτωσης στην Κρήτη

Γενικά στην Κρήτη, όπως και σε όλα τα νησιά του Αιγαίου, έχουμε μια ξηρή περίοδο εντονότερη και μακρύτερη από εκείνη της υπόλοιπης Ελλάδας, όπου διαρκεί 2-4 μήνες, ενώ στην Κρήτη διαρκεί 5 μήνες, από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο. Η ελάττωση της βροχόπτωσης από τον υγρότερο προς τον ξηρότερο μήνα δεν είναι τόσο απότομη, όσο η αύξηση της από τον ξηρότερο προς τον υγρότερο.

Σύμφωνα με στοιχεία της μελέτης «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων Κρήτης (2001)» η μέση ετήσια βροχόπτωση (περιόδου επαναφοράς 2 ετών) στο υδατικό διαμέρισμα της, ανέρχεται σε 927 mm που αντιστοιχεί σε 7,69 δισ. κυβικά μέτρα κατακρημνισμάτων σε ετήσια βάση (πάνω από το 60% της ποσότητας αυτής χάνεται ως εξατμισοδιαπνοή). Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι στην ανατολική Κρήτη κατά 22% μικρότερη σε σχέση με τη Δυτική. Η μέση ετήσια βροχόπτωση παρουσιάζει αύξηση από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από νότια προς βόρεια. Η μέση μηνιαία βροχόπτωση είναι μέγιστη τον Δεκέμβριο ή τον Ιανουάριο και ελάχιστη τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι οποίοι είναι σχεδόν άνομβροι σε ολόκληρη την πεδινή Κρήτη. Το 25% περίπου της ετήσιας βροχόπτωσης συμβαίνει στους περισσότερους σταθμούς της Κρήτης στη διάρκεια του βροχερότερου μήνα. Αντίστοιχα, ο μηνιαίος αριθμός ημερών βροχής κυμαίνεται μεταξύ 15 ημερών περίπου κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο και 0,3 ημέρες τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ο αριθμός των ημερών βροχής δεν διαφέρει σημαντικά μεταξύ των ορεινών και των πεδινών περιοχών. Ο μέσος αριθμός ημερών βροχής στην Κρήτη ανέρχεται σε 90 περίπου ημέρες (25% του έτους).

4.2 Μελέτη της χωροχρονικής κατανομής της βροχόπτωσης στην Κρήτη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η κατανομή της βροχόπτωσης στην Κρήτη από βροχομετρικά δεδομένα που έχουν δημοσιοποιηθεί από το τμήμα υδροοικονομίας της Περιφέρειας Κρήτης. Η δημοσιοποίηση έγινε σε αρχείο Excel (*.xls) ανά Περιφερειακή Ενότητα, το οποίο περιλαμβάνει ένα φύλλο εργασίας ανά βροχομετρικό σταθμό, με μηνιαία βροχομετρικά δεδομένα για όλη την περίοδο λειτουργίας του κάθε σταθμού και πληροφορίες για τη θέση του σταθμού (συντεταγμένες) και την υδρολογική λεκάνη. Οι σταθμοί αυτοί που λειτουργούν για λογαριασμό της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων είναι στο σύνολο 51 και είναι κατανεμημένοι στους νομούς ως εξής:

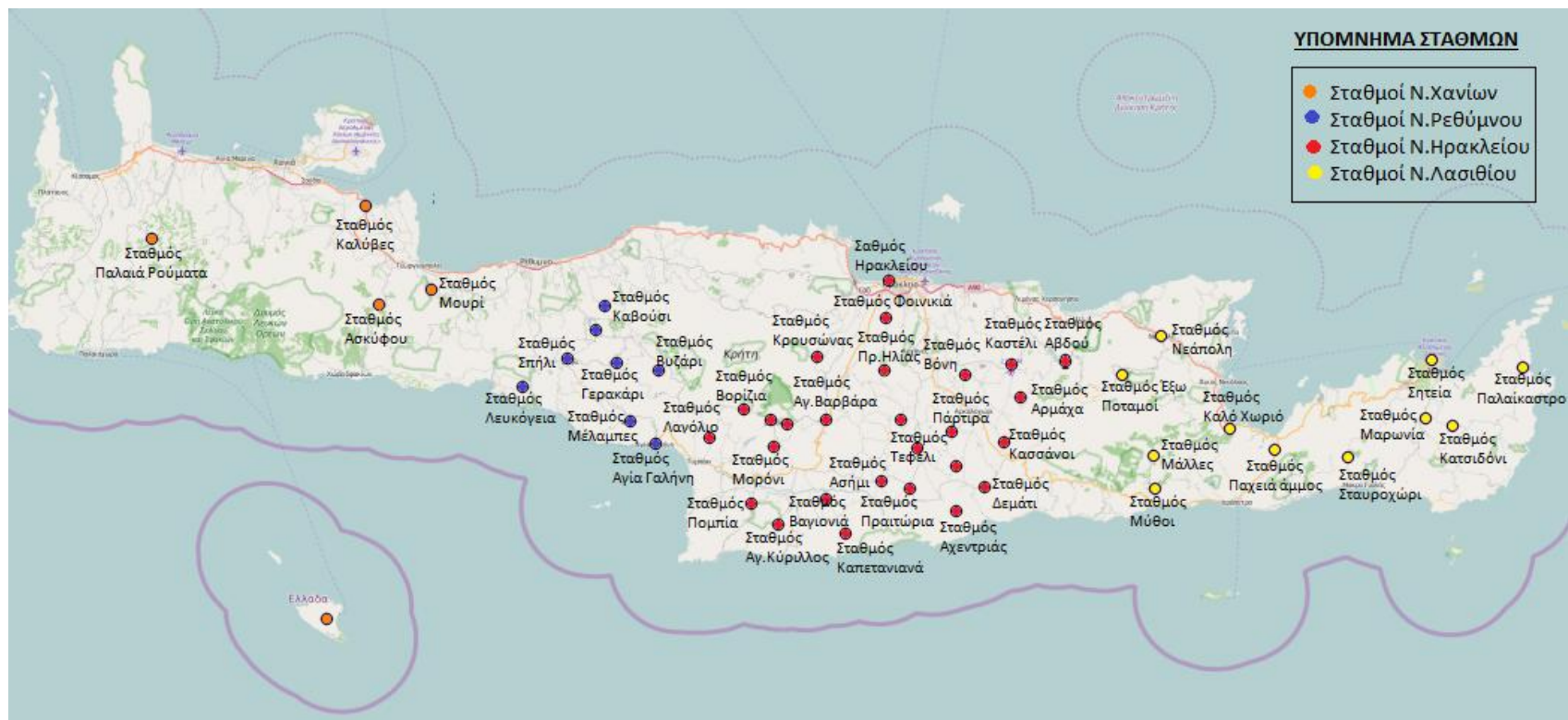
- Νομός Χανίων, 5 σταθμοί
- Νομός Ρεθύμνου, 8 σταθμοί
- Νομός Ηρακλείου, 27 σταθμοί
- Νομός Λασιθίου, 11 σταθμοί

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι βροχομετρικοί σταθμοί ανά νομό:

Πίνακας 1: Βροχομετρικοί σταθμοί Κρήτης

Νομός Χανίων	Νομός Ρεθύμνου
ΑΣΚΥΦΟΥ	ΑΓΙΑ ΓΑΛΗΝΗ
ΓΑΥΔΟΣ	ΒΟΛΕΩΝΕΣ
ΚΑΛΥΒΕΣ	ΒΥΖΑΡΙ
ΜΟΥΡΙ	ΓΕΡΑΚΑΡΙ
ΠΑΛΑΙΑ ΡΟΥΜΑΤΑ	ΚΑΒΟΥΣΙ
	ΛΕΥΚΟΓΕΙΑ
	ΜΕΛΑΜΠΕΣ
	ΣΠΗΛΙ

Νομός Ηρακλείου	Νομός Λασιθίου
ΑΒΔΟΥ	ΚΑΤΣΙΔΟΝΙ
ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ	ΝΕΑΠΟΛΗ
ΑΓΙΟΣ ΚΥΡΙΛΛΟΣ	ΕΞΩ ΠΟΤΑΜΟΙ
ΑΡΜΑΧΑ	ΚΑΛΟ ΧΩΡΙΟ
ΑΣΗΜΙ	ΜΑΛΛΕΣ
ΑΧΕΝΤΡΙΑΣ	ΜΑΡΩΝΙΑ
ΒΑΓΙΩΝΙΑ	ΜΥΘΟΙ
ΒΟΝΗ	ΠΑΛΑΙΚΑΣΤΡΟ
ΒΟΡΙΖΙΑ	ΠΑΧΕΙΑ ΑΜΜΟΣ
ΓΕΡΓΕΡΗ	ΣΗΤΕΙΑ
ΔΕΜΑΤΙ	ΣΤΑΥΡΟΧΩΡΙ
ΖΑΡΟΣ	
ΚΑΛΥΒΙΑ	
ΚΑΠΕΤΑΝΙΑΝΑ	
ΚΑΣΣΑΝΟΙ	
ΚΑΣΤΕΛΙ	
ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ	
ΛΑΓΟΛΙΟ	
ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ	
ΜΟΡΟΝΙ	
ΠΑΡΤΙΡΑ	
ΠΟΜΠΙΑ	
ΠΡΑΙΤΩΡΙΑ	
ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ	
ΤΕΦΕΛΙ	
ΦΟΙΝΙΚΙΑ	
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	



Σχήμα 4.1: Απεικόνιση των 51 βροχομετρικών σταθμών

Ως περίοδος μελέτης για την χωροχρονική κατανομή των βροχοπτώσεων, επιλέχθηκε η περίοδος 1978-1998 καθώς και η δεκαετία 1999-2008. Ο διαχωρισμός αυτός οφείλεται στην έλλειψη δεδομένων που παρουσιάζουν αρκετοί σταθμοί μετά το έτος 2006, με αποτέλεσμα τα συμπεράσματα για την δεύτερη χρονική περίοδο να στηρίχθηκαν σε καταγραφές από 45 σταθμούς. Επίσης, μελετήθηκε και η χρονική περίοδος 1978-2008 για τους 45 κοινούς σταθμούς.

Η έλλειψη μετρήσεων σε βροχομετρικούς σταθμούς μπορεί να οφείλεται σε: (Σ.Λέκκας - Απ.Αλεξόπουλος, 2009)

- Καταστροφή των οργάνων του σταθμού
- Καταστροφή του ίδιου του σταθμού
- Διακοπή λειτουργίας του σταθμού λόγω βλάβης
- Απουσία αρμόδιου παρατηρητή

Να σημειωθεί πως οι μετρήσεις των βροχομέτρων πιθανότατα να περιέχουν σφάλματα τα οποία μπορεί να οφείλονται στη δράση του ανέμου, στην ακατάλληλη τοποθεσία των βροχομέτρων καθώς και στην έλλειψη των παρατηρητών.

4.3 Μέθοδος Kernel στη χαρτογραφική αποτύπωση και εκτίμηση της χωροχρονικής κατανομής της βροχόπτωσης

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Kernel του ArcGIS για την χαρτογραφική αποτύπωση και εκτίμηση της χωροχρονικής κατανομής της βροχόπτωσης στην περιφέρεια της Κρήτης. Αξιοποιήθηκαν και οι 51 σταθμοί που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και χρησιμοποιήθηκαν τα μέσα ετήσια και μέσα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης για τις περιόδους 1978-1998 και 1999-2008. Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για τα δεδομένα είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ) 1981, με ελλειψοειδές αναφοράς το GRS 1980 σε εγκάρσια μερκατορική προβολή.

Τα βροχομετρικά δεδομένα του excel που περιλάμβανε και τις συντεταγμένες του κάθε σταθμού μετατράπηκαν σε μορφή .csv

προκειμένου να εισαχθούν στο GIS και από εκεί να μετατραπούν σε shapefiles για την πιο εύκολη επεξεργασία τους. Δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες στους οποίους απεικονίζεται η πυκνότητα της βροχόπτωσης, υπολογισμένη με τη μέθοδο Kernel Density. Η ακτίνα αναζήτησης (search radius) που χρησιμοποιήθηκε γύρω από κάθε βροχομετρικό σταθμό για την εκτίμηση της βροχόπτωσης, ήταν τα 10km. Μικρότερη ακτίνα θα άφηνε εκτός χρωματισμού αρκετές περιοχές του νησιού, ενώ μεγαλύτερη ακτίνα θα προκαλέσει γενίκευση των ζωνών πυκνότητας, με αποτέλεσμα η ερμηνεία τους να μην ανταποκρίνεται εντελώς σε πραγματικά γεγονότα.

Η λογική της μεθόδου Kernel Density είναι ότι το πρότυπο το οποίο μελετάται (στην περίπτωση μας είναι η κατανομή της βροχόπτωσης) σε ένα χώρο έχει κάποια πυκνότητα (αλλού πιο μεγάλη και αλλού πιο μικρή) για όλη την έκταση μελέτης και όχι μόνο για τις θέσεις που έχει καταγραφεί το συγκεκριμένο γεγονός. Η πυκνότητα που θα προκύψει είναι αποτέλεσμα των τιμών που έχει καταγραφεί σε μια περιοχή με κέντρο την τοποθεσία όπου θα γίνει η εκτίμηση και παρέχει έναν πολύ καλό τρόπο για να προσδιοριστούν οι θερμές περιοχές. Η τιμή της επιφάνειας εμφανίζει την υψηλότερη τιμή της στη θέση που καταγράφεται το γεγονός και μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από το σημείο του συμβάντος, φτάνοντας στο μηδέν.

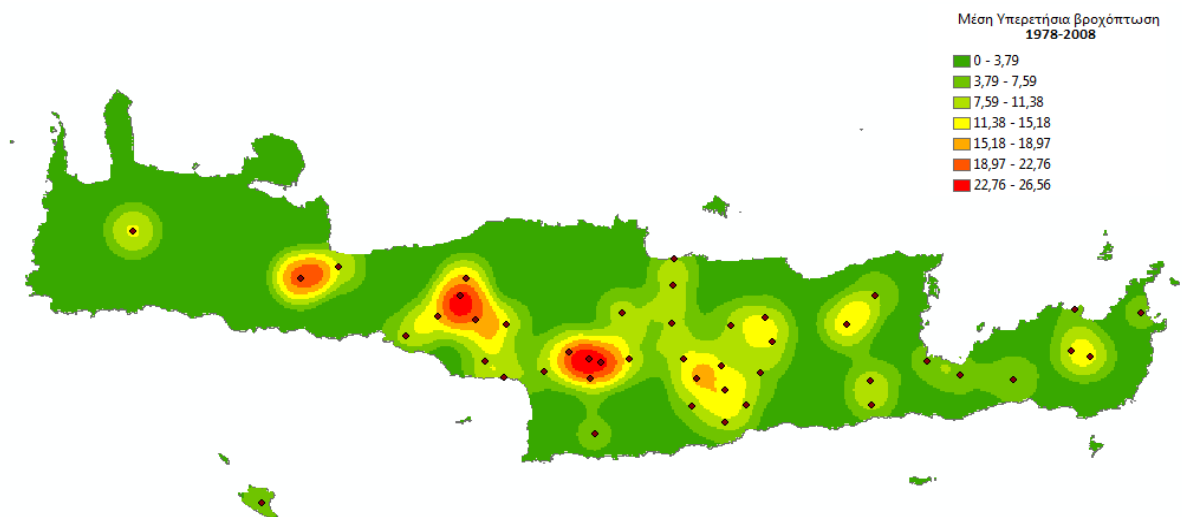
Το αποτέλεσμα μιας εκτίμησης Kernel Density στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι ένα σύνολο δεδομένων raster (κελιών) (Longley et al. 2005), όπου κάθε κελί αντιστοιχεί σε μία τιμή πυκνότητας.

4.4 Εκτίμηση της μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης

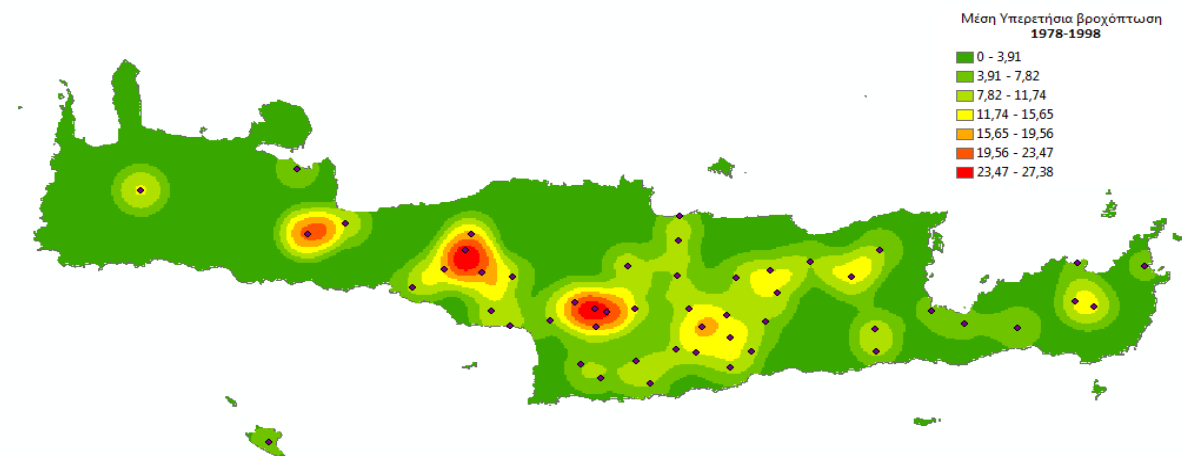
Από την μελέτη των χαρτών που προέκυψαν από τα μέσα υπερετήσια ύψη βροχής στην Κρήτη, προκύπτει ότι οι βροχοπτώσεις είναι εντονότερες στα δυτικά του νησιού, με αποτέλεσμα οι βροχομετρικοί σταθμοί των νομών Χανίων και Ρεθύμνου να εμφανίζουν στην πλειοψηφία τους μεγάλες τιμές. Έτσι, στα δυτικά αρκετοί σταθμοί ξεπερνάνε τα 1000mm ετήσιας βροχόπτωσης (όπως οι σταθμοί: Ασκύφου, Παλαιά Ρούματα, Βολεώνες, Γερακάρι, Σπίλι), ενώ ο σταθμός Ασκύφου του Νομού Χανίων καταγράφει τιμές που φτάνουν τα 2.800mm ετήσιας βροχόπτωσης.

Αντίθετα, στα ανατολικά του νησιού, κυρίως στον Νομό Λασιθίου, οι βροχοπτώσεις είναι πιο περιορισμένες με τους περισσότερους σταθμούς να παρουσιάζουν τιμές μικρότερες των 550mm συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης. Ωστόσο, υπάρχουν και σταθμοί των ορεινών κυρίως περιοχών που ξεπερνούν τα 700mm ετήσιας βροχόπτωσης (Σταθμοί: Μάλλες, Νεάπολη, Σταυροχώρι που ανήκουν στον Νομό Λασιθίου) ή ακόμα και τα 1200mm (Σταθμός Έξω Ποταμοί του Νομού Λασιθίου).

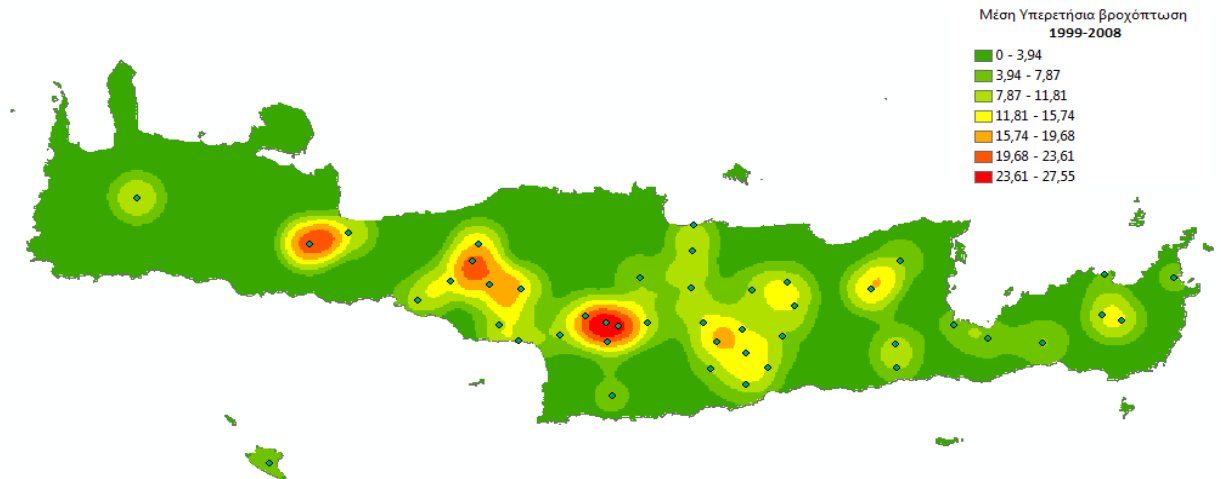
Επίσης παρατηρήθηκε πως οι σταθμοί που βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές (Καλύβες Χανίων, Ηράκλειο, Παλαίκαстро και Καλό Χωριό Λασιθίου) έχουν καταγράψει αρκετά χαμηλές τιμές. Μια ακόμη παρατήρηση είναι η διαφορά βροχόπτωσης μεταξύ της βόρειας και της νότιας ακτής της Κρήτης, με τη νότια ακτή να είναι ξηρότερη. Σταθμοί που βρίσκονται στα νότια του νησιού και χαρακτηρίζονται από χαμηλότερης έντασης βροχοπτώσεις, είναι: Άγιος Κύριλλος, Ασήμι, Βαγιωνιά, Δεμάτι, Καλύβια, Κασσάνοι, Λαγολιό, Πομπία, Μύθοι, Σητεία.



Χάρτης 4.1: Χαρτογραφική αποτύπωση της μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης για τη χρονική περίοδο 1978-2008



Χάρτης 4.2: Χαρτογραφική αποτύπωση της μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης για τη χρονική περίοδο 1978-1998



Χάρτης 4.3: Χαρτογραφική αποτύπωση της μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης για τη χρονική περίοδο 1999-2008

Αν και είναι ιδιαίτερα εμφανής η διαφορά που υπάρχει στα ύψη βροχής των περιοχών της δυτικής Κρήτης με αυτά της Ανατολικής Κρήτης, εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί ότι περιοχές με μεγάλα υψόμετρα εμφανίζουν μεγαλύτερα ποσά ύψους βροχής. Αξίζει να αναφερθεί ότι με βάση στοιχεία που προκύπτουν από τη βιβλιογραφία παλαιότερων μετεωρολόγων, το οροπέδιο του Ασκύφου στο Νομό Χανίων που έχει υψόμετρο 740μέτρα, θεωρείται ως η περιοχή με τα μεγαλύτερα ύψη βροχής σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο με ετήσιες βροχοπτώσεις που μπορούν να ξεπεράσουν ακόμα και τα 2.500mm ύψους βροχής. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι το οροπέδιο Λασιθίου αν και με σημαντική διαφορά, ακολουθεί με 1.286mm ύψους βροχής το χρόνο.

Οι βροχομετρικοί σταθμοί που κατέγραψαν μεγάλα ύψη βροχής και οι οποίοι βρίσκονται σε μεγάλα υψόμετρα είναι:

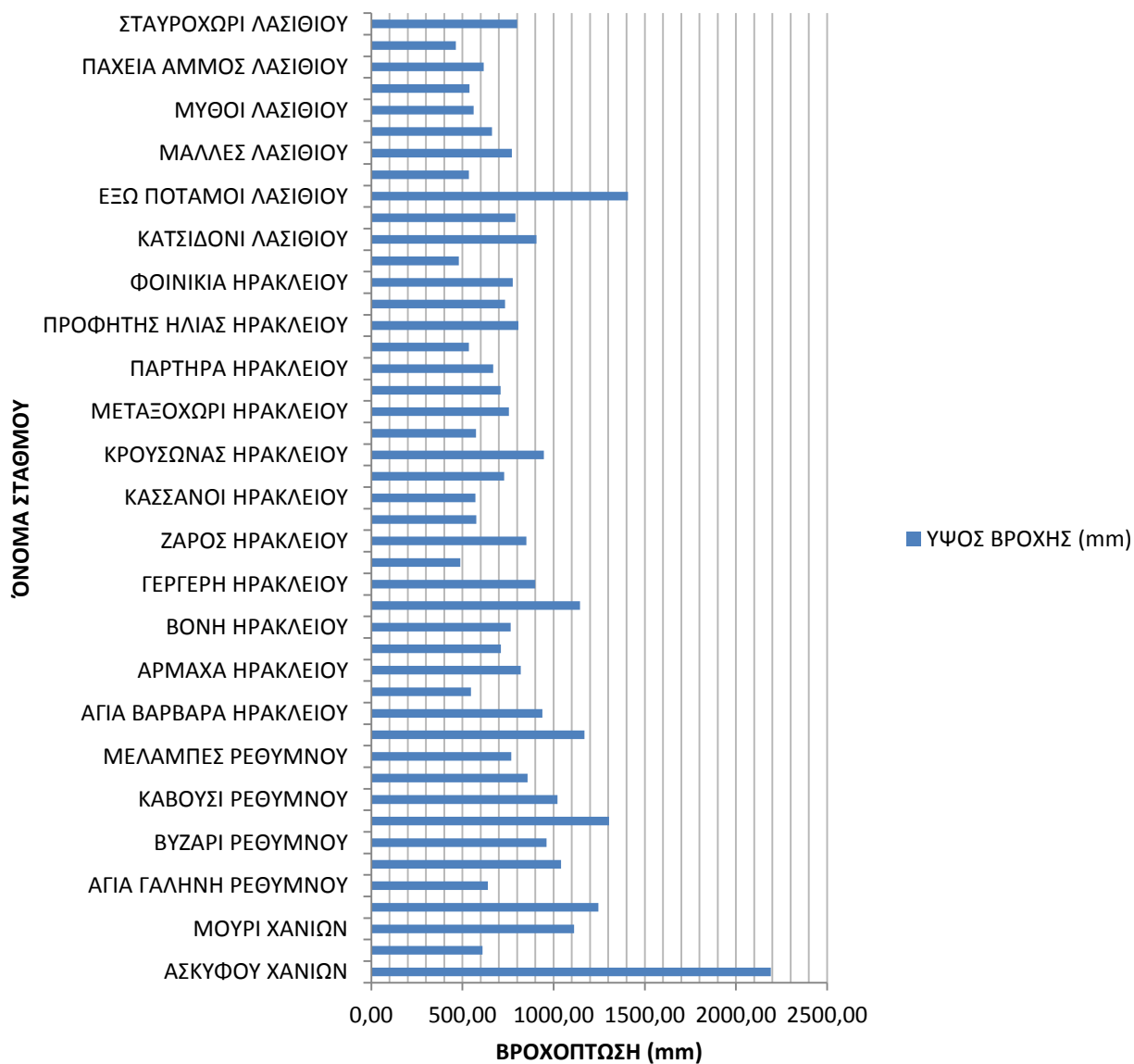
- Ασκύφου Χανίων, σε υψόμετρο 740μέτρα, έχει καταγράψει τις υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης σε όλο το νησί.
- Καβούσι Ρεθύμνου, σε υψόμετρο 580μέτρα, όπως φαίνεται και από τους χάρτες αλλά και από τα γραφήματα παρακάτω, παρουσιάζει αυξημένες τιμές κυρίως τον μήνα Ιούνιο.
- Γερακάρι Ρεθύμνου, σε υψόμετρο 660μέτρα, εμφανίζει μεγάλες τιμές ύψους βροχής, κυρίως την χρονική περίοδο 1999-2008.

- Βορίζια Ηρακλείου, σε υψόμετρο 520μέτρα, δέχεται μεγάλα ύψη βροχής καθ' όλη την διάρκεια της περιόδου 1999-2008, ενώ για τις χρονιές από το 1978 μέχρι και το 1998 παρουσιάζει ιδιαίτερα αυξημένες τιμές κυρίως τους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο.
- Κρουσώνας Ηρακλείου, σε υψόμετρο 500μέτρα, καταγράφει μεγάλα ύψη βροχής καθ' όλη την διάρκεια του έτους για όλες τις περιόδους μελέτης.
- Έξω Ποταμοί Λασιθίου, σε υψόμετρο 840μέτρα, χαρακτηρίζεται από μεγάλα ύψη βροχής για όλη τη διάρκεια του έτους, και για τις τρεις χρονικές περιόδους μελέτης.
- Κατσιδόνι Λασιθίου, σε υψόμετρο 480μέτρα, παρουσιάζει μεγάλα ύψη βροχόπτωσης και για τις τρεις χρονικές περιόδους μελέτης.

Αντίθετα, βροχομετρικοί σταθμοί που βρίσκονται σε χαμηλά υψόμετρα και κυρίως οι παραθαλάσσιοι σταθμοί, έχουν καταγράψει τις χαμηλότερες τιμές βροχόπτωσης. Για παράδειγμα, οι σταθμοί: Αγία Γαλήνη στο Ρέθυμνο (σε υψόμετρο 20μέτρα), Ηράκλειο (σε υψόμετρο 15μέτρα), Παλαίικαστρο και Σητεία Λασιθίου (σε υψόμετρο 25μέτρα και 114μέτρα αντίστοιχα) έχουν καταγράψει από τις χαμηλότερες τιμές βροχόπτωσης σε όλο το νησί.

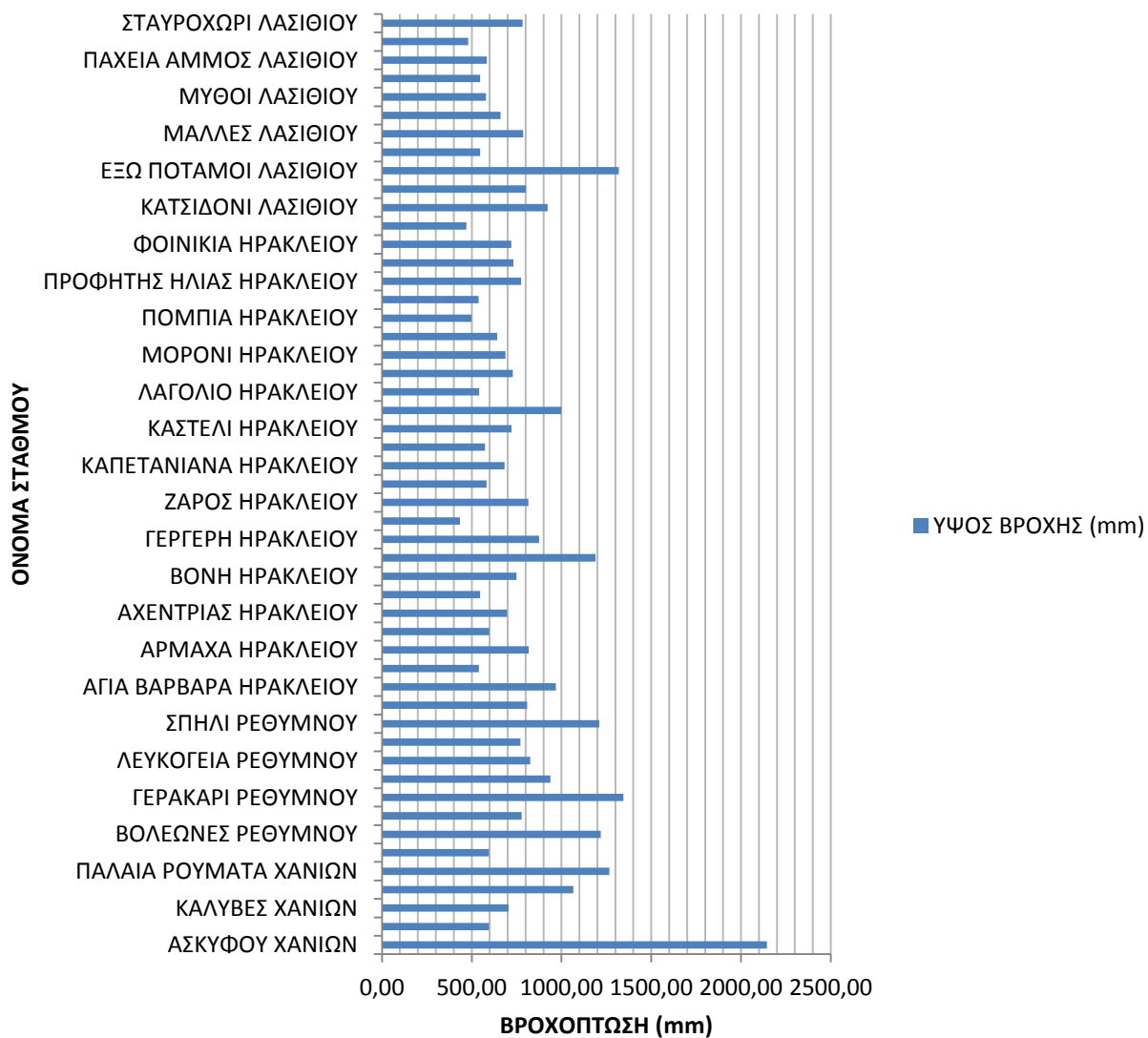
Στη συνέχεια δίνονται τα γραφήματα μέσου υπερετήσιου ύψους βροχής ανά σταθμό σε όλη την Κρήτη, ώστε να μπορεί να γίνει κατανοητή η διαφορά στα ύψη βροχής με αριθμητικά δεδομένα, πέρα της ανάλυσης τους από τους χάρτες.

Μέσο υπερετήσιο ύψος βροχής ανά σταθμό (1978-2008)



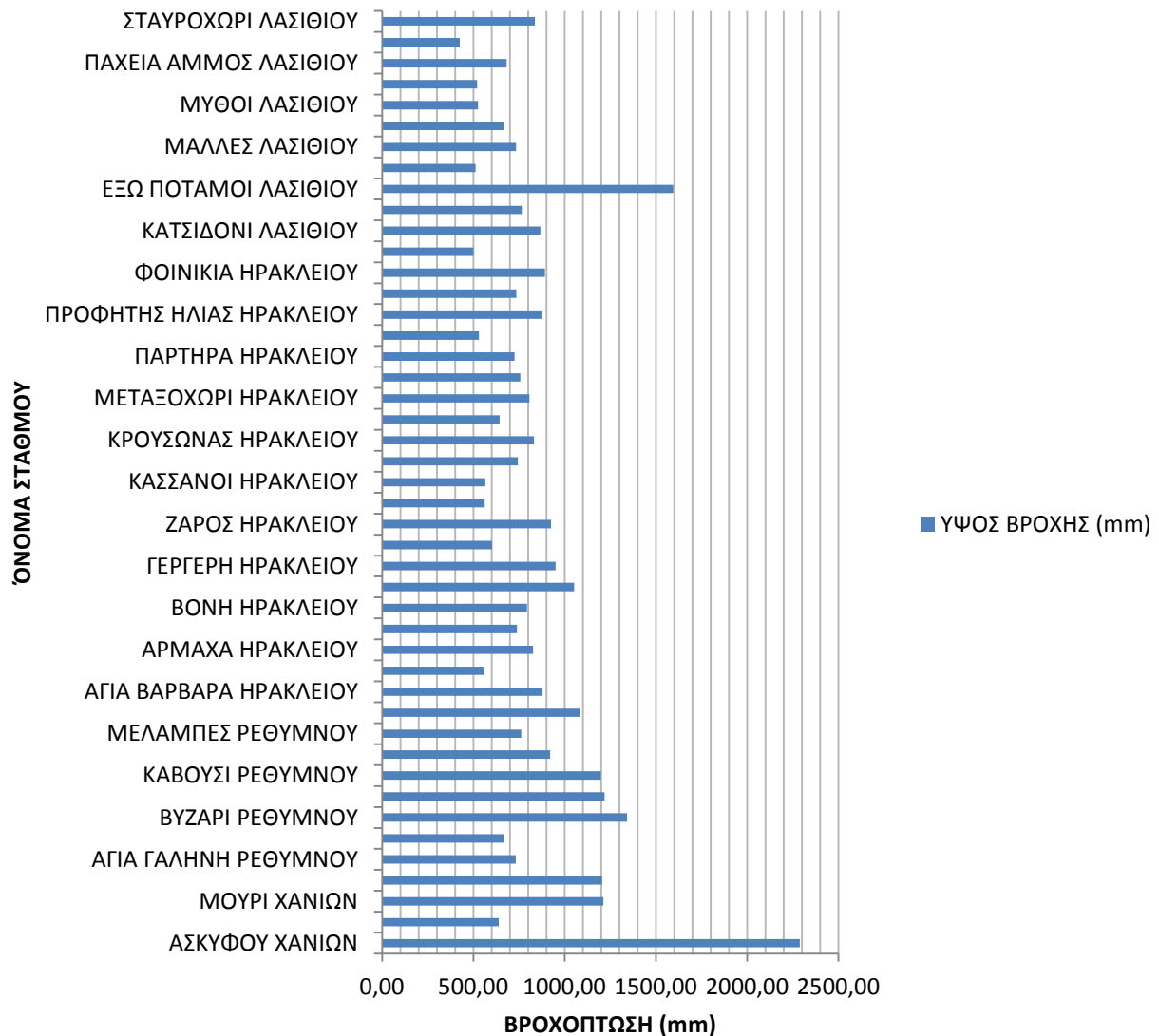
Σχήμα 4.2: Μέσο υπερετήσιο ύψος βροχής ανά σταθμό για τη χρονική περίοδο 1978-2008

Μέσο υπερετήσιο ύψος βροχής ανά σταθμό (1978-1998)



Σχήμα 4.3: Μέσο υπερετήσιο ύψος βροχής ανά σταθμό για τη χρονική περίοδο 1978-1998

Μέσο υπερετήσιο ύψος βροχής ανά σταθμό (1999-2008)

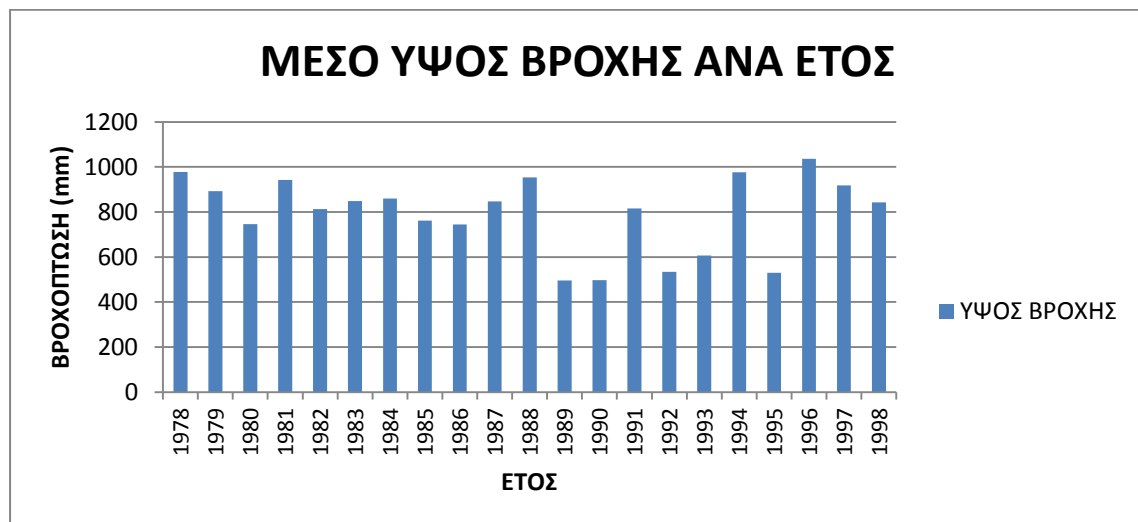


Σχήμα 4.4: Μέσο υπερετήσιο ύψος βροχής ανά σταθμό για τη χρονική περίοδο 1999-2008

Η ανάλυση συνεχίζεται με τα παρακάτω γραφήματα όπου φαίνονται οι μέσες τιμές του ύψους βροχής κάθε έτους για όλη την Κρήτη. Η παρούσα ανάλυση έγινε για την περίοδο 1978-1998 (από μετρήσεις 51 σταθμών) και για την περίοδο 1999-2008 (από μετρήσεις 45 σταθμών) για όλους τους βροχομετρικούς σταθμούς του νησιού.

Πιο συγκεκριμένα, στη χρονική περίοδο 1978-1998 το βροχερότερο έτος θεωρείται η χρονιά 1996 με μέσο ύψος βροχής 1.036,21mm ενώ ακολουθούν οι χρονιές 1978 και 1994 με μέσο ύψος βροχής τα 977mm. Όσον αφορά τα έτη με τις λιγότερες βροχοπτώσεις, η διαφορά είναι σημαντική καθώς το μέσο ύψος βροχής μειώνεται σχεδόν στο μισό σε σχέση με αυτό των βροχερότερων ετών. Έτσι, οι λιγότερες βροχές εντοπίζονται στα έτη 1989 και 1990 με μέσο ύψος βροχής τα 496mm.

Για την δεκαετία 1999-2008 οι περισσότερες βροχοπτώσεις εντοπίζονται στο έτος 2003 το οποίο φτάνει τα 1.130mm μέσου ύψους βροχής, ενώ το έτος με τις λιγότερες βροχοπτώσεις είναι το 2005 με μέσο ύψος βροχής τα 714mm.



Σχήμα 4.5: Διαγράμματα μέσου ύψους βροχής ανά έτος για τις περιόδους 1978-1998 και 1999-2008

4.5 Εκτίμηση της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης

Από την μελέτη των χαρτών που προέκυψαν από τα μέσα μηνιαία ύψη βροχής συμπεραίνουμε πως η Κρήτη από άποψη βροχόπτωσης μπορεί να χαρακτηριστεί από βροχερούς χειμώνες και ξηρά καλοκαίρια. Οι βροχοπτώσεις είναι πιο έντονες στα δυτικά του νησιού σε σχέση με το ανατολικό τμήμα και για τις τρεις χρονικές περιόδους μελέτης, κατά την διάρκεια κυρίως των φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών.

Περίοδος μελέτης 1978-1998

Από την μελέτη των χαρτών, για το χρονικό διάστημα 1978-2008 προέκυψε ότι ο μήνας Δεκέμβριος εμφανίζει τις περισσότερες βροχοπτώσεις στο νησί, ενώ ακολουθούν οι μήνες Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Νοέμβριος με σχετικά μικρές αποκλίσεις. Χαρακτηριστικό των μηνών αυτών είναι η σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή της βροχόπτωσης, με μόνη διαφοροποίηση τους σταθμούς *Ασκήφο* (Ν. Χανίων), *Γερακάρι*, *Σπήλι* (Ν. Ηρακλείου), *Βορίζια* (Ν. Ρεθύμνου) και *Έξω Ποταμοί* (Ν. Λασιθίου), όπου οι τιμές των βροχοπτώσεων είναι σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τους υπόλοιπους βροχομετρικούς σταθμούς στο νησί.

Στη συνέχεια είναι ο μήνας Μάρτιος με σημαντική μείωση στο ύψος βροχής (κατά μέσο όρο 89mm ύψους βροχής, που αντιστοιχεί στο μισό των προηγούμενων μηνών), ενώ ακολουθεί ο Οκτώβριος με σημαντικά ελαττωμένες τιμές σε όλους τους σταθμούς της Κρήτης, σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο (59mm μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης). Η μείωση του ύψους βροχής συνεχίζεται με τους μήνες Απρίλιο και Μάιο όπου οι βροχοπτώσεις φτάνουν τα 36,5mm και 19,2mm αντίστοιχα. Για τους μήνες αυτούς εξακολουθεί να υπάρχει ομοιομορφία στην κατανομή της βροχόπτωσης ενώ η διαφοροποίηση σε συγκεκριμένους σταθμούς που παρουσιάζουν αυξημένες τιμές, είναι η ίδια.

Οι θερινοί μήνες εμφανίζουν τις λιγότερες βροχοπτώσεις του χρόνου, με τον μήνα Αύγουστο να φτάνει την ελάχιστη τιμή τους. Οι βροχοπτώσεις για αυτό τον μήνα εμφανίζονται κυρίως στο σταθμό *Ασκήφο* του Νομού Χανίων. Ελαφρώς υψηλότερες είναι οι βροχοπτώσεις τον μήνα Ιούλιο με τα πιο σημαντικά ύψη βροχής να εμφανίζονται κεντρικά και βόρεια του νησιού, ενώ τον μήνα Ιούνιο οι βροχοπτώσεις μετατοπίζονται προς το βόρεια τμήματα της Κρήτης.

Τέλος, τον μήνα Σεπτέμβριο έχουμε αύξηση στη βροχόπτωση (15mm ύψους βροχής) και οι βροχοπτώσεις συγκεντρώνονται κυρίως στην κεντρική Κρήτη (Νομός Ηρακλείου) αλλά και στα δυτικά του νησιού (Νομός Χανίων και δυτικά του Νομού Ρεθύμνου)

Περίοδος μελέτης 1978-1998

Για το χρονικό διάστημα 1978-1998, ο Δεκέμβριος είναι ο μήνας με τις περισσότερες βροχοπτώσεις στην Κρήτη και ακολουθεί ο Ιανουάριος με μικρές διαφορές. Στη συνέχεια ακολουθούν οι μήνες Φεβρουάριος και Νοέμβριος με μικρές αποκλίσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι βροχομετρικοί σταθμοί με τα μεγαλύτερα ύψη βροχής για τους τέσσερις αυτούς μήνες, είναι: *Ασκήφος* (Ν. Χανίων), *Γερακάρι*, *Βολεώνες*, *Σπήλι* (Ν. Ηρακλείου), *Βορίζια* (Ν. Ρεθύμνου), *Έξω Ποταμοί* και *Κατσιδόνι* (Ν. Λασιθίου).

Ακολουθούν οι μήνες Μάρτιος και Οκτώβριος για τους οποίους, οι βροχοπτώσεις είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλο το νησί. Για το λόγο αυτό υπάρχει σχετικά έντονη πυκνότητα γύρω από τους περισσότερους βροχομετρικούς σταθμούς. Εξαίρεση αποτελούν οι σταθμοί *Ασκήφου* και *Μουρί* Χανίων, *Γερακάρι* και *Καβούσι* Ρεθύμνου που βρίσκονται στα δυτικά της Κρήτης καθώς και οι σταθμοί *Έξω Ποταμοί* και *Κατσιδόνι* του Νομού Λασιθίου που παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές και στους δύο μήνες.

Από τον Απρίλιο παρατηρείται μείωση του μηνιαίου ύψους βροχής, ενώ ο Μάιος σε πολλές περιοχές μπορεί να θεωρηθεί ως ξηρός μήνας. Τον Απρίλιο οι βροχοπτώσεις φτάνουν τα 35mm, ενώ τον Μάιο τα 20mm. Εξαίρεση αποτελούν όλοι οι παραπάνω σταθμοί που σημειώνουν υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης. Τον μήνα Ιούνιο οι βροχοπτώσεις μετατοπίζονται στο βόρειο τμήμα του νησιού με τις εντονότερες βροχοπτώσεις να καταγράφονται από τους σταθμούς *Ασκήφου* και *Μουρί* του Νομού Χανίων, *Βολεώνες* και *Καβούσι* του Νομού Ρεθύμνου, *Αβδού* του Νομού Ηρακλείου και *Έξω Ποταμοί* και *Κατσιδόνι* του Νομού Λασιθίου. Τον Ιούλιο οι βροχές είναι σαφώς ελάχιστες (ο βροχομετρικός σταθμός *Ασκήφος* που καταγράφει τις υψηλότερες τιμές, σημειώνει μόλις 6mm μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης), ενώ υπάρχει σχετική ομοιομορφία ως προς την κατανομή τους. Οι βροχοπτώσεις ωστόσο είναι περισσότερο έντονες στη βόρεια μεριά του νησιού σε σχέση με τη νότια. Τον Αύγουστο, οι βροχοπτώσεις φτάνουν την ελάχιστη τιμή τους (περίπου

1,2mm μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης), ενώ τα μεγαλύτερα ύψη βροχής καταγράφουν οι σταθμοί στο Νομό Χανίων, οι σταθμοί *Βολεώνες* (Ν. Ρεθύμνου), *Τεφέλι* και *Καλύβια* (Ν. Ηρακλείου) που σημειώνονται με κόκκινο χρώμα στο χάρτη.

Τέλος, τον μήνα Σεπτέμβριο αυξάνουν οι βροχοπτώσεις (μέση μηνιαία βροχόπτωση 12mm), με τις πιο μεγάλες τιμές να παρουσιάζονται σε σταθμούς ανατολικά (Νομός Λασιθίου) και δυτικά (Νομός Χανίων) του νησιού, ενώ στο κέντρο της Κρήτης οι τιμές που έχουν καταγραφεί είναι σε πιο χαμηλά επίπεδα.

Περίοδος μελέτης 1999-2008

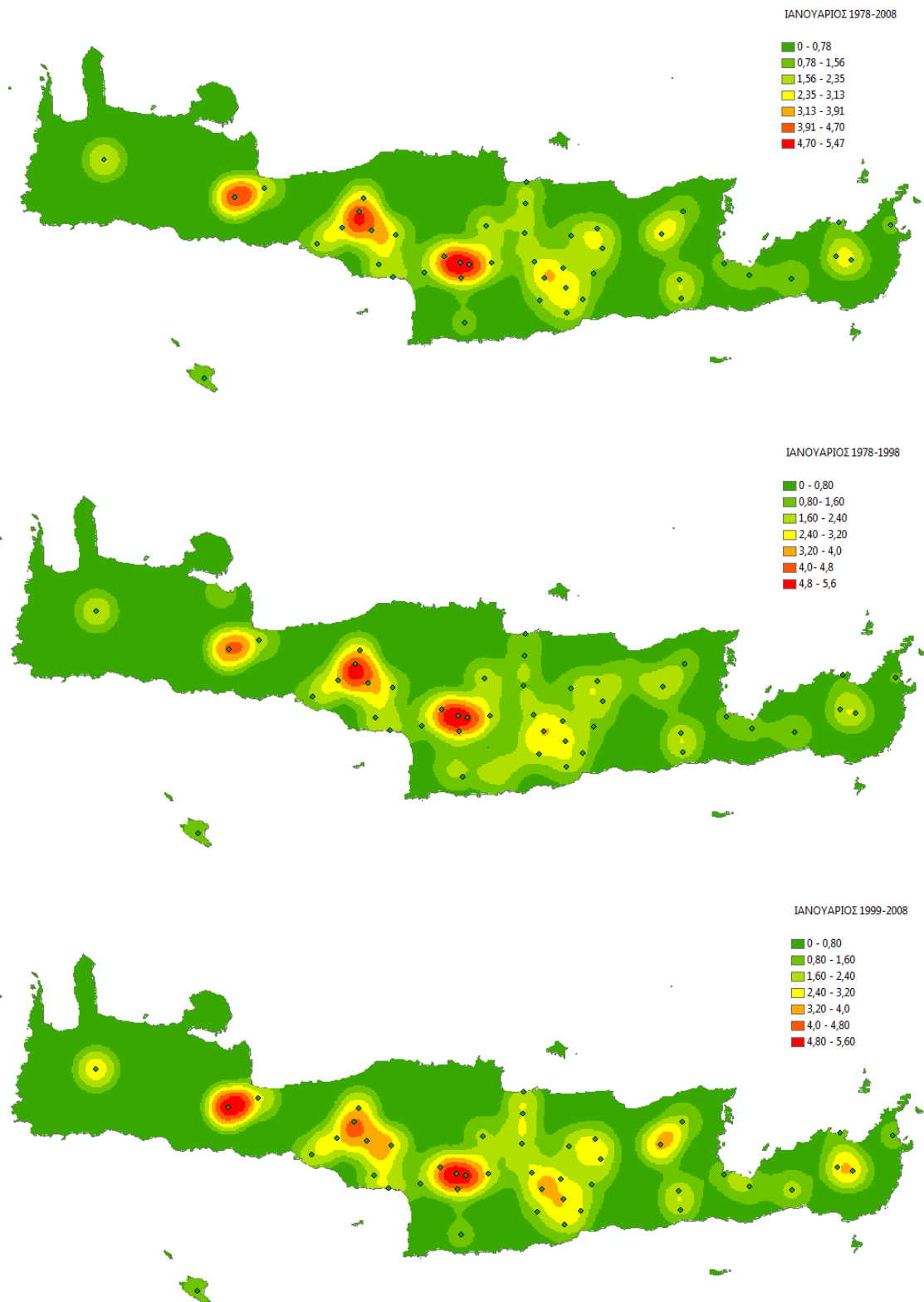
Ο Δεκέμβριος είναι ο μήνας με τις περισσότερες βροχοπτώσεις στο νησί με 186mm μέσου μηνιαίου ύψους βροχής, ενώ ακολουθεί ο Ιανουάριος με 172 mm, ο Φεβρουάριος με 147,3 mm και ο Νοέμβριος με 131,4 mm. Οι βροχομετρικοί σταθμοί που σημειώνουν τα μεγαλύτερα ύψη βροχής είναι ίδιοι με αυτούς τις περιόδου 1978-1998 συμπεριλαμβανομένου και του σταθμού *Παλαιά Ρούματα* του Νομού Χανίων, με μεγαλύτερες ωστόσο τιμές ύψους βροχής.

Στη συνέχεια είναι ο μήνας Οκτώβριος όπου παρουσιάζεται ομοιομορφία στην κατανομή της βροχόπτωσης (με εξαίρεση τους σταθμούς: *Ασκύφος*, *Μούρι*, *Βυζάρι*, και *Έξω Ποταμοί* με ιδιαίτερα αυξημένες τιμές σε σχέση με τους υπόλοιπους) και αμέσως μετά ακολουθεί ο Μάρτιος που χαρακτηρίζεται από εντονότερες βροχοπτώσεις στο δυτικό τμήμα του νησιού σε σχέση με το ανατολικό.

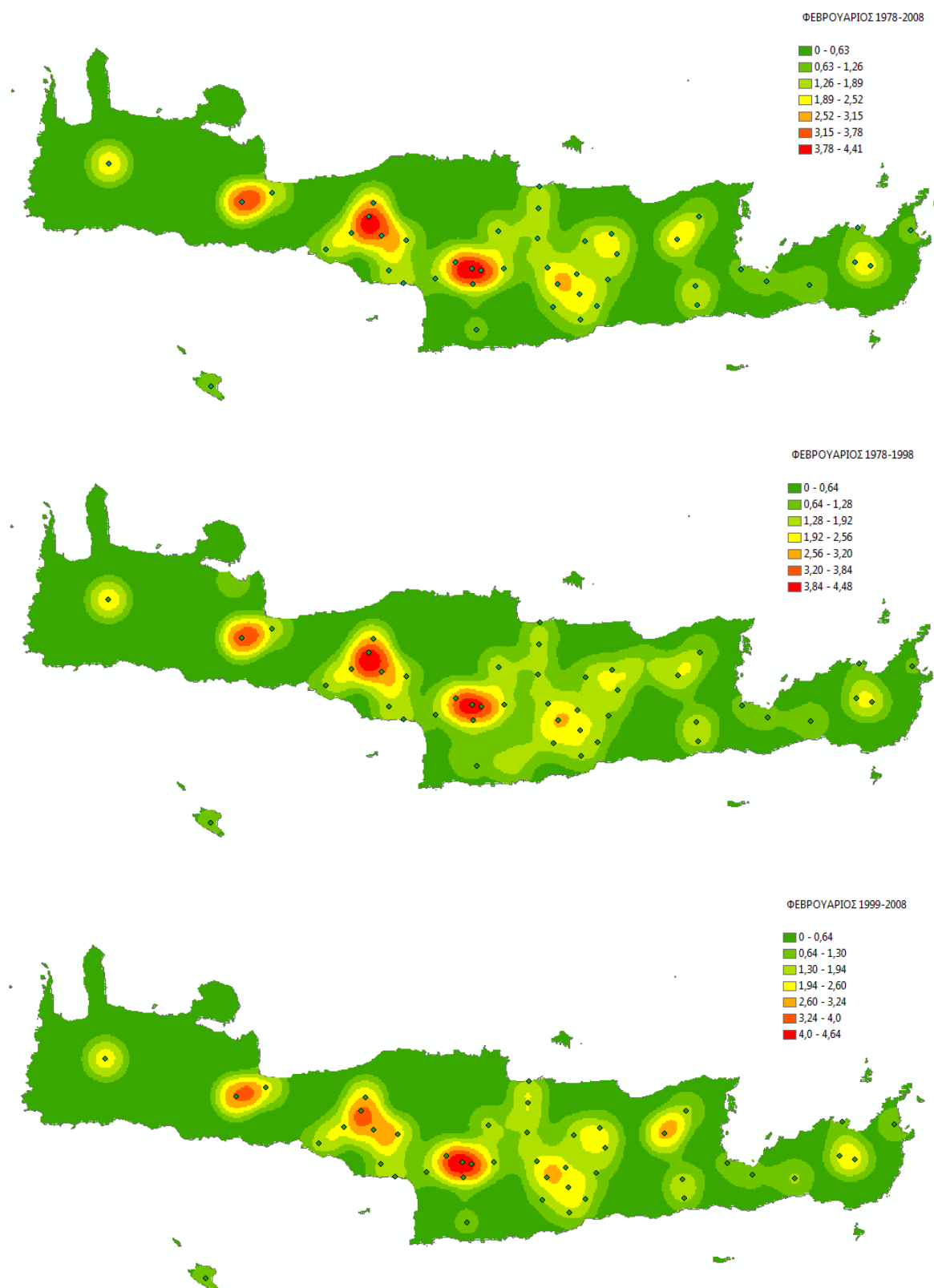
Τον Απρίλιο περιορίζονται οι βροχοπτώσεις στα Χανιά, με εξαίρεση τον σταθμό *Μούρι*, ενώ οι περισσότερες βροχοπτώσεις συγκεντρώνονται στο Νομό Ρεθύμνου και στον σταθμό *Έξω Ποταμοί* που καταγράφει την υψηλότερη τιμή για αυτό το μήνα. Το μήνα Μάιο η βροχόπτωση φτάνει τα 22mm ύψους βροχής και είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη στο νησί. Ακολουθεί ο μήνας Σεπτέμβριος στον οποίο οι βροχοπτώσεις συγκεντρώνονται κυρίως στην κεντρική Κρήτη (Νομός Ηρακλείου), αλλά και στο δυτικό της τμήμα.

Όσον αφορά τους θερινούς μήνες, έκπληξη μπορεί να αποτελέσει ο μήνας Ιούνιος όπου οι βροχοπτώσεις σημειώνονται κατά κύριο λόγο στα νοτιοανατολικά του Νομού Ηρακλείου, αλλά και ο μήνας Ιούλιος ο

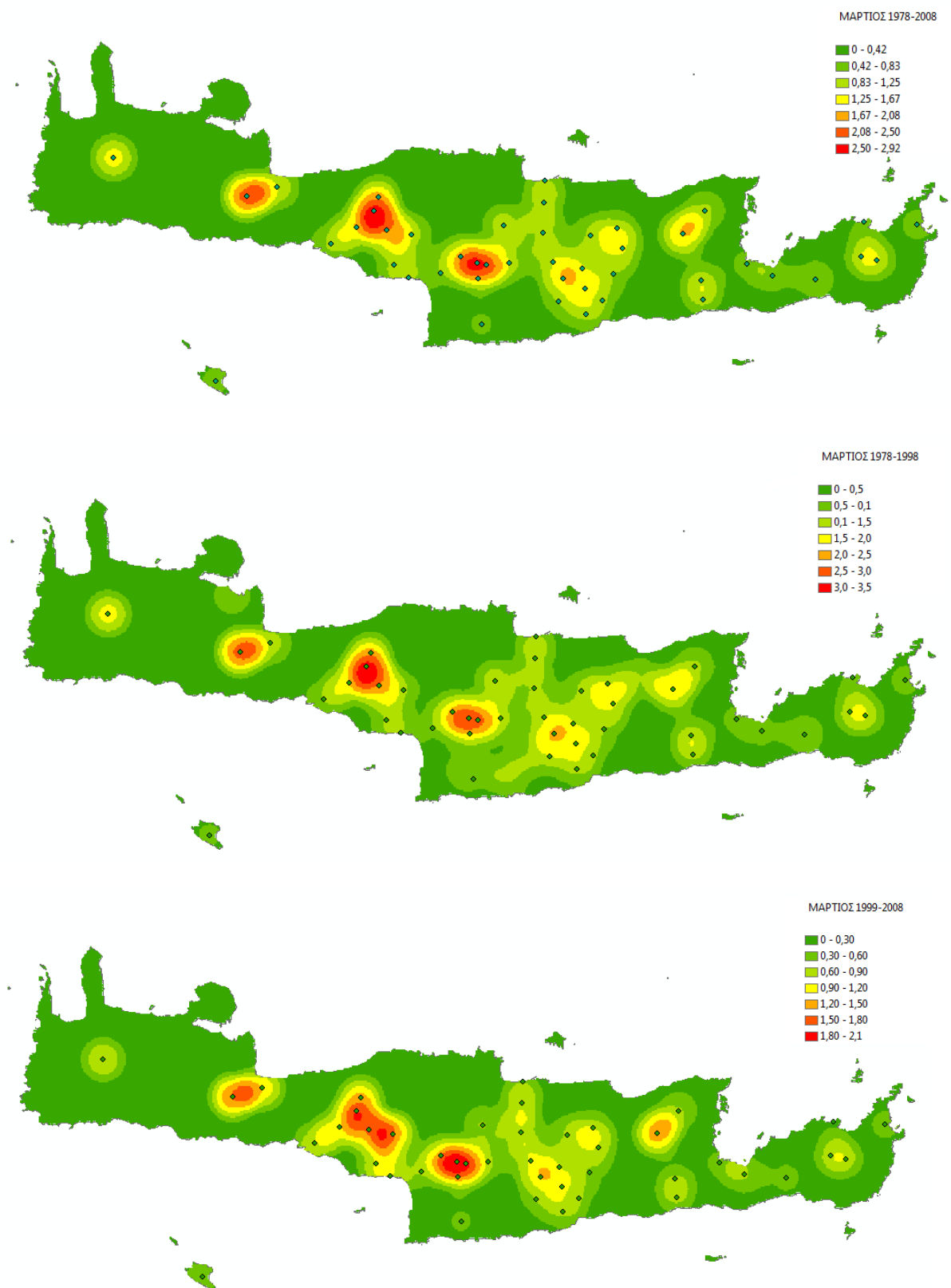
οποίος εμφανίζει βροχοπτώσεις στους σταθμούς *Ασκύφος* και *Μούρι* του Νομού Χανίων αλλά και στον σταθμό *Μορόνι* του Νομού Ηρακλείου. Τέλος, τον μήνα Αύγουστο οι βροχοπτώσεις είναι πιο αυξημένες σε σχέση με τους άλλους δύο θερινούς μήνες και σημειώνονται κυρίως στους σταθμούς των Νομών Χανίων και Ρεθύμνου (*Ασκύφος, Βυζάρι, Καβούσι*)



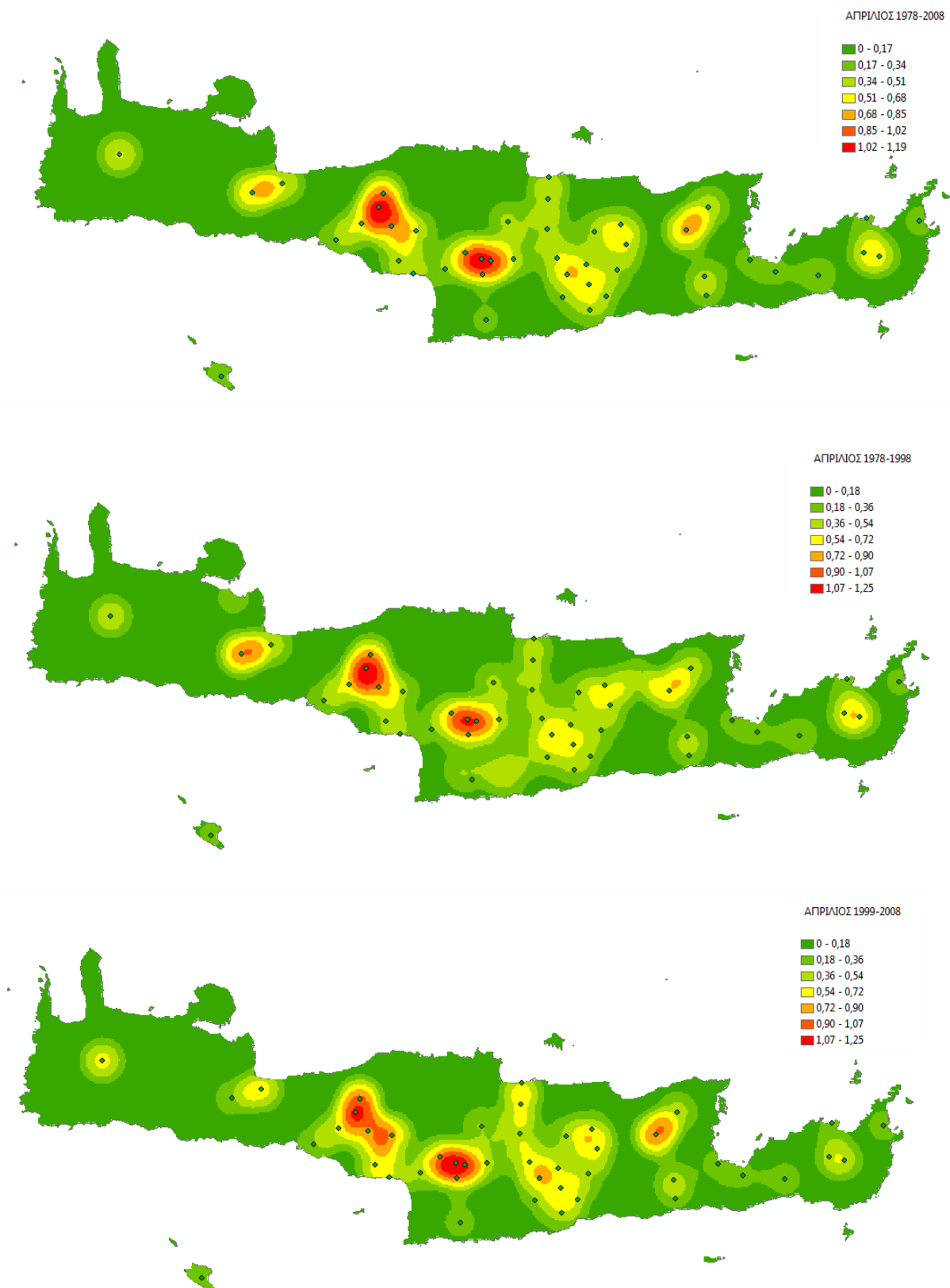
Χάρτης 4.1: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Ιανουάριο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



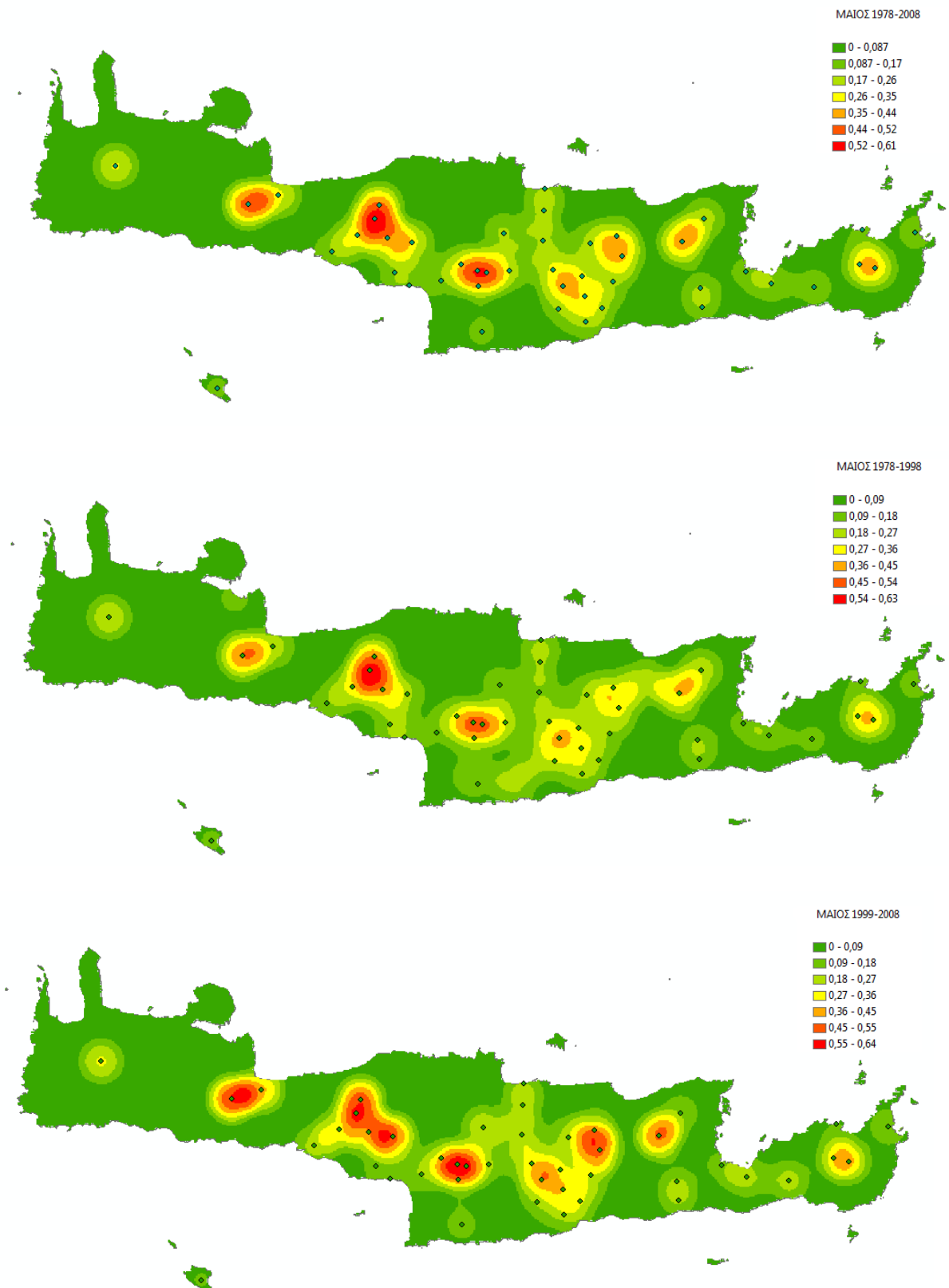
Χάρτης 4.2: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Φεβρουάριο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



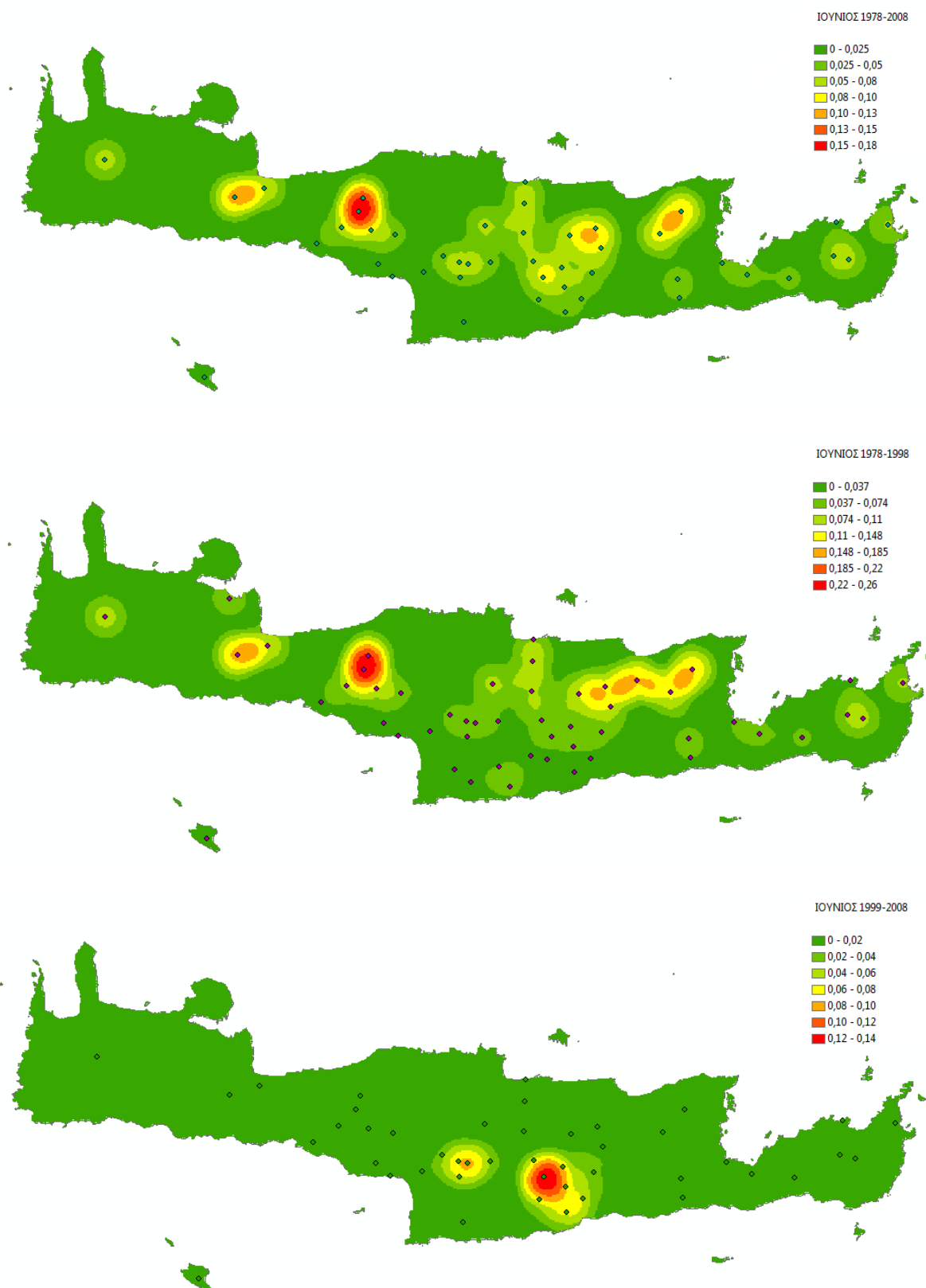
Χάρτης 4.3: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Μάρτιο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



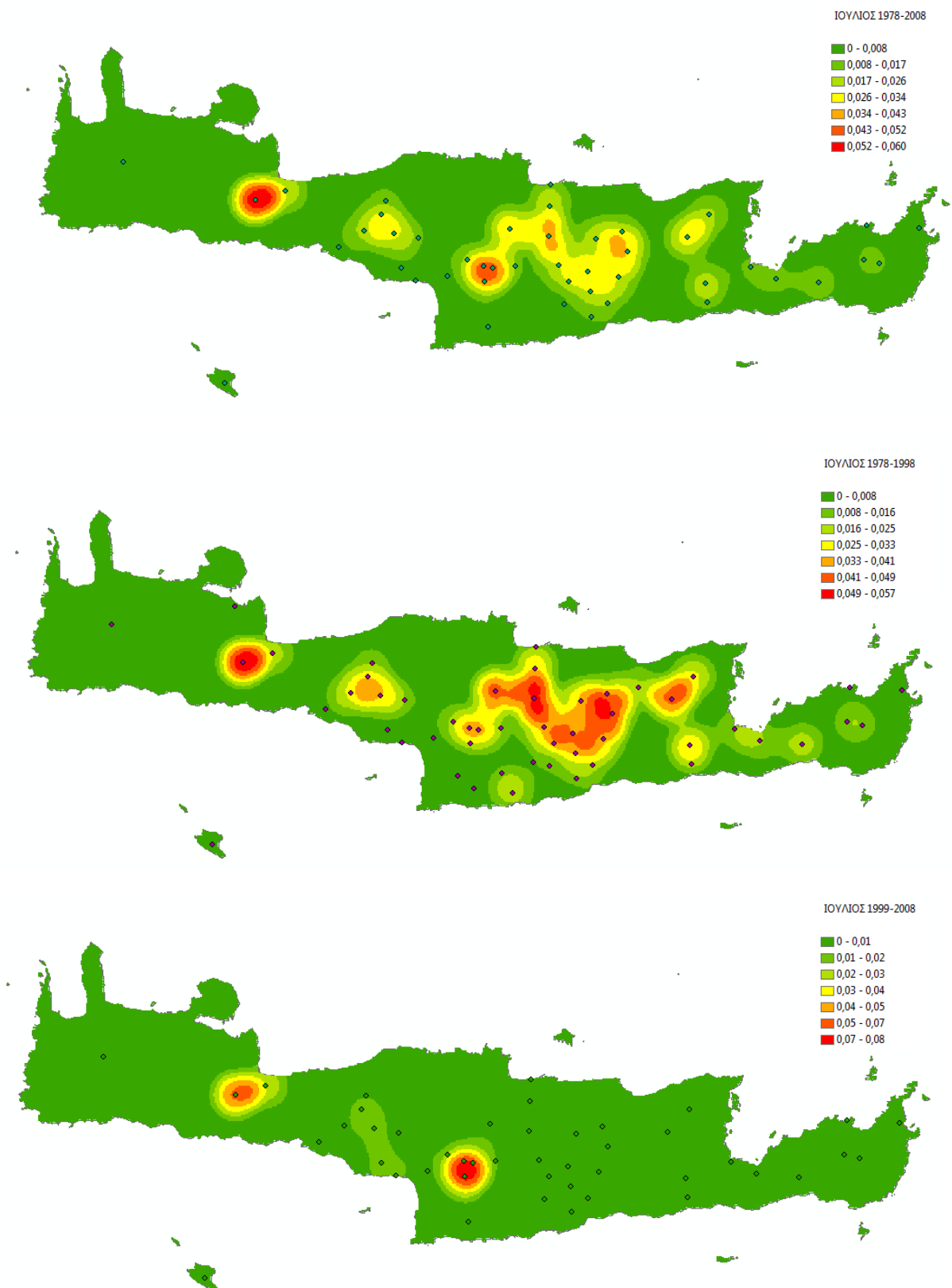
Χάρτης 4.4: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Απρίλιο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



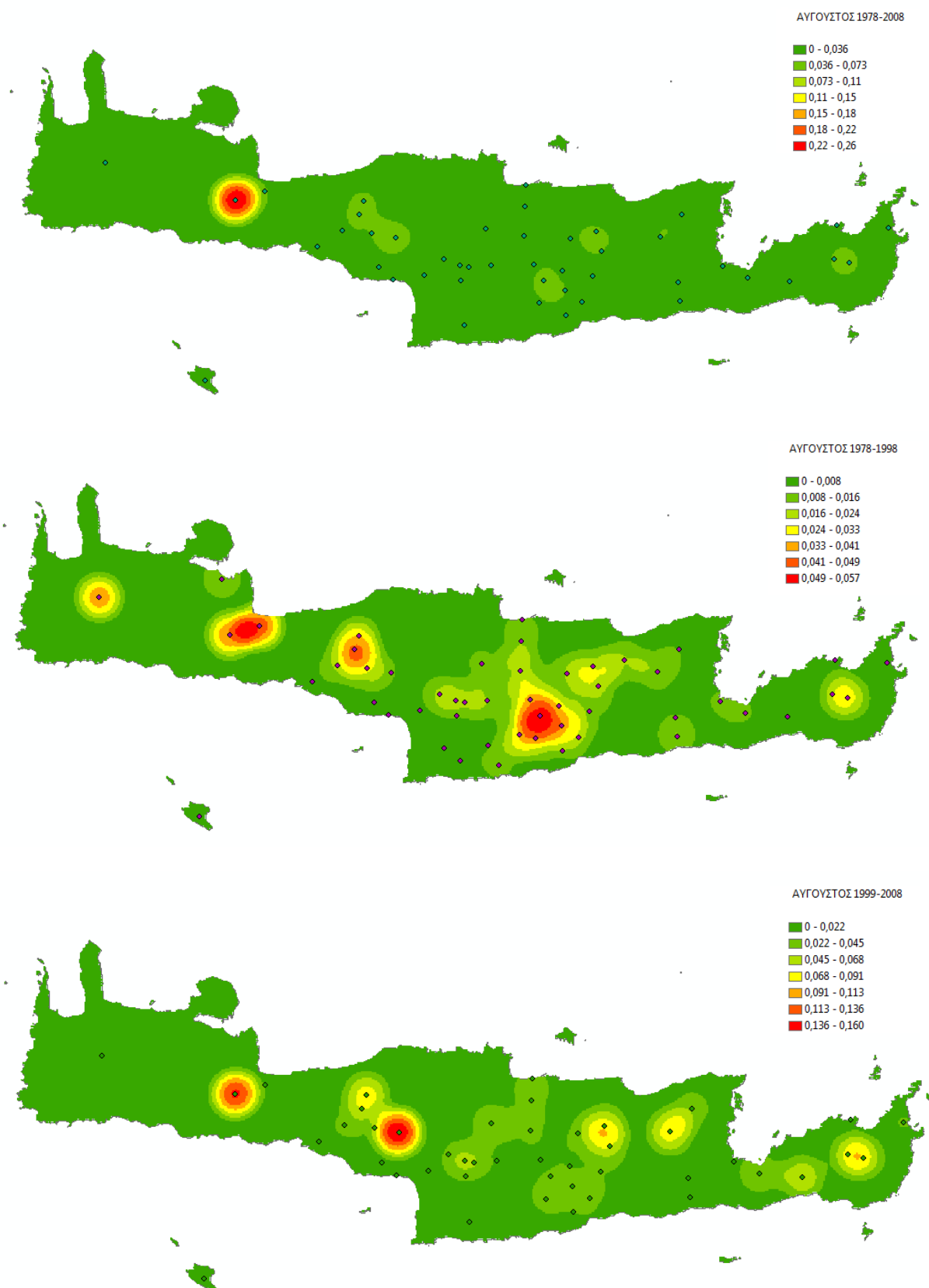
Χάρτης 4.5: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Μάιο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



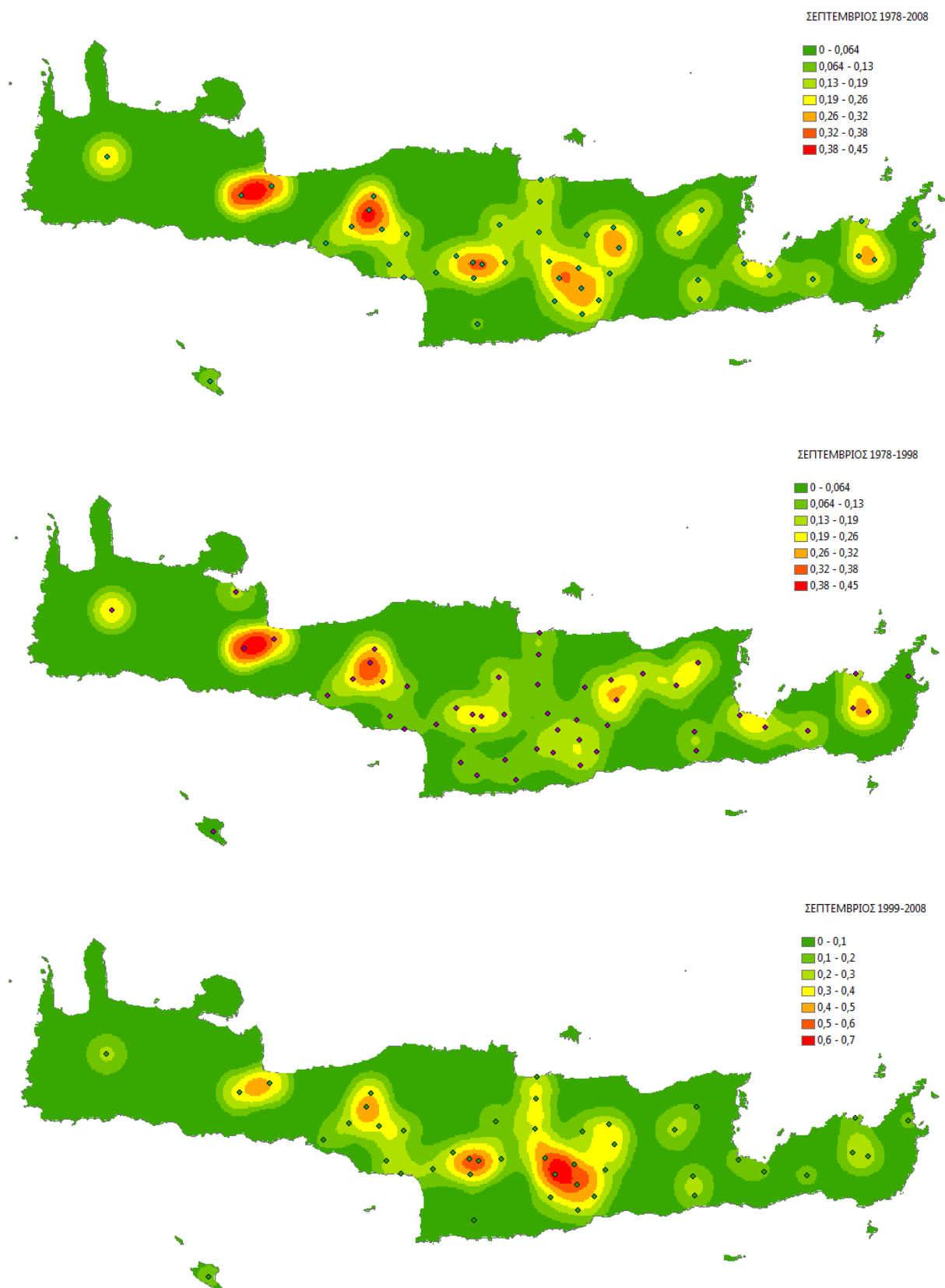
Χάρτης 4.6: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Ιούνιο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



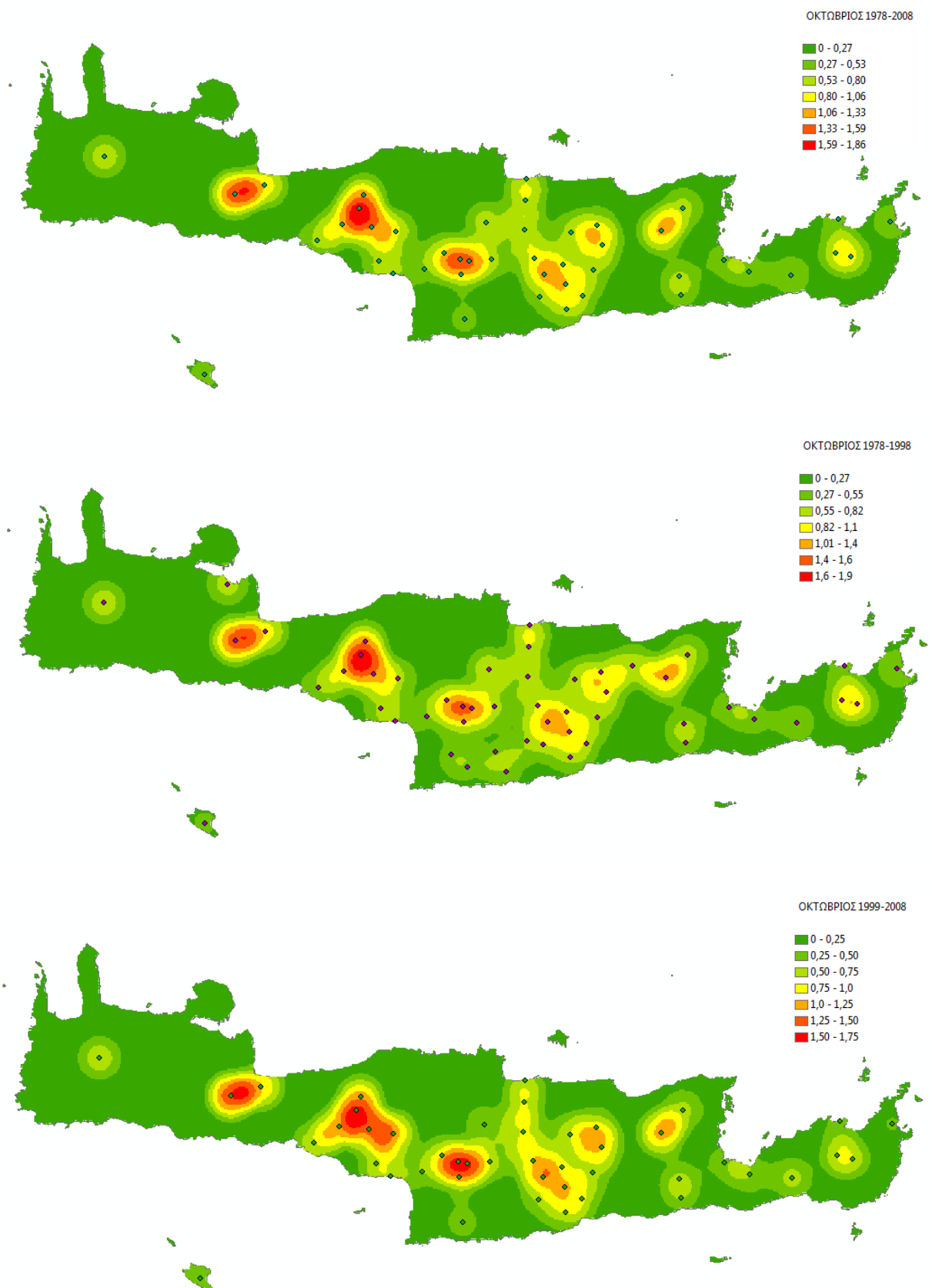
Χάρτης 4.7: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Ιούλιο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



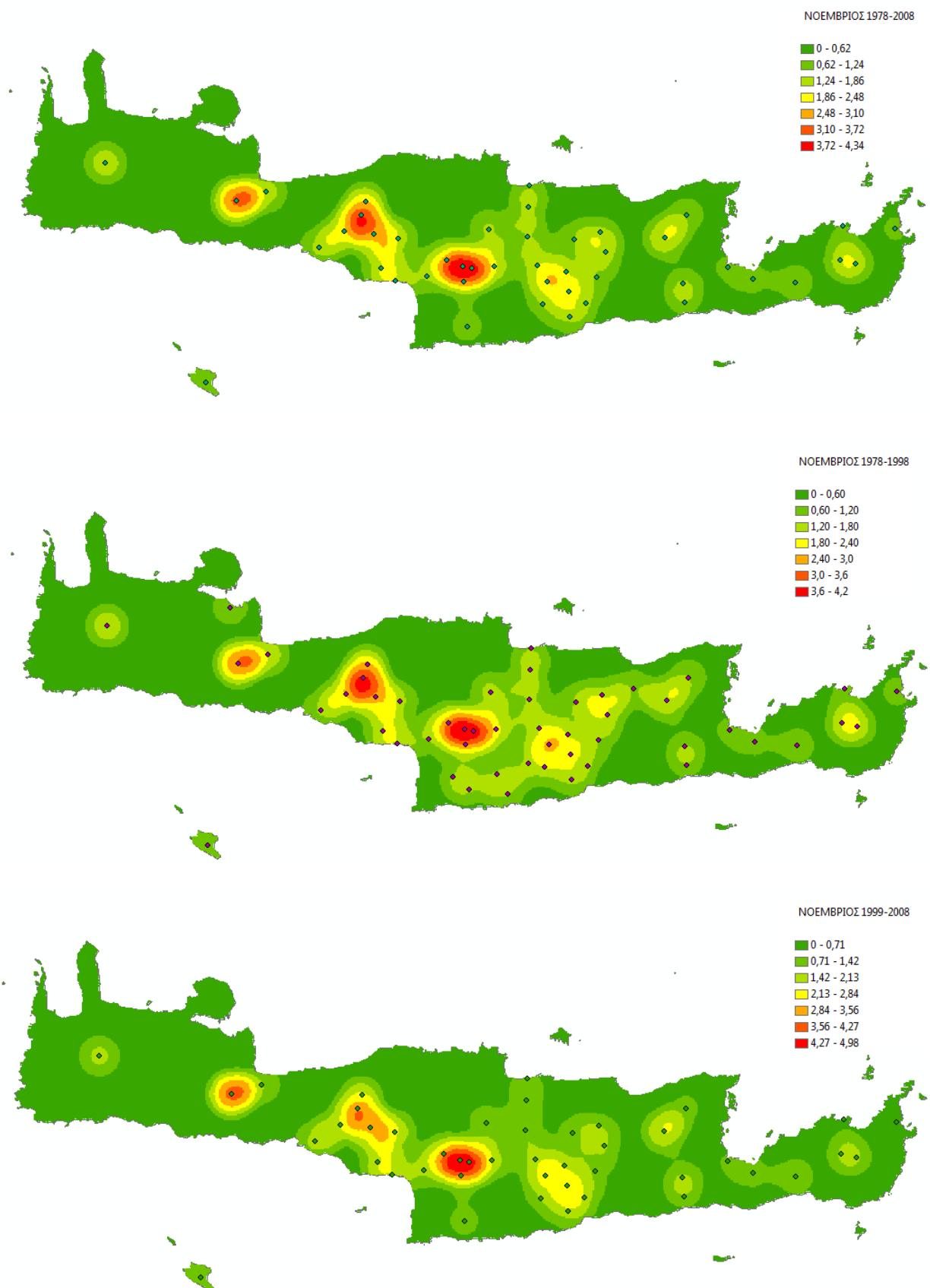
Χάρτης 4.8: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Αύγουστο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



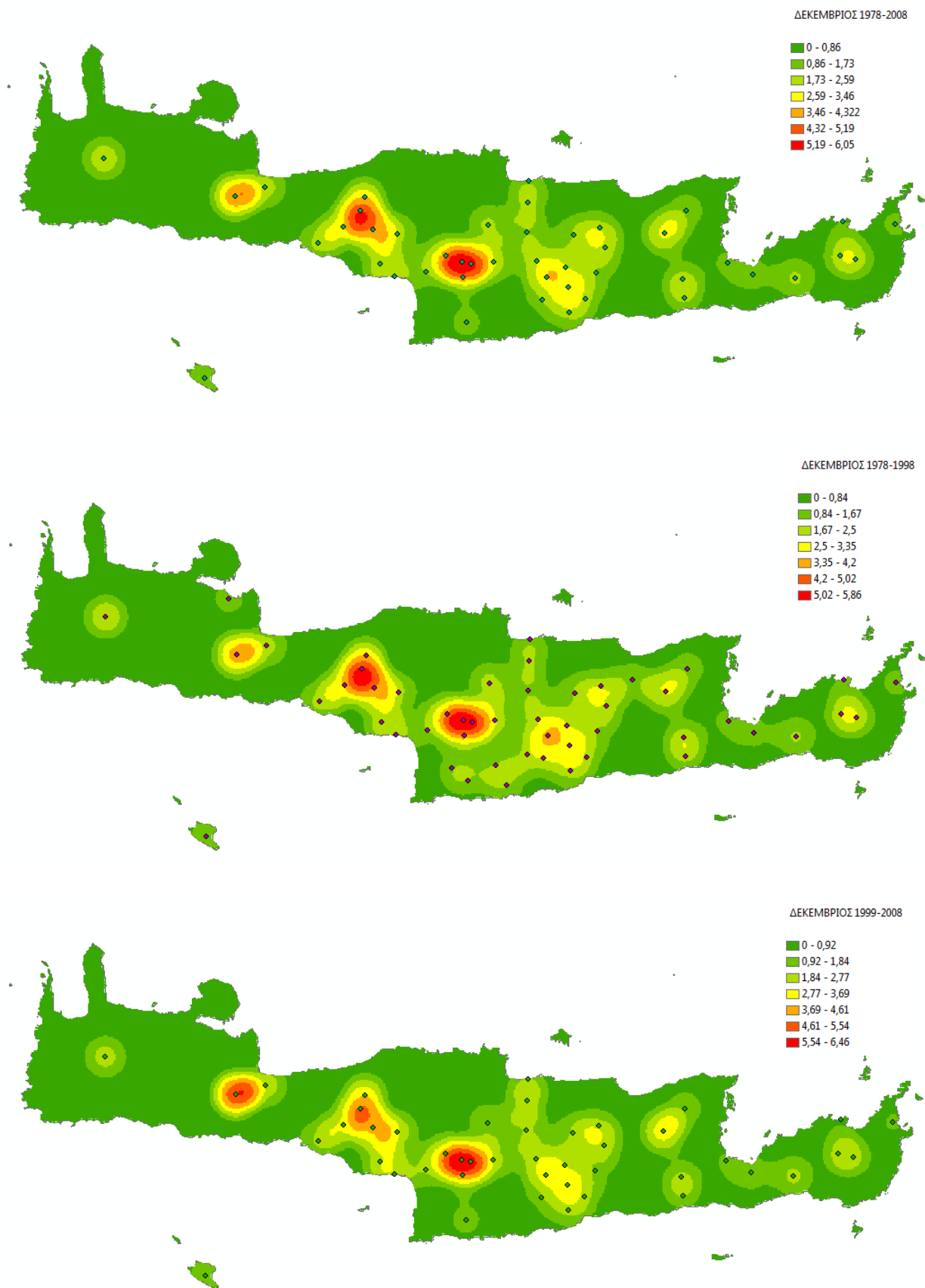
Χάρτης 4.9: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Σεπτέμβριο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



Χάρτης 4.10: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Οκτώβριο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



Χάρτης 4.11: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Νοέμβριο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)



Χάρτης 4.12: Κατανομή της βροχόπτωσης τον μήνα Δεκέμβριο (1978-2008, 1978-1998, 1999-2008)

Από το παρακάτω γράφημα συμπεραίνουμε πως ο Δεκέμβριος είναι ο μήνας με τα μεγαλύτερα ύψη βροχής σε ολόκληρη την Κρήτη ενώ ακολουθούν οι μήνες Ιανουάριος και Φεβρουάριος. Επίσης, φαίνεται ότι οι σημαντικότερες βροχοπτώσεις αρχίζουν τον μήνα Νοέμβριο και παραμένουν σε σχετικά υψηλά επίπεδα έως και τον μήνα Μάρτιο.

Το χρονικό διάστημα 1999-2008 χαρακτηρίζεται από εντονότερες βροχοπτώσεις σε σχέση με τις άλλες δύο περιόδους μελέτης, κυρίως για τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες καθώς και για τους μήνες Απρίλιο και Μάιο. Αντίθετα, η χρονική περίοδος μελέτης 1978-1998 έχει τις χαμηλότερες τιμές βροχόπτωσης για τους αντίστοιχους μήνες. Επομένως συμπεραίνουμε πως έχουμε αύξηση της βροχόπτωσης κατά την δεκαετία 1999-2008.

Ωστόσο, τον μήνα Μάρτιο αλλά και τους θερινούς μήνες οι βροχοπτώσεις είναι λιγότερες την περίοδο 1999-2008. Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι οδηγούμαστε σε πιο βροχερούς χειμώνες και πιο ξηρά καλοκαίρια.

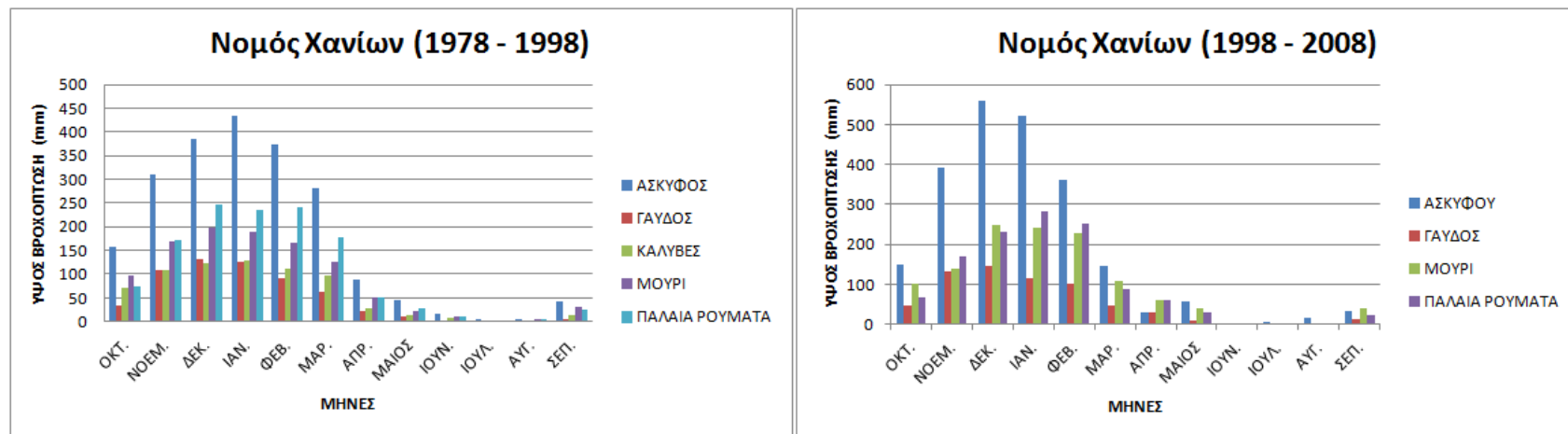


Σχήμα 4.6: Σύγκριση μέσων μηνιαίων τιμών βροχοπτώσεων για τις τρεις περιόδους μελέτης

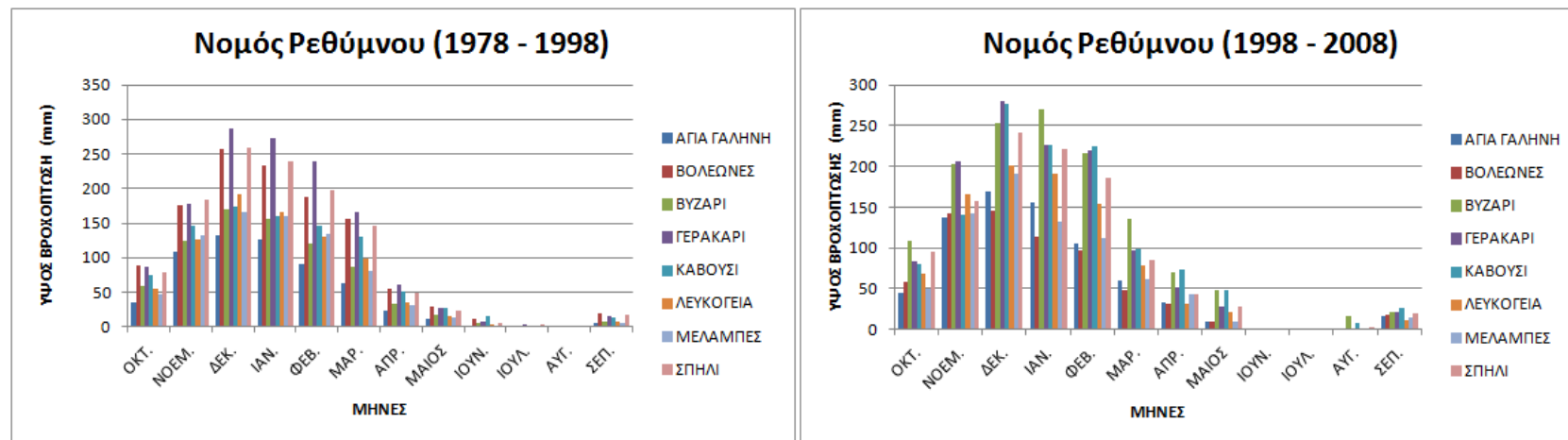
4.6 Μέση μηνιαία βροχόπτωση ανά νομό

Και από τα γραφήματα παρατηρείται ότι όσο προχωράμε προς τα δυτικά του νησιού, δηλαδή από τον Νομό Χανίων προς τον Νομό Λασιθίου, το ύψος βροχής ελαττώνεται. Για παράδειγμα, κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο στον Νομό Χανίων η μέση μηνιαία βροχόπτωση φτάνει τα 240mm με εξαίρεση τον σταθμό Ασκύφου του οποίου οι τιμές φτάνουν τα 435mm. Στο Νομό Ρεθύμνου η μέση μηνιαία βροχόπτωση φτάνει τα 287mm, ενώ στον Νομό Ηρακλείου και Λασιθίου οι τιμές αγγίζουν τα 199mm και 182mm αντίστοιχα (Εξαίρεση αποτελούν οι σταθμοί Βορίζια και Έξω Ποταμοί). Το μήνα Φεβρουάριο η μέση μηνιαία βροχόπτωση στο Νομό Χανίων φτάνει τα 242mm (με εξαίρεση και πάλι τον σταθμό Ασκύφου), στο Νομό Ρεθύμνου φτάνει τα 239mm, ενώ στους Νομούς Ηράκλειο και Λασιθί οι μέγιστες τιμές είναι 194mm και 147mm αντίστοιχα (Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός Έξω Ποταμοί).

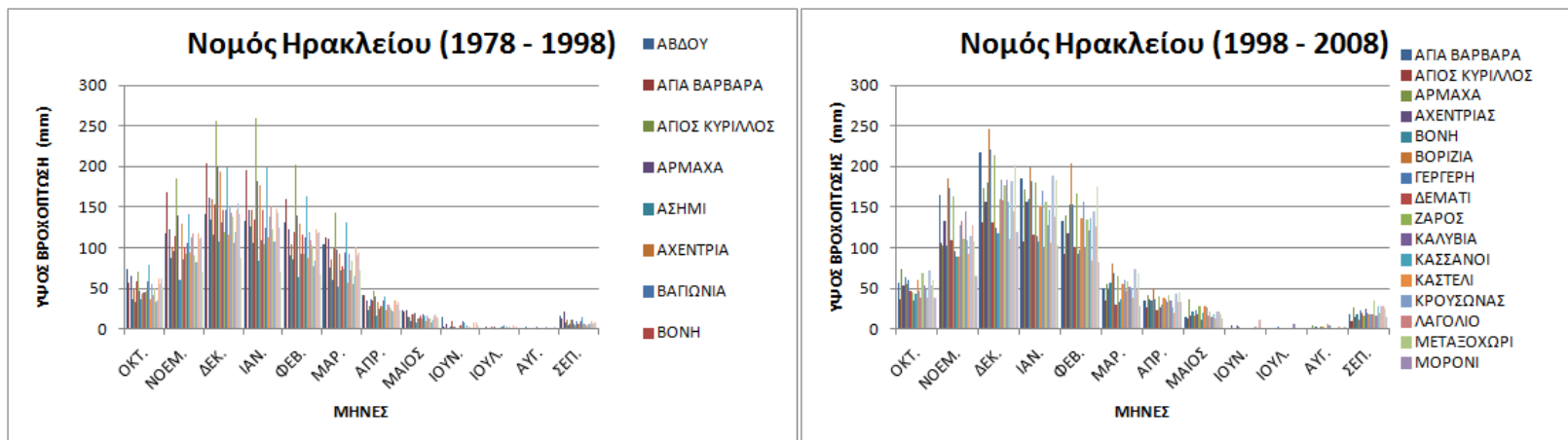
Ανάλογη είναι η εικόνα για όλους τους υπόλοιπους μήνες, ακόμα και για τους καλοκαιρινούς στους οποίους οι βροχοπτώσεις είναι ελάχιστες με αποτέλεσμα οι θερινοί μήνες να θεωρούνται άνομβροι. Παρόμοια κατάσταση εμφανίζεται στα γραφήματα και για την χρονική περίοδο 1999-2008.



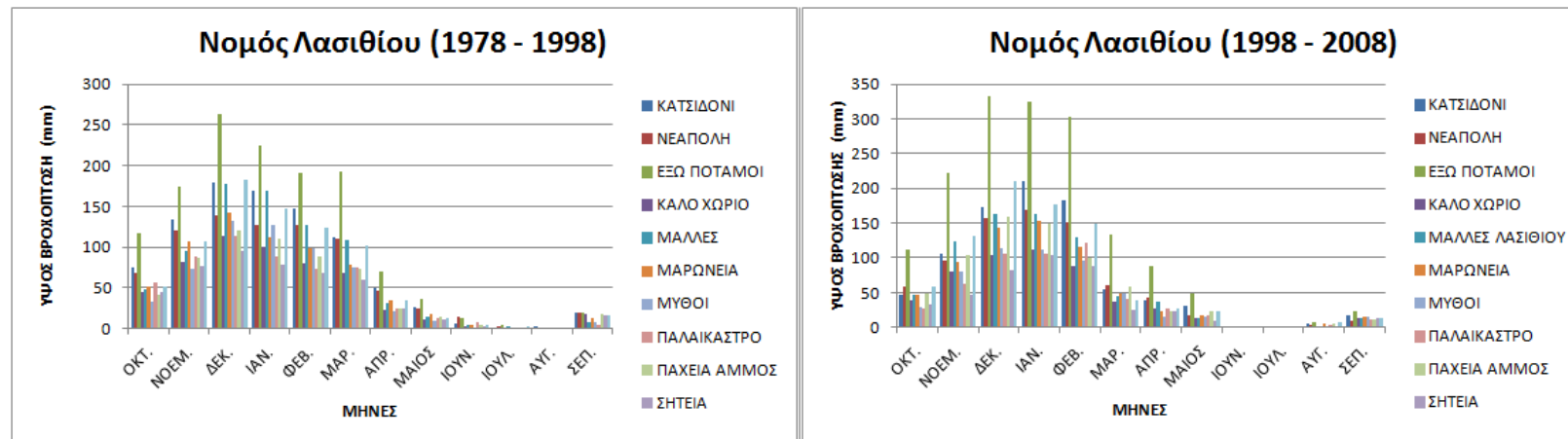
Σχήμα 4.7: Γραφήματα μέσου μηνιαίου ύψους βροχής ανά σταθμό για το Νομό Χανίων



Σχήμα 4.8: Γραφήματα μέσου μηνιαίου ύψους βροχής ανά σταθμό για το Νομό Ρεθύμνου



Σχήμα 4.9: Γραφήματα μέσου μηνιαίου ύψους βροχής ανά σταθμό για το Νομό Ηρακλείου



Σχήμα 4.10: Γραφήματα μέσου μηνιαίου ύψους βροχής ανά σταθμό για το Νομό Λασιθίου

Πιο αναλυτικά, σε επίπεδο νομού συμπεραίνουμε τα παρακάτω:

Νομός Χανίων:

Η περιοχή των Χανίων δέχεται αρκετές βροχοπτώσεις οι οποίες αυξάνουν καθώς πλησιάζουμε προς τον ορεινό όγκο των Λευκών Ορέων. Πιο συγκεκριμένα η βροχόπτωση παρουσιάζει αυξημένες τιμές στις κεντρικές ορεινές περιοχές του νομού (σταθμός *Ασκύφος*) καθώς και στις βόρειες ακτές του (σταθμός *Μουρί*)

Αντίθετα, η βροχόπτωση ελαττώνεται στην παράκτια περιοχή του κόλπου της Σούδας, στη βόρεια πλευρά του νομού (σταθμός *Καλύβες*) καθώς και στο νησάκι της Γαύδου.

Νομός Ρεθύμνου:

Οι περισσότεροι βροχομετρικοί σταθμοί του νομού Ρεθύμνου παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές με αυτές των σταθμών του νομού Χανίων, αν εξαιρέσουμε τον σταθμό *Ασκύφο* ο οποίος παρουσιάζει ιδιαίτερα αυξημένες τιμές. Επίσης, παρατηρείται πως ο σταθμός *Αγία Γαλήνη* παρουσιάζει τις ίδιες τιμές με αυτόν της *Γαύδου*.

Δύο χαρακτηριστικοί σταθμοί του νομού Ρεθύμνου είναι ο σταθμός *Αγία Γαλήνη* και ο σταθμός *Γερακάρι*. Ο πρώτος καταγράφει αρκετά χαμηλές τιμές, ενώ σε ορισμένους μήνες καταγράφει τις χαμηλότερες σε όλο τον νομό. Αντίθετα ο σταθμός *Γερακάρι* παρουσιάζει αυξημένες τιμές σε σχέση με τους υπόλοιπους, ιδιαίτερα την περίοδο 1999-2008.

Νομός Ηρακλείου:

Η περιοχή του Νομού Ηρακλείου μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια περιοχή αρκετά υγρή από πλευράς βροχοπτώσεων όσον αφορά το δυτικό τμήμα του νομού. Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή της Μεσσαράς η οποία προφυλάσσεται από βορρά από τον ορεινό όγκο της Ίδης και προς νότο από τα Αστερούσια Όρη φαίνεται εκ πρώτης όψεως λιγότερο βροχερή από τις γειτονικές της περιοχές. Ωστόσο, η δυτική Μεσσαρά (Σταθμός

Βορίζια) επωφελείται από αρκετές βροχοπτώσεις που πιθανότατα να οφείλονται στους δυτικούς υγρούς ανέμους, προς τους οποίους η Μεσσαρά προσφέρει ανοιχτό δρόμο. Αντιθέτως, οι περισσότεροι σταθμοί της Μεσσαράς και κυρίως της ανατολικής πλευράς της πεδιάδας εμφανίζουν μικρές τιμές βροχόπτωσης (Σταθμοί: *Ασήμι, Αχεντριά, Βαγωνιά, Δεμάτι, Καλύβια, Καπετανιανά, Κασσάνοι*).

Νομός Λασιθίου:

Η περιοχή του Νομού Λασιθίου χαρακτηρίζεται από ήπιες βροχοπτώσεις σε σχέση με την υπόλοιπη Κρήτη. Εξαίρεση αποτελεί ο σταθμός *Έζω Ποταμοί* που παρουσιάζει αρκετά μεγάλες τιμές καθ' όλη την διάρκεια του έτους, κυρίως λόγω του υψομέτρου του (840 μέτρα υψόμετρο).

Αρκετά αυξημένες τιμές εμφανίζει σε ορισμένους μήνες και ο σταθμός *Κατσιδόνι*, κυρίως την περίοδο 1999-2008, ενώ για την ίδια περίοδο ο σταθμός *Σητεία* καταγράφει αρκετά χαμηλές τιμές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Χωρική αυτοσυσχέτιση

Η χωρική ανάλυση έχει στο θεωρητικό της πυρήνα τον πρώτο νόμο της γεωγραφίας, όπως ονομάζεται η ρήση του Waldo Tobler (UCSB) ότι: “Τα πάντα σχετίζονται μεταξύ τους αλλά τα κοντινά πράγματα σχετίζονται περισσότερο μεταξύ τους από ότι τα απομακρυσμένα” (Tobler, 1970, p. 236). Δηλαδή, η χωρική αυτοσυσχέτιση είναι ένας όρος που υποδηλώνει ότι τα δεδομένα που βρίσκονται σε κοντινές τοποθεσίες έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να έχουν ομοιότητες μεταξύ τους απ’ ότι δεδομένα που βρίσκονται μακριά το ένα από το άλλο στον γεωγραφικό χώρο. Για παράδειγμα, αναμένουμε γειτονικές περιοχές να παρουσιάζουν παρόμοια ύψη βροχόπτωσης σε σχέση με περιοχές που απέχουν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους.

Η μελέτη της αυτοσυσχέτισης είναι αρκετά σημαντική όταν εξετάζουμε χωρικά πρότυπα. Στην ουσία μας εξηγεί αν το υπό εξέταση χωρικό πρότυπο υπάρχει στην πραγματικότητα και θα προέκυπτε και στην περίπτωση που υπήρχαν και άλλοι βροχομετρικοί σταθμοί στην περιφέρεια της Κρήτης, ή αν αυτό το χωρικό πρότυπο (η χαρτογράφηση των βροχομετρικών μετρήσεων) είναι τυχαίο.

Η χωρική αυτοσυσχέτιση μπορεί να είναι θετική, αρνητική, ή να μην υπάρχει. Περιπτώσεις:

- Θετική αυτοσυσχέτιση: οι γειτονικές περιοχές εμφανίζουν παρόμοιες τιμές
- Αρνητική αυτοσυσχέτιση: οι γειτονικές περιοχές δεν εμφανίζουν ομοιότητα με αποτέλεσμα υψηλές τιμές να συνορεύουν με χαμηλές τιμές.
- Έλλειψη αυτοσυσχέτισης: το υπό εξέταση χωρικό πρότυπο είναι τυχαίο.

5.2 Συντελεστής χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran

Ο συντελεστής I του Moran αποτελεί το πιο διαδεδομένο μέτρο για την εξέταση της ύπαρξης χωρικής αυτοσυσχέτισης σε χωρικά δεδομένα. Δηλαδή, αν η χωρική κατανομή που παρατηρούμε παρουσιάζει συγκέντρωση (οι γειτονικές περιοχές εμφανίζουν παρόμοιες τιμές) ή είναι τυχαία.

Ο πρώτος μαθηματικός τύπος του δείκτη Moran's I για μια μεταβλητή X ο οποίος προτάθηκε από τον Moran είναι:

$$I = \frac{n}{2A} \frac{\sum_i^n \sum_j^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.1)$$

Όπου, n: ο αριθμός των παρατηρήσεων

$\bar{x}$: η μέση τιμή των τιμών x_i

A: ο συνολικός αριθμός συνδέσεων στο σύστημα με βάση τη γειτνίαση

w_{ij} : τα χωρικά βάρη μεταξύ των παρατηρήσεων I και j

Ωστόσο, σήμερα για τον δείκτη χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I χρησιμοποιείται ο μαθηματικός τύπος των Cliff and Ord (1973, 1981) που βασίστηκε σε αυτόν του Moran, και είναι:

$$I = \frac{n \sum_i^n \sum_j^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i^n \sum_j^n w_{ij} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.2)$$

Όπου, $\sum_i^n \sum_j^n w_{ij}$: είναι το άθροισμα όλων των χωρικών βαρών w_{ij} στο χάρτη, δηλαδή όλα τα ζεύγη σημείων.

Ο δείκτης Moran's I παίρνει τιμές από -1 έως +1 και ερμηνεύεται ως εξής:

- Τιμές κοντά στο +1 δηλώνουν ισχυρή θετική χωρική αυτοσυσχέτιση
- Τιμές κοντά στο -1 δηλώνουν ισχυρή αρνητική χωρική αυτοσυσχέτιση
- Τιμές κοντά στο 0 δηλώνουν απουσία χωρικής αυτοσυσχέτισης

5.3 Μελέτη χωρικής αυτοσυσχέτισης

Στην περίπτωση μας εξετάζεται η ύπαρξη χωρικής αυτοσυσχέτισης για τις τρεις χρονικές περιόδους (1978-2008 καταγραφή βροχόπτωσης από 45 σταθμούς, 1978-1998 καταγραφή βροχόπτωσης από 51 σταθμούς, 1998-2008 καταγραφή βροχόπτωσης από 45 σταθμούς) για τρεις μεταβλητές.

- Αρχικά είναι η μεταβλητή “Μέση *υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης*” που αφορά στη μέση τιμή των ετήσιων βροχοπτώσεων που έχει καταγράψει ο κάθε σταθμός. Ερευνάται αν οι γειτονικοί βροχομετρικοί σταθμοί έχουν καταγράψει παρόμοιες τιμές βροχόπτωσης σε σχέση με σταθμούς που απέχουν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους.
- Επίσης, μια άλλη μεταβλητή που εξετάζεται είναι η “*Δυναμικότητα σταθμού*”, που είναι ο λόγος των θετικών μεταβολών της βροχόπτωσης του κάθε σταθμού προς τον αριθμό των αρνητικών του μεταβολών για το σύνολο της κάθε χρονικής περιόδου μελέτης. Δηλαδή εξετάζεται αν για κάθε βροχομετρικό σταθμό υπερέχει η αύξηση της βροχόπτωσης από έτος σε έτος ή υπερέχει η μείωσή της.
- Και τέλος, εξετάζεται η μεταβλητή “*Χρονικότητα*” που είναι ο λόγος του αθροίσματος της βροχόπτωσης του 50% των πρόσφατων ετών προς το άθροισμα της βροχόπτωσης του 50% των παλαιότερων ετών. Για παράδειγμα, στην χρονική περίοδο 1999-2008 έχουμε:

$$\text{Χρονικότητα} = \frac{\sum_{t=2004}^{t=2008} t_i}{\sum_{t=1999}^{t=2003} t_i} \quad (5.3)$$

Τα αποτελέσματα των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του δείκτη Moran’s I ώστε να εξεταστεί η ύπαρξη της χωρικής αυτοσυσχέτισης, φαίνονται στους πίνακες 2, 3 και 4.

Πίνακας 2: Δεδομένα σταθμών για τη χρονική περίοδο 1978-2008

Όνομα Σταθμού	Μέση Υπερετήσια Τιμή (mm)	Δυναμικότητα Σταθμού	Χρονικότητα Σταθμού
ΑΣΚΥΦΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	2191,05	1,20	1,14
ΓΑΥΔΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	609,26	1,65	1,11
ΜΟΥΡΙ ΧΑΝΙΩΝ	1112,47	1,45	1,17
ΠΑΛΑΙΑ ΡΟΥΜΑΤΑ ΧΑΝΙΩΝ	1246,25	1,25	1,01
ΑΓΙΑ ΓΑΛΗΝΗ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	639,39	1,69	1,22
ΒΟΛΕΩΝΕΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1039,99	1,34	0,87
ΒΥΖΑΡΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	960,45	1,48	1,50
ΓΕΡΑΚΑΡΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1303,37	1,47	1,01
ΚΑΒΟΥΣΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1021,42	1,54	1,34
ΛΕΥΚΟΓΕΙΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	856,98	1,54	1,30
ΜΕΛΑΜΠΕΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	767,99	1,55	0,99
ΣΠΗΛΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1168,66	1,54	1,01
ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	938,98	1,18	0,97
ΑΓΙΟΣ ΚΥΡΙΛΛΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	546,91	1,45	1,08
ΑΡΜΑΧΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	819,97	1,38	1,06
ΑΧΕΝΤΡΙΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	710,25	1,43	1,10
ΒΟΝΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	763,69	1,59	1,22
ΒΟΡΙΖΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	1145,05	1,37	0,94
ΓΕΡΓΕΡΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	899,71	1,29	1,21
ΔΕΜΑΤΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	487,92	1,55	1,36
ΖΑΡΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	850,56	1,48	1,26
ΚΑΛΥΒΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	575,89	1,43	1,05
ΚΑΣΣΑΝΟΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	571,76	1,54	1,03
ΚΑΣΤΕΛΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	728,69	1,22	1,11
ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	945,80	1,38	0,88
ΛΑΓΟΛΙΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	574,26	1,59	1,15
ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	754,58	1,54	1,22
ΜΟΡΟΝΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	709,49	1,45	1,21
ΠΑΡΤΗΡΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	668,36	1,54	1,22
ΠΡΑΤΙΤΩΡΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	535,53	1,47	1,03
ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	806,15	1,32	1,27
ΤΕΦΕΛΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	733,75	1,35	1,15
ΦΟΙΝΙΚΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	775,75	1,50	1,36
Υ.Ε.Β. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	480,15	1,54	1,11
ΚΑΤΣΙΔΟΝΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	905,35	1,47	0,90
ΝΕΑΠΟΛΗ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	790,81	1,59	1,02
ΕΞΩ ΠΟΤΑΜΟΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	1408,35	1,43	1,38
ΚΑΛΟ ΧΩΡΙΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	535,66	1,47	0,99
ΜΑΛΛΕΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	770,21	1,24	0,94
ΜΑΡΩΝΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	662,54	1,40	1,01
ΜΥΘΟΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	561,51	1,38	1,00
ΠΑΛΑΙΚΑΣΤΡΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	538,36	1,57	1,09
ΠΑΧΕΙΑ ΑΜΜΟΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	615,88	1,45	1,13

ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	463,19	1,38	0,89
ΣΤΑΥΡΟΧΩΡΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	800,06	1,73	1,06

Πίνακας 3: Δεδομένα σταθμών για τη χρονική περίοδο 1978-1998

Όνομα Σταθμού	Μέση Υπερετήσια Τιμή (mm)	Δυναμικότητα Σταθμού	Χρονικότητα Σταθμού
ΑΣΚΥΦΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	2145,15	1,18	0,89
ΓΑΥΔΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	595,53	1,82	0,78
ΚΑΛΥΒΕΣ ΧΑΝΙΩΝ	705,40	1,61	0,83
ΜΟΥΡΙ ΧΑΝΙΩΝ	1065,39	1,50	1,04
ΠΑΛΑΙΑ ΡΟΥΜΑΤΑ ΧΑΝΙΩΝ	1265,90	1,18	0,86
ΑΓΙΑ ΓΑΛΗΝΗ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	595,53	1,82	0,78
ΒΟΛΕΩΝΕΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1218,36	1,35	1,04
ΒΥΖΑΡΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	778,78	1,42	0,76
ΓΕΡΑΚΑΡΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1344,22	1,47	0,87
ΚΑΒΟΥΣΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	937,30	1,61	0,92
ΛΕΥΚΟΓΕΙΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	826,56	1,50	1,06
ΜΕΛΑΜΠΕΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	771,20	1,67	0,73
ΣΠΗΛΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1209,54	1,64	0,93
ΑΒΔΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	808,41	1,50	0,94
ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	967,84	1,12	0,77
ΑΓΙΟΣ ΚΥΡΙΛΛΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	540,52	1,50	0,77
ΑΡΜΑΧΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	816,68	1,31	0,82
ΑΣΗΜΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	597,11	1,38	0,79
ΑΧΕΝΤΡΙΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	696,67	1,33	0,88
ΒΑΓΙΩΝΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	546,15	1,53	0,75
ΒΟΝΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	749,08	1,45	0,95
ΒΟΡΙΖΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	1189,30	1,35	0,76
ΓΕΡΓΕΡΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	875,64	1,22	0,90
ΔΕΜΑΤΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	433,86	1,53	0,73
ΖΑΡΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	814,71	1,55	0,91
ΚΑΛΥΒΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	582,87	1,35	0,83
ΚΑΠΕΤΑΝΙΑΝΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	683,38	1,64	0,75
ΚΑΣΣΑΝΟΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	574,50	1,53	0,79
ΚΑΣΤΕΛΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	721,30	1,12	0,86
ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	999,93	1,26	0,79
ΛΑΓΟΛΙΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	541,48	1,70	0,77
ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	729,55	1,45	1,00
ΜΟΡΟΝΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	687,23	1,58	0,88
ΠΑΡΤΗΡΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	641,48	1,58	0,95
ΠΟΜΠΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	499,30	1,89	0,83
ΠΡΑΤΙΤΩΡΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	537,87	1,38	0,79
ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	774,35	1,26	1,01
ΤΕΦΕΛΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	732,85	1,31	0,95

ΦΟΙΝΙΚΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	720,15	1,47	1,13
Υ.Ε.Β. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	470,38	1,53	0,89
ΚΑΤΣΙΔΟΝΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	923,45	1,45	0,68
ΝΕΑΠΟΛΗ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	802,63	1,55	0,84
ΕΞΩ ΠΟΤΑΜΟΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	1319,24	1,45	1,07
ΚΑΛΟ ΧΩΡΙΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	546,89	1,38	0,88
ΜΑΛΛΕΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	787,39	1,18	0,72
ΜΑΡΩΝΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	661,18	1,42	0,77
ΜΥΘΟΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	578,43	1,33	0,80
ΠΑΛΑΙΚΑΣΤΡΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	546,75	1,50	0,97
ΠΑΧΕΙΑ ΑΜΜΟΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	584,60	1,31	0,80
ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	480,99	1,38	0,74
ΣΤΑΥΡΟΧΩΡΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	782,50	1,55	0,81

Πίνακας 4: Δεδομένα σταθμών για τη χρονική περίοδο 1999-2008

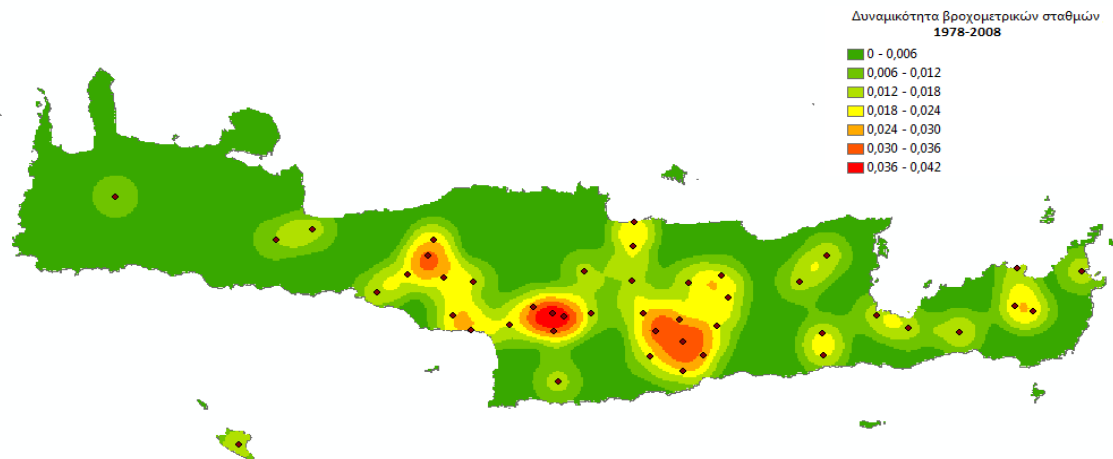
Όνομα Σταθμού	Μέση Υπερετήσια Τιμή (mm)	Δυναμικότητα Σταθμού	Χρονικότητα Σταθμού
ΑΣΚΥΦΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	2287,43	1,25	0,80
ΓΑΥΔΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	638,10	1,30	0,73
ΜΟΥΡΙ ΧΑΝΙΩΝ	1211,33	1,35	0,90
ΠΑΛΑΙΑ ΡΟΥΜΑΤΑ ΧΑΝΙΩΝ	1205,01	1,45	0,85
ΑΓΙΑ ΓΑΛΗΝΗ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	731,48	1,35	0,58
ΒΟΛΕΩΝΕΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	665,41	1,40	0,80
ΒΥΖΑΡΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1341,97	1,57	0,89
ΓΕΡΑΚΑΡΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1217,59	1,57	0,84
ΚΑΒΟΥΣΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1198,07	1,45	0,82
ΛΕΥΚΟΓΕΙΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	920,86	1,70	0,72
ΜΕΛΑΜΠΕΣ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	761,27	1,35	0,86
ΣΠΗΛΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1082,80	1,40	0,82
ΑΓΙΑ ΒΑΡΒΑΡΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	878,36	1,25	0,92
ΑΓΙΟΣ ΚΥΡΙΛΛΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	560,33	1,40	0,85
ΑΡΜΑΧΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	826,89	1,51	0,83
ΑΧΕΝΤΡΙΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	738,78	1,77	0,95
ΒΟΝΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	794,38	2,00	0,94
ΒΟΡΙΖΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	1052,10	1,45	0,88
ΓΕΡΓΕΡΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	950,25	1,45	0,79
ΔΕΜΑΤΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	601,44	1,70	0,96
ΖΑΡΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	925,82	1,30	0,89
ΚΑΛΥΒΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	561,25	1,63	0,81
ΚΑΣΣΑΝΟΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	566,00	1,63	0,99
ΚΑΣΤΕΛΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	744,19	1,45	0,91
ΚΡΟΥΣΩΝΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	832,12	1,84	0,74
ΛΑΓΟΛΙΟ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	643,11	1,40	0,83
ΜΕΤΑΞΟΧΩΡΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	807,15	1,77	0,88

ΜΟΡΟΝΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	756,24	1,25	0,78
ΠΑΡΤΗΡΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	724,81	1,57	0,95
ΠΡΑΤΙΤΩΡΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	530,61	1,77	0,89
ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	872,92	1,57	0,71
ΤΕΦΕΛΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	735,62	1,45	0,83
ΦΟΙΝΙΚΙΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	892,52	1,51	0,77
Υ.Ε.Β. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	500,68	1,51	0,93
ΚΑΤΣΙΔΟΝΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	867,32	1,57	0,91
ΝΕΑΠΟΛΗ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	765,98	1,84	1,00
ΕΞΩ ΠΟΤΑΜΟΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	1595,48	1,45	0,88
ΚΑΛΟ ΧΩΡΙΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	512,07	1,70	0,90
ΜΑΛΛΕΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	734,14	1,40	0,88
ΜΑΡΩΝΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	665,41	1,35	0,83
ΜΥΘΟΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	525,98	1,63	0,87
ΠΑΛΑΙΚΑΣΤΡΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	520,75	1,84	0,91
ΠΑΧΕΙΑ ΑΜΜΟΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	681,57	1,77	1,10
ΣΗΤΕΙΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	425,82	1,45	1,05
ΣΤΑΥΡΟΧΩΡΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	836,95	2,27	1,16

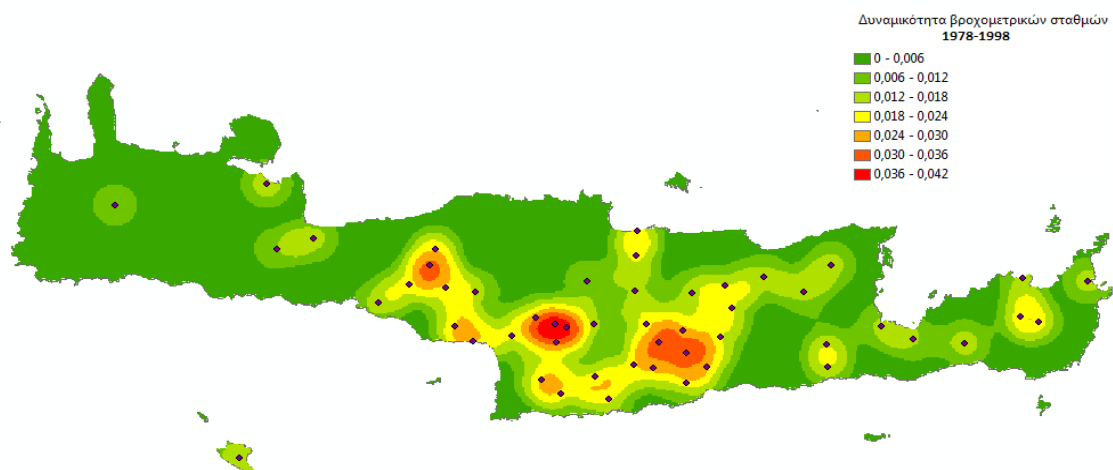
Δυναμικότητα σταθμών:

Από τους χάρτες που απεικονίζουν την δυναμικότητα των βροχομετρικών σταθμών παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζεται κυρίως στην κεντρική Κρήτη. Συγκεκριμένα, τις περισσότερες θετικές μεταβολές όσον αφορά τη βροχόπτωση, τις εμφανίζουν σταθμοί δυτικά και ανατολικά του Νομού Ηρακλείου, ενώ ακολουθούν βροχομετρικοί σταθμοί του Νομού Λασιθίου.

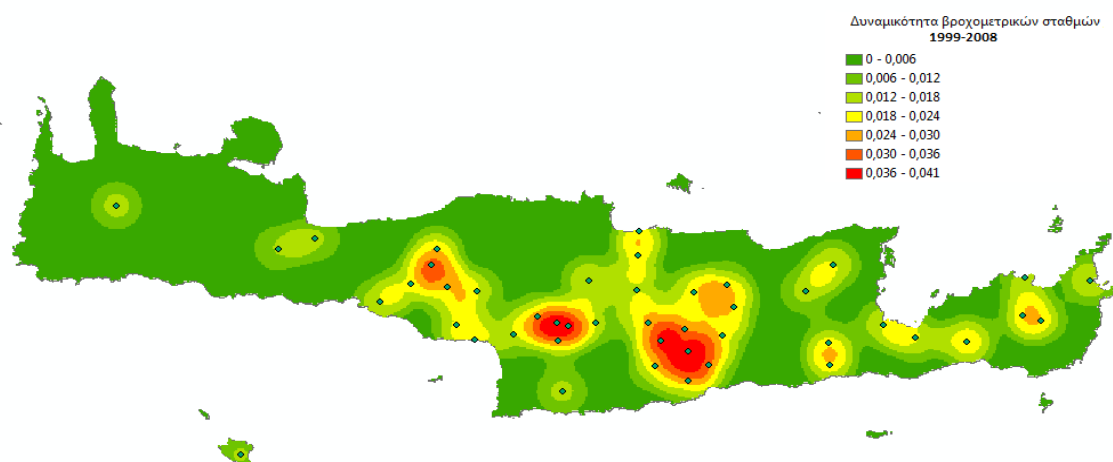
Επίσης, στο χρονικό διάστημα 1999-2008 οι βροχομετρικοί σταθμοί παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα από τους αντίστοιχους σταθμούς των δύο άλλων περιόδων μελέτης. Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς από το κεφάλαιο 4 προέκυψε πως παρουσιάζεται αύξηση στη βροχόπτωση την δεκαετία 1999-2008 και επομένως το χρονικό αυτό διάστημα οι σταθμοί θα έχουν περισσότερες θετικές μεταβολές στη βροχόπτωση.



Χάρτης 5.1: Χαρτογραφική αποτύπωση της δυναμικότητας των βροχομετρικών σταθμών για τη χρονική περίοδο 1978-2008



Χάρτης 5.2: Χαρτογραφική αποτύπωση της δυναμικότητας των βροχομετρικών σταθμών για τη χρονική περίοδο 1978-1998

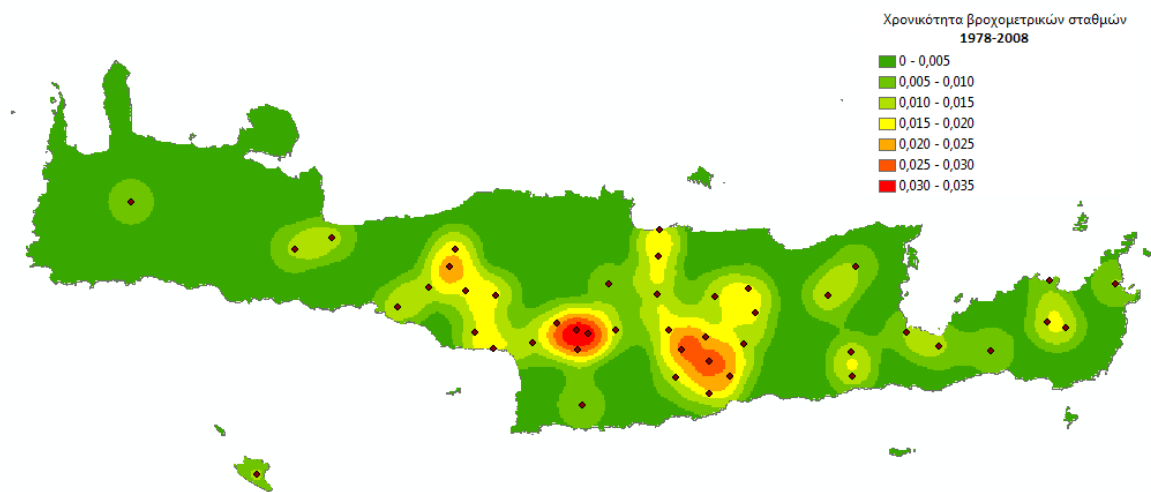


Χάρτης 5.3: Χαρτογραφική αποτύπωση της δυναμικότητας των βροχομετρικών σταθμών για τη χρονική περίοδο 1999-2008

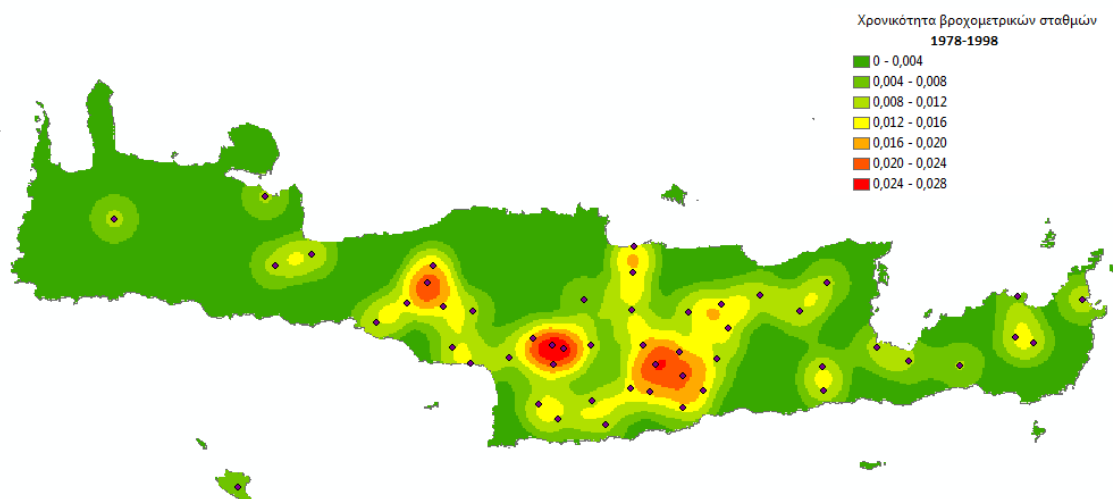
Χρονικότητα σταθμών:

Όσον αφορά την μεταβλητή της *Χρονικότητας*, παρατηρούνται αυξημένες τιμές κυρίως στους βροχομετρικούς σταθμούς της κεντρικής Κρήτης *Βυζάρι* (Ν. Ρεθύμνου), *Δεμάτι*, *Ζάρος* και *Ηράκλειο* (Ν. Ηρακλείου), ενώ ακολουθούν οι βροχομετρικοί σταθμοί του Νομού Λασιθίου, όπως ο σταθμός *Κατσιδόνη*.

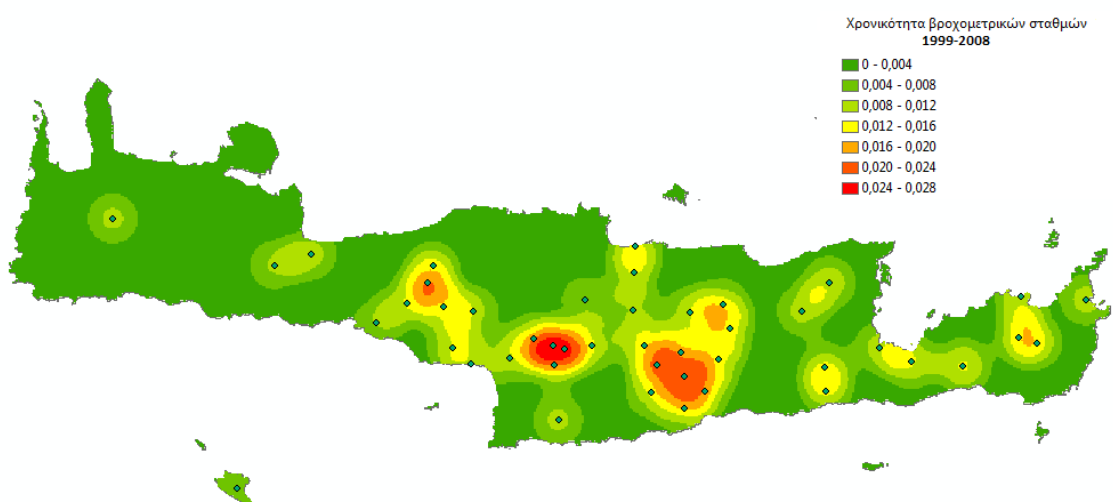
Για την δεκαετία 1999-2008 η μεταβλητή *Χρονικότητα* είναι ιδιαίτερα αυξημένη σε σταθμούς ανατολικά του Νομού Ρεθύμνου και στους νομούς Ηρακλείου και Λασιθίου. Αντίθετα στο Νομό Χανίων εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές. Ωστόσο, για την περίοδο 1978-1998 παρατηρείται ότι στο σύνολο σχεδόν του νησιού εμφανίζονται υψηλές τιμές *Χρονικότητας*. Τέλος, οι βροχομετρικοί σταθμοί που αφορούν το χρονικό διάστημα 1978-2008 εμφανίζουν τιμές ενδιάμεσες των άλλων δύο περιόδων μελέτης.



Χάρτης 5.4: Χαρτογραφική αποτύπωση της χρονικότητας των βροχομετρικών σταθμών για τη χρονική περίοδο 1978-2008



Χάρτης 5.5: Χαρτογραφική αποτύπωση της χρονικότητας των βροχομετρικών σταθμών για τη χρονική περίοδο 1978-1998



Χάρτης 5.6: Χαρτογραφική αποτύπωση της χρονικότητας των βροχομετρικών σταθμών για τη χρονική περίοδο 1999-2008

5.4 Αξιολόγηση στατιστικής σημαντικότητας του δείκτη Moran's I

Για να ελεγχθεί αν είναι ή όχι στατιστικά σημαντικός ο δείκτης χωρικής αυτοσυσχέτισης Moran's I έχει αναπτυχθεί ένα θεωρητικό πλαίσιο που επιτρέπει να διαφανεί αν ο δείκτης Moran's I υποδηλώνει κάποια συγκεκριμένη χωρική κατανομή των χωρικών δεδομένων που δεν είναι τυχαία.

Η στατιστική σημαντικότητα ενός αποτελέσματος είναι η πιθανότητα ότι η τιμή σε ένα δείγμα ή κάποια μαθηματική σχέση να εμφανίστηκε από τύχη και ότι στον πληθυσμό από τον οποίο το δείγμα προήλθε, καμία τέτοια σχέση ή τιμή δεν υπάρχει (Ανδρουλάκης Γεώργιος).

Η πιθανότητα εκφράζεται με τον δείκτη p-value και στην ουσία δίνει την αξιοπιστία του αποτελέσματος. Όσο πιο μικρή είναι η τιμή της p-value τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα του λάθους στο αποτέλεσμα. Από βιβλιογραφικές αναφορές έχει επικρατήσει η $p\text{-value}=5\%$ να αποτελεί το όριο κάτω από το οποίο το ποσοστό λάθους είναι αποδεκτό. Δηλαδή, τιμές με $p\text{-value} < 5\%$ θεωρούνται στατιστικά σημαντικές.

Ένα άλλο στατιστικό μέτρο είναι ο δείκτης z, του οποίου η τιμή συγκρίνεται με την κρίσιμη τιμή της κανονικοποιημένης κανονικής κατανομής. Πιο συγκεκριμένα, για μεγάλο δείγμα, η κρίσιμη τιμή είναι +1,96 και -1,96 για επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 0,05$ ή $p\text{-value}=5\%$. Αν οι τιμές του z είναι μεγαλύτερες από +1,96, η κατανομή των χωρικών δεδομένων θεωρείται ομαδοποιημένη (clustered), ενώ αν οι τιμές είναι μικρότερες από -1,96 τα χωρικά δεδομένα θεωρούνται διασκορπισμένα (dispersed). Για τιμές που βρίσκονται μεταξύ του διαστήματος $[-1,96, +1,96]$, η κατανομή θεωρείται τυχαία.

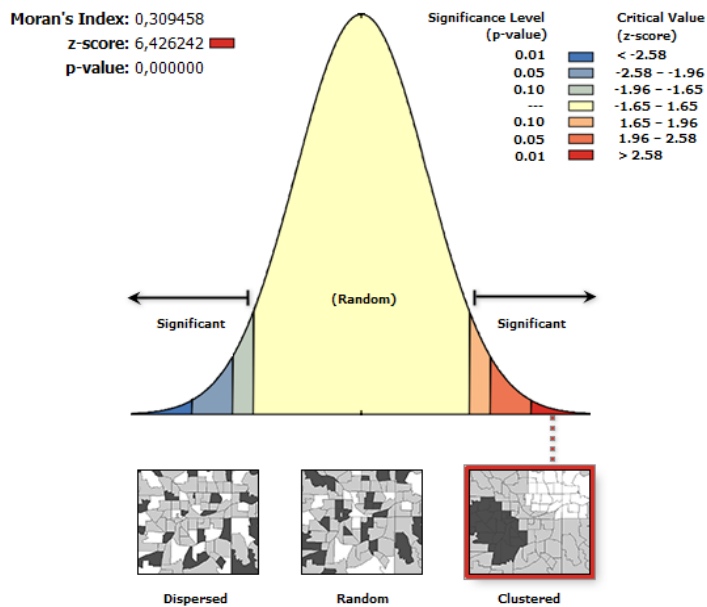
5.5 Αποτελέσματα χωρικής αυτοσυσχέτισης

Με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS και της εντολής *Spatial Autocorrelation (Moran I)* προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

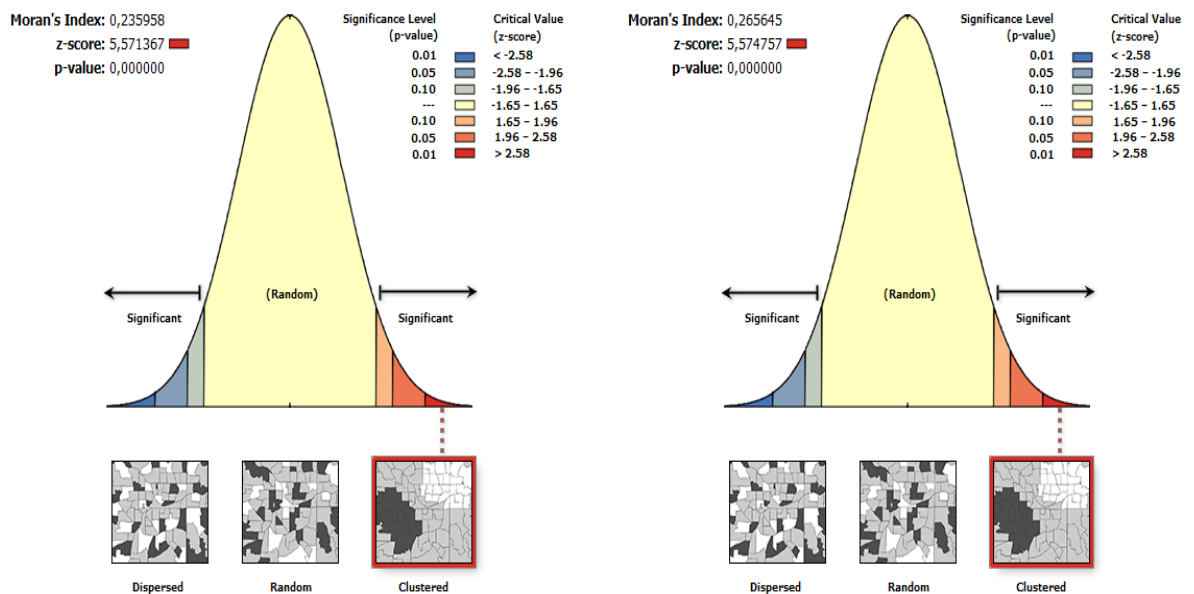
Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης

Για την μεταβλητή “Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης” για τα 30 χρόνια, το χωρικό πρότυπο είναι συγκεντρωμένο (clustered), καθώς το z-score υπολογίστηκε 6,42 σε επίπεδο σημαντικότητας μικρότερο από 1%, ενώ ο συντελεστής Moran’s I έχει προκύψει 0,309 που μπορεί να θεωρηθεί ως σχετικά ισχυρή αυτοσυσχέτιση. Για τα 20 χρόνια, το z-score υπολογίστηκε 5,57 σε επίπεδο σημαντικότητας 1%. Το αποτέλεσμα υποδηλώνει ότι το χωρικό πρότυπο είναι συγκεντρωμένο (clustered) και η πιθανότητα να οφείλεται σε τυχαίους παράγοντες είναι μικρότερη από 1% (πιο συγκεκριμένα p-value =0%). Ανάλογη εικόνα δίνει η ίδια μεταβλητή για τα 10 χρόνια με το z-score να ισούται με 5,57 σε επίπεδο σημαντικότητας 1%. Όσον αφορά τον συντελεστή Moran’s I, αυτός έχει προκύψει 0,24 για τα 20 χρόνια και 0,26 για τα 10 χρόνια.

Επειδή σε έναν χάρτη είναι δύσκολο να ισχύσει τέλεια αυτοσυσχέτιση, ακόμα και τιμές του συντελεστή στην περιοχή του 0,3 θεωρούνται ως σχετικά ισχυρή αυτοσυσχέτιση (Ηλιοπούλου Π., 2015).



Σχήμα 5.1: Αναφορά αποτελεσμάτων χωρικής συσχέτισης της μεταβλητής “Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης” για τα 30 χρόνια



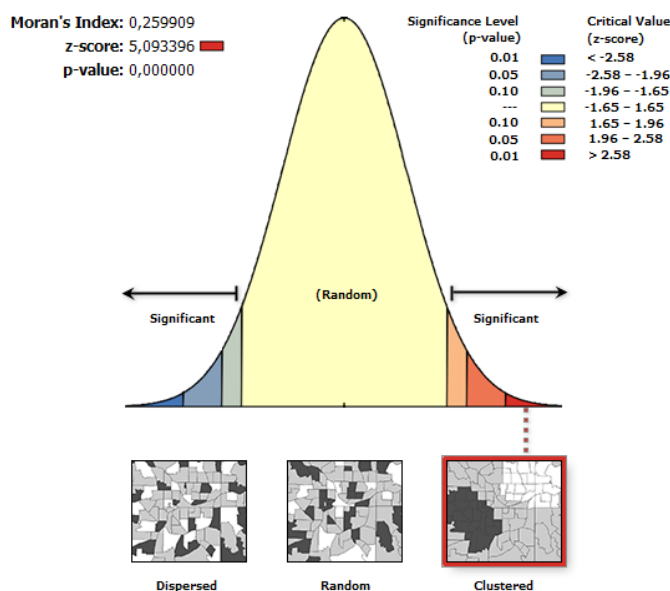
Σχήμα 5.2: Αναφορά αποτελεσμάτων χωρικής συσχέτισης της μεταβλητής “Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης” για τα 20 χρόνια και 10 χρόνια αντίστοιχα

Χρονικότητα Σταθμού

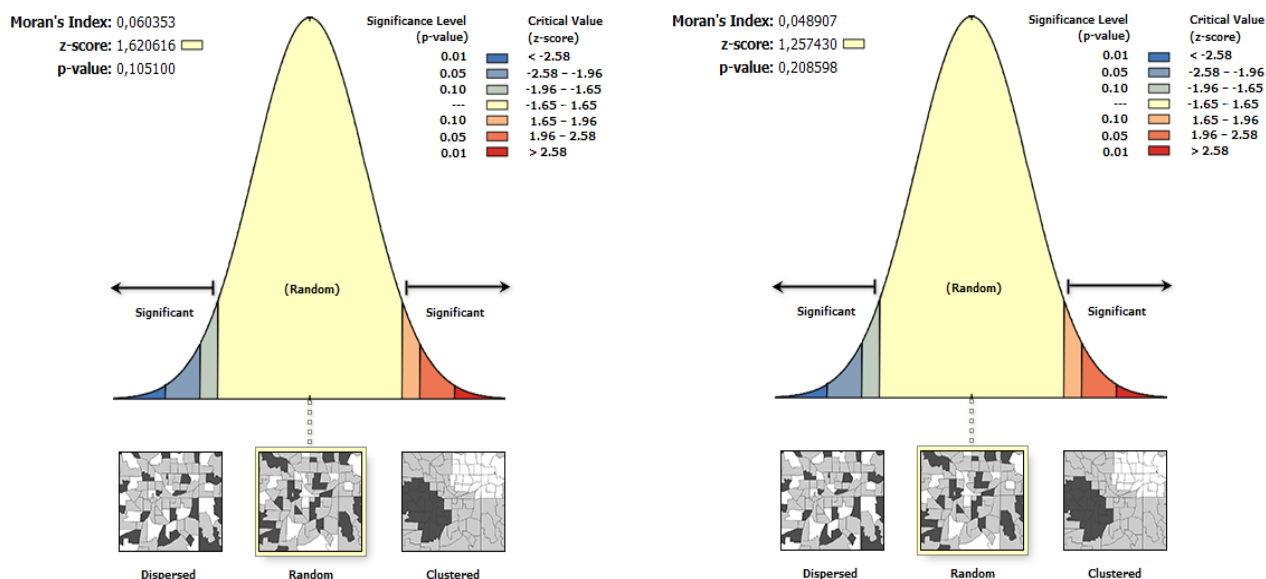
Στην περίπτωση της μεταβλητής “Χρονικότητα σταθμού”, για την χρονική περίοδο των 10 χρόνων, το z-score υπολογίστηκε 5,09 σε επίπεδο σημαντικότητας 1%, αποτέλεσμα που υποδεικνύει ότι το χωρικό πρότυπο είναι συγκεντρωμένο (clustered) και η πιθανότητα να οφείλεται σε τυχαίους παράγοντες είναι μικρότερη από 1% (πιο συγκεκριμένα p-value = 0%). Ο συντελεστής I του Moran έχει προκύψει ίσος με 0,26.

Ωστόσο, παρατηρείται διαφοροποίηση στα αντίστοιχα αποτελέσματα της ίδιας μεταβλητής για την περίοδο των 20 και 30 χρόνων. Πιο αναλυτικά, για τα 20 χρόνια το z-score έχει υπολογιστεί 1,62 που είναι εκτός του πεδίου $z > 1,96$ και $z < -1,96$, ενώ το επίπεδο σημαντικότητας p-value είναι μεγαλύτερο από 5% και πιο συγκεκριμένα p-value = 10%. Επίσης, η χωρική κατανομή για τα 30 χρόνια είναι τυχαία καθώς η τιμή του z-score ισούται με 1,26 σε επίπεδο σημαντικότητας p-value = 20% (το z-score είναι εκτός του πεδίου $z > 1,96$ και $z < -1,96$). Ο συντελεστής I του Moran έχει προκύψει 0,06 και 0,05 αντίστοιχα.

Από αυτά τα αποτελέσματα και δεδομένου ότι ο συντελεστής I του Moran είναι κοντά στο μηδέν, αν και υπάρχει μικρή θετική χωρική αυτοσυσχέτιση, δεν μπορεί να θεωρηθεί στατιστικά σημαντική.



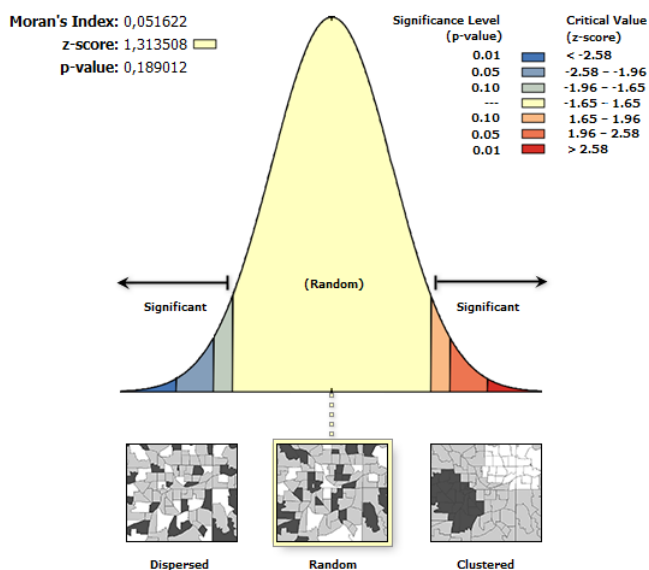
Σχήμα 5.3: Αναφορά αποτελεσμάτων χωρικής συσχέτισης της μεταβλητής “Χρονικότητα σταθμού” για τα 10 χρόνια



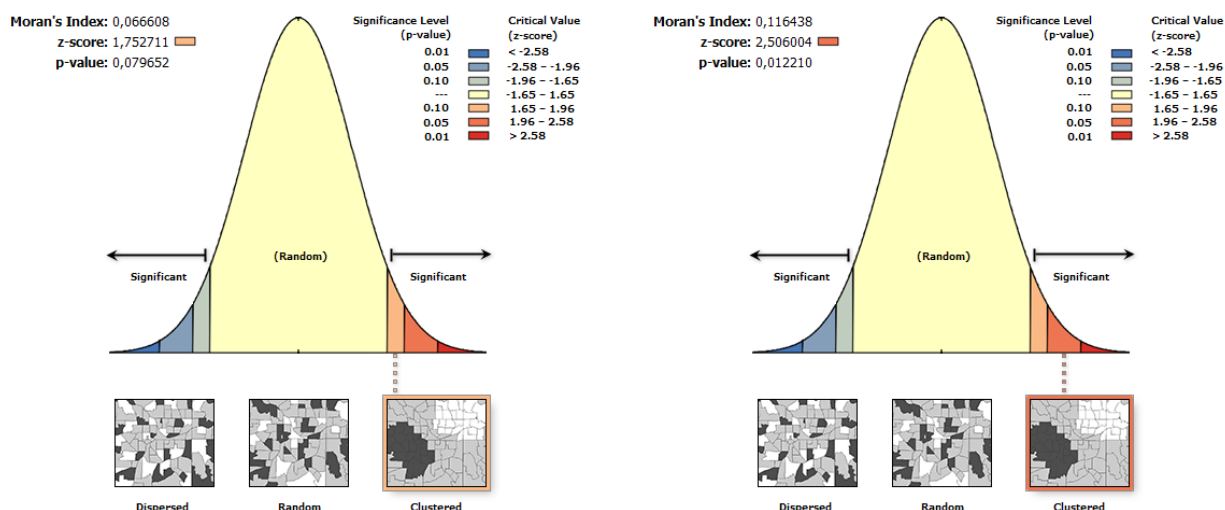
Σχήμα 5.4: Αναφορά αποτελεσμάτων χωρικής συσχέτισης της μεταβλητής “Χρονικότητα σταθμού” για τα 20 χρόνια και 30 χρόνια αντίστοιχα

Δυναμικότητα σταθμού

Τέλος, στην μεταβλητή “δυναμικότητα σταθμού” η χωρική κατανομή που προκύπτει για την χρονική περίοδο των 30 χρόνων είναι τυχαία καθώς το z-score είναι εκτός του πεδίου $z > 1,96$ και $z < -1,96$ και συγκεκριμένα ισούται με $z\text{-score} = 1,3$, ενώ το διάστημα εμπιστοσύνης είναι $\alpha = 18,9\%$. Η τιμή του συντελεστή Moran's I είναι 0,05 που δηλώνει απουσία χωρικής αυτοσυσχέτισης.



Σχήμα.5.5: Αναφορά αποτελεσμάτων χωρικής συσχέτισης της μεταβλητής “Δυναμικότητα σταθμού” για τα 30 χρόνια



Σχήμα 5.6: Αναφορά αποτελεσμάτων χωρικής συσχέτισης της μεταβλητής “Δυναμικότητα σταθμού” για τα 20 χρόνια και 10 χρόνια αντίστοιχα

Ωστόσο, για το διάστημα των 20 χρόνων το χωρικό πρότυπο μπορεί να θεωρηθεί συγκεντρωμένο αν και το z-score είναι 1,75, δηλαδή μικρότερο από την κρίσιμη τιμή +1,96 και το επίπεδο σημαντικότητας ισούται με $\alpha = 7,9\%$. Η κατανομή των χωρικών δεδομένων της μεταβλητής “Δυναμικότητα σταθμού” για το χρονικό διάστημα των 10 χρόνων είναι ομαδοποιημένη με το z-score= 2,5 σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha = 1,2\%$.

Έχοντας προκύψει θετική χωρική αυτοσυσχέτιση σε αρκετά από τα δεδομένα, γίνεται αντιληπτό ότι θα υπάρχουν γειτονικές περιοχές με

παρόμοιες υψηλές ή παρόμοιες χαμηλές τιμές της υπό εξέταση μεταβλητής. Αυτό θα γίνει περισσότερο κατανοητό και εμφανές στους χάρτες που θα ακολουθήσουν από τον υπολογισμό του τοπικού δείκτη Moran's I.

5.6 Τοπικός δείκτης Moran's I

Η χρήση του τοπικού δείκτη αυτοσυσχέτισης (Local Moran I) βοηθάει στον εντοπισμό οντοτήτων που φέρουν τιμές διαφορετικές από τον περίγυρο τους και μπορούν να αποτελέσουν περιοχές δυναμικές ή αδύναμες για την εκάστοτε μεταβλητή (Anselin, 2010).

Ο τοπικός δείκτης Moran's I είναι χωρικά λεπτομερέστερος από τον αντίστοιχο ολικό δείκτη στον οποίο αναφερθήκαμε προηγουμένως καθώς μετρά τη χωρική εξάρτηση μόνο σε ένα μικρό τμήμα της υπό εξέταση περιοχής μελέτης (Καλογήρου Σ.). Ο τοπικός δείκτης Moran's I χρησιμοποιείται εφόσον το αποτέλεσμα που έχει προκύψει από τον γενικό δείκτη του Moran δείχνει την ύπαρξη χωρικά ομαδοποιημένων προτύπων.

Ο μαθηματικός τύπος του τοπικού δείκτη Moran's I, μιας μεταβλητής X , με τιμές x_i για κάθε χωρική οντότητα i και μέσο $\bar{x}$ ορίζεται ως εξής (Anselin, 1995):

$$I = \frac{x_i - \bar{x}}{m_2} \sum_{j=1}^k w_{ij} (x_j - \bar{x}), j \neq i \quad (5.4)$$

Όπου $m_2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n$.

Ο τοπικός δείκτης local Moran's I περιλαμβάνει δύο ομάδες. Στην πρώτη ομάδα συναντάμε περιοχές που χαρακτηρίζονται από χωρική αυτοσυσχέτιση και άρα υπάρχει ομαδοποίηση των περιοχών με μεγάλες ή μικρές τιμές, ενώ στην δεύτερη ομάδα είναι οι περιοχές που παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές από τις γειτονικές τους και χαρακτηρίζονται ως ακραίες τιμές.

Πιο συγκεκριμένα μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό ArcGIS και με τη χρήση της εντολής "Cluster and Outlier Analysis (Anselin local Morans I)" για τον υπολογισμό των τοπικών δεικτών Moran's I θα προκύψει θεματικός χάρτης όπου για μια συγκεκριμένη

μεταβλητή, κάθε χωρική ενότητα θα έχει ταξινομηθεί στις παρακάτω κατηγορίες:

- Cluster High ή (High-High): Αφορά σε χωρικές οντότητες που χαρακτηρίζονται από υψηλή τιμή, με τις γειτονικές τους να έχουν και εκείνες υψηλές τιμές.
- Cluster Low ή (Low-Low): Αφορά σε χωρικές οντότητες που χαρακτηρίζονται από χαμηλή τιμή και συνορεύουν με περιοχές που παρουσιάζουν και εκείνες χαμηλές τιμές.
- High Outlier ή (High-Low): Αφορά σε χωρικές οντότητες που χαρακτηρίζονται από υψηλή τιμή και συνορεύουν με περιοχές που παρουσιάζουν χαμηλές τιμές.
- Low Outlier ή (Low-High): Αφορά σε χωρικές οντότητες που χαρακτηρίζονται από χαμηλή τιμή και συνορεύουν με περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές.
- Not Significant: Μη στατιστικά σημαντικό τοπικό δείκτη Moran's I.

5.6.1 Local Moran αναλυτικά για κάθε μεταβλητή

Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης

Στους χάρτες 5.1, 5.2 και 5.3 διακρίνονται οι χωρικές ομάδες υψηλών και χαμηλών βροχοπτώσεων οι οποίες αναδεικνύουν τη διαφορά που υπάρχει στη βροχόπτωση μεταξύ δυτικής και ανατολικής Κρήτης, η οποία έχει μελετηθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

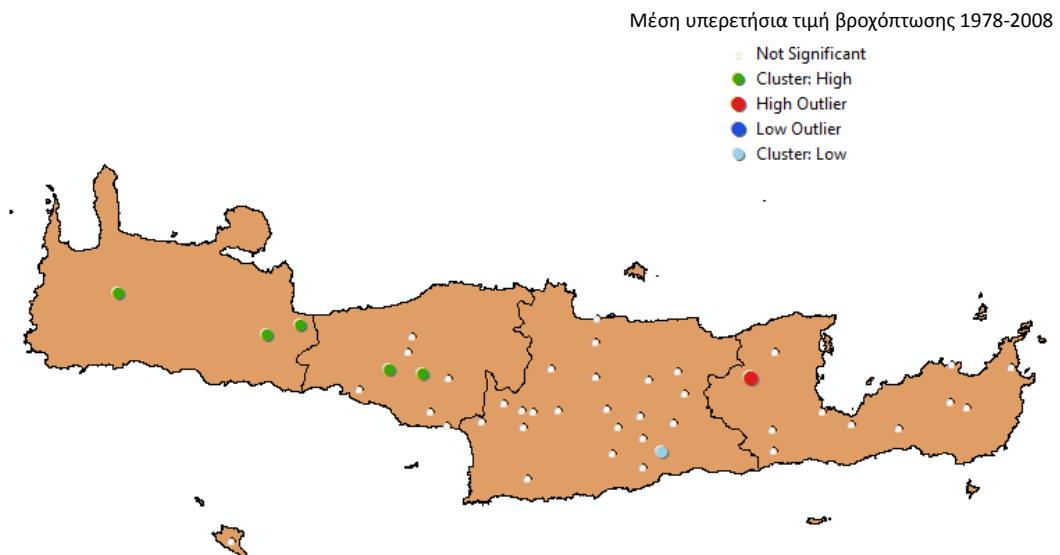
Πράγματι και από τους τρεις χάρτες χωρικών ομάδων για τη μεταβλητή “Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης” παρατηρείται ότι στην Δυτική Κρήτη σταθμοί με υψηλές τιμές βροχόπτωσης γειτνιάζουν με σταθμούς που καταγράφουν υψηλές τιμές βροχόπτωσης.

Πιο συγκεκριμένα για την περίοδο 1978-1998, οι υψηλές τιμές βροχόπτωσης καταγράφονται τόσο στον Νομό Χανίων όσο και στον Νομό Ρεθύμνου, ενώ στον Νομό Ηρακλείου ο σταθμός *Δεμάτι* που καταγράφει χαμηλές τιμές γειτνιάζει με σταθμούς χαμηλής βροχόπτωσης. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο σταθμός *Έξω Ποταμοί* του Νομού Λασιθίου ο

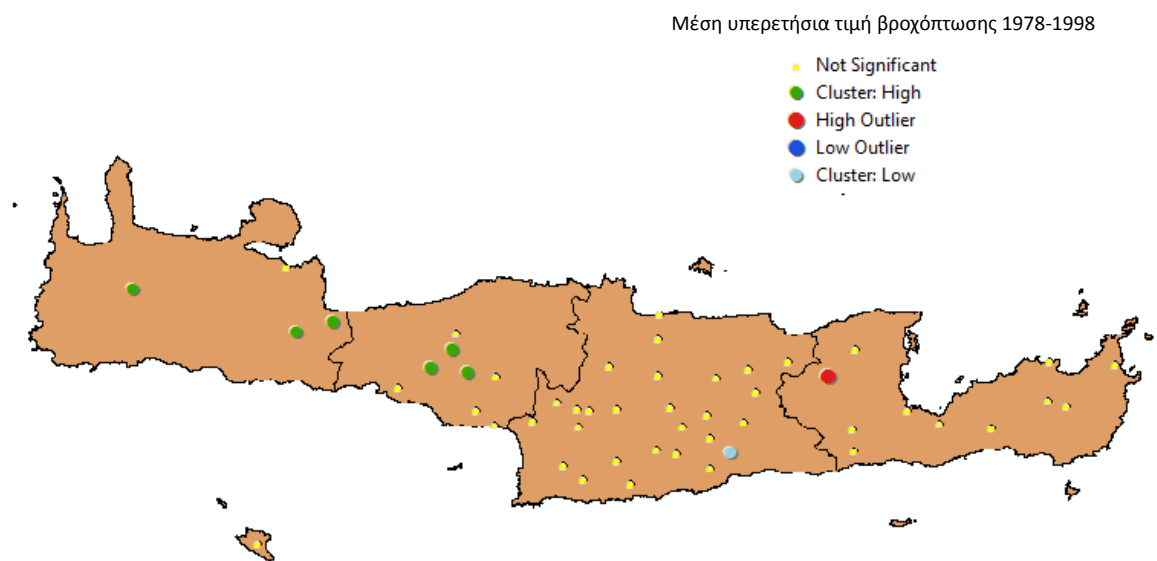
οποίος παρουσιάζει αυξημένες τιμές βροχόπτωσης και γειτνιάζει με σταθμούς χαμηλής βροχόπτωσης.

Για το χρονικό διάστημα 1999-2008, ο Νομός Χανίων παρουσιάζει και πάλι σταθμούς υψηλών βροχοπτώσεων που γειτνιάζουν με σταθμούς που έχουν καταγράψει μεγάλες τιμές ύψους βροχής, ενώ στον Νομό Λασιθίου, ο σταθμός *Έξω Ποταμοί* που χαρακτηρίζεται από αυξημένες τιμές βροχόπτωσης, γειτνιάζει με σταθμούς χαμηλής βροχόπτωσης.

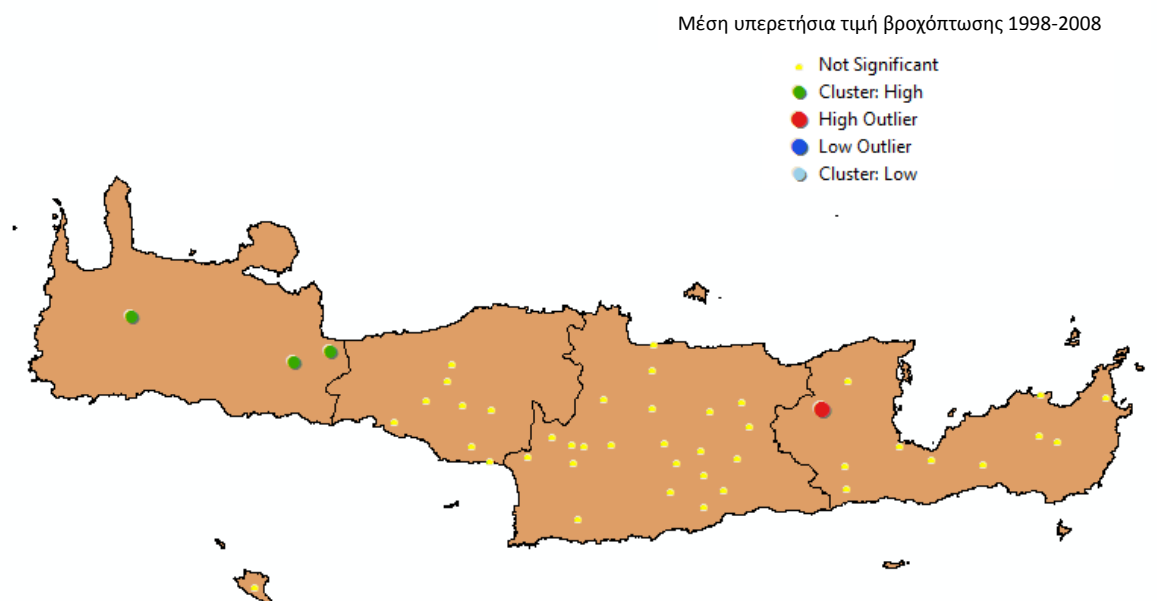
Τέλος, για την χρονική περίοδο 1978-2008, η κατάσταση είναι ίδια με αυτή που περιγράφεται για το χρονικό διάστημα 1978-1998.



Χάρτης 5.1: Χάρτης χωρικών ομάδων για την μεταβλητή “Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης” για την χρονική περίοδο 1978-2008, με βάση τον τοπικό δείκτη Moran’s I.



Χάρτης 5.2: Χάρτης χωρικών ομάδων για την μεταβλητή “Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης” για την χρονική περίοδο 1978-1998, με βάση τον τοπικό δείκτη Moran’s I.

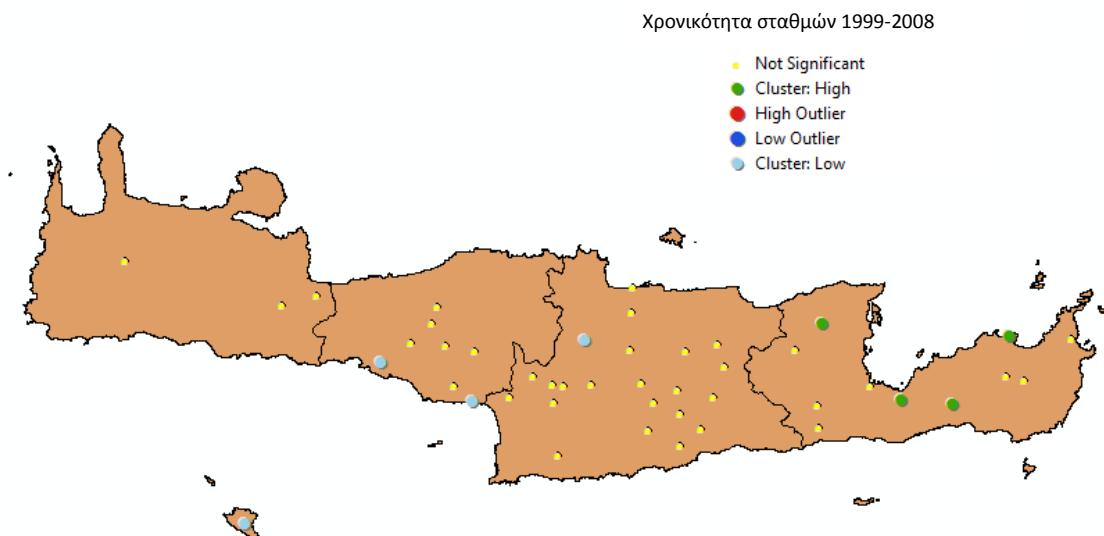


Χάρτης 5.3: Χάρτης χωρικών ομάδων για την μεταβλητή “Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης” για την χρονική περίοδο 1999-2008, με βάση τον τοπικό δείκτη Moran’s I.

Χρονικότητα σταθμού

Στη συνέχεια έγινε μελέτη του τοπικού δείκτη Moran's I για την μεταβλητή “Χρονικότητα σταθμού”, για τη χρονική περίοδο 1999-2008. Ο σταθμός Γαύδος που ανήκει στο Νομό Χανίων και οι σταθμοί Λευκόγεια και Αγ.Γαλήνη του Νομού Ρεθύμνου χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές χρονικότητας και γειτνιάζουν με περιοχές που παρουσιάζουν και εκείνες χαμηλή χρονικότητα. Δηλαδή, στους σταθμούς αυτούς η πλειοψηφία των βροχοπτώσεων σημειώθηκαν στα πέντε πρώτα χρόνια της περιόδου μελέτης.

Αντίθετα, οι σταθμοί Νεάπολη, Παχειά άμμος και Σητεία του Νομού Λασιθίου χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές χρονικότητας και συνορεύουν με περιοχές επίσης υψηλής χρονικότητας. Δηλαδή, στους σταθμούς αυτούς η πλειοψηφία των βροχοπτώσεων έχει σημειωθεί στα πέντε τελευταία χρόνια της περιόδου μελέτης.

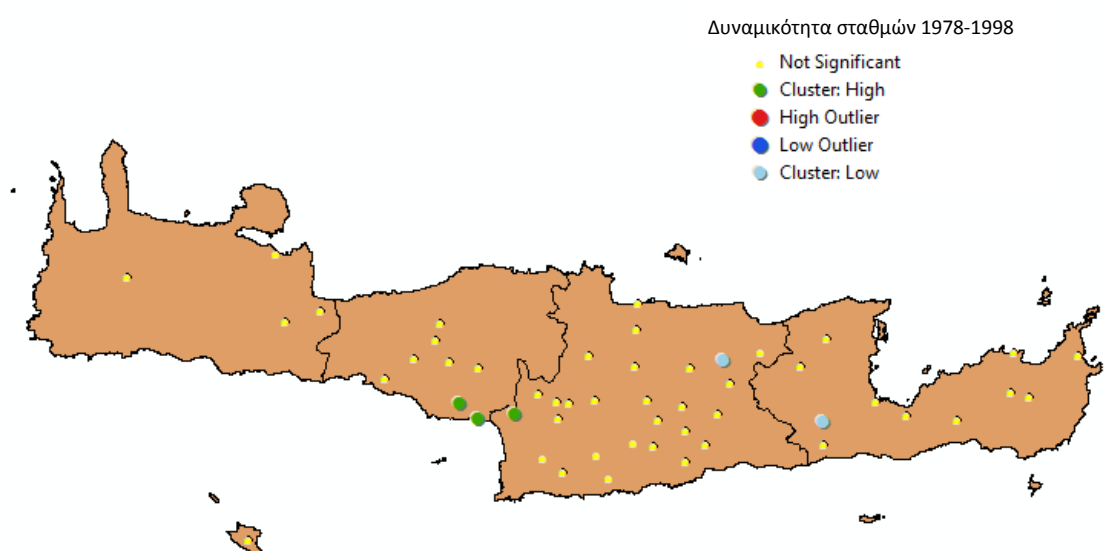


Χάρτης 5.4: Χάρτης χωρικών ομάδων για την μεταβλητή “Χρονικότητα σταθμού” για την χρονική περίοδο 1999-2008, με βάση τον τοπικό δείκτη Moran's I.

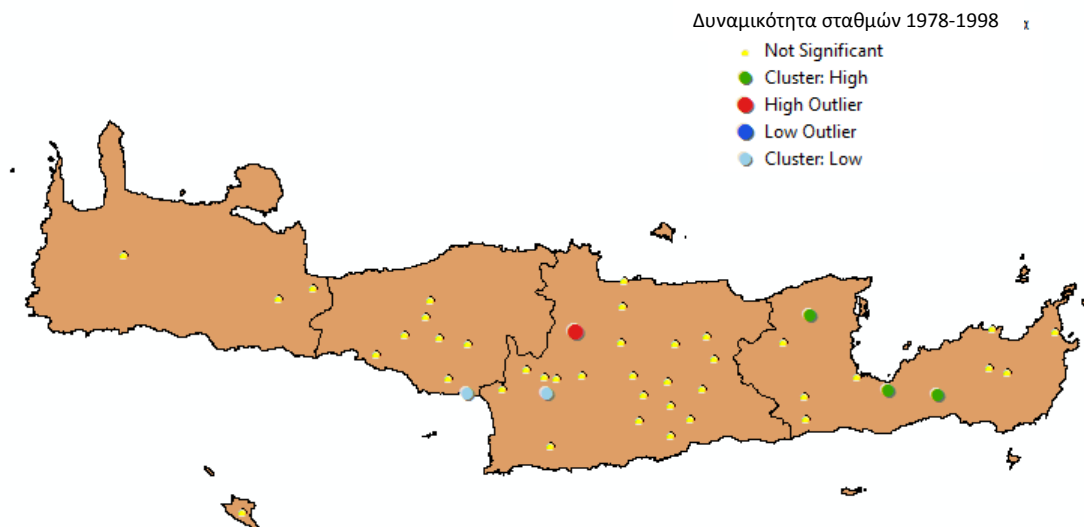
Δυναμικότητα σταθμού

Τέλος μελετάται η μεταβλητή “Δυναμικότητα σταθμού”, δηλαδή ο λόγος των θετικών μεταβολών της βροχόπτωσης του κάθε σταθμού προς τον αριθμό των αρνητικών του μεταβολών. Για το χρονικό διάστημα 1978-1998, οι βροχομετρικοί σταθμοί *Μέλαμπες* και *Αγία Γαλήνη* του Νομού Ρεθύμνου, καθώς και ο βροχομετρικός σταθμός *Λαγόλιο* του Νομού Ηρακλείου παρουσιάζουν υψηλή δυναμικότητα με τις γειτονικές τους περιοχές να έχουν και αυτές υψηλές τιμές. Αντίθετα, οι βροχομετρικοί σταθμοί *Καστέλι* (Νομός Ηρακλείου) και *Μάλλες* (Νομός Λασιθίου) χαρακτηρίζονται από χαμηλή δυναμικότητα και γειτνιάζουν με περιοχές επίσης χαμηλής δυναμικότητας.

Όσον αφορά την δεκαετία 1999-2008, οι σταθμοί *Νεάπολη*, *Παχειά άμμος* και *Σταυροχώρι* του Νομού Λασιθίου, χαρακτηρίζονται από υψηλή δυναμικότητα με τις γειτονικές τους περιοχές να έχουν και εκείνες υψηλές τιμές δυναμικότητας, ενώ οι βροχομετρικοί σταθμοί *Αγία Γαλήνη* και *Μορόνι* (Νομός Ρεθύμνου και Νομός Ηρακλείου αντίστοιχα) χαρακτηρίζονται από χαμηλή δυναμικότητα και συνορεύουν με περιοχές που παρουσιάζουν και εκείνες χαμηλή δυναμικότητα. Τέλος, ο σταθμός *Κρουσώνας* στον Νομό Ηρακλείου παρουσιάζει υψηλή δυναμικότητα ενώ συνορεύει με περιοχές χαμηλής δυναμικότητας.



Χάρτης 5.5: Χάρτης χωρικών ομάδων για την μεταβλητή “Δυναμικότητα Σταθμού” για την χρονική περίοδο 1978-1998, με βάση τον τοπικό δείκτη Moran’s I.



Χάρτης 5.6: Χάρτης χωρικών ομάδων για την μεταβλητή “Δυναμικότητα Σταθμού” για την χρονική περίοδο 1999-2008, με βάση τον τοπικό δείκτη Moran’s I.

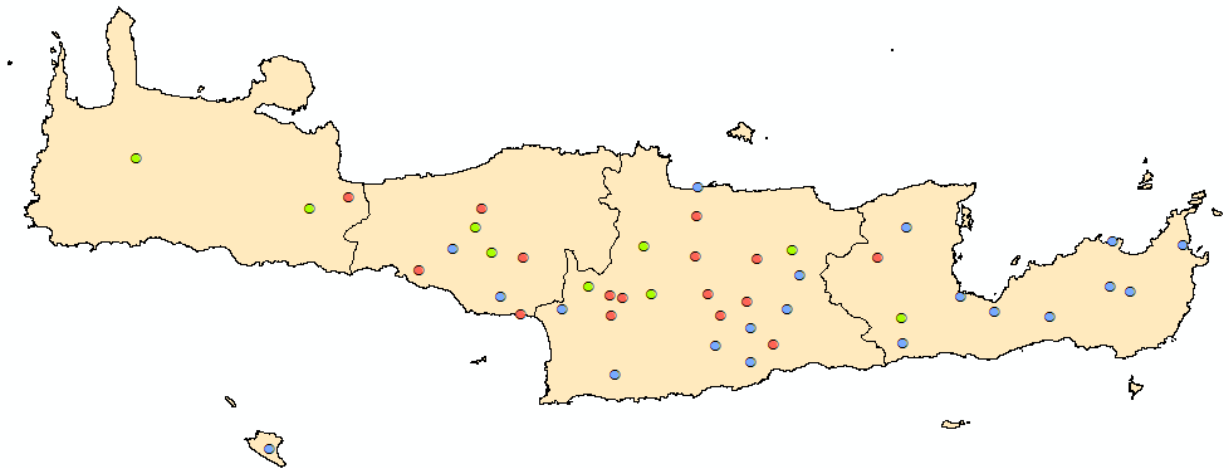
5.7 Ομαδοποίηση Βροχομετρικών Σταθμών

Λόγω της χωρικής αυτοσυσχέτισης που προέκυψε στις μεταβλητές μελέτης για τις περισσότερες χρονικές περιόδους, θα ήταν χρήσιμο να δημιουργήσουμε χωρικές ομάδες. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε η εντολή *grouping analysis* του ArcGIS προκειμένου να δημιουργηθούν ομάδες βροχομετρικών σταθμών οι οποίες παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά ως προς τις μεταβλητές μέση υπερετήσια βροχόπτωση, δυναμικότητα σταθμού και χρονικότητα σταθμού. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν χωρικές γειτονικές ομάδες για τις ίδιες μεταβλητές.

5.7.1 Χωρικές ομάδες

Χρονική περίοδος 1978-2008

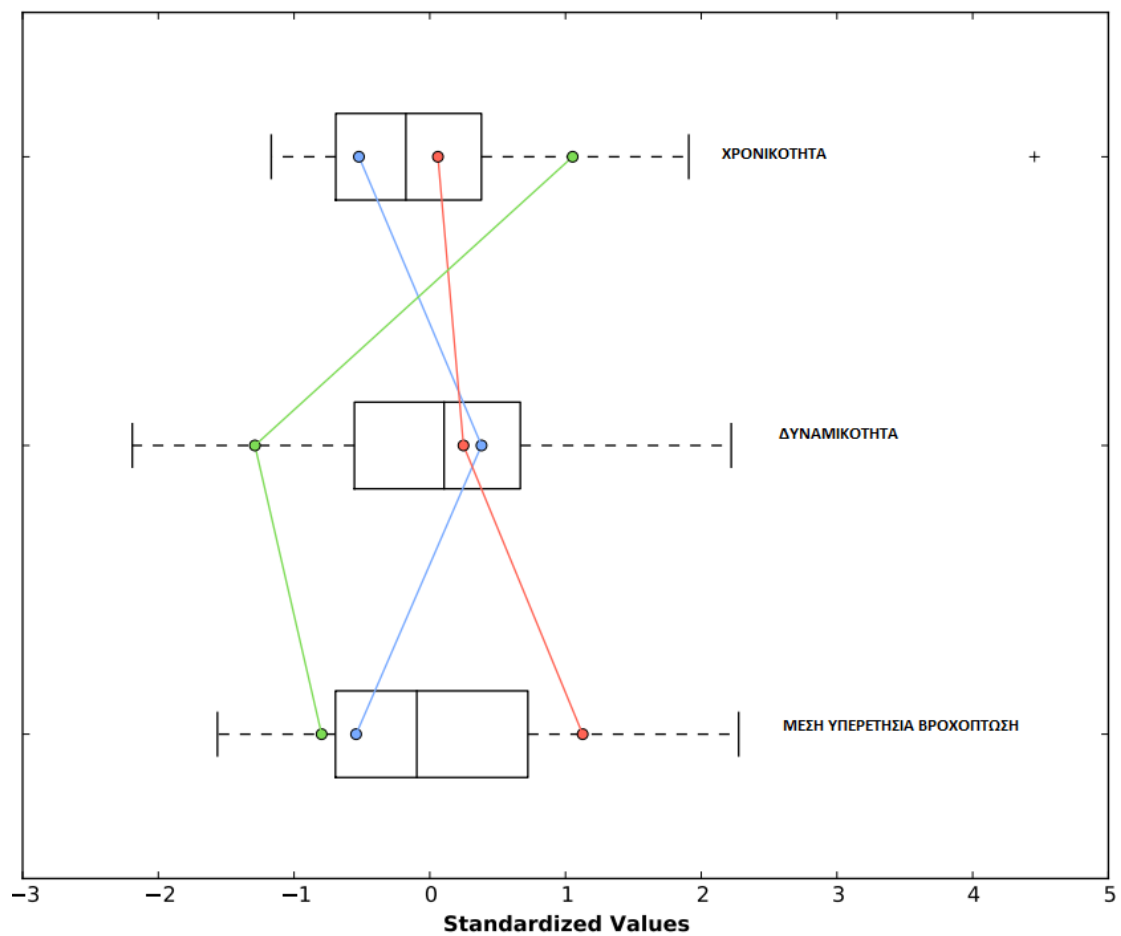
Η ομάδα 1 (μπλε χρώμα) αποτελείται από 20 βροχομετρικούς σταθμούς, η ομάδα 2 (κόκκινο χρώμα) αποτελείται από 16, ενώ η ομάδα 3 (πράσινο χρώμα) περιλαμβάνει 9 βροχομετρικούς σταθμούς.



Χάρτης 5.7: Δημιουργία ομάδων βροχομετρικών σταθμών με μεταβλητές την τιμή της βροχόπτωσης, την δυναμικότητα και τη χρονικότητα των σταθμών (χρονική περίοδος 1978-2008).

Η πρώτη ομάδα χαρακτηρίζεται από λίγες βροχοπτώσεις, μικρή χρονικότητα και μέτρια έως υψηλή δυναμικότητα, ενώ η δεύτερη ομάδα χαρακτηρίζεται από λίγες έως μέτριες βροχοπτώσεις, μεγάλη χρονικότητα και μέτρια έως υψηλή δυναμικότητα. Τέλος, η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει βροχομετρικούς σταθμούς με πολλές βροχοπτώσεις, μικρή χρονικότητα και μικρή δυναμικότητα.

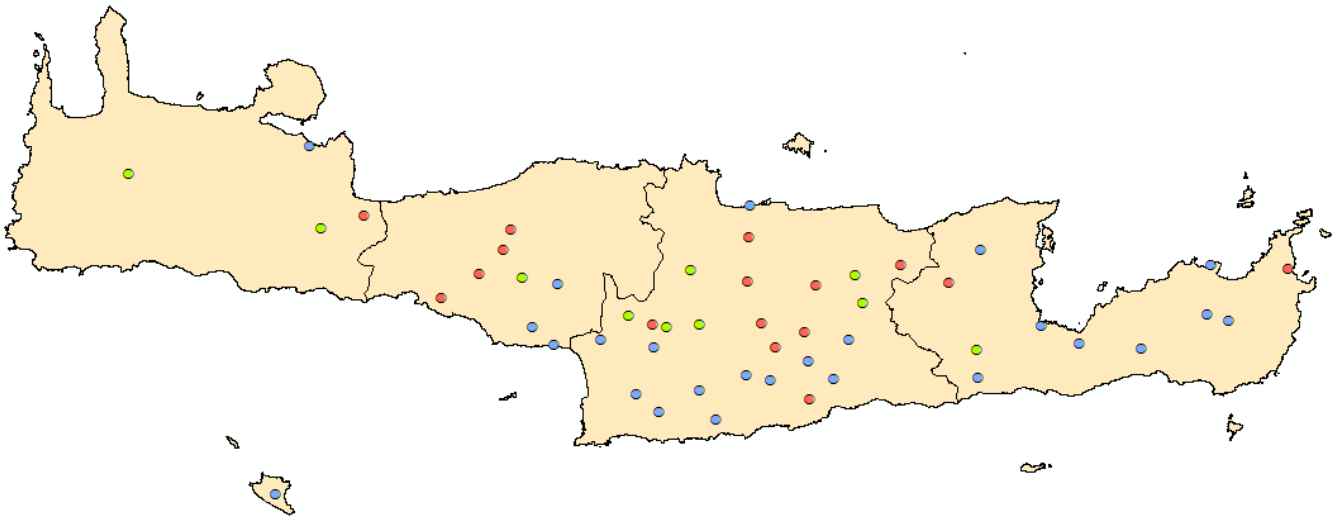
ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1978-2008							
R2 = 0,71		ΧΡΟΝΙΚΟΤΗΤΑ					
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	0,9884	0,0620	0,8621	1,0903	0,4405		
2	1,2136	0,0729	1,1108	1,3686	0,4977		
3	0,9541	0,0920	0,8506	1,1404	0,5595		
Total	1,0616	0,1349	0,8506	1,3686	1,0000		
: R2 = 0,42		ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ					
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	1,4998	0,0920	1,3841	1,7273	0,6291		
2	1,4834	0,0977	1,2930	1,6866	0,7216		
3	1,2935	0,0930	1,1818	1,4658	0,5205		
Total	1,4527	0,1236	1,1818	1,7273	1,0000		
: R2 = 0,34		ΜΕΣΗ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ					
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	661,7001	167,5463	463,1903	1168,6589	0,4083		
2	840,5627	207,5189	487,9154	1408,3479	0,5327		
3	1145,4873	413,1838	728,6854	2191,0484	0,8463		
Total	822,0531	307,2523	463,1903	2191,0484	1,0000		



Σχήμα 5.7: Εύρος ομαδοποιημένων μεταβλητών για τη χρονική περίοδο (1978-2008)

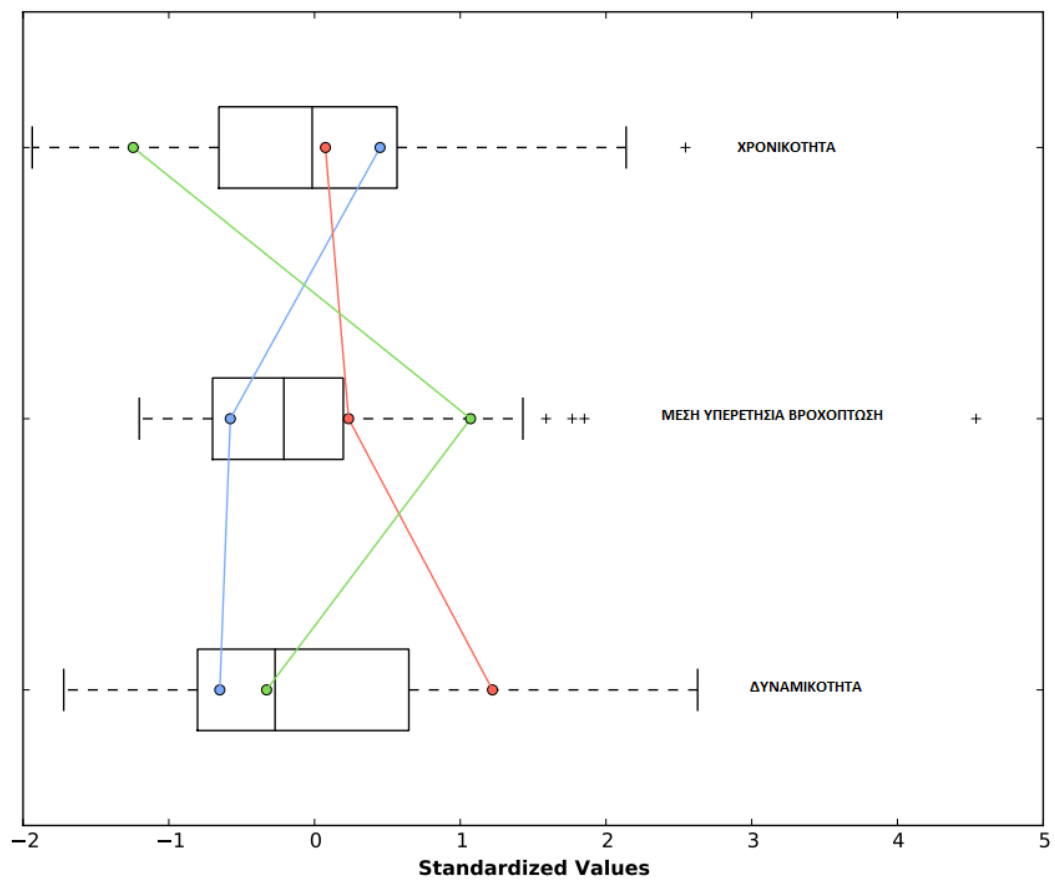
Χρονική περίοδος 1978-1998

Η πρώτη ομάδα (μπλε χρώμα) αποτελείται από 25 βροχομετρικούς σταθμούς, η δεύτερη ομάδα (κόκκινο χρώμα) αποτελείται από 16 βροχομετρικούς σταθμούς και η τρίτη ομάδα (πράσινο χρώμα) από 10 σταθμούς.



Χάρτης 5.8: Δημιουργία ομάδων βροχομετρικών σταθμών με μεταβλητές την τιμή της βροχόπτωσης, την δυναμικότητα και τη χρονικότητα των σταθμών (χρονική περίοδος 1978-1998).

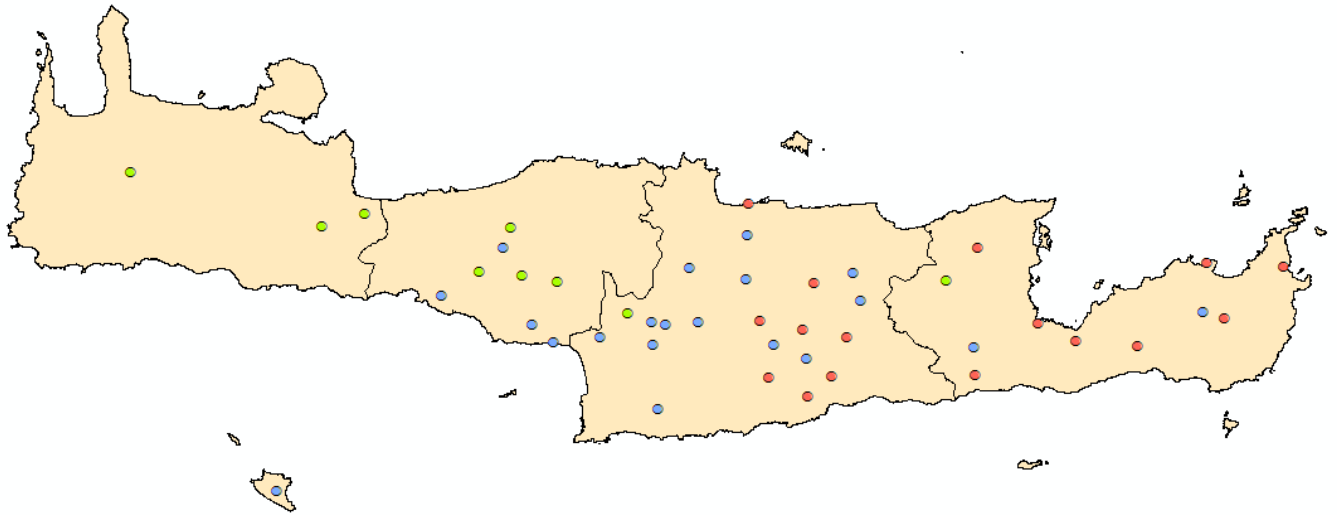
Η πρώτη ομάδα χαρακτηρίζεται από λίγες βροχοπτώσεις, μικρή χρονικότητα (οι περισσότερες βροχοπτώσεις συμβαίνουν στα 10 πρώτα χρόνια) και μεγάλη δυναμικότητα. Στη δεύτερη ομάδα οι βροχοπτώσεις είναι πιο αυξημένες σε σχέση με την πρώτη, η χρονικότητα είναι μεγάλη, ενώ η δυναμικότητα χαρακτηρίζεται από μέτριες τιμές. Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει σταθμούς με σημαντικές βροχοπτώσεις ενώ η χρονικότητα και η δυναμικότητα χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές.



Σχήμα 5.8: Εύρος ομαδοποιημένων μεταβλητών για τη χρονική περίοδο (1978-2008)

Χρονική περίοδος 1999-2008

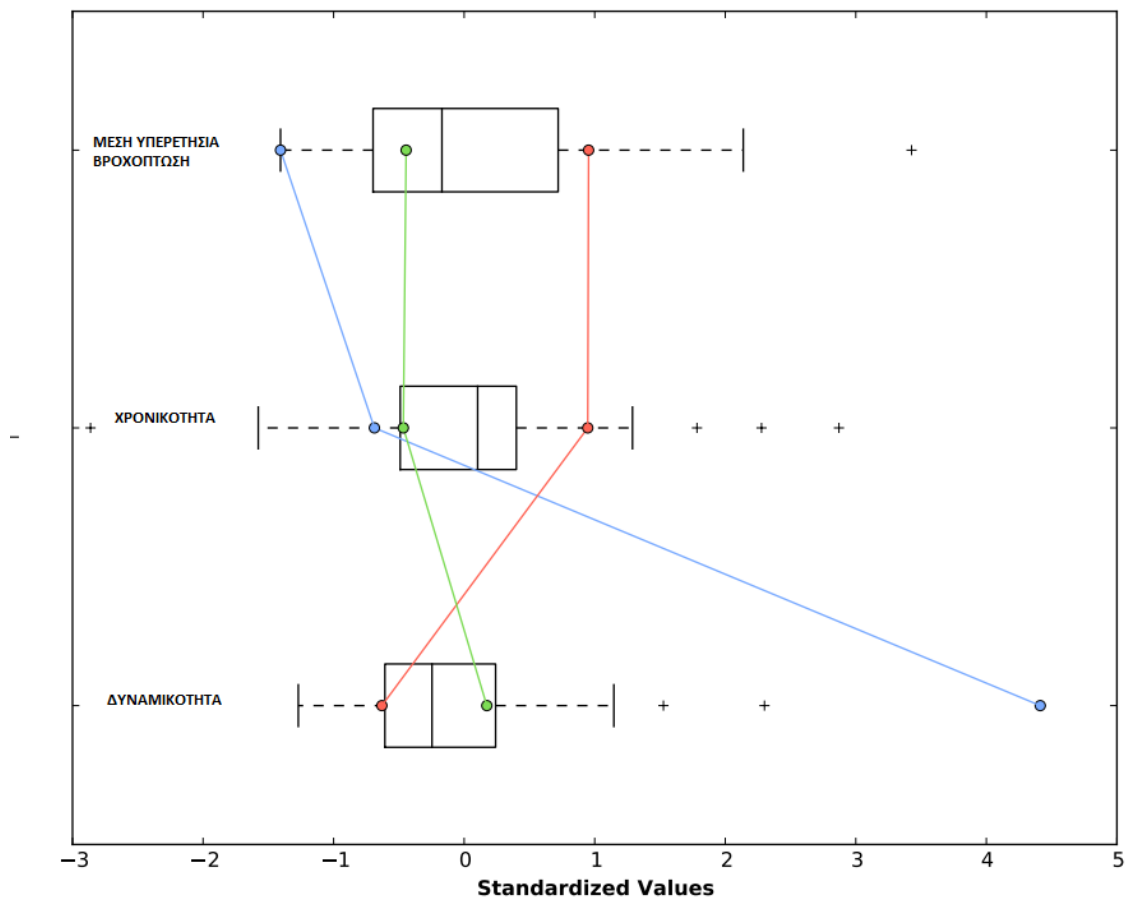
Η ομάδα 1 (μπλε χρώμα) αποτελείται από 20 βροχομετρικούς σταθμούς, η ομάδα 2 (κόκκινο χρώμα) αποτελείται από 16 βροχομετρικούς σταθμούς και η ομάδα 3 (πράσινο χρώμα) αποτελείται από 9 βροχομετρικούς σταθμούς.



Χάρτης 5.9: Δημιουργία ομάδων βροχομετρικών σταθμών με μεταβλητές την τιμή της βροχόπτωσης, την δυναμικότητα και τη χρονικότητα των σταθμών (χρονική περίοδος 1999-2008).

Στην ομάδα 1 σημειώνονται λίγες έως μέτριες βροχοπτώσεις, η δυναμικότητα των σταθμών είναι μικρή και η χρονικότητα είναι επίσης μικρή. Δηλαδή, στα πρώτα πέντε χρόνια του χρονικού διαστήματος 1999-2008 έχουν σημειωθεί περισσότερες βροχοπτώσεις από ότι στα πέντε τελευταία. Στην ομάδα 2 σημειώνονται οι λιγότερες βροχοπτώσεις ενώ η χρονικότητα και η δυναμικότητα των βροχομετρικών σταθμών είναι μεγάλη. Δηλαδή, οι περισσότερες βροχές σημειώνονται στα 5 τελευταία χρόνια, ενώ οι σταθμοί παρουσιάζουν αρκετές αυξήσεις στη βροχόπτωση. Η ομάδα 3 έχει αντίθετα αποτελέσματα από την ομάδα 2. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τους βροχομετρικούς σταθμούς με τις περισσότερες βροχοπτώσεις, ενώ η χρονικότητα και η δυναμικότητα των σταθμών είναι μικρές.

: R2 = 0,64 ΜΕΣΗ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ						ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1999-2008	
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	764,8145	116,4539	560,3300	950,2500	0,2095		+
2	650,0181	137,6088	425,8200	867,3200	0,2372		+
3	1354,6422	362,0793	1052,1000	2287,4300	0,6636		+
Total	841,9636	327,5568	425,8200	2287,4300	1,0000		+
: R2 = 0,49 ΧΡΟΝΙΚΟΤΗΤΑ							
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	0,8030	0,0786	0,5800	0,9200	0,5862		+
2	0,9619	0,0789	0,8700	1,1600	0,5000		+
3	0,8533	0,0337	0,8000	0,9000	0,1724		+
Total	0,8696	0,1012	0,5800	1,1600	1,0000		+
: R2 = 0,45 ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ							
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	1,4437	0,1482	1,2500	1,8421	0,5789		+
2	1,7382	0,1923	1,4545	2,2727	0,8000		+
3	1,4399	0,0952	1,2500	1,5714	0,3143		+
Total	1,5476	0,2116	1,2500	2,2727	1,0000		+

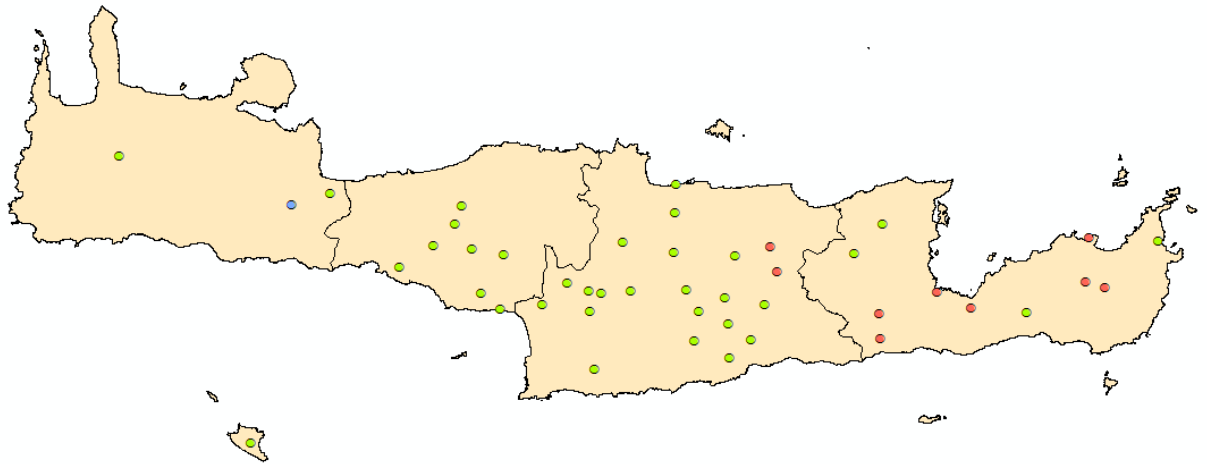


Σχήμα 5.9: Εύρος ομαδοποιημένων μεταβλητών για τη χρονική περίοδο (1999-2008)

5.7.2 Χωρικές γειτονικές ομάδες

Χρονική περίοδος 1978-2008

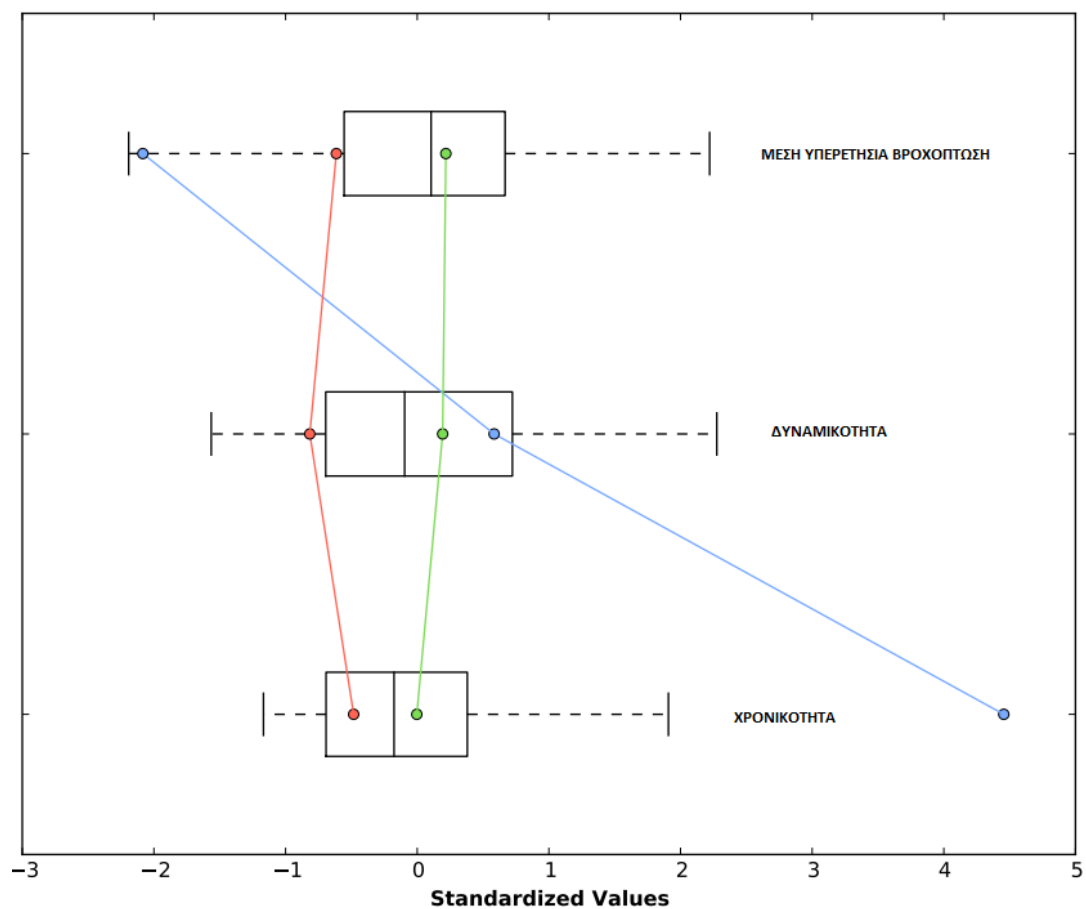
Η ομάδα 1 (μπλε χρώμα) περιλαμβάνει ένα βροχομετρικό σταθμό, η ομάδα 2 (κόκκινο χρώμα) περιλαμβάνει 9 βροχομετρικούς σταθμούς και η ομάδα 3 (πράσινο χρώμα) αποτελείται από 35 σταθμούς.



Χάρτης 5.10: Δημιουργία γειτονικών ομάδων βροχομετρικών σταθμών με μεταβλητές την τιμή της βροχόπτωσης, την δυναμικότητα και τη χρονικότητα των σταθμών (χρονική περίοδος 1999-2008).

Η ομάδα 1 χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές βροχόπτωσης, μικρή δυναμικότητα και μέτρια χρονικότητα. Η ομάδα 2 περιλαμβάνει βροχομετρικούς σταθμούς με μικρή έως μέτρια βροχόπτωση, μικρή δυναμικότητα και μικρή χρονικότητα, ενώ η ομάδα 3 περιλαμβάνει σταθμούς με λίγες έως μέτριες βροχοπτώσεις και μέτρια δυναμικότητα και χρονικότητα.

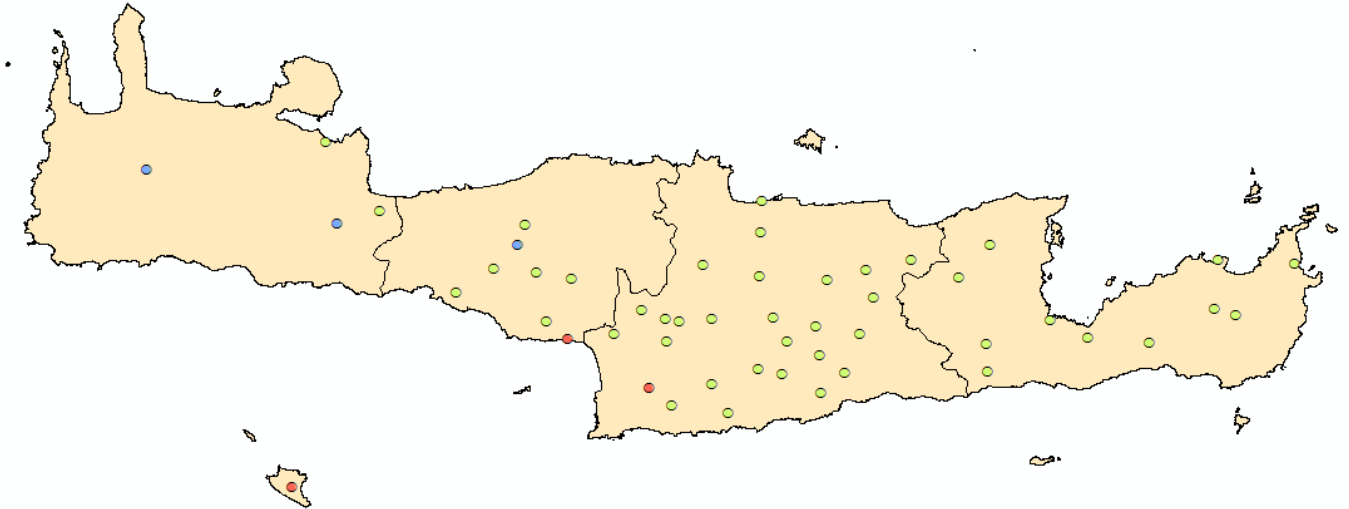
: R2 = 0,49 ΜΕΣΗ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ						ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1978-2008	
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	2191,0484	0,0000	2191,0484	2191,0484	0,0000		⊖
2	673,6658	136,1442	463,1903	905,3452	0,2559		+
3	821,0957	239,5837	480,1548	1408,3479	0,5372		+
Total	822,0531	307,2523	463,1903	2191,0484	1,0000		†
: R2 = 0,21 ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ							
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	1,1951	0,0000	1,1951	1,1951	0,0000		
2	1,3768	0,0853	1,2222	1,4658	0,4465		
3	1,4796	0,1169	1,1818	1,7273	1,0000		
Total	1,4527	0,1236	1,1818	1,7273	1,0000		
: R2 = 0,17 ΧΡΟΝΙΚΟΤΗΤΑ							
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	1,1404	0,0000	1,1404	1,1404	0,0000		
2	0,9516	0,0682	0,8621	1,0487	0,3604		
3	1,0877	0,1350	0,8506	1,3686	1,0000		
Total	1,0616	0,1349	0,8506	1,3686	1,0000		



Σχήμα 5.10: Εύρος ομαδοποιημένων μεταβλητών για τη χρονική περίοδο (1978-2008)

Χρονική περίοδος 1978-1998

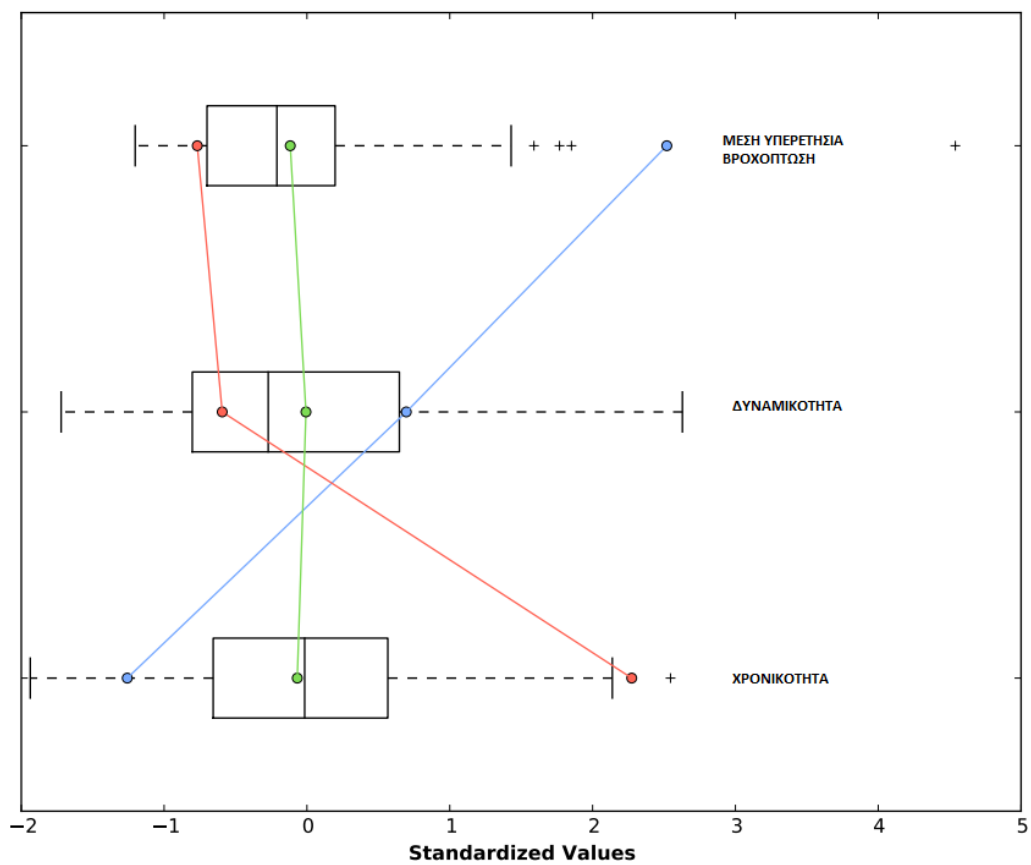
Η ομάδα 1 (μπλε χρώμα) και η ομάδα 2 (κόκκινο χρώμα) αποτελούνται από τρεις βροχομετρικούς σταθμούς η κάθε μια, ενώ η ομάδα 3 (πράσινο χρώμα) αποτελείται από 45 σταθμούς.



Χάρτης 5.11: Δημιουργία γειτονικών ομάδων βροχομετρικών σταθμών με μεταβλητές την τιμή της βροχόπτωσης, την δυναμικότητα και τη χρονικότητα των σταθμών (χρονική περίοδος 1978-1998).

Η πρώτη ομάδα χαρακτηρίζεται από πολλές βροχοπτώσεις, μικρή δυναμικότητα και από μέτρια χρονικότητα, ενώ στην ομάδα 2 συναντάμε λίγες βροχοπτώσεις, μεγάλη δυναμικότητα και μικρή χρονικότητα. Τέλος, η ομάδα 3 περιέχει βροχομετρικούς σταθμούς που συγκεντρώνουν τις ενδιάμεσες τιμές. Δηλαδή, χαμηλές προς μέτριες στη μέση τιμή της βροχόπτωσης και στην δυναμικότητα, ενώ εμφανίζουν μέτριες τιμές στη χρονικότητα.

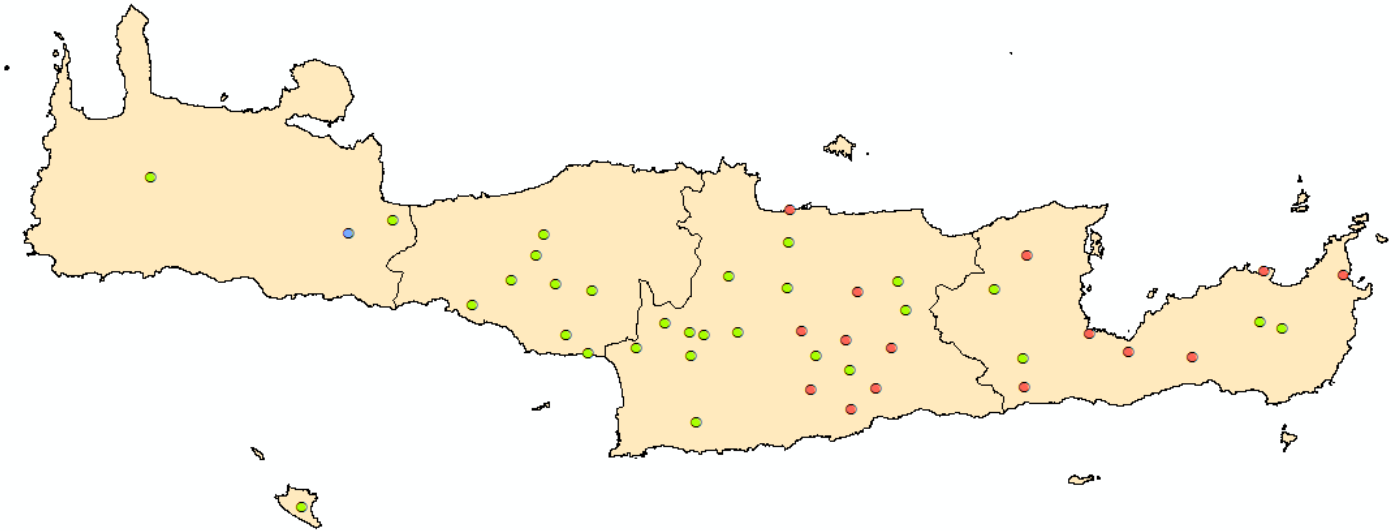
: R2 = 0,42 ΜΕΣΗ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ						ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1978-1998	
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	1543,1367	426,1299	1218,3600	2145,1500	0,5416		+
2	563,4533	45,3633	499,3000	595,5300	0,0562		+
3	757,4607	214,7514	433,8600	1344,2200	0,5320		+
Total	792,2647	298,0081	433,8600	2145,1500	1,0000		+
: R2 = 0,40 ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ							
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	1,2367	0,0801	1,1800	1,3500	0,2208		+
2	1,8433	0,0330	1,8200	1,8900	0,0909		+
3	1,4411	0,1397	1,1200	1,7000	0,7532		+
Total	1,4527	0,1718	1,1200	1,8900	1,0000		+
_: R2 = 0,05 ΧΡΟΝΙΚΟΤΗΤΑ							
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	0,9300	0,0787	0,8600	1,0400	0,4000		
2	0,7967	0,0236	0,7800	0,8300	0,1111		
3	0,8573	0,1053	0,6800	1,1300	1,0000		
Total	0,8580	0,1035	0,6800	1,1300	1,0000		



Σχήμα 5.11: Εύρος ομαδοποιημένων μεταβλητών για τη χρονική περίοδο (1978-1998)

Χρονική περίοδος 1999-2008

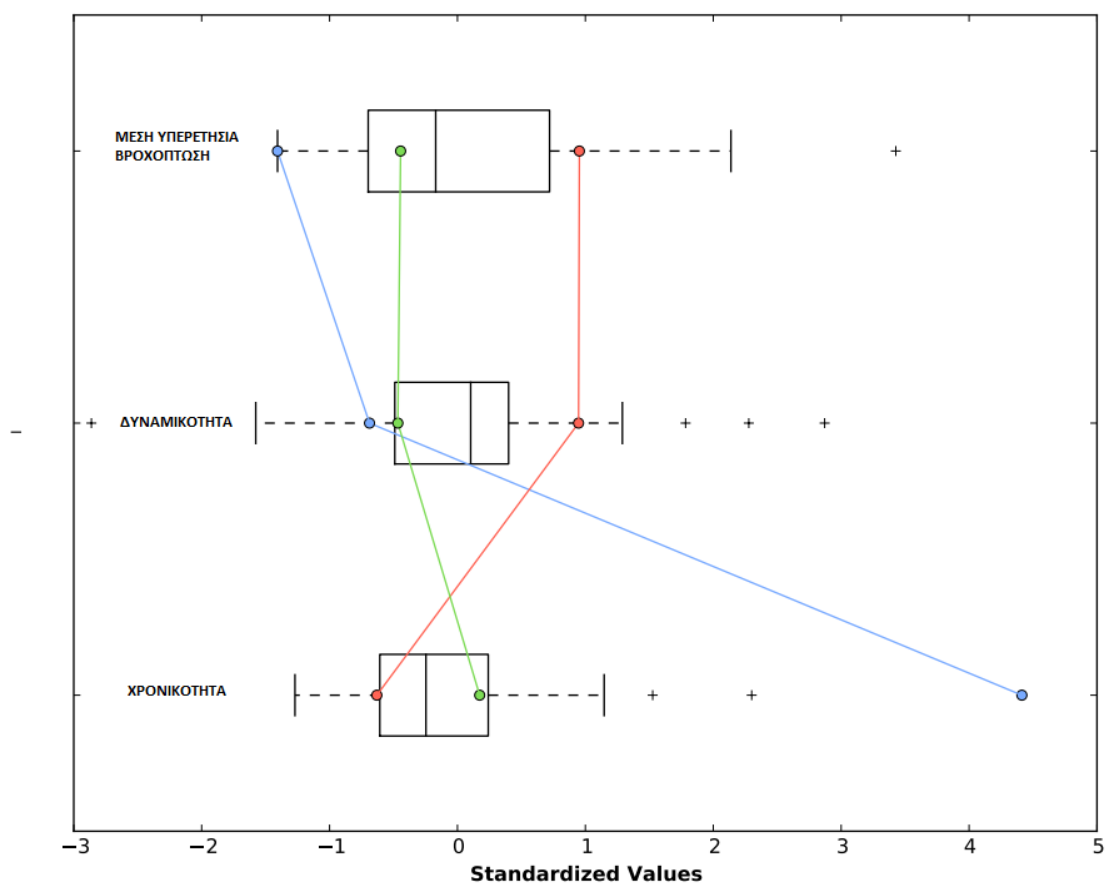
Η ομάδα 1 (μπλε χρώμα) αποτελείται από έναν βροχομετρικό σταθμό, ενώ οι ομάδες 2 (κόκκινο χρώμα) και 3 (πράσινο χρώμα) αποτελούνται από 15 και 29 σταθμούς αντίστοιχα.



Χάρτης 5.12: Δημιουργία γειτονικών ομάδων βροχομετρικών σταθμών με μεταβλητές την τιμή της βροχόπτωσης, την δυναμικότητα και τη χρονικότητα των σταθμών (χρονική περίοδος 1999-2008).

Στην ομάδα 1 οι βροχοπτώσεις είναι αρκετά έντονες ενώ η δυναμικότητα και η χρονικότητα των βροχομετρικών σταθμών είναι μικρές. Αντίθετα, οι σταθμοί της ομάδας 2 χαρακτηρίζονται από λίγες βροχοπτώσεις και από υψηλή δυναμικότητα και χρονικότητα. Τέλος, στην ομάδα 3 σημειώνονται λίγες έως μέτριες βροχοπτώσεις και η δυναμικότητα των σταθμών είναι μικρή έως μέτρια. Όσον αφορά τη χρονικότητα, αυτή εμφανίζει χαμηλές τιμές και επομένως αντιλαμβανόμαστε πως οι περισσότερες βροχές έχουν καταγραφεί στα πρώτα πέντε χρόνια.

: R2 = 0,58		ΜΕΣΗ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ		ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1999-2008			
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	2287,4300	0,0000	2287,4300	2287,4300	0,0000		
2	635,5313	129,7718	425,8200	836,9500	0,2208		
3	898,8952	245,8631	560,3300	1595,4800	0,5561		
Total	841,9636	327,5568	425,8200	2287,4300	1,0000		
: R2 = 0,47		ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ					
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	1,2500	0,0000	1,2500	1,2500	0,0000		
2	1,7493	0,1936	1,4545	2,2727	0,8000		
3	1,4536	0,1309	1,2500	1,8421	0,5789		
Total	1,5476	0,2116	1,2500	2,2727	1,0000		
: R2 = 0,45		ΧΡΟΝΙΚΟΤΗΤΑ					
Group	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Share		
1	0,8000	0,0000	0,8000	0,8000	0,0000		
2	0,9653	0,0803	0,8700	1,1600	0,5000		
3	0,8224	0,0736	0,5800	0,9200	0,5862		
Total	0,8696	0,1012	0,5800	1,1600	1,0000		



Σχήμα 5.12: Εύρος ομαδοποιημένων μεταβλητών για την χρονική περίοδο (1999-2008)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Γενικά για τις πλημμύρες

Πλημμύρα ονομάζεται η προσωρινή κάλυψη του εδάφους από ποσότητες νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι περιοχές στις οποίες παρατηρείται πλημμύρα είναι συνήθως στεγανές. Οι πλημμυρικοί όγκοι νερού μπορεί να προέρχονται από την τοπική βροχόπτωση, την υπερχειλίση ποταμού, την εισροή της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές ή από τη θραύση φράγματος.

Η πλημμύρα αποτελεί φυσικό φαινόμενο (καθώς προέρχεται από μετεωρολογικές καταστάσεις) και συμβαίνει όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης, δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο του νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Τα φυσικά φαινόμενα που είναι υπεύθυνα για τις πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν, ωστόσο με την σωστή παρέμβαση του ανθρώπου, τα πλημμυρικά γεγονότα είναι δυνατόν να περιοριστούν.

Αν και τα αίτια των πλημμυρών δεν μπορούν να ελεγχθούν (βροχόπτωση, στάθμη θάλασσας), εντούτοις σημαντικό ρόλο στο εάν θα προκύψουν ζημιές από την πλημμύρα παίζουν οι ανθρώπινες ενέργειες, όπως η αστικοποίηση, η αποδάσωση, η ανεπαρκής αποστράγγιση, η οικοδόμηση κτιρίων σε επικίνδυνες περιοχές κατάκλυσης κ.α.

Οι πλημμύρες που οφείλονται στην υπερχειλίση ποταμών ποικίλλουν σημαντικά ως προς το μέγεθος και την διάρκεια τους. Σε μεγάλους ποταμούς οι πλημμύρες εμφανίζονται συνήθως αρκετό χρόνο μετά τη βροχόπτωση και η διάρκεια τους μπορεί να είναι μέρες, εβδομάδες ή και μήνες. Στην περίπτωση μικρών ποταμών εμφανίζονται στιγμιαίες πλημμύρες που συνήθως είναι το αποτέλεσμα έντονων τοπικών βροχοπτώσεων. Θεωρούνται λιγότερο προβλέψιμες από εκείνες των μεγάλων ποταμών και δεδομένου ότι συμβαίνουν ξαφνικά είναι ικανές να προκαλέσουν σημαντικές καταστροφές.

Όσον αφορά τις πλημμύρες που συμβαίνουν σε παράκτιες περιοχές, αυτές προκαλούνται κυρίως από καταιγίδες που συμβαίνουν στη θάλασσα εξαιτίας των ανέμων που κατακλύζουν την ξηρά με

πλημμυρίδες. Ωστόσο σε παράκτιες περιοχές που έχουν υποστεί διάβρωση, η πιθανότητα πλημμύρας αυξάνει. Τέλος, όταν οι θαλάσσιες καταγίδες συμπίπτουν με ανύψωση της στάθμης του νερού στις εκβολές ποταμών, τότε πιθανόν να έχουμε την εμφάνιση εκτεταμένων καταστροφών.

6.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση πλημμυρικών γεγονότων

Γεωλογία

Η γεωλογία μια περιοχής παίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων καθώς αντλούμε πληροφορίες για την περατότητα των γεωλογικών σχηματισμών. Εδάφη που αποτελούνται από σχηματισμούς υψηλής περατότητας χαρακτηρίζονται από υψηλά ποσοστά κατείσδυσης και επομένως έχουν μικρή επιφανειακή απορροή. Αυτό συνεπάγεται μικρή πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων. Αντίθετα, εδάφη με σχηματισμούς χαμηλής υδροπερατότητας δυσκολεύουν την κατείσδυση του νερού και επομένως αυξάνουν τις πιθανότητες εκδήλωσης πλημμύρας.

Επίσης, η γεωλογία μιας περιοχής παρέχει πληροφορίες για την ύπαρξη ή μη πλημμυρικών αποθέσεων οι οποίες αποτελούν μάρτυρες παλαιότερων πλημμυρικών φαινομένων. Όσο πιο παλιές είναι οι πλημμυρικές αποθέσεις τόσο μειώνεται η πιθανότητα εκδήλωσης πλημμύρας. Με την χρονολόγηση διαδοχικών πλημμυρικών αποθέσεων μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την περίοδο επανάλληψης της πλημμύρας.

Χρήσεις γης και ανθρώπινες παρεμβάσεις

Με τον όρο «χρήσεις γης» νοείται κάθε είδους φυσική ή τεχνητή δομή που καλύπτει την επιφάνεια του εδάφους όπως είναι οι αγροτικές καλλιέργειες, δασικές και αστικές εκτάσεις, βιομηχανικές ζώνες κ.α. Δύο γνωστές αλλαγές χρήσης γης είναι αυτή της αστικοποίησης, δηλαδή της επέκτασης της αστικής γης πάνω σε άλλες χρήσεις και της αποδάσωσης,

δηλαδή της μετατροπής δασικών εκτάσεων σε καμένη γη ή σε άλλες χρήσεις. (Μιμίκου Μ.)

Οι χρήσεις γης μιας λεκάνης απορροής και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις αποτελούν τις σημαντικότερες παραμέτρους που επηρεάζουν την πλημμυρική επικινδυνότητα σε μια περιοχή. Έτσι όταν υπάρχει έντονη φυτοκάλυψη στο έδαφος, αυξάνει η κατείσδυση και μειώνεται ο όγκος του νερού που ρέει επιφανειακά με αποτέλεσμα να μειώνεται η πιθανότητα εκδήλωσης πλημμύρας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πυκνή βλάστηση ή πυκνή δασοκάλυψη επιβραδύνουν την επιφανειακή απορροή, δίνοντας χρόνο στο νερό να διεισδύσει στο έδαφος. Επίσης, το φύλλωμα ανακόπτει την ταχύτητα πτώσης της βροχής στο έδαφος, μειώνοντας τη συμπίκνωση του εδάφους από το νερό, ενώ το ριζικό σύστημα αυξάνει την διαπερατότητα του εδάφους.

Αντιθέτως, εδάφη που χαρακτηρίζονται από απουσία βλάστησης ή καταστροφή της από πυρκαγιά, παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων.

Ανάλογη είναι και η κατάσταση στις αστικές πυκνοδομημένες περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από μηδενική κατείσδυση. Πιο συγκεκριμένα, οι ανθρώπινες παρεμβάσεις κυρίως κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου όπως είναι η κάλυψη των ρεμάτων από δρόμους, πλατείες, σπίτια ή ακόμα οι απορρίψεις μπαζών ή κατασκευή τεχνικών έργων επιδεινώνουν την καταστροφικότητα των πλημμυρών. Στις περιοχές αυτές ο χρόνος συρροής του νερού είναι πολύ σύντομος, ενώ αυξάνει σημαντικά ο συντελεστής απορροής.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως μια λεκάνη απορροής που έχει υποστεί αστικοποίηση έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των ζημιών σε περίπτωση πλημμύρας, την αύξηση του κόστους της γης λόγω πολεοδομικής και χωροταξικής ανάπτυξης αλλά και την μείωση της αξίας της γης καθώς ο κίνδυνος για νέο πλημμυρικό γεγονός κάνει διστακτικούς τους πιθανούς αγοραστές της.

Γενικά, η βλάστηση και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις είναι από τους κύριους παράγοντες που χρησιμοποιούνται στην βασική επεξεργασία για τον καθορισμό των ζωνών πλημμυρικής επικινδυνότητας.

Τοπογραφία

Από την μελέτη της τοπογραφίας μιας περιοχής, με μια πρώτη προσέγγιση είναι δυνατόν να καθοριστούν οι περιοχές στις οποίες είναι πιθανή η εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Υποψήφιες περιοχές για εμφάνιση πλημμύρας μπορεί να θεωρηθούν περιοχές με μικρό υψόμετρο, αλλά και περιοχές με μικρή κλίση (επίπεδες περιοχές ή επιφάνειες επιπέδωσης).

Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο παίζει σημαντικό ρόλο στην δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων. Ο αριθμός των ρευμάτων που αποστραγγίζονται σε μια λεκάνη απορροής, ο όγκος του νερού που αυτά μεταφέρουν αλλά και τα στενά περάσματα κατά μήκος των ποταμών επηρεάζουν αναλόγως την εκδήλωση πλημμυρών. Επίσης, η ανεπάρκεια του υδρογραφικού δικτύου κυρίως στις πόλεις όπου τα ρέματα καλύπτονται από δρόμους, πλατείες και σπίτια, καθώς και η αδυναμία των ρεμάτων να αναλάβουν την αυξημένη απορροή αφού τα περισσότερα είναι μπαζωμένα, αποτελούν μερικές από τις σημαντικές αιτίες πλημμυρογένεσης.

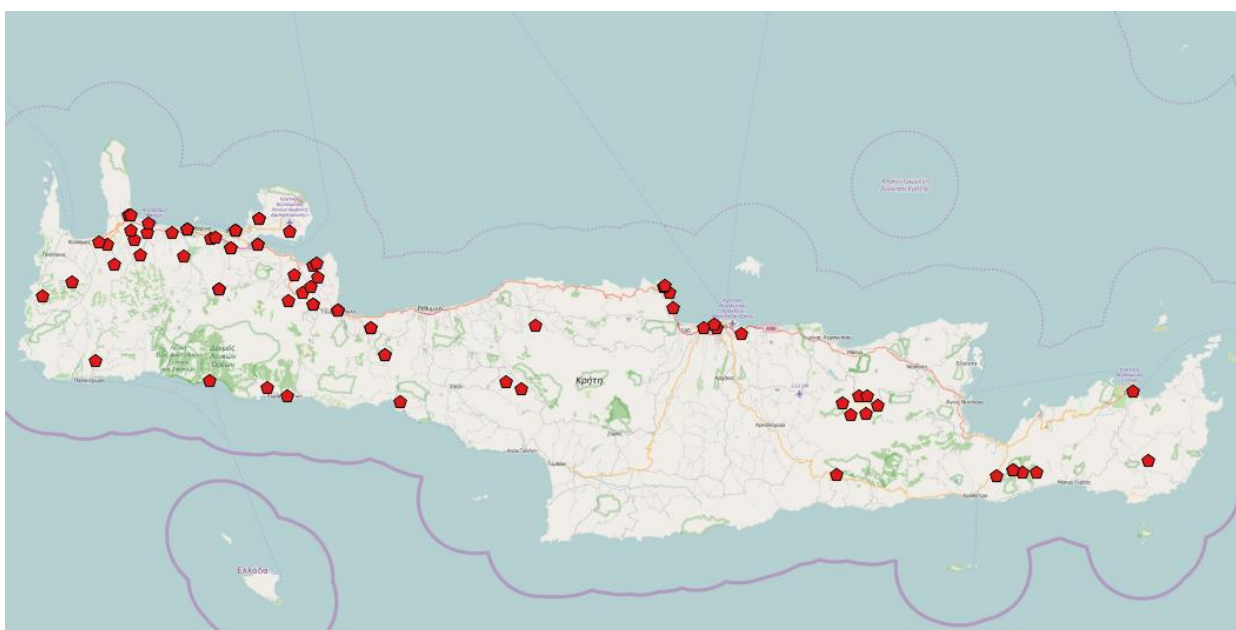
6.3 Πλημμυρικά γεγονότα στην Κρήτη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν 76 πλημμυρικά γεγονότα που εκδηλώθηκαν το χρονικό διάστημα 2000-2008 και τα οποία πάρθηκαν από την ιστοσελίδα του ΥΠΕΚΑ. Τα πλημμυρικά γεγονότα δινόντουσαν σε αρχείο shapefile, έτοιμο προς επεξεργασία στο λογισμικό GIS, το οποίο περιελάμβανε τις συντεταγμένες της κάθε πλημμύρας, την τοποθεσία της και την ημερομηνία του συμβάντος. Τα δεδομένα των πλημμυρών βασίζονται σε στοιχεία της ΥΑΣ, του ΕΛΓΑ, πανεπιστημιακών εργασιών καθώς και από εφημερίδες.

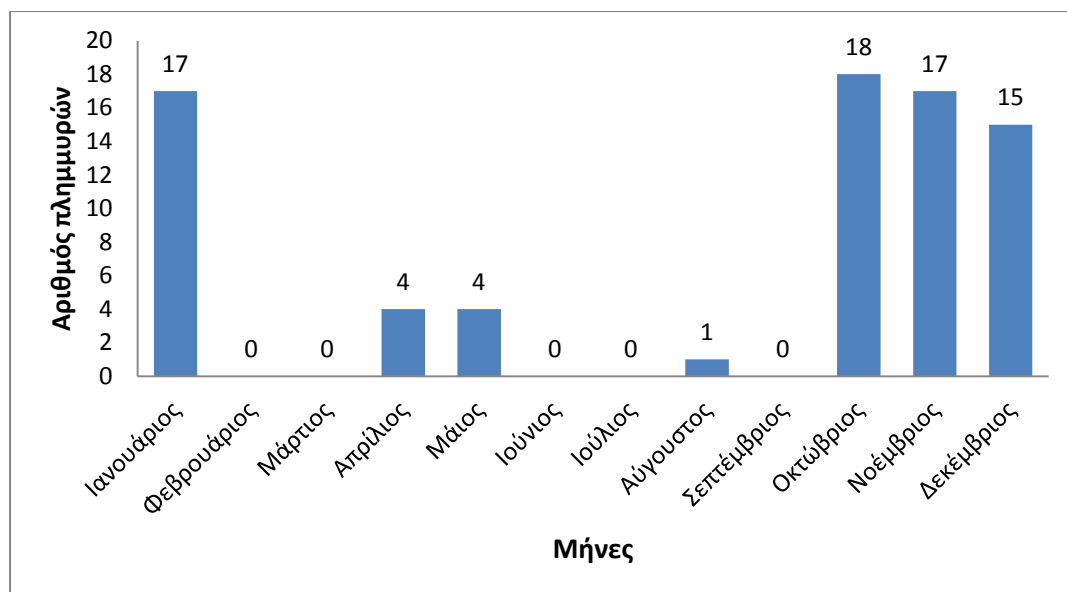
Από την ανάλυση των 76 πλημμυρικών γεγονότων προέκυψε ότι το 23,68% των συμβάντων έλαβαν χώρα τον μήνα Οκτώβριο, ενώ ακολουθούν οι μήνες Ιανουάριος και Νοέμβριος με ποσοστά 22,37% έκαστος.

Όσον αφορά την εποχή του έτους, το 42,1% των πλημμυρών συνέβησαν κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ το 46,05% κατά τους φθινοπωρινούς μήνες. Οι φθινοπωρινές πλημμύρες οφείλονται κατά κύριο λόγο στις βροχοπτώσεις που ξεκινούν μετά από μια μακρά περίοδο ανομβρίας.

Εξετάζοντας χωρικά την κατανομή των πλημμυρών στην Κρήτη, προέκυψε πως περίπου το 75% του συνόλου των πλημμυρών συμβαίνουν στο δυτικό τμήμα του νησιού, ενώ το υπόλοιπο 25% στα ανατολικά του νησιού.



Σχήμα 6.1: Σημεία εκδήλωσης πλημμύρας την περίοδο 2000-2008.



Σχήμα 6.2: Αριθμός πλημμυρικών γεγονότων ανά μήνα

Πίνακας 5: Πίνακας αναφοράς πλημμυρικών γεγονότων

Νομός Χανίων	Περιοχή	Νομός Χανίων	Περιοχή	Νομός Ρεθύμνου	Περιοχή
1/1/2000	ΧΑΝΙΩΝ	6/11/2004	ΦΑΛΕΛΙΑΝΩΝ	5/12/2000	ΦΟΙΝΙΚΑ
14/1/2000	ΠΛΑΤΑΝΙΑ	6/11/2004	ΓΕΡΑΝΙΟΥ	5/12/2000	ΛΑΜΠΗΣ
14/1/2000	ΧΑΝΙΩΝ	6/11/2004	ΠΟΛΕΜΑΡΧΙΟΥ	5/12/2000	ΣΙΒΡΙΤΟΥ
14/1/2000	ΔΑΡΑΤΣΟΥ	6/11/2004	ΣΤΕΡΝΩΝ	5/12/2000	ΝΙΚ. ΦΩΚΑ
14/1/2000	ΣΟΥΔΑΣ ΘΕΡΙΣΟΥ	6/11/2004	ΣΠΗΛΙΑ	5/12/2000	ΛΑΠΠΑΙΩΝ
20/4/2000	ΜΗΘΥΜΝΗΣ	6/11/2004	ΠΛΑΤΑΝΙΑ	5/12/2000	ΓΕΡΟΠΟΤΑΜΟΥ
20/4/2000	ΣΥΡΙΚΑΡΙΟΥ	6/11/2004	ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙΑΝΩΝ	1/10/2006	ΝΙΚ. ΦΩΚΑ
20/4/2000	ΙΝΝΑΧΩΡΙΟΥ	6/11/2004	ΣΚΟΥΤΕΛΩΝΑ	1/10/2006	ΛΑΠΠΑΙΩΝ
20/4/2000	ΠΕΛΕΚΑΝΟΥ	1/10/2006	ΑΓ. ΡΟΥΜΕΛΗΣ	Νομός Ηρακλείου	
5/12/2000	ΑΝΟΠΩΛΕΩΣ	1/10/2006	ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ	6/11/2004	ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ
5/12/2000	ΧΩΡΑ ΣΦΑΚΙΩΝ	1/10/2006	ΚΡΥΟΝΕΡΙΔΑΣ	6/11/2004	ΠΑΛΑΙΟΚΑΣΤΡΟΥ
15/1/2001	ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ	1/10/2006	ΦΡΕ	6/11/2004	ΛΥΓΑΡΙΑΣ
15/1/2001	ΚΡΥΟΝΕΡΙΔΑΣ	1/10/2006	ΘΕΡΙΣΟΥ	6/11/2004	ΑΓΙΑΣ ΠΕΛΑΓΙΑΣ
15/1/2001	ΘΕΡΙΣΟΥ	1/10/2006	ΒΑΜΟΥ	6/11/2004	ΜΟΝΟΝΑΥΤΗ
15/1/2001	ΔΕΛΙΑΝΩΝ	1/10/2006	ΑΡΜΕΝΩΝ	6/11/2004	ΚΑΡΤΕΡΟΥ
15/1/2001	ΜΟΥΣΟΥΡΩΝ	1/10/2006	ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	13/11/2008	Δ. ΒΙΑΝΝΟΥ
15/1/2001	ΒΟΥΚΟΛΙΩΝ	1/10/2006	ΣΟΥΔΑΣ	Νομός Λασιθίου	
15/1/2001	ΕΛ. ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	1/10/2006	ΤΑΥΡΩΝΙΤΟΥ	4/5/2000	ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ
15/1/2001	ΣΟΥΔΑΣ	1/10/2006	ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙΑΝΩΝ	1/12/2001	ΨΥΧΡΟΥ
15/1/2001	ΒΟΥΒΩΝ	1/10/2006	ΚΟΛΥΜΒΑΡΙΟΥ	1/12/2001	ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ
15/1/2001	Ν.ΚΥΔΩΝΙΑΣ	17/10/2006	ΠΛΑΤΑΝΙΑ	1/12/2001	ΜΕΣΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ
15/1/2001	ΧΑΝΙΩΝ	18/10/2006	ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΗΣ	1/12/2001	ΚΑΤΩ ΜΕΤΟΧΙ
15/1/2001	ΠΛΑΤΑΝΙΑ	18/10/2006	ΑΠΟΚΩΡΟΝΑΣ	1/12/2001	ΤΖΕΡΜΙΑΔΟ
6/11/2004	ΓΑΒΑΛΟΧΩΡΙΟΥ	18/10/2006	ΑΛΜΥΡΙΔΑ	1/12/2001	ΛΑΓΟΥ
6/11/2004	ΠΛΑΚΑΣ			3/12/2001	ΟΡΟΠΕΔΙΟ ΛΑΣΙΘΙΟΥ
				18/8/2002	ΖΗΡΟΥ
				26/5/2003	ΚΑΤΩ ΧΩΡΙΟ
				26/5/2003	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ
				26/5/2003	ΣΧΙΝΟΚΑΨΑΛΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Ανάλυση συσχέτισης και ανάλυση παλινδρόμησης

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται η ανάλυση συσχέτισης και η ανάλυση παλινδρόμησης που αποτελούν μεθόδους επεξεργασίας δύο ή περισσότερων μεταβλητών. Η πρώτη μέθοδος εξετάζει εάν δύο ή περισσότερες μεταβλητές σχετίζονται μεταξύ τους και πόσο ισχυρή είναι η συσχέτισή τους, ενώ η ανάλυση παλινδρόμησης αφορά στη δημιουργία ενός μοντέλου το οποίο προσδιορίζει τη σχέση αιτίου-αποτελέσματος και μπορεί να αποτελέσει μια απλουστευμένη περιγραφή της πραγματικότητας.

7.1 Συντελεστής συσχέτισης Pearson

7.1.1 Η έννοια της συνδιακύμανσης

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson r που θεωρείται από τους σημαντικότερους συντελεστές συσχέτισης, αφορά ποσοτικές μεταβλητές και βασίζεται στην έννοια της γραμμικής συσχέτισης.

Στον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson r για δύο μεταβλητές X και Y χρησιμοποιείται η έννοια της συνδιακύμανσης (covariance) που περιγράφει την ταυτόχρονη μεταβολή των δύο μεταβλητών και η οποία εκφράζεται με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$\text{Συνδιακύμανση} = \text{cov}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{n-1} \quad (7.1)$$

Όπου, $\bar{X}$: η μέση τιμή της μεταβλητής X

$\bar{Y}$: η μέση τιμή της μεταβλητής Y

Ο μαθηματικός τύπος της συνδιακύμανσης θεωρείται σαν επέκταση του μαθηματικού τύπου της διασποράς, με τη διαφορά πως η διασπορά αναφέρεται σε μία μόνο μεταβλητή.

$$\text{Διασπορά} = s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(x_i - \bar{X})}{n-1} \quad (7.2)$$

Οι τιμές που προκύπτουν από την συνδιακύμανση μπορεί να είναι είτε θετικές είτε αρνητικές. Στην περίπτωση που οι τιμές μιας μεταβλητής αυξάνουν με την αύξηση των τιμών της δεύτερης μεταβλητής, ή μειώνονται με τη μείωση των τιμών της άλλης μεταβλητής, τότε η συνδιακύμανση που θα προκύψει θα είναι θετική. Ωστόσο, όταν οι τιμές της μιας μεταβλητής μειώνονται με την αύξηση των τιμών της άλλης μεταβλητής τότε η συνδιακύμανση θα είναι αρνητική. Τέλος, σε περίπτωση που η συνδιακύμανση έχει τιμή κοντά στο μηδέν, δεν θα υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

7.1.2 Υπολογισμός συντελεστή συσχέτισης Pearson

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson είναι ένα μέτρο συσχέτισης χωρίς μονάδες μέτρησης, σε αντίθεση με την συνδιακύμανση.

Ο μαθηματικός του τύπος προκύπτει από τον μαθηματικό τύπο της συνδιακύμανσης τον οποίο διαιρούμε με το γινόμενο των τυπικών αποκλίσεων των δύο μεταβλητών. Επομένως έχουμε:

$$\text{Συντελεστής συσχέτισης Pearson} = \rho = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (7.3)$$

Όπου, σ_X : η τυπική απόκλιση της μεταβλητής X

σ_Y : η τυπική απόκλιση της μεταβλητής Y

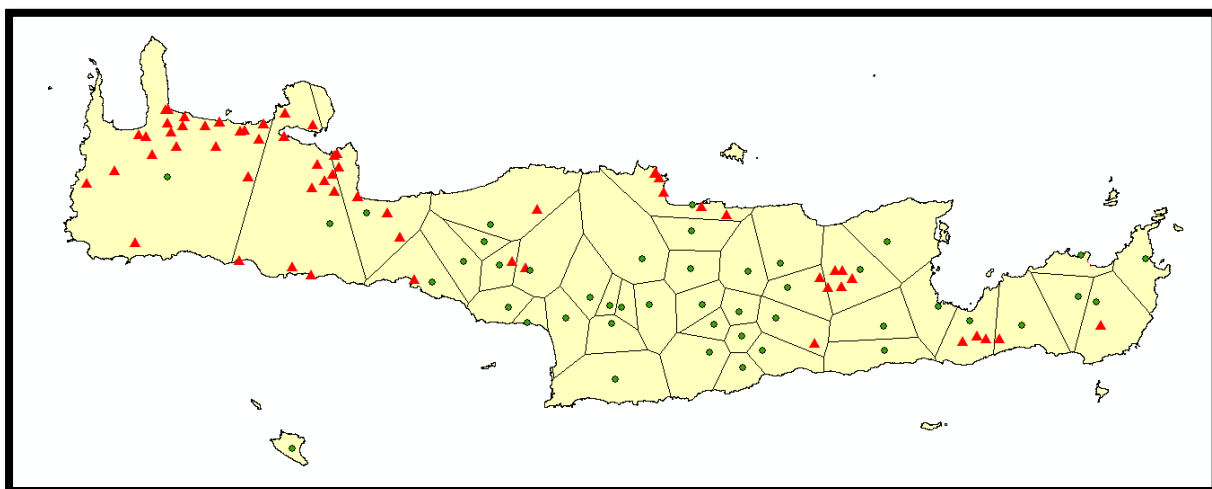
$$\text{Πιο αναλυτικά: Pearson} = \rho = r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (7.4)$$

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson παίρνει τιμές στο διάστημα $[-1,1]$. Πιο συγκεκριμένα, όταν το r παίρνει τιμές κοντά στο $+1$, έχουμε τέλεια θετική συσχέτιση, ενώ όταν οι τιμές είναι κοντά στο -1 έχουμε τέλεια αρνητική συσχέτιση. Αναλυτικότερα, όταν οι τιμές μιας μεταβλητής αυξάνουν με την αύξηση των τιμών μιας άλλης μεταβλητής ή μειώνονται με την μείωση των τιμών της άλλης μεταβλητής, τότε η τιμή της συσχέτισης που θα προκύψει θα είναι θετική. Αντίθετα, όταν οι τιμές της μιας μεταβλητής αυξάνουν και οι αντίστοιχες τιμές της άλλης μεταβλητής μειώνονται τότε θα έχουμε αρνητική συσχέτιση. Στην περίπτωση που $r = 0$, οι μεταβλητές δεν παρουσιάζουν καμία συσχέτιση και συγκεκριμένα δεν υπάρχει γραμμική σχέση.

Πέρα των τιμών που αναφέρθηκαν, δηλαδή $r = \pm 1$ και $r = 0$, προκύπτουν και άλλες τιμές στο διάστημα $[-1,1]$, οι οποίες ερμηνεύονται εμπειρικά. Όταν $0,8 \leq r \leq 1$ ή $-1 \leq r \leq -0,8$ η συσχέτιση θεωρείται πολύ ισχυρή έως τέλεια, για τιμές κοντά στο $0,5$ ή $-0,5$ η συσχέτιση θεωρείται μέτρια, ενώ για τιμές κοντά στο μηδέν η συσχέτιση είναι ασθενής.

7.2 Συντελεστής συσχέτισης Pearson στα δεδομένα των πλημμυρών

Η συνολική επιφάνεια της Κρήτης χωρίστηκε σε πολύγωνα (Thiessen) ή αλλιώς σε γεωμετρικές ζώνες επιρροής, μία για κάθε βροχομετρικό σταθμό. Σε κάθε πολύγωνο αντιστοιχούσε συγκεκριμένος αριθμός πλημμυρών. Τα πολύγωνα προσδιορίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε πλημμυρικό γεγονός που άνηκε στο πολύγωνο ενός βροχομετρικού σταθμού, να απέχει από τη θέση του συγκεκριμένου σταθμού λιγότερο από οποιονδήποτε άλλο σταθμό της περιοχής. Τα πολύγωνα αυτά δημιουργήθηκαν με την εντολή *Create Thiessen Polygons* του ArcGis.



Σχήμα 7.1: Δημιουργία πολυγώνων Thiessen

Για τον υπολογισμό της συσχέτισης Pearson όσον αφορά τις πλημμύρες, μετρήθηκε το πλήθος των πλημμυρικών γεγονότων μέσα σε κάθε πολύγωνο και στη συνέχεια έγινε συσχέτιση του πλήθους των πλημμυρών με το ύψος βροχής, τη χρονικότητα και δυναμικότητα των βροχομετρικών σταθμών (μελετήθηκαν και αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 5) αλλά και με τα χαρακτηριστικά των ίδιων των πλημμυρών.

Στον πίνακα 5 δίνονται τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης Pearson για τα δεδομένα του πίνακα 6. Πιο αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά των πλημμυρών που μελετήθηκαν και καταγράφονται στον πίνακα 6 είναι:

- Οι στήλες *Αστική έκταση*, *Γεωργική έκταση*, *Χαμηλή βλάστηση* και *Δάσος* αφορούν τα ποσοστά των *χρήσεων Γης* που καταλάμβανε η κάθε πλημμύρα. Για την διεξαγωγή αυτών των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS και δημιουργήθηκαν για κάθε πλημμύρα ζώνες *buffer*, ακτίνας 1000 μέτρων σαν να αποτελούν κατά κάποιο τρόπο την έκταση της πλημμύρας. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η εντολή *intersect* του ArcGIS, ώστε να βρεθεί το κοινό κομμάτι του χώρου μεταξύ των ζωνών *buffer* και των *χρήσεων Γης*. Ανάλογα την έκταση που καταλάμβανε η κάθε χρήση Γης σε σχέση με την έκταση της ζώνης *buffer*, προέκυψαν τα ποσοστά.
- *Υψόμετρο πλημμύρας*: Είναι το μέσο υψόμετρο όλων των πλημμυρικών γεγονότων που υπάρχουν σε κάθε πολύγωνο και έχει υπολογιστεί με την βοήθεια των ισοϋψών καμπυλών.
- *Μήκος ποταμών*: Είναι το συνολικό μήκος των ποταμών που περικλείονται μέσα στις ζώνες *buffer* (που σχηματίζονται γύρω από κάθε πλημμυρικό γεγονός) του κάθε πολυγώνου.

Πίνακας 5: Πίνακας συντελεστών συσχέτισης Pearson r

		Μέση Τιμή βροχόπτωσης (mm)	Δυναμικότητα σταθμών	Χρονικότητα σταθμών	Αστική έκταση *100%	Γεωργική έκταση *100%	Χαμηλή βλάστηση *100%	Δασική έκταση *100%	Μήκος ποταμών (Km)	Μέσο ύψος πλημμυρών (m)
Πλήθος πλημμυρικών γεγονότων	Pearson Correlation	0,372	-0,331	-0,177	.564*	-0,153	0,208	0,521	.938**	-0,415

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά βροχομετρικών σταθμών και πλημμυρικών γεγονότων

Όνομα βροχομετρικού σταθμού	Πλήθος πλημμυρικών γεγονότων	Μέση Τιμή (mm)	Δυναμικότητα Σταθμών	Χρονικότητα Σταθμών	Αστική έκταση *100%	Γεωργική έκταση *100%	Χαμηλή βλάστηση *100%	Δάσος *100%	Μήκος ποταμών (Km)	Μέσο υψόμετρο (m)
ΑΣΚΥΦΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	14	2287,43	1,25	0,80	0,28	0,52	0,16	0,04	1,5	118,6
ΜΟΥΡΙ ΧΑΝΙΩΝ	10	1211,33	1,35	0,90	0	0,91	0,09	0	1,3	101
ΠΑΛΑΙΑ ΡΟΥΜΑΤΑ ΧΑΝΙΩΝ	29	1205,01	1,45	0,85	0,24	0,63	0,12	0,01	7,5	165
ΒΥΖΑΡΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1	1341,97	1,57	0,89	0	0,9	0,1	0	0	350
ΓΕΡΑΚΑΡΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1	1217,59	1,57	0,84	0	0,9	0,1	0	0	450
ΚΑΒΟΥΣΙ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1	1198,073	1,45	0,82	0	1	0	0	0	290
ΛΕΥΚΟΓΕΙΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	1	920,86	1,70	0,72	0	1	0	0	0	90
ΑΡΜΑΧΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	1	826,89	1,51	0,83	0	0,73	0,27	0	0	880
ΚΑΣΣΑΝΟΙ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	1	566	1,63	0,99	0,13	0,32	0,55	0	0	670
Υ.Ε.Β. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	6	500,68	1,51	0,93	0,4	0,45	0,15	0	2,4	25
ΚΑΤΣΙΔΟΝΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	1	867,32	1,57	0,91	0	0,35	0,65	0	0	590
ΕΞΩ ΠΟΤΑΜΟΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	5	1595,481	1,45	0,88	0,1	0,66	0,24	0	0	864
ΠΑΧΕΙΑ ΑΜΜΟΣ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	4	681,57	1,77	1,10	0	0,44	0,56	0	0	445
ΣΤΑΥΡΟΧΩΡΙ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	1	836,9486	2,27	1,16	0	0,8	0,2	0	0	380

Ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης Pearson μπορεί να γίνει είτε με τη βοήθεια του excel (συνάρτηση Pearson), είτε με το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης SPSS.

Στον πίνακα 5, παραθέτονται τα αποτελέσματα μέσω του λογισμικού SPSS, για την επεξεργασία 76 πλημμυρικών γεγονότων. Προκύπτει πως την υψηλότερη συσχέτιση για το πλήθος των πλημμυρών την εμφανίζει η μεταβλητή *μήκος ποταμών*. Ο συντελεστής συσχέτισης για την συγκεκριμένη μεταβλητή είναι θετικός και ίσος με 0,94. Ακολουθούν οι μεταβλητές *Αστική έκταση* και *μέσο υψόμετρο πλημμύρας* με συντελεστή συσχέτισης 0,56 και -0,42 αντίστοιχα.

Πιο αναλυτικά, από τις συσχετίσεις που προκύπτουν συμπεραίνουμε πως όσο αυξάνει το υψόμετρο μικραίνει η πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων, ενώ αντίθετα σημαντικός παράγοντας στην εκδήλωση τους αποτελεί η ύπαρξη ποταμών και οι περιοχές που καλύπτονται από αστικές εκτάσεις. Όσον αφορά την μεταβλητή της βροχόπτωσης, ο συντελεστής συσχέτισης είναι θετικός και η τιμή του μπορεί να θεωρηθεί μέτρια. Αν και το αποτέλεσμα της συσχέτισης μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικό, πιθανότατα στην περίπτωση που υπήρχαν περισσότεροι βροχομετρικοί σταθμοί και σε πιο κοντινές αποστάσεις στις πλημμυροπαθείς περιοχές, η συσχέτιση που θα προέκυπε να ήταν πιο ισχυρή.

Είναι προφανές πως η συσχέτιση που σημειώνεται μεταξύ του πλήθους των πλημμυρών και της μεταβλητής *δάσος* δεν μπορεί να υποστηριχθεί, αλλά απλά συμβαίνει όταν τα μεγέθη μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ωστόσο πιθανόν να οφείλεται στις ελάχιστες παρατηρήσεις, καθώς μόνο δύο πολύγωνα εμφανίζουν το χαρακτηριστικό αυτό στις πλημμύρες τους.

7.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Η ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) είναι συνδεδεμένη με την ανάλυση συσχέτισης. Ο συντελεστής συσχέτισης εξετάζει ποσοτικά τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, δηλαδή πόσο ισχυρή είναι η συσχέτισή τους, ενώ η παλινδρόμηση εκφράζει τη σχέση αυτή ως μια εξίσωση που συνδέει τις μεταβλητές προσδιορίζοντας τις σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος.

Μια από τις μεταβλητές του μοντέλου της παλινδρόμησης είναι η *εξαρτημένη* μεταβλητή (dependent ή response variable) η οποία αποτελεί τη *μέτρηση*, ενώ η τιμή της ερμηνεύεται από τις τιμές μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών (independent variables ή predictors) που αποτελούν τους επεξηγηματικούς παράγοντες.

Η παλινδρόμηση μπορεί να είναι *απλή* όταν χρησιμοποιείται μια ανεξάρτητη μεταβλητή, ή *πολλαπλή* στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

7.3.1 Η εξίσωση της απλής παλινδρόμησης

Η εξίσωση που δίνει τη γραμμική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών έχει τη μορφή:

$$Y = a + bX + e \quad (7.5)$$

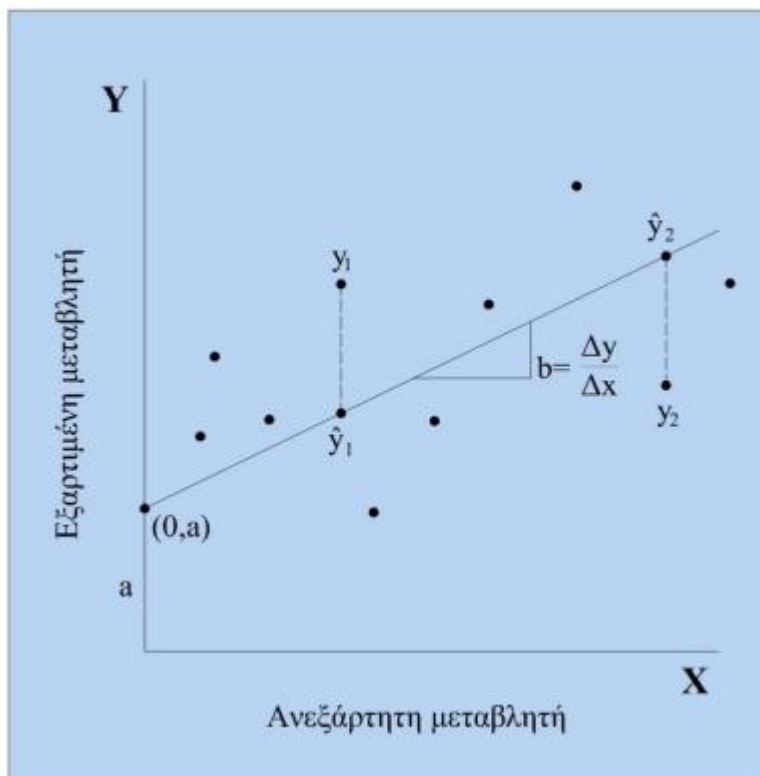
Όπου,

- Y , είναι η εξαρτημένη μεταβλητή
- X , είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή
- a, b είναι παράμετροι της εξίσωσης
- e , είναι το σφάλμα της εκτίμησης για την εξαρτημένη μεταβλητή

Σε γεωμετρική απεικόνιση, η εξίσωση της απλής παλινδρόμησης παριστάνεται με μία ευθεία γραμμή. Όταν μεταβάλλεται η μεταβλητή X κατά μία μονάδα, η μεταβλητή Y μεταβάλλεται με σταθερό τρόπο κατά b . Η παράμετρος b ονομάζεται συντελεστής παλινδρόμησης και εκφράζει την κλίση της ευθείας. Αυτή αποτελεί την πιο απλή μορφή παλινδρόμησης η οποία μπορεί να επεκταθεί με την προσθήκη περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών.

Σημαντικός παράγοντας στην ανάλυση παλινδρόμησης έχουν τα υπόλοιπα ή κατάλοιπα (*residuals*) e , που αποτελούν την διαφορά μεταξύ των πραγματικών τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής και των τιμών (εκτιμώμενες) που προκύπτουν από την εξίσωση της παλινδρόμησης. Τα κατάλοιπα αφορούν στο γεγονός ότι δεν περιλαμβάνονται στο μοντέλο της παλινδρόμησης όλες οι πιθανές ανεξάρτητες μεταβλητές. Όταν το κατάλοιπο είναι θετικό, τότε έχουμε υποεκτίμηση της πραγματικής τιμής, ενώ όταν το κατάλοιπο είναι αρνητικό έχουμε υπερεκτίμηση των πραγματικών τιμών.

$$\text{Γενικά ισχύει: } e = Y_{\text{πραγματικής τιμής}} - Y_{\text{εκτιμώμενης τιμής}} \quad (7.6)$$



Σχήμα 7.2: Η γραμμή της απλής παλινδρόμησης (Ηλιοπούλου, 2015)

7.3.2 Η εξίσωση της πολλαπλής παλινδρόμησης

Η εξίσωση της παλινδρόμησης όταν αφορά δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές είναι της μορφής:

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots b_nx_n + e \quad (7.7)$$

Πιο αναλυτικά,

- Y , είναι η εξαρτημένη μεταβλητή
- X_i , είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή, όπου i είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών
- a , b_i είναι παράμετροι της εξίσωσης
- e , είναι το σφάλμα της εκτίμησης για την εξαρτημένη μεταβλητή
- n , είναι ο αριθμός των εισαγόμενων ανεξάρτητων μεταβλητών

Στην παρούσα εργασία, η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση περιγράφει τη σχέση μεταξύ του πλήθους των πλημμυρών (εξαρτημένη μεταβλητή) και των ανεξάρτητων μεταβλητών που απεικονίζει ο πίνακας 6. Η πιο απλή και διαδεδομένη μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης είναι η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Με τη μέθοδο αυτή

ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των παρατηρήσεων από τη γραμμή παλινδρόμησης που είναι τα κατάλοιπα, δηλαδή προσδιορίζεται η ευθεία που προσαρμόζεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στα σημεία ενός διαγράμματος διασποράς

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \min \quad (7.8)$$

Με την μέθοδο αυτή προσδιορίζονται οι συντελεστές α και β από τους τύπους:

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (7.9)$$

και

$$\alpha = \bar{Y} - \beta \bar{X} \quad (7.10)$$

7.4 Αξιολόγηση του μοντέλου της παλινδρόμησης

Η παλινδρόμηση αξιολογείται αρχικά από τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 . Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την αναλογία της συνολικής διασποράς της μεταβλητής Y , δηλαδή πόσο καλά ερμηνεύεται στο μοντέλο η εξαρτημένη μεταβλητή Y από τις ανεξάρτητες μεταβλητές X . Το R^2 είναι καθαρός αριθμός και παίρνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά στη μονάδα βρεθεί, τόσο πιο πετυχημένο είναι το μοντέλο της παλινδρόμησης καθώς η εξαρτημένη μεταβλητή μπορεί να ερμηνευτεί σε σημαντικό ποσοστό από τις ανεξάρτητες μεταβλητές της. Αντίθετα, όταν η τιμή του R^2 πλησιάζει στο 0, τότε το μοντέλο της παλινδρόμησης έχει αποτύχει καθώς δεν μπορεί να ερμηνευτεί η εξαρτημένη μεταβλητή Y . Επιπλέον υπολογίζεται ο συντελεστής Adjusted R Square που εκφράζει κατά πόσο ο συντελεστής R^2 είναι προσαρμοσμένος στο μέγεθος του δείγματος.

Να σημειωθεί πως η τιμή του R^2 ελέγχεται στατιστικά από το F το οποίο βασίζεται στην κατανομή F , ενώ το sig. (του πίνακα ANOVA) αφορά στη στατιστική σημαντικότητα του F . Δηλαδή τιμή μικρότερη από την 0.05, το μοντέλο είναι σημαντικό στην εξήγηση της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής.

Ένας άλλος τρόπος αξιολόγησης του μοντέλου της παλινδρόμησης είναι μέσω της εκτίμησης του τυπικού σφάλματος της εξαρτημένης μεταβλητής. Το τυπικό σφάλμα εκφράζεται στις μονάδες μέτρησης της εξαρτημένης μεταβλητής και ο μαθηματικός του τύπος είναι:

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum e_i^2}{n-2}}$$

Όσο πιο κοντά στη μονάδα βρίσκεται η τιμή του συντελεστή προσδιορισμού R^2 , τόσο πιο μικρή θα είναι η τιμή του σφάλματος.

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης από το λογισμικό SPSS. Τα αποτελέσματα αποτελούνται από τέσσερις επιμέρους πίνακες.

Πίνακας 7: Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Μέση τιμή, Χαμηλή βλάστηση, Μήκος Ποταμών ^b		Enter

a. Dependent Variable: Πλήθος Πλημμυρικών γεγονότων

b. All requested variables entered.

Πίνακας 8: Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.982 ^a	0,965	0,955	1,677

a. Predictors: (Constant), Μέση τιμή, Χαμηλή βλάστηση, Μήκος Ποταμών

Πίνακας 9: ANOVA^a

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1 Regression	781,319	3	260,440	92,652	.000 ^b
Residual	28,110	10	2,811		
Total	809,429	13			

Πίνακας 10: Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-4,781	1,580		-3,026	0,013
Μέση τιμή	0,005	0,001	0,316	4,939	0,001
Μήκος Ποταμών	3,593	0,234	0,932	15,386	0,000
Χαμηλή βλάστηση	4,820	2,457	0,128	1,962	0,078

a. Dependent Variable: Πλήθος Πλημμυρικών γεγονότων

Ο πρώτος πίνακας *Variables entered* δίνει την εξαρτημένη μεταβλητή αλλά και τις μεταβλητές που συμμετείχαν στην δημιουργία του μοντέλου.

Στον δεύτερο πίνακα *Model Summary* παρουσιάζεται η αξιολόγηση του μοντέλου της παλινδρόμησης στα δεδομένα. Η εξέταση της καλής προσαρμογής του μοντέλου στα δεδομένα πραγματοποιείται από το συντελεστή συσχέτισης R που δείχνει πόσο ισχυρή είναι η συσχέτιση εξαρτημένης μεταβλητής με τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Ο συντελεστής συσχέτισης που προκύπτει είναι $R=0,982$ ενώ ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι $R^2=0,965$ και άρα το 96,5% της μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής, ερμηνεύεται από τις ανεξάρτητες μεταβλητές που αναφέρονται στον πίνακα 7. Ο συντελεστής *Adjusted R Square* ερμηνεύεται ως το ποσοστό της μεταβλητότητας της Y που θα ερμηνευόταν από το μοντέλο του πληθυσμού και είναι ίσος με $R^2=0,955$. Στη στήλη *Std. Error of the Estimate* εμφανίζεται το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης, το οποίο ισούται με 1,7 πλημμύρες.

Στον τρίτο πίνακα ANOVA δίνεται η ανάλυση της διασποράς (Sum of Squares) σε ερμηνευόμενη (Regression) και σε μη ερμηνευόμενη (Residual). Από το F-test του πίνακα, προκύπτει $\text{sig} < 0,001$ και άρα

συμπεραίνουμε ότι το μοντέλο της παλινδρόμησης συνεισφέρει σημαντικά στην πρόβλεψη του πλήθους των πλημμυρικών γεγονότων.

Στον τέταρτο πίνακα *Coefficients* βρίσκεται ο υπολογισμός των παραμέτρων της πολλαπλής παλινδρόμησης. Η στήλη *Unstandardized Coefficients B* εκφράζει την αλλαγή που επέρχεται στην εξαρτημένη μεταβλητή αν μία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές αλλάξει κατά μία μονάδα, κρατώντας τις υπόλοιπες σταθερές. Δηλαδή, για κάθε μονάδα αύξησης του μήκους των ποταμών (1Km), το αναμενόμενο πλήθος πλημμυρών αυξάνει κατά 3,59 μονάδες δεδομένου ότι κρατάμε τις άλλες μεταβλητές σταθερές. Επομένως, η μεταβλητή με την μεγαλύτερη τιμή θα επηρεάζει περισσότερο το μοντέλο. Παρατηρούμε ότι όλοι οι συντελεστές των μεταβλητών είναι θετικοί και επομένως με την αύξηση των τιμών των μεταβλητών του μοντέλου, θα αυξάνεται το πλήθος των πλημμυρικών γεγονότων. Δηλαδή, όσο αυξάνει το ύψος βροχής, το ποσοστό της χαμηλής βλάστησης σε μια περιοχή ή το μήκος των ποταμών, θα αυξάνει το πλήθος των πλημμυρών.

Εκτός από τους συντελεστές παλινδρόμησης *B* προκύπτουν και οι συντελεστές *BETA* που δεν επηρεάζονται από τις μονάδες μέτρησης των ανεξάρτητων μεταβλητών και μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους. Έτσι, μπορούμε να διακρίνουμε την επίδραση που έχει η κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή στη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής. Από τον πίνακα 10 προκύπτει ότι ο συντελεστής *BETA* για το μήκος ποταμών είναι 15,386 και έχει πολύ μεγαλύτερη επίδραση στο πλήθος των πλημμυρών σε σχέση με τις άλλες δύο μεταβλητές.

Τέλος, οι δύο τελευταίες στήλες αφορούν σε στατιστικούς ελέγχους των μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές του *t* θα πρέπει να είναι $t > 1,96$ ή $t < -1,96$ και $\text{sig} < 0,05$ που σημαίνει ότι τα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα και επομένως η συνεισφορά του μοντέλου στην πρόβλεψη του πλήθους των πλημμυρικών γεγονότων είναι σημαντική. Από το μέγεθος *t* προκύπτει ότι το μήκος των ποταμών είναι η πιο σημαντική μεταβλητή του μοντέλου και ακολουθεί η τιμή του ύψους βροχής, ενώ το ποσοστό της χαμηλής βλάστησης είναι λιγότερο σημαντικό (Το ίδιο συμπέρασμα προέκυψε και από τους *Standardized coefficients*).

Η εξίσωση της πολλαπλής παλινδρόμησης διαμορφώνεται ως εξής:

$$\text{Πλήθος Πλημμυρών} = -4,78 + 0,005 * \text{Μέση τιμή} + 3,59 * \text{Μήκος ποταμών} \\ + 4,82 * \text{Χαμηλή βλάστηση}$$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την χωροχρονική ανάλυση της βροχόπτωσης αλλά και την μελέτη των πλημμυρικών απορροών στην Κρήτη προέκυψαν κάποια γενικά συμπεράσματα. Αρχικά θα πρέπει να τονισθεί η σημαντικότητα του λογισμικού προγράμματος Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας ArcGIS στην υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς αποτέλεσε γρήγορο και εύχρηστο εργαλείο για την ανάλυση τόσο των βροχομετρικών δεδομένων όσο και των πλημμυρικών φαινομένων.

Όσον αφορά τις βροχοπτώσεις, η μέση ετήσια βροχόπτωση στην Κρήτη ανέρχεται περίπου στα 810mm, ενώ παρουσιάζει ανισοκατανομή τόσο στον ετήσιο, όσο και στον μηνιαίο όγκο βροχόπτωσης από τα δυτικά στα ανατολικά. Πιο αναλυτικά, οι περισσότερες βροχοπτώσεις εντοπίζονται στον Νομό Χανίων και Νομό Ρεθύμνου, όπου αρκετοί βροχομετρικοί σταθμοί ξεπερνάνε τα 1000mm ετήσιας βροχόπτωσης. Αντίθετα, στα ανατολικά του νησιού και κυρίως στο Νομό Λασιθίου οι βροχοπτώσεις είναι αρκετά λιγότερες και οι βροχομετρικοί σταθμοί καταγράφουν τιμές μικρότερες των 550mm ετήσιας βροχόπτωσης. Επίσης, ανισοκατανομή παρουσιάζεται και μεταξύ πεδινών και ορεινών περιοχών, όπου σταθμοί των ορεινών περιοχών (ακόμα και στο δυτικό τμήμα του νησιού) ξεπερνούν τα 700mm ετήσιας βροχόπτωσης (π.χ σταθμοί: Μάλλες, Νεάπολη, Σταυροχώρι που ανήκουν στον Νομό Λασιθίου) ή ακόμα και τα 1200mm (Σταθμός Έξω Ποταμοί του Νομού Λασιθίου). Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι οι βροχομετρικοί σταθμοί των παράκτιων περιοχών καταγράφουν αρκετά χαμηλές τιμές, με το βόρειο τμήμα του νησιού ωστόσο να παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές ύψους βροχής σε σχέση με το νότιο τμήμα.

Από την ανάλυση των βροχοπτώσεων σε επίπεδο μήνα προέκυψε πως ο Δεκέμβριος είναι ο μήνας με τις περισσότερες βροχοπτώσεις στην Κρήτη και ακολουθούν οι μήνες Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Νοέμβριος. Επίσης, κατά την δεκαετία 1999-2008 παρατηρήθηκε αύξηση στη βροχόπτωση για τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες καθώς και για τους μήνες Απρίλιο και Μάιο, ενώ η χρονική περίοδος μελέτης 1978-1998 είχε τις χαμηλότερες τιμές βροχόπτωσης για τους αντίστοιχους μήνες. Ακόμα, για το διάστημα της δεκαετίας, παρατηρήθηκαν πολύ λιγότερες βροχοπτώσεις κατά τους θερινούς μήνες σε σχέση με τις άλλες

δύο περιόδους μελέτης. Έτσι, προέκυψε το συμπέρασμα ότι οδηγούμαστε σε πιο βροχερούς χειμώνες και πιο ξηρά καλοκαίρια.

Στη συνέχεια, από την ανάλυση χωρικής αυτοσυσχέτισης των τριών μεταβλητών που μελετήθηκαν με τη χρήση του γενικού δείκτη Moran's I, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- το χωρικό πρότυπο της μεταβλητής *Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης* και για τις τρεις περιόδους μελέτης είναι συγκεντρωμένο
- το χωρικό πρότυπο για την μεταβλητή *Χρονικότητα σταθμού* είναι ομαδοποιημένο μόνο για την χρονική περίοδο 1999-2008, ενώ για τις άλλες δύο περιόδους μελέτης είναι τυχαίο
- Στη μεταβλητή *Δυναμικότητα σταθμού*, η χωρική κατανομή είναι ομαδοποιημένη για τις περιόδους της 10ετίας και της 20ετίας, ενώ για την χρονική περίοδο 1978-2008 είναι τυχαία.

Έπειτα, χρησιμοποιείται ο τοπικός δείκτης Moran's I εφόσον το αποτέλεσμα που έχει προκύψει από τον γενικό δείκτη του Moran δείχνει την ύπαρξη χωρικά ομαδοποιημένων προτύπων. Η χρήση του τοπικού δείκτη Moran's I βοηθάει στον εντοπισμό οντοτήτων που φέρουν τιμές διαφορετικές από τον περίγυρο τους Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν τα εξής:

- Και από τους τρεις χάρτες χωρικών ομάδων για τη μεταβλητή *Μέση υπερετήσια τιμή βροχόπτωσης* παρατηρείται ότι στην Δυτική Κρήτη σταθμοί με υψηλές τιμές βροχόπτωσης γειτνιάζουν με σταθμούς που καταγράφουν υψηλές τιμές βροχόπτωσης. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο σταθμός *Έξω Ποταμοί* του Νομού Λασιθίου ο οποίος παρουσιάζει αυξημένες τιμές βροχόπτωσης και γειτνιάζει με σταθμούς χαμηλής βροχόπτωσης.
- Για την μεταβλητή *Χρονικότητα σταθμού*, διαπιστώθηκε ότι σε αρκετούς σταθμούς του Νομού Λασιθίου η πλειοψηφία των βροχοπτώσεων έχει σημειωθεί στα πέντε τελευταία χρόνια της περιόδου 1999-2008. Αντίθετα, σε ορισμένους σταθμούς του Νομού Ρεθύμνου η πλειοψηφία των βροχοπτώσεων σημειώθηκε στα πέντε πρώτα χρόνια της περιόδου 1999-2008.

- Για την μεταβλητή *Δυναμικότητα σταθμού* για τη χρονική περίοδο 1978-1998 παρουσιάζεται υψηλή δυναμικότητα σε ορισμένους βροχομετρικούς σταθμούς του Νομού Ρεθύμνου με τις γειτονικές τους περιοχές να έχουν και αυτές υψηλές τιμές, ενώ στο Νομό Λασιθίου ορισμένοι βροχομετρικοί σταθμοί χαρακτηρίζονται από χαμηλή δυναμικότητα και γειτνιάζουν με περιοχές επίσης χαμηλής δυναμικότητας. Ωστόσο, για την χρονική περίοδο 1999-2008 παρουσιάζονται αντίθετα αποτελέσματα. Έτσι, οι βροχομετρικοί σταθμοί του Νομού Λασιθίου χαρακτηρίζονται από υψηλή δυναμικότητα με τις γειτονικές τους περιοχές να έχουν και εκείνες υψηλές τιμές δυναμικότητας, ενώ οι βροχομετρικοί σταθμοί του Νομού Ρεθύμνου χαρακτηρίζονται από χαμηλή δυναμικότητα και συνορεύουν με περιοχές που παρουσιάζουν και εκείνες χαμηλή δυναμικότητα.

Όσον αφορά τα πλημμυρικά γεγονότα, το 75% του συνόλου των πλημμυρών που μελετήθηκαν συνέβησαν στο δυτικό τμήμα του νησιού (Νομοί Χανίων και Ρεθύμνου), ενώ το υπόλοιπο 25% στο ανατολικό τμήμα (Νομοί Ηρακλείου και Λασιθίου). Επίσης, οι περισσότερες πλημμύρες σημειώθηκαν κατά τους φθινοπωρινούς μήνες.

Από την ανάλυση συσχέτισης με τη χρήση του συντελεστή Pearson προέκυψε πως οι μεταβλητές που εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση με το πλήθος των πλημμυρών είναι το *μήκος ποταμών*, η *αστική έκταση* και η *μέση υπερετήσια βροχόπτωση* με τιμές 0.98, 0.56 και 0.37 αντίστοιχα. Αντίθετα, οι μεταβλητές *μέσο υψόμετρο πλημμυρών* και *δυναμικότητα σταθμών* παρουσιάζουν αρνητική συσχέτιση με τιμές -0.42 και -0.33 αντίστοιχα.

Τέλος, σαν αποτέλεσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κατασκευάστηκε ένα μοντέλο (μία εξίσωση) Παλινδρόμησης με τη βοήθεια του λογισμικού SPSS για το πλήθος των πλημμυρών που αφορούσαν ένα συγκεκριμένο πολύγωνο Thiessen, το οποίο αντιστοιχούσε σε έναν βροχομετρικό σταθμό. Το μοντέλο της παλινδρόμησης είναι

$$\text{Πλήθος Πλημμυρών} = -4,78 + 0,005 * \text{Μέση τιμή} + 3,59 * \text{Μήκος ποταμών} + 4,82 * \text{Χαμηλή βλάστηση}$$

και θα μπορούσαμε να πούμε τελείως απλουστευμένα ότι είναι μια αποτύπωση της πραγματικότητας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- Ανδρεαδάκης Εμμ., Υδρολογικός κύκλος - Μορφολογική ανάλυση, εργαστήριο υδρογεωλογίας Ε.Κ.Π.Α (από σημειώσεις)
- Ανδρουλάκης Γ., Δειγματοληπτική συσχέτιση (από σημειώσεις)
- Αποστολάκη Μ. (2013), Χωροχρονική κατανομή των περιβαλλοντικών μεταβλητών στη νήσο Κρήτη με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών
- Ηλιοπούλου Π. (2015), Κεφάλαιο 5 Ανάλυση Συσχέτισης-Παλινδρόμησης, Χωρική Αυτοσυσχέτιση -Χωρική Παλινδρόμηση
- Καλαμποκίδης Κ., Βαΐτης Μ., Παλαιολόγου Π., Τάταρης Γ., Ρετσιλίδου Ό., Χατζόπουλος Ι., Βάση Γεωγραφικών Δεδομένων της Νήσου Ρόδου για Διαχείριση Κινδύνων
- Καλογήρου Σ. (2012), Χωρικές ανισότητες και ερμηνευτικοί παράγοντες της γεωγραφικής κατανομής του δηλωθέντος εισοδήματος στην Ελλάδα, Αειχώρος, 15, 68-101
- Κανάρογλου Π., Σουλακέλλης Ν., Μπαλούρδος Δ., Χωρική στατιστική και οι γεωγραφικές ανισότητες της γήρανσης στην Ελλάδα
- Κανελλοπούλου Ε. (2007), Εφαρμοσμένη Κλιματολογία
- Καφετζιδάκης Χ. (2011), Διερεύνηση Χωροχρονικής Εξέλιξης Καταιγίδας
- Κλαμαργιάς Α., Ανάλυση Δεδομένων-Παλινδρόμηση, σημειώσεις Εισαγωγή στην Ανάλυση Δεδομένων με SPSS
- Λέκκας Σ., Αλεξόπουλος Απ. (2009), Εισαγωγή στην Υδρογεωλογία
- Μαμάσης Ν. (2011), Ανασκόπηση υδρολογίας πλημμυρών, σημειώσεις μαθήματος Πλημμύρες και αντιπλημμυρικά έργα
- Μιμίκου Μ., Μπαλτάς Ε. (2012), Τεχνική Υδρολογία
- Μιμίκου Μ., Φωτόπουλος Φ., Σημειώσεις μαθήματος: Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη
- Μιμίκου Μ., Τυπολογία των πλημμυρών στην Ελλάδα

- Παλάγγα Γ., Φώτης Γ., Μεθοδολογικό πλαίσιο χωρικής ανάλυσης του διαθέσιμου εισοδήματος των περιφερειών της Ευρωπαϊκής Ένωσης
- Παπαθεοδώρου Κ., Παππάς Χ., Φουντούλης Ι. (2011), Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου στην πόλη των Σερρών με τη χρήση μορφομετρικών και υδραυλικών μοντέλων
- Παπαζαφειρίου Ζ., Υδρολογία επιφανειακών υδάτων, ΑΠΘ, Αθήνα, 1983
- Πεταλάς Χ., Πλιάκας Φ., Διαμαντής Ι., Καλλιώρας Α. (2004), Μελέτη της κατανομής των βροχοπτώσεων και της επιφανειακής απορροής στην περιφέρεια της ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης για την περίοδο 1964 – 1998
- Στάμου Ζ. (2013), Χρήσεις γης και δασικές πυρκαγιές στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας
- Τσαγκάρη Κ., Καρέτσος Γ., Κρητικός Θ., Γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων της Β. & Κ. Εύβοιας
- Εφαρμογή οδηγίας 2007/60/ΕΚ, Προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας (<http://www.ypeka.gr/>)
- Ολοκληρωμένες επεμβάσεις για τη μείωση του κινδύνου από τις πλημμύρες, 2^ο Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΔΥΠ, 1995
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Σχέδια διαχείρισης υδατικών πόρων Κρήτης
- Αποκεντρωμένη διοίκηση Κρήτης, <http://www.apdkritis.gov.gr>
- Περιφέρεια Κρήτης, <http://www.crete.gov.gr>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας <http://www.ypeka.gr/>
- <http://geodata.gov.gr/>

Ξένη βιβλιογραφία

- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association — LISA. *Geographical Analysis*, 27, 93 –115
- Aristeidis G. Koutroulis, Ioannis K. Tsanis, Ioannis N. Daliakopoulos (2010), Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete
- Apostolos Sarris, Michalis Maniadakis, Olympia Lazaridou, Vaios Kalogrias, Michail Bariotakis, Stergios Arg. Pirintsos

- (2005), Studying Land Use Patterns in Crete Island, Greece, Through a Time Sequence of Landsat Images and Mapping Vegetation Patterns
- Chaniotis A. (ed.), From Minoan Farmers to Roman Traders. Sidelights on the Economy of Ancient Crete, Stuttgart: Steiner 1999, S. 181-220
 - Cliff, A.D., & Ord, J.K. (1973). Spatial autocorrelation, London: Pion
 - Cliff, A.D., & Ord, J.K. (1981). Spatial processes: models and applications, London: Pion
 - Haining R., Spatial data analysis: Theory and practice
 - Longley et al. (2005). Geographic Information Systems and Science
 - Tobler, W. R. (1970), A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, Economic Geography, pp. 234-240
 - Y. B. Liu, F. DeSmedt, L. Hoffmann and L. Pfister (2004), “Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach”
 - <http://pro.arcgis.com>