

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ



**ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**

ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

**Εφαρμογή του SPI για την ολοκληρωμένη
διαχείριση των λειψυδριών στην Κύπρο**



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΤΡΑΧΑΝΗΣ

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Κοσμάς, Καθηγητής Γ.Π.Α.

Αθήνα, 2012

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SPI ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΛΕΙΨΥΔΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ»

ΤΟΥ

ΤΡΑΧΑΝΗ Α. ΧΡΗΣΤΟΥ

Τριμελής Επιτροπή:

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Κοσμάς, Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μέλος: Χρίστος Καραβίτης, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μέλος: Σταύρος Αλεξανδρής, Λέκτορας Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχει τομέα μελέτης την λειψυδρία στην Κύπρο για τα τελευταία τριάνταπέντε χρόνια (1972-2007). Αυτό πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του δείκτη λειψυδρίας SPI με τη χρήση του οποίου παρουσιάστηκαν τα έτη με τις ακραίες λειψυδρίες στους εκατό (100) μετεωρολογικούς σταθμούς. Έπειτα δημιουργήθηκαν οι χάρτες τις λειψυδρίας για τα έτη 1972, 1990 και 2007 με την γεωστατιστική μέθοδο kriging για τους μετεωρολογικούς σταθμούς. Το χρονικό βήμα που χαρτογραφήθηκε ήταν για έξι μήνες (SPI6) και για δώδεκα μήνες (SPI12). Τέλος αναλύθηκαν τα αποτελέσματα από τους χάρτες και προτάθηκαν διαχειριστικά μέτρα για την αντιμετώπιση του φαινομένου.

Λέξεις κλειδιά: λειψυδρία, SPI, γεωστατιστική μέθοδος kriging

ABSTRACT

This thesis has study drought in Cyprus for the last thirtyfive years (1972-2007). This was done with the drought index SPI by the use which occurred the years with extreme drought in the one hundred (100) meteorological stations. Then, the drought maps were created for years 1972, 1990 and 2007 with the geostatistical method of kriging for the meteorological stations. The time scale was mapped for six months (SPI6) and for twelve months (SPI12). Finally, analyzed the results of the maps and proposed management measures to fight the phenomenon.

Keywords: drought, SPI, geostatistical method of kriging

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή με τίτλο «Εφαρμογή του SPI για την ολοκληρωμένη διαχείριση των λειψυδριών στην Κύπρο» μου ανατέθηκε από τον κ. Χρίστο Καραβίτη Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής και πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του τομέα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων. Η μεταπτυχιακή εργασία περιλαμβάνει τη μελέτη των σημαντικών λειψυδριών στην Κύπρο. Η εκτεταμένη αναφορά του τύπου για τα προβλήματα που δημιουργούσε η λειψυδρία όλα αυτά τα χρόνια έδωσε το έναυσμα για περαιτέρω μελέτη και ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Το κλίμα της Κύπρου είναι ευαίσθητο σε συχνά φαινόμενα λειψυδρίας. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος χρειάζεται τακτική παρατήρηση και επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων αλλά και την ταυτόχρονη εφαρμογή προληπτικού σχεδιασμού. Ένας τρόπος πρόληψης είναι ο υπολογισμός δεικτών λειψυδρίας μιας περιοχής ή μιας χώρας για την έγκαιρη αναγνώριση του προβλήματος.

Ο δείκτης λειψυδρίας SPI είναι ένας αξιόπιστος και διαδεδомένος δείκτης, αναγνωρίζει έγκαιρα την εμφάνιση του φαινομένου αλλά και την ένταση του. Τα δεδομένα που χρησιμοποιεί είναι η βροχόπτωση σε ημερήσια ή μηνιαία κλίμακα.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Κοσμά Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής για την πολύτιμη συμβολή, υποστήριξη και συμπαράστασή του με τα οποία κατέστη δυνατή η εκπόνηση αυτής της εργασίας. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον κ. Χρίστο Καραβίτη Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής και τον κ. Σταύρο Αλεξανδρή Λέκτορα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής για την πολύτιμη βοήθεια τους σε σημαντικά προβλήματα όπου έδωσαν λύσεις και συντέλεσαν στην ολοκλήρωση της μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στήριξαν και με βοήθησαν τόσο ηθικά όσο και υλικά, ώστε να μπορέσω να ανταπεξέλθω στις απαιτήσεις για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	10
2.1 Υδρολογικός Κύκλος.....	16
2.2 Μορφές Κατακρημνισμάτων.....	20
2.2.1 Βροχόπτωση.....	20
2.2.2 Χιόνι.....	23
2.2.3 Χαλάζι.....	25
2.2.4 Όργανα μέτρησης της βροχόπτωσης (Βροχόμετρα – Βροχογράφοι).....	26
2.3 Λειψυδρία.....	28
2.3.1 Ορισμός.....	28
2.3.2 Αίτια.....	33
2.3.3 Φαινόμενο El Niño.....	34
2.3.4 Φαινόμενο La Nina.....	37
2.3.5 Αστρονομικοί Παράγοντες.....	40
2.3.6 Αεροχείμαρροι.....	41
2.3.7 Ανθρωπογενείς Παράγοντες.....	43
2.4 Δείκτες Λειψυδρίας.....	48
2.5 Συνέπειες της Λειψυδρίας.....	66
2.6 Ιστορικό Λειψυδριών στην Κύπρο.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο ΑΝΑΠΤΥΞΗ SPI & ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ.....	78

4.1	Δείκτης λειψυδρίας(SPI).....	78
4.2	Γεωστατιστική Μέθοδος (Kriging).....	82
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΙΚΤΗ SPI.....	89
5.1	Περιοχή Μελέτης.....	89
5.2	Επεξεργασία Δεδομένων	91
5.3	Δημιουργία Χαρτών με την Βοήθεια Λογισμικού.....	97
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	101
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	110
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116
	Παράρτημα I	119
	Παράρτημα II.....	152
	Παράρτημα III.....	200

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται επιγραμματικά το αντικείμενο της κάθε ενότητας στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Ακολούθως στο δεύτερο κεφάλαιο υπάρχει ανάλυση της βιβλιογραφίας, όπου περιγράφεται γενικά το φαινόμενο της λειψυδρίας, διάφορες αιτίες που την προκαλούν και ένα ιστορικό των λειψυδριών που εμφανίζονται στην Κύπρο. Η διαδικασία σχεδιασμού της παρούσας μελέτης, δηλαδή η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, καθώς επίσης και τα στάδια εκπόνησης της, αναλύονται στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας.

Μεταβαίνοντας στο τέταρτο κεφάλαιο ακολουθεί εκτενής ανάλυση του δείκτη λειψυδρίας (SPI). Επιπλέον γίνεται επεξήγηση της γεωστατιστικής μεθόδου Kriging που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση των χαρτών της λειψυδρίας για τα υπό εξέταση έτη. Γενικές πληροφορίες σχετικά με την περιοχή μελέτης, όπως η γεωγραφική θέση, η θέση των μετεωρολογικών σταθμών που μελετήθηκαν, καθώς επίσης και για το κλίμα της Κύπρου, δίνονται στο πέμπτο κεφάλαιο. Επιπλέον γίνεται ανάλυση των διαδικασιών υπολογισμού του δείκτη αλλά και δημιουργίας των χαρτών. Ακολουθεί το έκτο κεφάλαιο, όπου αναφέρονται τα αποτελέσματα και η αξιολόγηση τους όπως προέκυψαν κατόπιν επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων. Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο υπάρχει η εξαγωγή των διαφόρων συμπερασμάτων που προκύπτουν από το συνολική μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Από τα αρχαία χρόνια το νερό υπήρξε για την ανθρωπότητα πηγή ζωής, πλούτου αλλά και λατρείας, κάνοντας τον άνθρωπο γρήγορα να συνειδητοποιήσει τη δύναμη του και να το κατατάξει ως ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της φύσης, αλλά ταυτόχρονα να τον προκαλέσει σε ένα συνεχή αγώνα για την κατάκτηση του. Επιπλέον, το νερό υπήρξε από τα προϊστορικά ακόμα χρόνια σημείο εκκίνησης και πολιτισμικής αναφοράς. Οι πρώτοι ανθρώπινοι οικισμοί χτίστηκαν κοντά σε λίμνες, ενώ όλοι οι μεγάλοι πολιτισμοί της αρχαιότητας αναπτύχθηκαν σε περιοχές με συνεχείς βροχοπτώσεις που ευνοούσαν τη γεωργία.

Δεν είναι τυχαίο ότι ο πλανήτης στον οποίο ζούμε έχει χαρακτηριστεί ως υδάτινος πλανήτης. Η έκταση της γης είναι 520.000.000 Km², από τα οποία τα 365.000.000 καλύπτονται από νερό.(ένα ποσοστό 71%).Από αυτό το νερό, το 97% είναι το νερό των ωκεανών το οποίο είναι αλμυρό και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Βοηθάει όμως στη ρύθμιση του κλίματος του πλανήτη, διαλύοντας απόβλητα από τις δραστηριότητες μας(εργοστάσια κτλ) και βέβαια είναι ο μεγαλύτερος τόπος διαμονής και διαβίωσης πολλών ζωντανών οργανισμών του πλανήτη μας.

Η λειψυδρία είναι ένα ακραίο μετεωρολογικό κλιματικό φαινόμενο, που εμφανίζεται σε ανύποπτο χρονικό διάστημα, σε οποιαδήποτε περιοχή και με απροσδιόριστη διάρκεια. Είναι ένα φαινόμενο, που τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει σημαντική αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης του σε πολλές χώρες του κόσμου, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές οικονομικές και

περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η λειψυδρία θεωρείται από τις πιο πολύπλοκες και λιγότερο κατανοητές φυσικές καταστροφές.

Η δυσκολία του να δοθεί ένας ενιαίος ορισμός για την λειψυδρία αποτελεί ένα διαρκές εμπόδιο για την παρατήρηση και την ανάλυση της (*Karavitis, C.A., 1992, Mc Kee et al, 1993*). Το χαρακτηριστικό αυτό που ξεχωρίζει τη λειψυδρία από τα υπόλοιπα επικίνδυνα ακραία φαινόμενα είναι η έλλειψη ενός γενικά αποδεκτού ορισμού. Η λειψυδρία πρέπει να ορισθεί σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά κάθε κλιματικού συστήματος και τον συγκεκριμένο τομέα τον οποίο αφορά η επίδραση της. Ένας πολύπλοκος παράγοντας που παίζει ρόλο στο χαρακτηρισμό της, είναι ότι ποικίλει τόσο στη χωρική όσο και στη χρονική κατανομή της. Επίσης, κάθε περιοχή ή λεκάνη απορροής είναι μοναδική και τα κοινωνικά χαρακτηριστικά της μπορούν και αλλάζουν δυναμικά σε σχέση με πολλαπλούς συσχετιζόμενους παράγοντες. Έτσι ένα φαινόμενο λειψυδρίας μπορεί να είναι της ίδιας έντασης και διάρκειας όπως ένα αντίστοιχο φαινόμενο στο παρελθόν, αλλά τα αποτελέσματα της να διαφέρουν εξαιτίας της κοινωνικής διαφοροποίησης και εξέλιξης (*Wilhite, D.A. et al, 2007; Karavitis, C., A.,1999*).

Οι Wilhite και Glantz (1985), μετά από μια ολοκληρωμένη για την εποχή βιβλιογραφική ανασκόπηση πάνω σε δεκάδες ορισμούς διέκριναν έξι γενικές κατηγορίες ανάλογα με το σκοπό ενδιαφέροντος : μετεωρολογικό, κλιματολογικό, ατμοσφαιρικό, γεωπονικό, υδρολογικό και διαχείρισης υδατικών πόρων ορισμό. Ο ακριβής ορισμός των λειψυδριών παρουσιάζει πολλές δυσκολίες για μία αντικειμενική παραδοχή του (*Salas, J.D., 1986; and Grigg, N.S. and Vlachos, E.C., 1990; Karavitis, C., A., 1992*)., Η λειψυδρία ορίζεται π.χ. από τους Pereira et al., 2002 σαν ένα φυσικό αλλά προσωρινό φαινόμενο της διαθεσιμότητας του νερού, το οποίο αποτελείται από συνεχή χαμηλή μέση βροχόπτωση, από αβέβαιη συχνότητα, διάρκεια και σοβαρότητα, από απρόβλεπτη ή δύσκολη να

προβλεφθεί εμφάνιση και έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της διαθεσιμότητας των υδάτινων πόρων και τη μείωση της ικανότητας επαναφοράς του οικοσυστήματος.

Για να υπερπηδηθούν αυτά τα εμπόδια, ένας γενικός ορισμός της λειψυδρίας μπορεί να είναι η κατάσταση αντίξωων και εξαπλωμένων, υδρολογικών, περιβαλλοντολογικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων, εξ' αιτίας μικρότερων από τις γενικά αναμενόμενες ποσότητες νερού (*Karavitis C.A. 1992, Karavitis, C.A., 1999*). Τέτοιες ελλείψεις νερού μπορεί να προέρχονται από την μείωση των βροχοπτώσεων, φυσικές ή τεχνικές ελλείψεις στον εφοδιασμό νερού, και από λανθασμένους τρόπους διαχείρισης των υδατικών συστημάτων. Συμπερασματικά λοιπόν, η λειψυδρία δεν είναι μόνο η έλλειψη βροχής, όπως πολλές φορές πιστεύεται, αλλά ως ένα πιο πολύπλοκο φαινόμενο που απαιτεί ολοκληρωμένη ανάλυση, αποτίμηση των ενεργειών και στοχευόμενες δράσεις.

Το συγκεκριμένο φαινόμενο ξεκινάει αργά και συνήθως αναγνωρίζεται όταν έχει ήδη διαμορφωθεί. Είναι μεγάλης διάρκειας και συνήθως επηρεάζει μεγάλες περιοχές. Οι επιπτώσεις είναι καθοριστικές όπως και η πρόβλεψη της αρχής και του τέλους του φαινομένου είναι εξαιρετικά δύσκολη υπόθεση (*Cordery and McCall, 2000*).

Η εμφάνιση της είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων και διαφέρει από τις άλλες ακραίες μετεωρολογικές καταστάσεις σε πολλά σημεία. Πρώτον, είναι δύσκολο να οριστεί η έναρξη και η λήξη ενός επεισοδίου λειψυδρίας και αυτό διότι παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνιση από τη στιγμή που θα παρατηρηθεί απουσία βροχοπτώσεων, ενώ τα καταστροφικά της αποτελέσματα μπορούν να συνεχιστούν και μετά την εμφάνιση κάποιων βροχοπτώσεων - για το λόγο αυτό θεωρείται ως «έρπον φαινόμενο» (*Tannehill, 1947*). Δεύτερον, δεν μπορεί να υπάρξει ένας κοινός

παγκόσμιος επιστημονικός ορισμός για την λειψυδρία - κάθε περιοχή πρέπει να έχει το δικό της ορισμό ανάλογα με την κλιματολογία και την τοπογραφία που τη χαρακτηρίζει. Αυτό εξηγεί και το πλήθος των ορισμών που έχουν καταγραφεί στη διάρκεια των τελευταίων χρόνων (WMO, 1975, Meteorological Office, 1991, Wilhite and Glantz, 1985).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι κάθε επιστήμη έχει ενστερνιστεί το δικό της ορισμό για τη λειψυδρία ανάλογα με το αντικείμενο για το οποίο πραγματεύεται. Στον κλάδο της μετεωρολογίας, λειψυδρία είναι η ελάττωση της βροχόπτωσης σε σχέση με την «κανονική» τιμή της για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στη γεωργία σημαίνει μη παραγωγική σοδειά, που είναι αποτέλεσμα της έλλειψης του νερού στα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Για την υδρολογία και την υδρογεωλογία σημαίνει πτώση της στάθμης των λιμνών, ποταμών και του υδροφόρου ορίζοντα κάτω από κάποιο όριο για μία ορισμένη χρονική περίοδο, ενώ για την οικονομία ή την πολιτική, η λειψυδρία εμφανίζεται μόνο όταν υπάρχουν οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Ακραίες μεταβολές ή ακραία γεγονότα σαν τους σεισμούς, τις πλημμύρες και τις λειψυδρίες, που συχνά ονομάζονται και φυσικοί κίνδυνοι, μπορεί να παρουσιάσουν ανυπέρβλητα εμπόδια και δυσκολίες στον τρόπο αντιμετώπισης τους από τις ανθρώπινες κοινωνίες. Σε αυτό το πλαίσιο μπορεί να λεχθεί ότι οι λειψυδρίες είναι ένας από τους πολλούς φυσικούς κινδύνους που είναι δυνατόν να πλήξουν την ύδρευση και την άρδευση - με άλλα λόγια τον υδάτινο εφοδιασμό μιας περιοχής. Η υπάρχουσα τάση ανάμεσα στους ευρείς τεχνικούς και επαγγελματικούς κύκλους, στους διαχειριστές, τους πολιτικούς και λήπτες των αποφάσεων και γενικά ανάμεσα στους κοινούς πολίτες, είναι να θεωρούν την λειψυδρία σαν κάτι το παροδικό, έναν τυχαίο και απομακρυσμένο κίνδυνο που απαιτεί μόνο μια έκτακτη κινητοποίηση (Grigg, N.S. and Vlachos, E.C., 1990;

Karavitis, C.A., 1999a). Όμως, η συσσωρευόμενη εμπειρία από τις επιστημονικές έρευνες και παρατηρήσεις των τελευταίων δεκαετιών δείχνει ότι οι λειψυδρίες είναι αναπόφευκτες, καθώς τα φαινόμενα αυτά φαίνονται να είναι αναπόδραστα και μόνιμα στοιχεία του παγκόσμιου κλίματος, ειδικότερα μετά τις τελευταίες ενδείξεις για δυνατόν αυξανόμενη αστάθεια του περιβάλλοντος (φαινόμενο του θερμοκηπίου, μείωση του στρώματος όζοντος κλπ.). Αλλά επίσης είναι σημαντικό να επισημανθεί, ότι πιθανό ένας πολύ πιο σοβαρός και εξαπλωμένος κίνδυνος για τον υδάτινο εφοδιασμό, από τους φυσικούς ή και τους τεχνολογικούς κινδύνους μπορεί να δημιουργηθεί από την λανθασμένη διαχείριση που συνοδεύεται από ανεπιτυχείς πρακτικές σχεδιασμού και συντήρησης των υδατικών συστημάτων (Karavitis, C.A., 1999a).

Οι ανησυχίες σχετικά με τη λειψυδρία γίνονται ζητήματα έκτακτης ανάγκης και πρόκειται να διαδραματίσουν έναν βασικό ρόλο στο άμεσο μέλλον για τον καθορισμό και των περιβαλλοντικών και αναπτυξιακών πολιτικών σε παγκόσμια κλίμακα. Στην Ευρωπαϊκή ήπειρο, οι λειψυδρίες που σημειώθηκαν στην Ελλάδα το 1989-1993, στην Κύπρο το 1990, στην Ισπανία και τη Γαλλία, το 2003 και το 2005, και πάλι στην Ελλάδα και Κύπρο το 2007 και το 2008 επιβεβαιώνουν αυτή την τάση, καθώς επίσης και την άμεση ανάγκη της εφαρμογής κοινών στρατηγικών που θα αντιμετωπίσουν το πρόβλημα σε ολόκληρη την Ευρώπη και όχι μόνο στις Μεσογειακές χώρες.

Χαμηλά ποσοστά βροχοπτώσεων είναι αυτά που ευθύνονται για τη λειψυδρία που εμφανίστηκε στα μέρη που προαναφέρθηκαν. Στην Ισπανία η μέση ετήσια βροχόπτωση ήταν χαμηλότερη από την ελάχιστη που έχει καταμετρηθεί στη χρονοσειρά από 1974 έως 2003. Αυτή η ιδιαίτερη μείωση των βροχοπτώσεων (από 650 mm σε 400 mm) είχε μεγάλες επιπτώσεις στις αποθηκευμένες ποσότητες νερού στους ταμιευτήρες, στη διαθεσιμότητα πόσιμου νερού, στην

παραγωγή ενέργειας, στην ποιότητα νερού, στην περιβαλλοντική πίεση και στον κίνδυνο πυρκαγιάς. Αυτή η κατάσταση επέφερε την εκτέλεση ειδικών σχεδίων για καταστάσεις επαγρύπνησης και ενδεχόμενης λειψυδρίας, με την εφαρμογή αντίστοιχων μέτρων διαχείρισης όπως οι περιορισμοί άρδευσης, και η εφαρμογή μέτρων έκτακτης ανάγκης.

Η λειψυδρία του 1990 στην Ελλάδα θεωρήθηκε αρχικά ότι είχε περίοδο επαναφοράς χιλιετίας με βροχόπτωση που πλησίασε μόλις το 40% της μέση ετήσιας, αν και οι συνεχείς μετέπειτα λειψυδρίες μείωσαν κάπως αυτήν την θεώρηση. Όσον αφορά τη Γαλλία, από τον Σεπτέμβριο του 2004 μέχρι τον Σεπτέμβριο του 2005, η λειψυδρία επηρέασε ένα μεγάλο τμήμα της εθνικής περιφέρειας και ήταν ακόμα εμφανής στην αρχή τον Οκτωβρίου του 2005 στα τμήματα Poitou- Charente και Loire. Η ετήσια βροχόπτωση του 2005 ήταν μικρότερη από τη μέση ετήσια βροχόπτωση των τελευταίων 50 ετών. Από το 1997 και κάθε χρόνο, τουλάχιστον είκοσι τμήματα υποχρεώνονταν σε περιορισμούς στη χρήση νερού. Το Σχέδιο Δράσης για την Λειψυδρία που προσαρμόστηκε το 2004 μετά την κρίση λειψυδρίας του 2003, εκσυγχρονίστηκε και εφαρμόστηκε ξανά το 2005 για να αντιμετωπίσει αυτό το νέο γεγονός. Στα μέσα του Οκτώβρη του 2005, ήταν απαραίτητο να γίνουν ενέργειες για την εξισορρόπηση της ζήτησης και της παροχής νερού και η ανάγκη ύπαρξης αποθεμάτων αποτέλεσε προτεραιότητα για τις στρατηγικές της Γαλλικής Κυβέρνησης.

Συμπερασματικά, οι λειψυδρίες δεν μπορούν να θεωρηθούν ως τοπικά φαινόμενα. Σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες τα επεισόδια λειψυδρίας παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμια κλίμακα. Συγκεκριμένα, το ποσοστό της έκτασης της γης που έχει προσβληθεί από σοβαρή λειψυδρία από τη δεκαετία του '70 έως το 2000 έχει διπλασιαστεί.

2.1 Υδρολογικός Κύκλος

Ο κύκλος του νερού (υδρολογικός κύκλος), είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού της γης μέσα στην υδρόσφαιρα και στην ατμόσφαιρα. Το συνεχές της κυκλικής διαδικασίας του κύκλου του νερού επιτυγχάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας. Αποτελεί τη σχηματική περιγραφή μιας σειράς διαδικασιών με τις οποίες το νερό κυκλοφορεί στη φύση μεταξύ θάλασσας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας (Χρ. Καραβίτης, 2008). Εδώ παρουσιάζεται το νερό με όλες τις πιθανές καταστάσεις: υγρό, αέριο (υδρατμός) και στερεό (χαλάζι). Πρέπει να αναφερθεί ότι η Γη εξαρτάται από αυτόν και χωρίς τον υδρολογικό κύκλο θα ήταν πολύ αφιλόξενο μέρος.

Σαν κύκλος που είναι, ο υδρολογικός κύκλος δεν έχει αρχή, αλλά είναι βολικό να ξεκινήσει κανείς απ' τη θάλασσα. Ο ήλιος, που κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς) το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα. Νερό εξατμίζεται ακόμα από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι μιλούμε για εξατμισοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξαχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάγους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή.

Ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου οι μικρότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Επειδή όμως σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί πια να συγκρατεί όλη τη μάζα των υδρατμών, ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα

γύρω απ' την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται και μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν απ' τον ουρανό ως κατακρημνίσματα, η συχνότερη μορφή των οποίων είναι η βροχή. Μια μορφή κατακρημνίσματος είναι το χιόνι, το οποίο όταν συσσωρεύεται σχηματίζει πάγους και παγετώνες.

Σε σχετικά θερμότερα κλίματα, όταν έρχεται η άνοιξη, το χιόνι λιώνει και το ξεπαγωμένο νερό ρέει, σχηματίζοντας την απορροή από λιώσιμο του χιονιού. Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς. Από την ποσότητα που πέφτει στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Η επιφανειακή απορροή μπορεί ακόμη να καταλήξει στις λίμνες, που αποτελούν, μαζί με τους ποταμούς, τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς της επιφάνεια της γης εμφανίζεται με τη μορφή πηγών.

Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναμπαίνει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού «τελειώνει» και «ξεκινάει»...

Ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει την αέναη κίνηση του νερού ανάμεσα στους ωκεανούς, την ατμόσφαιρα και την ξηρά, που συνοδεύεται και από αλλαγές ανάμεσα στην υγρή, στην αέρια και στη στερεή φάση του νερού. Έτσι το νερό (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999):

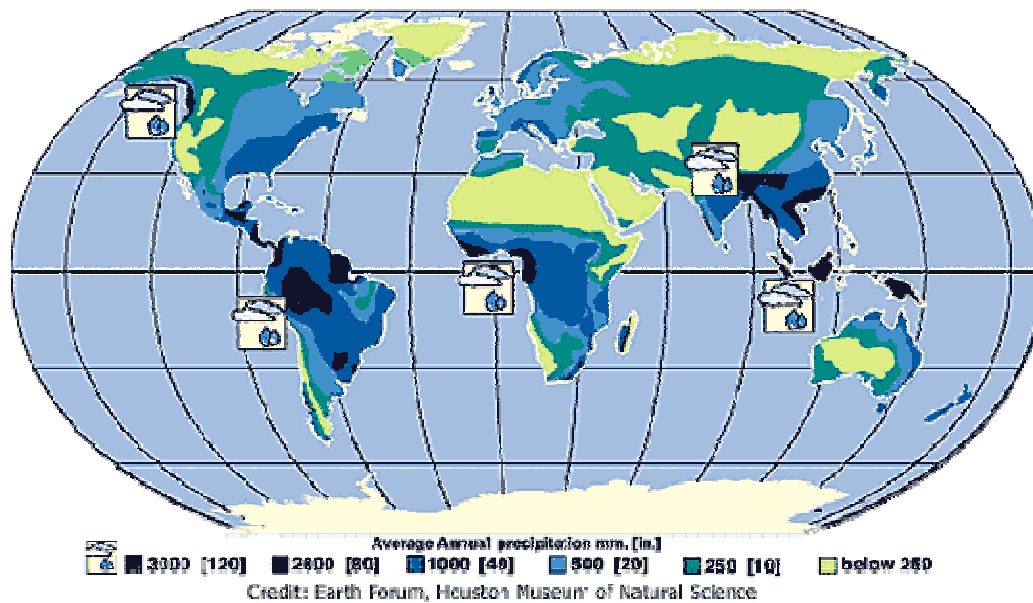
- α) Εξατμίζεται από τη θάλασσα και την ξηρά, ανεβαίνοντας κατακόρυφα, υπό μορφή υδρατμών, στην ατμόσφαιρα, αλλά και κινούμενο οριζόντια υπό την επίδραση των ανέμων.
- β) Διαπνέεται από τα δέντρα και τη βλάστηση, οδηγούμενο και πάλι στην ατμόσφαιρα υπό μορφή υδρατμών.
- γ) Συμπυκνώνεται στην ατμόσφαιρα σχηματίζοντας σύννεφα.
- δ) Κατακρημνίζεται από την ατμόσφαιρα στη θάλασσα και την ξηρά, σε διάφορες μορφές (βροχή, χιόνι, χαλάζι).
- ε) Κατακρατείται από τα δέντρα, τη βλάστηση και το έδαφος.
- στ) Διηθείται στο έδαφος εμπλουτίζοντάς το με εδαφική υγρασία.
- ζ) Επαναφορτίζει τους ταμειυτήρες υπόγειου νερού.
- η) Απορρέει επιφανειακά, σχηματίζοντας ρεύματα και ποτάμια καταλήγοντας τελικά στη θάλασσα.
- θ) Απορρέει υπόγεια, μέσω των πόρων και ρωγμών των γεωλογικών σχηματισμών και είτε εκφορτίζεται επιφανειακά μέσω των πηγών, είτε ρέει προς τη θάλασσα.

Συνεπώς, ο υδρολογικός κύκλος είναι ένα πολύπλοκο και πολυσύνθετο φαινόμενο που υπόκειται σε διάφορες διεργασίες όπου είναι δυνατόν να συμβούν: α) Μεταφορά νερού, β) Προσωρινή αποθήκευση γ) Μεταβολή στην κατάσταση του νερού (Γιαννόπουλος, 2002).



Εικόνα 1. Ο υδρολογικός κύκλος (USGS, 2008)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι δεν πέφτουν οι ίδιες ποσότητες κατακρημνισμάτων παντού στον κόσμο, ούτε καν μέσα στην ίδια πόλη (Χρ. Καραβίτης, 2008). Στην Αθήνα για παράδειγμα, οι καλοκαιρινές καταιγίδες μπορούν να προκαλέσουν περισσότερο από 50 χιλιοστά βροχής σε κάποιες περιοχές και να αφήσουν εντελώς ξερές κάποιες άλλες λίγο πιο μακριά. Μπορεί να παρατηρήσουμε το φαινόμενο της βροχόπτωσης σε μια περιοχή για ένα μήνα και την ίδια ποσότητα βροχόπτωσης σε άλλη περιοχή για όλο τον χρόνο. Το μεγαλύτερο ποσοστό μέσης ετήσιας βροχόπτωσης ανήκει στο όρος Waialeale της Χαβάης, όπου πέφτουν 11.400 mm βροχής κατά μέσο όρο το χρόνο, τη στιγμή που στο Arica της Χιλής είχε να βρέξει 14 χρόνια. Στον χάρτη έχουμε μια απεικόνιση των μέσων ετησίων κατακρημνισμάτων παγκοσμίως (σε χιλιοστά).



Εικόνα 2. Παγκόσμια κατανομή κατακρημνισμάτων (USGS, 2009)

2.2 Μορφές Κατακρημνισμάτων

2.2.1 Βροχόπτωση

Είναι γνωστό ότι οι υδροσταγόνες, που δημιουργούνται μέσα στα νέφη, είναι το αποτέλεσμα της συνένωσης πολλών υδροσταγονιδίων ή και παγοκρυσταλλίων (Α.Φλόκα, 1997). Αν οι σταγόνες αυτές ή οι παγοκρύσταλλοι, στην κάθοδο τους (εξαιτίας του βάρους τους), περνούν από ατμοσφαιρικά στρώματα, που τις διατηρούν στην υγρή φάση ή τις τήκουν, και φθάνουν στο έδαφος προτού εξατμισθούν, τότε δημιουργείται το φαινόμενο της βροχής. Η ανάλυση ενός νέφους σε βροχή εξαρτάται, κυρίως, από τους παρακάτω τέσσερεις παράγοντες, οι οποίοι είναι:

A) η ύπαρξη διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των γειτονικών στοιχείων του νέφους,

B) η συνύπαρξη των τριών φάσεων του νερού στο νέφος,

Γ) η ύπαρξη σχετικών αναταρακτικών κινήσεων και

Δ) η ύπαρξη ανομοιομορφου ηλεκτρικού φορτίου στα στοιχεία του νέφους.

Οι συνθήκες αυτές συντελούν, σε μεγάλο βαθμό, στο σχηματισμό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Οι βροχές, ανάλογα με τον τρόπο που ψύχονται οι αέριες μάζες για να γίνει συμπύκνωση των υδρατμών και στη συνέχεια σχηματισμός των νεφών, διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες:

1. Βροχές μεταφοράς. Αυτές σχηματίζονται από ισχυρές ανοδικές κινήσεις (κατακόρυφης μεταφοράς) ή από μεταφορά θερμών και υγρών αερίων μαζών, πάνω σε ψυχρότερες περιοχές (οριζόντια μεταφορά).

2. Υφεσιακές ή κυκλωνικές βροχές. Οι βροχές αυτές αποδίδονται στην ανάμιξη ή εκτόνωση αερίων μαζών που σημειώνεται κατά τις ανοδικές κινήσεις που δημιουργούνται κοντά στα θερμά και ψυχρά μέτωπα.

3. Ορογραφικές (ή ανάγλυφου) βροχές. Αυτές οφείλονται στην εκτόνωση της αέριας μάζας κατά τη διάρκεια των ανοδικών κινήσεων στις προσήνεμες πλευρές των βουνών. Τα βουνά δεν προκαλούν άμεσα βροχόπτωση σε κάθε αέριο ρεύμα που αναρριχάται σ' αυτά. Η δράση της ορογραφίας καθορίζεται από τη διάταξη και το μέγεθος των οροσειρών και μπορεί, συνήθως, να ενεργοποιήσει ένα είδος ατμοσφαιρικής αστάθειας (κατά συνθήκη ή δυναμική), γιατί εξαναγκάζει τον αέρα σε μια ανοδική κίνηση.

Οι βροχές της κατηγορίας αυτής πέφτουν στην προσήνεμη πλευρά της οροσειράς (ομβροπλευρά) και η βροχόπτωση αυξάνει με το ύψος μέχρι τα 2.5 km περίπου. Πάνω από το ύψος αυτό ελαττώνεται, λόγω ελάττωσης της αέριας μάζας σε υδρατμούς. Στην υπήνεμη πλευρά (ομβροσκιά) ο ουρανός γίνεται αίθριος, εξαιτίας της

επικράτησης καθοδικών κινήσεων. Είναι αυτονόητο ότι τα ποσά βροχής είναι μεγαλύτερα στην περίπτωση που ο κύριος άξονας μιας οροσειράς είναι κάθετος προς την κίνηση των υγρών αερίων μαζών.

Η βροχή αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες μετεωρολογικές παραμέτρους. Η μελέτη της παρουσιάζει όχι μόνο θεωρητικό, αλλά και πρακτικό ενδιαφέρον. Στη βροχή, εκείνο που ενδιαφέρει περισσότερο, είναι η ποσότητα νερού που πέφτει σε μια επιφάνεια. Αυτή εκφράζεται με το ύψος βροχής που ορίζεται σαν εκείνο, στο οποίο θα έφτανε η στάθμη του νερού της βροχής, αν έπεφτε πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια (αποκλείοντας τους παράγοντες: διαρροή, απορρόφηση και εξάτμιση). Το ύψος βροχής προσδιορίζεται με τα βροχόμετρα και τους βροχογράφους. Μια άλλη χρήσιμη, κυρίως, στην Κλιματολογία βροχομετρική παράμετρος είναι η ένταση της βροχής, που εκφράζεται με το ποσό της βροχής ανά μονάδα χρόνου.

Διεθνώς, μονάδα μέτρησης του ύψους βροχής είναι το mm ή cm. Στην πράξη, λέγοντας βροχή ύψους 1 mm, νοείται η βροχόπτωση εκείνη που αποδίδει ποσότητα νερού ίση με 1 kg πάνω σε επιφάνεια 1 m². Επίσης, βροχή ύψους 10 mm, σημαίνει ποσότητα νερού ίση με 10 kg, σε επιφάνεια 1 m².

Ανάλογα με το μέγεθος των σταγόνων και τον τρόπο πτώσης τους, η βροχή φέρει διάφορες ονομασίες, όπως όμβρος (shower), που προκαλείται από νέφη ανοδικών κινήσεων και χαρακτηρίζεται από απότομη έναρξη και λήξη, καθώς και από απότομες μεταβολές στην ένταση της, ψιχάλα (drizzle) χαρακτηρίζεται από πολύ μικρές και πολυάριθμες υδροσταγόνες, που αιωρούνται και ακολουθούν τα αέρια ρεύματα, κ.ά.

2.2.2 Χιόνι

Αυτό είναι ένα από τα στερεά ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Αν συμβεί οι παγοκρύσταλλοι, που δημιουργούνται μέσα σ' ένα νέφος, να μεγεθυνθούν, τότε αυτοί πέφτουν με μεγαλύτερη ταχύτητα και τελικά εγκαταλείπουν το νέφος. Στην περίπτωση που αυτοί προλάβουν να φθάσουν στην επιφάνεια του εδάφους, προτού λιώσουν, τότε δημιουργείται το φαινόμενο του χιονιού. Για το σκοπό αυτό, απαραίτητη προϋπόθεση είναι το στρώμα του αέρα, που ορίζεται από τη βάση του νέφους μέχρι το έδαφος, να έχει θερμοκρασία μικρότερη από του 0°C. Όταν η θερμοκρασία του αέρα (θερμοκρασία του περιβάλλοντος) είναι πολύ χαμηλή (από -8°C έως -10°C), τότε το χιόνι πέφτει με τη μορφή μικρών λευκών διαφανών ή αδιαφανών παγοκρυστάλλων (μακροσκοπικές ωραίες κρυσταλλικές μορφές, συνήθως εξαγωνικές), με διάμετρο που φθάνει και τα 3 mm. Απεναντίας, αν η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη και μάλιστα αυτή ανήκει στην πρώτη αρνητική δεκάδα (0°C μέχρι -10°C), τότε οι παγοκρύσταλλοι του χιονιού παρουσιάζουν υγρή επιφάνεια και με τη σύγκρουση μεταξύ τους, κατά την πτώση, ενώνονται και σχηματίζουν τις γνωστές νιφάδες χιονιού. Η διάμετρος των νιφάδων, που αποτελούνται από σμήνος κρυστάλλων ή κρυσταλλικών θραυσμάτων, μπορεί να φθάσει τα 5-10 cm. Κάτω από συνθήκες άκρας νηνεμίας, παρατηρήθηκαν νιφάδες με διάμετρο μέχρι και 25 cm.

Το χιόνι μετριέται με το ύψος του χιονοστρώματος [μέγιστο ημερήσιο ύψος, ίσο με 1930.4 mm, σημειώθηκε στο Silver Lake Colorado (14-15/4/1921)] ή με το ισοδύναμο του σε βροχή (παίρνεται από το λιώσιμο της ποσότητας του χιονιού που έχει συλλέγει μέσα στο βροχόμετρο). Όταν το χιόνι λιώνει, κατά τη διέλευση του από ατμοσφαιρικό στρώμα με $T > 0^{\circ}\text{C}$, τότε αυτό

φθάνει στο έδαφος με τη μορφή λεπτής και ψυχρής βροχής, γνωστής με την ονομασία «χιονόλυτος» ή «χιονόβροχος».

Αν συμβεί η θερμοκρασία του αέρα να είναι χαμηλότερη από τους -10°C περίπου (βόρεια πλάτη ή υψηλά βουνά), τότε δε σχηματίζονται νιφάδες με συγκόλληση και οι μικροί και ξηροί παγοκρύσταλλοι του χιονιού παρασύρονται και μεταφέρονται από τον άνεμο σε υπήνεμες περιοχές ή χαράδρες (παρασυρόμενο χιόνι).

Στην περίπτωση που το χιόνι, σε μια περιοχή, δε λιώνει στο σύνολο του ακόμη και στη διάρκεια των θερινών μηνών, τότε λέμε ότι στην περιοχή αυτή παρουσιάζεται το φαινόμενο των αιωνίων χιόνων. Από κλιματικής πλευράς, η γραμμή των αιωνίων χιόνων (σε ορεινές ή πολικές περιοχές), δηλαδή η γραμμή που χωρίζει τις περιοχές με αιώνια χιόνια απ' εκείνες, στις οποίες δεν παρατηρείται το φαινόμενο αυτό, έχει μεγάλη σημασία, γιατί η μετακίνηση της σημαίνει αξιόλογη κλιματική μεταβολή.

Επίσης, μεγάλη κλιματική σημασία παρουσιάζει, για έναν τόπο, το μέγεθος της χιονοκάλυψης (μεγάλη λευκάγεια, δημιουργία θερμοκρασιακών αναστροφών, προστασία σπόρων και φύτρων από ισχυρούς παγετούς, κλπ.), η διάρκεια της χιονοκάλυψης, καθώς και η ημερομηνία της πρώτης και τελευταίας χιονόπτωσης. Εξάλλου, το έδαφος απορροφά από το χιονόστρωμα περισσότερη ποσότητα νερού απ' ότι συμβαίνει με τις βροχές.

Τόσο η ημερήσια όσο και η ετήσια πορεία του φαινομένου, εξαρτάται από τις αντίστοιχες πορείες της θερμοκρασίας του αέρα, σε συνδυασμό, πάντοτε, με τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

Το χιόνι παρατηρείται σ' όλα τα γεωγραφικά πλάτη, από τον Ισημερινό μέχρι τους πόλους. Όμως, στις Ισημερινές και Τροπικές περιοχές πέφτει μόνο στα υψηλά βουνά, ενώ στις εύκρατες περιοχές, στη διάρκεια της ψυχρής εποχής, φθάνει μέχρι τη θάλασσα. Από το

πλάτος των 40°C μέχρι τους πόλους, το χιόνι, ιδιαίτερα κατά τους ψυχρούς μήνες, είναι πυκνό σ' όλα τα υψόμετρα. Στις πολικές περιοχές σχηματίζει πυκνό στρώμα που σκεπάζει μεγάλες εκτάσεις. Γενικότερα, το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα της γεωγραφικής διανομής του χιονιού είναι ότι το φαινόμενο είναι συνηθέστερο, η χιονοκάλυψη διαρκέστερη και το ύψος του χιονοστρώματος (εξαρτάται από την πυκνότητα του χιονιού κάθε φορά) μεγαλύτερο, όσο απομακρυνόμαστε από τον Ισημερινό προς τους πόλους και από την επιφάνεια της θάλασσας προς τα ενδότερα και καθ' ύψος. Στις ορεινές περιοχές του πλανήτη, και ιδιαίτερα των μέσων πλατών, το χιόνι αποτελεί σημαντικά υπερυψωμένες αποθήκες νερού. Έτσι, με την έναρξη της θερμής περιόδου, αποδίδεται εκμεταλλεύσιμο νερό κατά πολλούς τρόπους. Γι' αυτό χρειάζεται μελέτη εκμετάλλευσης της υδατικής απορροής, εξαιτίας της τήξης του χιονιού.

2.2.3 Χαλάζι

Το φαινόμενο του χαλάζιου δημιουργείται πάντοτε σε νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης και κατά κανόνα, σε Cb. Σαν πιθανότερη άπονη σχηματισμού των χαλαζοκόκκων ή χαλαζολίθων, θα μπορούσε να δοθεί η παρακάτω:

Στις ανώτερες περιοχές των νεφών τύπου Cb. η θερμοκρασία είναι πολύ κάτω από τους 0 °C, με αποτέλεσμα να συμβαίνει αυτόματη πήξη των υδροσταγονιδίων του νέφους που βρίσκονται σε υπέρτηξη. Εξαιτίας των έντονων ανοδικών και καθοδικών κινήσεων, που επικρατούν μέσα στα νέφη αυτού του τύπου, οι αρχικοί παγοκρύσταλλοι (χαλαζοκόκκοι) συγκρούονται μ' άλλα υδροσταγονίδια ή μεταξύ τους και αυξάνουν, έτσι, το μέγεθος τους. Στην περίπτωση που οι χαλαζοκόκκοι αυτοί αποκτήσουν τέτοιο μέγεθος που τα ανοδικά ρεύματα να αδυνατούν τη συγκράτηση

τους, τότε αυτοί εγκαταλείπουν το νέφος και πέφτουν στην επιφάνεια του εδάφους, προτού λιώσουν, δίνοντας έτσι το φαινόμενο του χαλάζιου κατά την Άνοιξη.

2.2.4 Όργανα μέτρησης της βροχόπτωσης (Βροχόμετρα – Βροχογράφοι)

Τα όργανα σημειακής μέτρησης της βροχής είναι κυλινδρικά δοχεία, εγκατεστημένα σε κατάλληλες θέσεις, που συλλέγουν κυρίως τη βροχόπτωση, και βοηθητικά τη χιονόπτωση, δίνοντας την αντίστοιχη σημειακή μέτρηση (Δ.Κουτσογιάννη & Θ.Ξανθόπουλος, 1999). Διακρίνονται σε:

- βροχόμετρα, που δίνουν την ολική σημειακή βροχόπτωση και το ισοδύναμο νερό μιας χιονόπτωσης ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα (συνήθως 12ωρο ή 24ωρο), με την ανάγνωση της ένδειξης από έναν παρατηρητή
- βροχογράφους, που καταγράφουν με απλό ωρολογιακό μηχανισμό την μεταβολή του ύψους βροχής στο χρόνο, περιγράφοντας έτσι τη χρονική κατανομή της σημειακής βροχόπτωσης.

Τα βροχόμετρα αποτελούνται από δύο κύρια τμήματα, το στόμιο υποδοχής και το μετρητικό σύστημα. Το στόμιο υποδοχής της βροχής μοιάζει με κοινό χωνί περιλαμβάνει στο πάνω μέρος του ένα ανοιχτό ορειχάλκινο δακτύλιο με αιχμηρά χείλη και συνεχίζει προς τα κάτω με κολουροκωνική επιφάνεια, που καταλήγει σε σωλήνα μικρής διαμέτρου. Το εμβαδό του δακτυλίου υποδοχής κατ αρχήν δεν σχετίζεται με το ύψος βροχής, αλλά στην πράξη φαίνεται ότι επηρεάζει το τελικά συλλεγόμενο ύψος βροχής γι αυτό και

τυποποιείται στο διάστημα 200 - 500cm. Το μετρητικό σύστημα είναι ένας κύλινδρος συλλογής της βροχής, με χιλιοστομετρική κλίμακα και επιφάνεια διατομής συνήθως υποπολλαπλάσια της διαμέτρου του στομίου υποδοχής, για να πολλαπλασιάζεται η ευαισθησία της μέτρησης (π.χ. δεκαπλασιαστικό βροχόμετρο).

Οι μετρήσεις σε απομακρυσμένες και δυσπρόσιτες περιοχές (συνήθως ορεινές), γίνονται ανά μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, π.χ. μηνιαία. Χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό αθροιστικά βροχόμετρα με δακτυλίους υποδοχής συνήθως μικρότερους (π.χ. 200 cm), ενώ ο κύλινδρος συλλογής έχει μεγαλύτερη διάμετρο και περιέχει διάλυμα χλωριούχου ασβεστίου, για να εμποδίζεται η εξάτμιση από την επιφάνεια. Αντίστοιχες προφυλάξεις για παγετό, χιόνι και εξάτμιση λαμβάνονται και στα βροχόμετρα με εύκολη πρόσβαση και συχνή μέτρηση, όταν οι επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής το επιβάλλουν.

Οι βροχογράφοι είναι σε γενικές γραμμές βροχόμετρα, στα οποία μεταξύ των δύο κυρίων τμημάτων τους προστίθενται μηχανισμοί αυτοματισμού της μέτρησης και καταγραφής του ύψους βροχής. Ο τύπος του μηχανισμού αυτοματισμού χαρακτηρίζει και τον τύπο του βροχογράφου. Στις χώρες της Ευρώπης χρησιμοποιείται κυρίως ο τύπος των αιωρουμένων σκαφιδιών (tippingbucket), ο οποίος στηρίζεται σε σύστημα δύο στερεά συνδεδεμένων μεταξύ τους σκαφιδιών που αιωρούνται γύρω από οριζόντιο άξονα, σχηματίζοντας ένα είδος ζυγού. Κάτω από το σωλήνα του στομίου υποδοχής της βροχής βρίσκεται πάντοτε ένα σκαφίδιο, το οποίο όταν συλλέξει ορισμένη ποσότητα νερού (που αντιστοιχεί σε ύψος βροχής από 0.2 μέχρι 1 mm, ανάλογα με τον τύπο του οργάνου) υπερνικά την αντίσταση του ζυγού και κλίνει απότομα προς τα πλάγια, παρασύροντας το άλλο κενό σκαφίδιο κάτω από τον σωλήνα.

Στην Κύπρο χρησιμοποιείται περισσότερο ο τύπος του βροχογράφου με πλωτήρα (τύπος Hellmann-Fuess, γνωστός στο εμπόριο και ως βροχογράφος Αναγνώστου από το όνομα του κατασκευαστή του). Από το σωλήνα του στομίου υποδοχής το νερό διαβιβάζεται σε άλλο δοχείο, μικρότερης διαμέτρου. Σ' αυτό υπάρχει πλωτήρας, συνδεδεμένος με στέλεχος που κινείται κατακόρυφα και συνδέεται με καταγραφικό μηχανισμό. Για ορισμένο ύψος βροχής (τυπικώς 10 mm), το δοχείο έχει γεμίσει και ο πλωτήρας έχει φτάσει στην ανώτατη στάθμη του. Τότε ενεργοποιείται αυτόματα ο σίφοντας, με τον οποίο είναι εφοδιασμένο το δοχείο, οπότε το δοχείο αδειάζει σε λίγα δευτερόλεπτα και παρασύρονται ο πλωτήρας και η γραφίδα στην κατώτατη θέση τους.

Ένας τρίτος τύπος αυτοματισμού της μέτρησης στηρίζεται στη ζύγιση του περιεχομένου του δοχείου, μέσω ενός μηχανισμού με ελατήριο και αντίβαρα. Έχουν αναπτυχθεί ακόμη και πιο πολύπλοκοι μηχανισμοί αυτοματισμού που δεν είναι ευρέως διαδεδομένοι.

2.3 Λειψυδρία

2.3.1 Ορισμός

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι δεν μπορεί να δοθεί ένας περιεκτικός και ευρέως αποδεκτός ορισμός της λειψυδρίας. Η λειψυδρία ορίζεται διαφορετικά από περιοχή σε περιοχή, αλλά και σύμφωνα με το στόχο του κάθε ερευνητή. Ο καταστροφικός χαρακτήρας της εξαρτάται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι οι υψηλές θερμοκρασίες, οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή σχετική υγρασία (Oladipo, 1985). Επίσης, η λειψυδρία σχετίζεται με το χρόνο εμφάνισης της (καθυστέρηση στην έναρξη της υγρής περιόδου,

απουσία βροχόπτωσης κατά τα στάδια ανάπτυξης των φυτών), αλλά και την αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων (π.χ. ένταση βροχόπτωσης, αριθμός επεισόδιο βροχής). Έτσι, κάθε επεισόδιο λειψυδρίας μπορεί να θεωρηθεί μοναδικό με δικά του κλιματικά χαρακτηριστικά και επιπτώσεις.

Οι λειψυδρίες και οι συνέπειες τους, πρέπει να αναγνωρίζονται και να λαμβάνονται υπ' όψιν, από τα αρχικά ακόμα στάδια, των προσπαθειών σχεδιασμού και διαχείρισης των υδατικών πόρων. Κάτω από αυτό το πρίσμα, τα μέτρα και οι προσπάθειες αντιμετώπισης των λειψυδριών πρέπει να ξεκινήσουν αρχικά από τη μελέτη των διαστάσεων του φαινομένου. Οι διαστάσεις περιλαμβάνουν θεωρητικά τον ορισμό, τα αίτια και τις επιπτώσεις των λειψυδριών. Ο ακριβής ορισμός των λειψυδριών παρουσιάζει πολλές δυσκολίες για μία αντικειμενική παραδοχή του (Yevjenich V. et al 1983; Vlachos, E.C. and Grigg, N.S. 1990; Karavitis, C.A., 1999a). Γενικότερα υπάρχουν πολλοί αντιφατικοί και αμφιλεγόμενοι ορισμοί που συντείνουν στο να δημιουργείται μία σχετικά ασαφής κατάσταση. Κατ' αυτό τον τρόπο η λειψυδρία μπορεί να σημαίνει διαφορετικά πράγματα, τόσο στο ευρύ κοινό, όσο και στις διάφορες επιστημονικές ειδικότητες. Οι λειτουργικοί ορισμοί επιτρέπουν τον προσδιορισμό της αρχής και του τέλους καθώς επίσης και του βαθμού δριμύτητας μιας λειψυδρίας. Αυτοί οι ορισμοί κατηγοριοποιούνται από την άποψη τεσσάρων βασικών προσεγγίσεων για να προσδιορίσουν και να περιγράψουν τα γεγονότα λειψυδρίας: μετεωρολογική, υδρολογική, γεωργική, και κοινωνικοοικονομική λειψυδρία. Οι τρεις πρώτες προσεγγίσεις θεωρούν τη λειψυδρία ως ένα φυσικό φαινόμενο. Η τελευταία εξετάζει ένα γεγονός λειψυδρίας σε σχέση με την ανθρωποκεντρική ζήτηση και εφοδιασμό, ακολουθώντας τα αποτελέσματα της έλλειψης νερού μέσω του κοινωνικοοικονομικού συστήματος.

Συγκεκριμένα, για ένα μετεωρολόγο μπορεί να είναι μία περίοδος ανώμαλα ξηρού καιρού ή η έλλειψη κατακρημνισμάτων, για έναν υδρολόγο μπορεί να λεχθεί ότι είναι μία έντονη έλλειψη υδάτων που προκαλεί σημαντική υδρολογική αστάθεια σε μία περιοχή (συμπεριλαμβανομένων των κατακρημνισμάτων και των απορροών). Σε έναν μηχανικό υδατικών πόρων μπορεί να σηματοδοτεί ένα πρόβλημα ζήτησης και προσφοράς νερού, δηλαδή δεν υπάρχει λειψυδρία χωρίς μία συγκεκριμένη ζήτηση ανεξάρτητα από τις υδρολογικές αστάθειες. Με άλλα λόγια σε έναν ωκεανό π.χ. δεν έχουμε λειψυδρία όχι γιατί υπάρχει υπερπροσφορά νερού, αλλά γιατί δεν υπάρχει συγκεκριμένη ζήτηση. Για έναν γεωπόνο η λειψυδρία είναι δυνατό να εκφρασθεί σαν την έλλειψη επαρκούς υγρασίας σε σχέση με συγκεκριμένη καλλιέργεια. Για έναν οικονομολόγο η λειψυδρία μπορεί να σημαίνει σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις, και τέλος σε ένα κοινωνιολόγο μπορεί να υπονοεί πιέσεις και παραμορφώσεις σε ένα δεδομένο κοινωνικό οικοδόμημα. Μία άλλη πηγή δυσκολιών στον ορισμό των λειψυδριών ξεκινά από τον συνδυασμό τους με τις υπάρχουσες γεωγραφικές, υδρολογικές, γεωλογικές, ιστορικές και πολιτιστικές συνθήκες ενός τόπου. Τελικά μία τρίτη πηγή δυσκολιών ξεπηδά από την ανάμειξη των συνεπειών και του φυσικού φαινομένου αυτού καθ' αυτού, στους διάφορους ορισμούς. Τελικά πάντως, ένα κεντρικό πρόβλημα σε όλες τις έρευνες και τους ορισμούς φαίνεται να είναι ο καθορισμός της αρχής και του τέλους μίας λειψυδρίας.

Οι λειψυδρίες προκύπτουν από το συνδυασμό πολλών φυσικών παραγόντων, που ενισχύονται από ανθρωπογενείς επιρροές. Η πρωταρχική αιτία κάθε λειψυδρίας είναι η ανεπάρκεια των βροχοπτώσεων και συγκεκριμένα η χρονική στιγμή, η κατανομή και η ένταση αυτής της ανεπάρκειας σε σχέση με την υπάρχουσα αποθηκευμένη ποσότητα νερού, την παροχή και τη ζήτηση. Η ανεπάρκεια αυτή έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη του απαραίτητου

νερού για τη λειτουργία του φυσικού οικοσυστήματος και/ή για τις απαραίτητες ανθρώπινες δραστηριότητες.

Υψηλές τιμές θερμοκρασιών αέρα και υψηλά ποσοστά εξατμισοδιαπνοής συνδράμουν στην έλλειψη της βροχόπτωσης επιδεινώνοντας την δριμύτητα και τη διάρκεια της περιόδου λειψυδρίας. Οι υψηλές θερμοκρασίες αέρα το καλοκαίρι, όταν συνδέονται με τον καθαρό ουρανό και την ηλιοφάνεια, αυξάνουν την εξατμισοδιαπνοή στο σημείο που είναι ελάχιστη ή μηδαμινή η διαθέσιμη βροχόπτωση και για την επαναφόρτιση των υπόγειων νερών ή των υδατορευμάτων των ποταμών. Λειψυδρίες μπορούν να εμφανιστούν και το χειμώνα όταν οι κατακρημνίσεις αποθηκεύονται στη λεκάνη απορροής με τη μορφή πάγου και χιονιού, εμποδίζοντας την επαναφόρτιση των ποταμών και των υδροφόρων οριζόντων, μέχρι να ανέβει η θερμοκρασία του αέρα και να αρχίσει το λιώσιμο του χιονιού. Οι κατακρημνίσεις και η θερμοκρασία του αέρα εξαρτώνται από τα πρότυπα κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας (atmospheric circulation patterns). Κατά συνέπεια κάθε αλλαγή στη θέση, στη διάρκεια και στην ένταση των αντικυκλώνων οδηγεί σε αλλαγές της επικρατούσας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και προκαλεί ανωμαλίες στις κατακρημνίσεις και τις θερμοκρασίες. Η λειψυδρία σχετίζεται επίσης με τη χρονική στιγμή (πχ εποχή του περιστατικού, καθυστερήσεις στην έναρξη της περιόδου βροχών, περιστατικό των βροχών σε σχέση με τα κύρια στάδια ανάπτυξης των καλλιεργείων) και την αποτελεσματικότητα (πχ ένταση βροχοπτώσεων, αριθμός βροχοπτώσεων)των κατακρημνίσεων. Άλλοι κλιματικοί παράγοντες που συνδέονται με τα περιστατικά λειψυδριών και επιδεινώνουν την δριμύτητά τους σε πολλές περιοχές του κόσμου, είναι η μεγάλη ταχύτητα του ανέμου και τα χαμηλά ποσοστά της υγρασίας της ατμόσφαιρας.

Είναι σημαντικό να διαφοροποιείται η λειψυδρία, που περιορίζεται σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις, ως

μακροπρόθεσμο χαρακτηριστικό γνώρισμα από τη λειψυδρία που δείχνει μια απόκλιση από τη μέση κατάσταση, αλλά βρίσκεται ακόμα μέσα στη φυσική μεταβλητότητα του οικοσυστήματος. Επίσης πρέπει να διακρίνεται μεταξύ των παροδικών περιόδων ανεπάρκειας ύδατος, η αιτία των εξαιρετικών λειψυδριών και των μακροπρόθεσμων δυσαναλογιών των διαθέσιμων υδατικών πόρων και της ζήτησης, όπως απεικονίζεται στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 3 Τυπολογία των καταστάσεων έλλειψης νερού (Vlachos, 1983)

Για να καθοριστεί η αρχή ενός γεγονότος λειψυδρίας, οι λειτουργικοί ορισμοί συνήθως διευκρινίζουν το βαθμό απόκλισης από το μέσο όρο της υπό εξέταση κλιματολογικής μεταβλητής κατά τη διάρκεια κάποιου χρονικού διαστήματος. Αυτό γίνεται συγκρίνοντας την τρέχουσα κατάσταση με τον ιστορικό μέσο όρο που προκύπτει από μετρήσεις των τελευταίων 30 ετών. Το κατώτερο όριο που προσδιορίζεται ως αρχή της λειψυδρίας (π.χ. 75% της μέσης πτώσης κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος) ορίζεται συνήθως αυθαίρετα και όχι βάσει της ακριβούς σχέσης του με συγκεκριμένες επιπτώσεις.

Οι λειτουργικοί ορισμοί μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να αναλύσουν τη συχνότητα, τη δριμύτητα και τη διάρκεια λειψυδρίας σε μια δεδομένη ιστορική περίοδο. Τέτοιοι ορισμοί απαιτούν λεπτομερή μετεωρολογικά δεδομένα και δεδομένα που ανταποκρίνονται στις επιπτώσεις, που εξαρτώνται από τη φύση του ορισμού που εφαρμόστηκε. Η ανάπτυξη της κλιματολογίας σε μία περιοχή παρέχει μεγαλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών της και της πιθανότητας επανάληψης της λειψυδρίας στα διάφορα επίπεδα δριμύτητας. Πληροφορίες τέτοιου τύπου είναι εξαιρετικά ευεργετικές στην ανάπτυξη των στρατηγικών αντιμετώπισης και μετριασμού της λειψυδρίας και στην προετοιμασία του σχεδίου διαχείρισής της.

Για να υπερπηδηθούν αυτά τα εμπόδια, ένας γενικός ορισμός της λειψυδρίας μπορεί να είναι η κατάσταση αντίξωων και εξαπλωμένων, υδρολογικών, περιβαλλοντολογικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων, εξ' αιτίας μικροτέρων από τις γενικά αναμενόμενες ποσότητες νερού (Karavitis C.A. 1992, Karavitis, C.A., 1999b). Τέτοιες ελλείψεις νερού μπορεί να προέρχονται από την μείωση των βροχοπτώσεων, φυσικές ή τεχνικές ελλείψεις στον εφοδιασμό νερού, και από λανθασμένους τρόπους διαχείρισης των υδατικών συστημάτων. Συμπερασματικά λοιπόν, η λειψυδρία δεν είναι μόνο η έλλειψη βροχής, όπως πολλές φορές πιστεύεται, αλλά ως ένα πιο πολύπλοκο φαινόμενο που απαιτεί ολοκληρωμένη ανάλυση, αποτίμηση των ενεργειών και στοχευόμενες δράσεις.

2.3.2 Αίτια

Τα αίτια εμφάνισης της λειψυδρίας σε μια περιοχή και η διατήρηση της για ορισμένο χρονικό διάστημα δεν είναι δυνατόν να καθοριστούν με βεβαιότητα, αλλά σύμφωνα με τη διεθνή

βιβλιογραφία διατυπώθηκαν διάφορες υποθέσεις (Bryant, 1991). Είναι πιθανό η εμφάνιση της λειψυδρίας να είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης ορισμένων παραμέτρων ή να μην ευθύνεται καμία από αυτές και να πρόκειται για ένα τυχαίο γεγονός. Οι κύριες θεωρίες που ερμηνεύουν την εμφάνιση κάποιων επεισοδίων λειψυδρίας είναι:

2.3.3 Φαινόμενο El Niño

Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα που εμφανίζουν οι ωκεανοί, σε συνδυασμό με την ανταλλαγή ποσών ενέργειας μεταξύ ατμόσφαιρας και ωκεανών, αποτελεί κύριο παράγοντα καθορισμού των κλιμάτων στην επιφάνεια της γης (César N. 2001 & Philander, S. George, 1990). Η ελάττωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, η οποία είναι αποτέλεσμα κυρίως της μεταβολής της τροχιάς των θαλάσσιων ρευμάτων, μπορεί να προκαλέσει μεταβολή στη συνηθισμένη εμφάνιση των καιρικών φαινομένων σε μια μεγάλη ή μικρή περιοχή στην επιφάνεια του πλανήτη, με αποτέλεσμα να εμφανιστεί ως ένα επιπλέον αίτιο εμφάνισης λειψυδρίας.

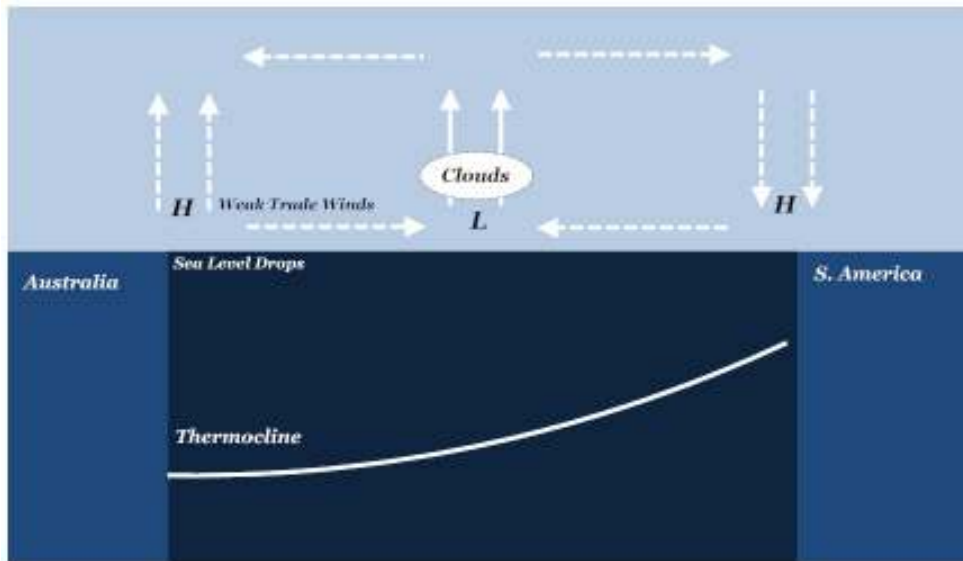
Το φαινόμενο El Niño ή θερμό επεισόδιο παρατηρείται στην περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού. Στο τέλος κάθε έτους εμφανίζεται κατά μήκος των ακτών του Ισημερινού και του Περού, ένα ασθενές, θερμό ωκεάνιο ρεύμα, το οποίο ορισμένα έτη ενισχύεται σημαντικά από απόψεως θέρμανσης και εκτείνεται μέχρι και το κέντρο του Ειρηνικού ωκεανού. Οι συνέπειες αυτού του φαινομένου είναι η μείωση της συνηθισμένης ανόδου ψυχρού, πλούσιου σε θρεπτικά, νερού. Το φαινόμενο El Niño συνήθως παρατηρείται τα Χριστούγεννα και διαρκεί από μερικές βδομάδες ως μερικούς μήνες. Μερικές φορές ένα εξαιρετικά θερμό επεισόδιο είναι δυνατό να αναπτυχθεί, το οποίο διαρκεί πολύ περισσότερο. Στη δεκαετία του

1990, το φαινόμενο El Niño αναπτύχθηκε το 1991 και διήρκησε μέχρι το 1995, καθώς και από το φθινόπωρο του 1997 ως την άνοιξη του 1998. Επαναλαμβάνεται κατά ακανόνιστα χρονικά διαστήματα 2-7 ετών, με μέσο όρο μία φορά κάθε 3-4 έτη. Η τυπική διάρκεια του είναι 12-18 μήνες.

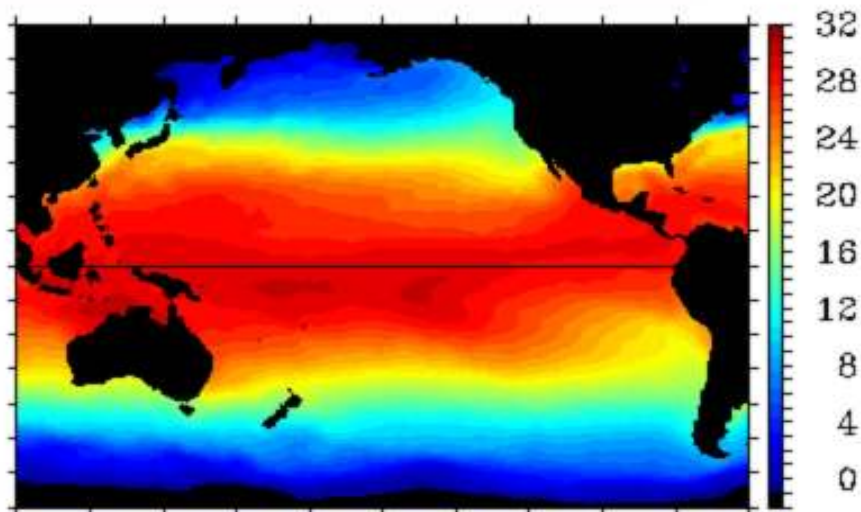
Κάτω από κανονικές συνθήκες, στο ανατολικό τμήμα του Ειρηνικού σημειώνονται υψηλές πιέσεις, ενώ στο δυτικό τμήμα (Ινδονησία, Αυστραλία) χαμηλές πιέσεις (Εικόνα 4), με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ισχυρών ανέμων (αληγείς ή tradewinds) από τα ανατολικά προς τα δυτικά, πάνω από τον Ειρηνικό.



Εικόνα 4. Η τομή αυτή του Ειρηνικού ωκεανού, κατά μήκος του ισημερινού, απεικονίζει την τυπική ατμοσφαιρική κυκλοφορία.



Εικόνα 5. Ατμοσφαιρική κυκλοφορία που προκαλεί το σχηματισμό του φαινομένου El Niño.



Εικόνα 6. Συνθήκες El Niño (Δεκέμβριος 1997)

Κατά τη διάρκεια, όμως, του φαινομένου El Niño (Εικόνα 5), η βαρομετρική πίεση του ανατολικού Ειρηνικού εμφανίζει ελάττωση, ενώ ταυτόχρονα, η πίεση στο δυτικό τμήμα του Ειρηνικού αυξάνει. Οι επιφανειακοί αληγείς άνεμοι εξασθενούν επιτρέποντας έτσι στα θερμά επιφανειακά νερά να επεκταθούν ανατολικά. Αυτό έχει ως

αποτέλεσμα τη συσσώρευση θερμού νερού στον ανατολικό Ειρηνικό, ενώ τα ψυχρά και πλούσια σε τροφή νερά από τα βαθύτερα στρώματα δε μπορούν να αναδυθούν στις παράκτιες περιοχές της Αμερικής και έτσι τα θαλάσσια είδη της περιοχής υποφέρουν από έλλειψη τροφής και οξυγόνου. Αυτό το μοντέλο παλινδρόμησης της ατμοσφαιρικής πίεσης ανάμεσα στο δυτικό και το ανατολικό τμήμα του Ειρηνικού, είναι σήμερα γνωστό με τον όρο «Ταλάντωση Νότιας Κύμανσης» (El Niño Southern Oscillation, ENSO, 2005).

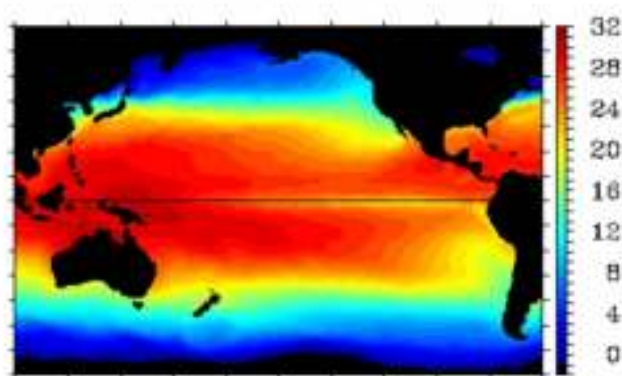
Η εικόνα 6 απεικονίζει τις συνθήκες El Niño κατά την διάρκεια του Δεκεμβρίου 1997. Φαίνεται ότι το θερμό νερό καταλαμβάνει όλη την έκταση του Ισημερινού.

2.3.4 Φαινόμενο La Nina

Τα φαινόμενα El Niño και La Niña αποτελούν αντίθετες όψεις του κύκλου «Ταλάντωση Νότιας Κύμανσης» (El Niño Southern Oscillation, ENSO, 2005). Το φαινόμενο La Nina χαρακτηρίζεται από ασυνήθιστα ψυχρές επιφανειακές ωκεάνιες μάζες, στο πλάτος του Ισημερινού και στον Ειρηνικό ωκεανό. Αυτά τα ψυχρά επεισόδια ή επεισόδια La Nina χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη από το φυσιολογικό βαρομετρική πίεση πάνω από την Ινδονησία και τη βόρειο Αυστραλία και υψηλότερη από το φυσιολογικό πίεση στον ανατολικό Ειρηνικό. Αυτή η κατανομή πιέσεων συνδέεται με ενισχυμένους, κοντά στην επιφάνεια ισημερινούς ανατολικούς ανέμους στο ανατολικό και κεντρικό τμήμα του Ειρηνικού. Η κανονική κατανομή των τροπικών καταιγίδων και η ατμοσφαιρική κυκλοφορία διαταράσσονται κατά τη διάρκεια ενός ψυχρού επεισοδίου. Ενισχύεται η φυσιολογική κυκλοφορία με ανοδικές αέριες μάζες, συννεφιά και βροχόπτωση στο δυτικό τμήμα του

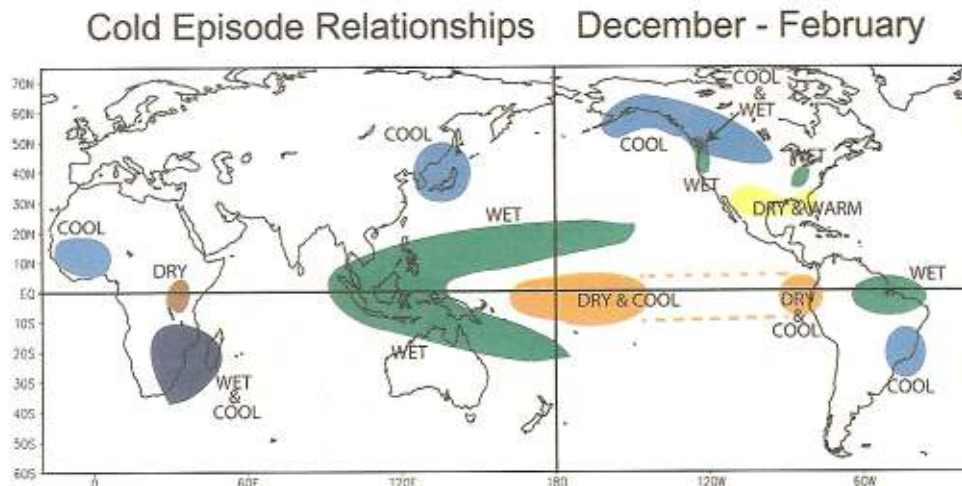
Ειρηνικού (Ινδονησία, Μαλαισία και βόρειο Αυστραλία) και καθοδικές αέριες μάζες στο ανατολικό τμήμα.

Στην εικόνα 7 φαίνεται ότι ο ανατολικός Ειρηνικός ωκεανός είναι ψυχρότερος από το συνηθισμένο και το ψυχρό νερό εκτείνεται προς τα δυτικά.



Εικόνα 7. Συνθήκες La Niña (Δεκέμβριος 1998)

Οι ψυχρότερες από το φυσιολογικό επιφανειακές ωκεάνιες μάζες στην κεντρική περιοχή του Ειρηνικού εμποδίζουν το σχηματισμό καταιγιδοφόρων νεφών πάνω από αυτή την περιοχή. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα του βόρειου ημισφαιρίου, υγρότερες από το φυσιολογικό συνθήκες αναπτύσσονται πάνω από τη βόρεια Αυστραλία, την Ινδονησία και τη Μαλαισία, καθώς και πάνω από την νοτιοανατολική Αφρική και τη βόρεια Βραζιλία (εικόνα 8). Κατά τη διάρκεια του θέρους του βόρειου ημισφαιρίου, οι βροχοπτώσεις από τους μουσώνες στην Ινδία ενισχύονται, ειδικά στη βορειοδυτική Ινδία, ενώ υγρότερες από το φυσιολογικό είναι και οι συνθήκες πάνω από τις Φιλιππίνες. Ξηρότερες από το φυσιολογικό συνθήκες παρατηρούνται κατά μήκος της δυτικής ακτής της τροπικής Νότιας Αμερικής και στα υποτροπικά πλάτη της βόρειας Αμερικής (Κόλπος Μεξικού) και της νότιας Αμερικής (νότιο Βραζιλία ως κεντρική Αργεντινή) κατά τη διάρκεια των αντίστοιχων χειμερινών περιόδων.



Εικόνα 8. Κλιματικές επιδράσεις φαινομένου La Nina κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου του βόρειου ημισφαιρίου

Στα μεσαία πλάτη, τα συστήματα χαμηλών πιέσεων τείνουν να είναι ασθενέστερα από το φυσιολογικό στον Κόλπο της Αλάσκα, κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αυτό ευνοεί την ανάπτυξη ψυχρότερων από το φυσιολογικό αερίων μαζών πάνω από την Αλάσκα και το δυτικό Καναδά, που συχνά κατευθύνονται στο δυτικό τμήμα των Ηνωμένων Πολιτειών, καθώς και ανατολικότερα από τα Βραχώδη Όρη. Αντιθέτως, οι νοτιοανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες θερμαίνονται περισσότερο και επικρατούν ξηρότερες συνθήκες από το φυσιολογικό.

Οι περιοχές που επηρεάζονται από την ENSO κυκλοφορία, σύμφωνα με τους Bhalmeetal. (1983), θεωρούνται περιοχές λειψυδριών και πλημμύρων. Τα φαινόμενα παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία και την ένταση της λειψυδρίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση της εμφάνισης του φαινομένου της λειψυδρίας. Ο Δείκτης Ταλάντωσης Νότιας Κύμανσης (Southern Oscillation Index), που ορίζεται ως η διαφορά πίεσης ανάμεσα στην Ταϊτή, Γαλλική Πολυνησία και στην περιοχή Δαρβίνος, στην Αυστραλία, αποτελεί ένα μέτρο της έντασης των αλλαγών ανέμων, που πνέουν από περιοχές υψηλών προς περιοχές χαμηλών πιέσεων.

Υψηλή τιμή του δείκτη (μεγάλη διαφορά πιέσεων) συνδέεται με ισχυρότερους από το κανονικό αληγείς ανέμους και συνθήκες La Nina, ενώ μικρή τιμή του δείκτη (μικρότερη διαφορά πιέσεων) συνδέεται με ασθενέστερους από το κανονικό αληγείς ανέμους και συνθήκες EI Nino.

2.3.5 Αστρονομικοί Παράγοντες

Υποστηρίζεται ότι οι ηλιακές κηλίδες και οι σεληνιακοί κύκλοι των 18.6 ετών αποτελούν παράγοντες ρύθμισης της εμφάνισης λειψυδρίας ή βροχόπτωσης στον πλανήτη. Η περιοδική εμφάνιση τους αποτελεί μέσο πρόγνωσης της λειψυδρίας.

Έχει διαπιστωθεί σχέση ανάμεσα στους κύκλους των ηλιακών κηλίδων με την κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα (Currie, 1981, 1984 και Karavitis, C., A., 2007). Από την διακύμανση της πολικότητας των ηλιακών κηλίδων στο χρόνο παρατηρείται κύκλος 22 ετών (περιοδικότητα), ο οποίος αποτελείται από δύο 11-ετών κύκλους αντίθετης πολικότητας. Ο κύκλος του Milankovitch είναι ένας κύκλος σημαντικών ταλαντώσεων στη γήινη τροχιά, που λαμβάνει χώρα συχνά εδώ και χιλιάδες χρόνια και είναι γνωστός από την επιρροή που ασκεί στη κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας και επομένως στην ύπαρξη παγκόσμιων καιρικών φαινομένων (Milutin, 1998). Τα ελάχιστα της πολικότητας στη διακύμανση των ηλιακών κηλίδων, αντιστοιχούν σε επεισόδια λειψυδρίας, μικρής ή μεγάλης έντασης.

Οι σεληνιακοί κύκλοι των 18.6 ετών αντιπροσωπεύουν τη διακύμανση της τροχιάς της σελήνης, σε σχέση με τον ισημερινό του ηλίου. Η τροχιά της σελήνης δημιουργεί, σε κανονικές συνθήκες, γωνία 5° από τον ισημερινό του ηλίου. Στο τέλος μιας πλήρους

περιστροφής, η σελήνη δεν επιστρέφει στην αρχική της θέση, αλλά έχει μετατοπιστεί λίγο μακρύτερα στο εσωτερικό της τροχιάς της. Κάθε 9.3 έτη, η τροχιά της σελήνης φτάνει στο υψηλότερο σημείο και τότε η σελήνη βρίσκεται πιο κοντά στον Ισημερινό της Γης, δηλαδή βρίσκεται στη θέση του ελαχίστου. Με την έλευση των επόμενων 9.3 ετών, η σελήνη επιστρέφει στην αρχική της θέση, κ.ο.κ. Ο Currie (1981; 1984) απέδειξε ότι τα μέγιστα των 18.6 ετών, σεληνιακού κύκλου, συνδέονται με την εμφάνιση πλημμύρων ή λειψυδριών σε διάφορες περιοχές.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το φαινόμενο της Νότιας Κύμανσης και οι διάφοροι αστρονομικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την εμφάνιση λειψυδρίας σε ορισμένες περιοχές. Τα φαινόμενα αυτά όμως εκφράζουν μόλις το 15-30% της ολικής διακύμανσης της βροχόπτωσης, οπότε το 70% περίπου της πιθανότητας εμφάνισης λειψυδρίας σε κάποια περιοχή οφείλεται σε άλλους κλιματικούς παράγοντες που τελούν ακόμα υπό έρευνα (Bryant, 1991).

2.3.6 Αεροχείμαρροι

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, διαπιστώθηκε για πρώτη φορά ότι στο επίπεδο της τροπόπαυσης υπάρχει σε όλη τη διάρκεια του έτους, ένα λεπτό αλλά πολύ ισχυρό ρεύμα αέρα, γνωστό ως αεροχείμαρρος (www.aviamet.gr). Έχει μήκος μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα, οριζόντιο άξονα τομής μήκους μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα και κατακόρυφο άξονα τομής μερικές χιλιάδες μέτρα. Σαν κατώτερο όριο ταχύτητας κατά μήκος του άξονα του αεροχείμαρρου καθιερώθηκε αυθαίρετα η τιμή των 30 m/s (60knots). Στην περιοχή της Νότιας Ιαπωνίας μετρήθηκαν μέγιστες ταχύτητες, στον πυρήνα του αεροχειμάρρου της τάξης των 140m/s (280 knots). Αν ληφθεί υπόψη ότι η μέση ταχύτητα των δυτικών

ανέμων είναι της τάξης των 10 m/s, τότε φαίνεται ότι οι ταχύτητες που παρατηρούνται στους αεροχειμάρρους είναι κάτι το εξαιρετικό.

Από τους μέσους χάρτες της ανώτερης Τροπόσφαιρας (200 hPa) έχει διαπιστωθεί ότι σε κάθε ημισφαίριο υπάρχουν δύο αεροχειμάρροι. Ο πρώτος ονομάζεται αεροχειμάρρος του πολικού μετώπου (polarfrontjetstream – PFJ) και ο δεύτερος υποτροπικός αεροχειμάρρος (subtropicaljetstream – STJ).

Ο αεροχειμάρρος του πολικού μετώπου μετατοπίζεται μέσα στη ζώνη 50ο - 60ο πλάτους. Εκτός από τη μετατόπιση κατά γεωγραφικό πλάτος, ο αεροχειμάρρος παρουσιάζει μετατόπιση καθ' ύψος και σημαντικές αλλαγές της ταχύτητάς του ακόμη και από μέρα σε μέρα. Το χειμώνα μετακινείται προς μικρότερα γεωγραφικά πλάτη ενώ το καλοκαίρι προς μεγαλύτερα με ταυτόχρονη ελάττωση του ύψους του. Η παρουσία του αεροχειμάρρου αυτού καθώς και οι μεταβολές του συνδέονται άμεσα με τον καιρό των μεγάλων γεωγραφικών πλατών.

Οι χάρτες που συντάσσονται για τον υποτροπικό αεροχειμάρρο δείχνουν ότι κατά τη διάρκεια του χειμώνα ο πυρήνας του παρουσιάζει τρεις ευδιάκριτες περιοχές με μέγιστη ταχύτητα. Η πρώτη περιοχή βρίσκεται πάνω από τις ανατολικές ακτές της Βορείου Αμερικής, η δεύτερη πάνω από τη Βόρεια Αφρική και η τρίτη πάνω από τις ανατολικές ακτές της Ασίας. Το καλοκαίρι ο ίδιος αεροχειμάρρος διαφοροποιείται. Οι ταχύτητές του ελαττώνονται σημαντικά και η μέση θέση του μετατοπίζεται αρκετά βορειότερα.

Αξιοσημείωτη και ενδιαφέρουσα για την περιοχή μας και γενικότερα για την περιοχή της Μεσογείου είναι η καλοκαιρινή, προς βορρά, μετατόπιση του τμήματος του υποτροπικού αεροχειμάρρου που το χειμώνα βρίσκεται πάνω από τη βόρεια Αφρική. Η μέση θέση του το καλοκαίρι είναι βόρεια από τον Ελλαδικό χώρο. Το γεγονός αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την περιοχή μας από

πλευράς καιρού. Ο υποτροπικός αεροχείμαρρος στη θέση αυτή αποτελεί φραγμό στην προς νότο κάθοδο των ψυχρών αερίων μαζών που προέρχονται από τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Επίσης φραγμό αποτελεί και για τα κέντρα χαμηλών πιέσεων που κινούνται από τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη προς την περιοχή της κεντρικής και ανατολικής Μεσογείου. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι βροχοπτώσεις που οφείλονται στις κινούμενες υφέσεις, την καλοκαιρινή περίοδο, να μειώνονται σημαντικά.

2.3.7 Ανθρωπογενείς Παράγοντες

Οι αιτίες της λειψυδρίας είναι πολλαπλές, και οι ανθρώπινες δραστηριότητες συμβάλλουν στην ανάπτυξη των συνθηκών που την προκαλούν. Η γενική υπάρχουσα άποψη και συζήτηση θεωρεί τις αιτίες κατά ένα μεγάλο μέρος ως αιτιοκρατικές, δεδομένου ότι η έλλειψη είναι ένα αποτέλεσμα της ευπροσδιόριστης και συνήθως εφαρμοζόμενης προσέγγισης «αιτίου και αιτιατού». Εντούτοις, αν η λειψυδρία είναι το σημείο που υπάρχει έλλειψη νερού και υποβάθμιση της ποιότητας του, τότε οι κοινωνικές και πολιτικές αιτίες προσδιορίζονται πιο δύσκολα. Πολλές από τις αιτίες είναι αλληλένδετες και δεν είναι εύκολο να διακριθούν. Μερικές από τις κύριες αιτίες παρατίθενται παρακάτω. Ο κατάλογος δεν είναι κατά σειρά προτεραιότητας αν και μερικές αιτίες ασκούν μεγαλύτερη επίδραση από άλλες.

Αύξηση πληθυσμού: Η κύρια αιτία αύξησης της έλλειψης νερού είναι η αύξηση της ζήτησης που είναι αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού. Ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται ραγδαία : το 2020 εκτιμάται ότι θα είναι 7,9 δις, 50% δηλαδή μεγαλύτερος από το 1990 (Dyson, 1996). Το μεγαλύτερο μέρος αυτού του πληθυσμού θα βρίσκεται σε χώρες στις οποίες το ποσοστό διαθέσιμης ποσότητας

νερού για αστική χρήση είναι πολύ χαμηλό, και στις οποίες η αυξάνει η χρήση συσκευών που χρησιμοποιούν πολύ νερό κατά τη λειτουργία τους. Επίσης, πολλές από αυτές τις χώρες αστικοποιούνται με γρήγορο ρυθμό και ο στόχος της απόκτησης επαρκούς νερού και της κατανομής του στα νέα αστικοποιημένα κέντρα θα είναι μια σημαντική οικονομική και περιβαλλοντική πρόκληση. Η σημαντικότερη αύξηση της ζήτησης οφείλεται στις αναπτυξιακές ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού και κυρίως στην ανάγκη να αυξηθούν τα τρόφιμα που θα ικανοποιήσουν τις ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού.

Χρήση γης: Η υποβάθμιση και η μετατροπή των χρήσεων γης στις λεκάνες απορροής μπορούν να μειώσουν το ποσό του διαθέσιμου προς χρήση νερού. Ενώ η μείωση της φυτικής κάλυψης οδηγεί σε μεγαλύτερες απορροές, ταυτόχρονα μειώνει τη διήθηση προς τα υπόγεια νερά και την ικανότητα αποθήκευσης των ταμιευτήρων και των λιμνών λόγω αυξανόμενης καθίζησης από τον αυξανόμενο όγκο φερτών. Η στράγγιση των υγροτόπων ή της αποψίλωσης δασών σε μεγάλη κλίμακα, μπορεί να αλλάξει το μικροκλίμα μιας περιοχής. Οι συνέπειες των ανεπαρκών μεθόδων διαχείρισης και καλλιέργειας των εδαφών εντείνουν τον κίνδυνο και κάνουν τις κοινότητες πιο τρωτές, έτσι ώστε ακόμα και μία μικρή αλλαγή στις συνθήκες να μπορεί να αποβεί μοιραία. Άλλο ένα ζήτημα σχετικό με τη χρήση της γης είναι η καλλιέργεια υδροβόρων καλλιεργειών και μάλιστα σε ευαίσθητες περιοχές όπως είναι οι ορεινές υδρολογικές λεκάνες, περιοχές περιφερειακά των υγροτόπων, ή ακόμα και περιοχές στις οποίες ήδη παρατηρείται έλλειψη νερού και υποβάθμιση της ποιότητάς του. Όσον αφορά την Ευρώπη, εκτιμάται ότι περίπου το 42% της συνολικής εδαφικής έκτασης είναι καλλιεργήσιμο (περιλαμβάνοντας 24% αρόσιμο έδαφος, 16 % μόνιμες καλλιέργειες, και 2 % βοσκοτόπια-λιβάδια), το 33 % είναι δάση και περίπου το 1 % έχει αστικοποιηθεί (ΕΕΑ,

1995). Η Ευρωπαϊκή Ένωση, με τη μεταρρύθμισή της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής, είναι δεσμευμένη σε μια πολιτική που προάγει την αναδάσωση. Συνολικά στην Ευρώπη, οι δασικές εκτάσεις έχουν αυξηθεί τα τελευταία 30 χρόνια περίπου κατά 10% και υπολογίζεται ότι κάθε δεκαετία θα χάνεται το 2% της γεωργικής γης, λόγω αστικοποίησης. Και οι δύο αυτές αλλαγές θα έχουν σημαντική επιρροή στην υδρολογία της περιοχής. Είναι γενικώς αποδεκτό ότι η αναδάσωση μίας περιοχής / λεκάνης απορροής, μειώνει τη μέση απορροή μέσω της αύξησης της κατακράτησης και της εξατμισοδιαπνοής, είναι όμως απαραίτητο να τονιστεί ότι αυτή η επίδραση πρέπει να εξισορροπηθεί με τις οικολογικές διεργασίες που διαδραματίζονται σε μία δασική λεκάνη σε επίπεδο προστασίας από την εδαφική διάβρωση και γενικά προστασίας του περιβάλλοντος. Η ακριβής επίπτωση στα επιφανειακά νερά, συνεπώς, θα ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του δάσους, την ένταση της φύτευσης και των πρακτικών διαχείρισης των εδαφών. Η αστικοποίηση φαίνεται να επιφέρει αύξηση της επιφανειακής απορροής, μειωμένη διηθητική ικανότητα και μειωμένες τοπικά απορροές. Στις μεσογειακές περιοχές, το ημίξηρο κλίμα, σε συνδυασμό με τη φτωχή διαχείριση του εδάφους και των καλλιεργειών οδηγεί στην εδαφική υποβάθμιση. Εκτιμάται ότι περίπου το 44% της Ισπανίας έχει προσβληθεί από κάποιο είδος εδαφικής διάβρωσης. Η εδαφική διάβρωση μειώνει τη διηθητική ικανότητα του εδάφους και αυξάνει την τρωτότητα μιας περιοχής στη λειψυδρία.

Ποιότητα νερού: Η ρύπανση των πόρων εφοδιασμού σε νερό μειώνει τη διαθεσιμότητα του καθαρού προς χρήση νερού. Αυτό γίνεται πιο έντονο κατά τη διάρκεια περιόδων έλλειψης. Σε κανονικές συνθήκες η ικανότητα ενός ποταμού να δεχθεί ένα δεδομένο φορτίο ρύπανσης καθορίζεται από τον παράγοντα μέσης διάλυσης. Δεδομένου ότι η ποσότητα του νερού μειώνεται, οι ποταμοί και τα υδατορεύματα γίνονται όλο και πιο ευαίσθητα στη ρύπανση, όπως

επίσης οι άνθρωποι και οι υπόλοιποι ζωντανοί οργανισμοί που εξαρτώνται από το νερό. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί στα επιφανειακά νερά (π.χ. ένα ποτάμι ή μια λίμνη των οποίων το νερό χρησιμοποιείται για αστική χρήση) ή τα υπόγεια και η ρύπανση μπορεί να έχει προέλευση από βιομηχανικά απόβλητα, γεωργικά απόβλητα (λόγω χρήσης χημικών λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων, που καταλήγουν στους υδάτινους αποδέκτες μέσω απορροής), παράνομη διάθεση των αστικών αποβλήτων, ή απόρριψη των ανεπαρκώς επεξεργασμένων λυμάτων. Από την άλλη πλευρά, η μείωση της ρύπανσης του νερού μπορεί να αυξήσει την διαθέσιμη παροχή για τις διάφορες χρήσεις.

Ζήτηση νερού: Η αυξανόμενη ζήτηση νερού και μάλιστα όταν δε γίνεται σωστή χρήση της θα επιταχύνει την άφιξη των συνθηκών έλλειψης νερού. Η διαδεδομένη παρερμηνεία ότι υπάρχει αφθονία νερού και ότι το μόνο πρόβλημα είναι το να φτάσει στη σωστή θέση και στο σωστό χρόνο, παραμένει ακόμα, με αποτέλεσμα τον προανατολισμό της διαχείρισης των υδατικών πόρων προς τον ανεφοδιασμό. Η μείωση και η διαχείριση της ζήτησης του νερού, η επιβολή της αποδοτικότητας της χρήσης και η θέσπιση μέτρων εξοικονόμησης του νερού απαιτούν πλέον άμεσες πολιτικές και νομοθετικές επεμβάσεις.

Νομοθεσία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων: Η φτωχή ή ανεπαρκής νομοθεσία μπορεί να επιδεινώσει τα αποτελέσματα της έλλειψης νερού. Οι πράξεις νομοθεσίας που δίνουν τα αποκλειστικά δικαιώματα σε μερικούς χρήστες είναι απαραίτητες για να παρέχουν ασφάλεια για τις επενδύσεις (συνήθως στο γεωργικό τομέα), αλλά μπορούν να οδηγήσουν σε σοβαρό κίνδυνο κατά τη διάρκεια των περιόδων της έλλειψης. Η διαχείριση των υδατικών πόρων και οι πολιτικές ανάπτυξης έχουν άμεση επίδραση στην ικανότητα μερικών τομέων να επιβιώσουν σε περιόδους έλλειψης. Αν είναι ανεπαρκείς, αναποτελεσματικές, ή αν δεν παρέχουν τουλάχιστον την

ικανοποίηση των βασικών αναγκών όλων των πολιτών, τότε ένα ιδιαίτερο περιστατικό έλλειψης ύδατος θα οδηγήσει στη λειψυδρία.

Διεθνή ύδατα: Η χρήση του νερού στους διεθνείς ποταμούς των διασυνοριακών λεκανών απορροής από τις ανάντη χώρες, μπορεί να οδηγήσει σε συνθήκες λειψυδρίας στις κατάντη χώρες. Αυτό είναι ένα πρόβλημα που επιδεινώνεται προφανώς κατά τη διάρκεια των περιόδων έλλειψης. Είναι σημαντικό να διατηρείται η επικοινωνία μεταξύ των παρακείμενων χωρών μέσω διαφόρων μηχανισμών συμπεριλαμβανομένων των ειδικών πρωτοκόλλων, των κοινών επιτροπών, των υπομνημάτων της συμφωνίας, των συνθηκών κ.λπ. Είναι σημαντικό να συνάπτονται αυτές οι συμφωνίες κατά τη διάρκεια των περιόδων αφθονίας νερού παρά σε περιόδους κρίσης.

Πολιτικές πραγματικότητες: Οι πολιτικοί και οι λήπτες αποφάσεων είναι τα πρόσωπα που έχουν τη μέγιστη επιρροή στην κατανομή των μειωμένων οικονομικών προϋπολογισμών και την υιοθέτηση των πολιτικών για την αντιμετώπιση των λειψυδριών. Δυστυχώς, η χρονική προοπτική πολλών πολιτικών δεν συμπίπτει με τη χρονική διάσταση μιας συνετής διαχείρισης των υδατικών πόρων, με συνέπεια οι αποφάσεις να λαμβάνονται συνήθως βάσει των βραχυπρόθεσμων πολιτικών οφελών.

Κοινωνιολογικά ζητήματα: Υπάρχουν διάφορα κοινωνιολογικά και πολιτιστικά ζητήματα που επιδεινώνουν την κατάσταση έλλειψης νερού. Αυτά τα ζητήματα είναι συχνά ένα αποτέλεσμα πρακτικών που δεν παρουσίασαν αρχικά καμία απειλή στο περιβάλλον, αλλά έχουν γίνει απειλή με τις διάφορες πιέσεις του πληθυσμού και με την αύξηση της κατανάλωσης νερού. Οι προκύπτουσες πιέσεις στο περιβάλλον, παραδείγματος χάριν από υπερβόσκηση, έχουν μια άμεση και καταστρεπτική επίδραση στους υδατικούς πόρους. Οι μακροπρόθεσμες οικονομικές και κοινωνικές

επιδράσεις αυτών των ζητημάτων, προκαθορίζουν συχνά το γενικό πολιτικό και οικονομικό πλαίσιο από το οποίο πηγάζουν πολλές από τις άλλες αιτίες έλλειψης νερού.

2.4 Δείκτες Λειψυδρίας

Το μεγάλο πλήθος ορισμών της λειψυδρίας, τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που εμφανίζει σε σχέση με την τοπογραφία και το κλίμα της κάθε περιοχής και οι πολύπλοκες φυσικές διεργασίες που συνδέονται με την εμφάνιση της επέβαλλαν τη δημιουργία δεικτών λειψυδρίας, έτσι ώστε να είναι εφικτή η αναγνώριση, η καταγραφή της έντασης και έκτασης των επεισοδίων λειψυδρίας, καθώς επίσης και η δυνατότητα αξιολόγησης της λειψυδρίας, όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο, αλλά και σε μία ευρύτερη περιοχή.

Οι διάφοροι δείκτες λειψυδρίας χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό τους διάφορες παραμέτρους, όπως το ύψος βροχής, το πάχος του στρώματος του χιονιού, τα αποθέματα του υπόγειου νερού, κλπ. Η τιμή του δείκτη λειψυδρίας είναι ένας καθαρός αριθμός, που μπορεί να φανεί περισσότερο χρήσιμος σε σχέση με την ανάλυση της κάθε παραμέτρου χωριστά. Η ορθή χρήση και ερμηνεία των δεικτών μπορεί να δώσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε ξεχωριστού επεισοδίου λειψυδρίας, ενώ η μελέτη των τιμών του δείκτη στη διάρκεια του χρόνου μπορεί να δώσει την πιθανότητα επανεμφάνισης των επεισοδίων λειψυδρίας. Πρέπει να τονιστεί ωστόσο ότι η κακή χρήση των δεικτών, με τη μη σωστή εφαρμογή των περιορισμών του κάθε δείκτη, μπορεί να οδηγήσει σε παρερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Παρά το γεγονός ότι κανένας δείκτης δεν είναι ο βέλτιστος για όλες τις περιοχές και για όλες τις περιπτώσεις, ορισμένοι δείκτες

παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με άλλους, για συγκεκριμένες καταστάσεις. Για παράδειγμα, ο δείκτης Palmer (Palmer Drought Severity Index) δημιουργήθηκε και εφαρμόστηκε σε μία περιοχή με ομαλό ανάγλυφο στις ΗΠΑ, με σκοπό τον καθορισμό της εμφάνισης λειψυδρίας. Σε περιοχές, όμως, όπου το ανάγλυφο είναι έντονο και υπάρχει σύνθετο τοποκλίμα, θεωρείται προτιμότερος ο συνδυασμός του δείκτη Palmer με άλλους δείκτες, όπως είναι ο δείκτης SWS1 (Surface Water Supply Index), οι οποίοι χρησιμοποιούν παραμέτρους που λαμβάνουν υπόψη τη διαφορετική τοπογραφία της κάθε περιοχής. Αναφορικά δείκτες λειψυδρίας οι οποίοι έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί είναι :

- Palmer Drought Severity Index (PDSI- Palmer, 1965)
- Crop Moisture Index (CMI- Palmer, 1968)
- Deciles (Gibbs and Maher, 1967)
- FAO water satisfaction index (Frere and Popov, 1979), Agro- Hydro Potential (AHP- Petrasovits, 1990)
- Surface Water Supply Index (SWSI- Shafer and Dezman, 1982)
- Reclamation Drought Index (RDI- Bureau of Reclamation, 1988)
- Standardized Precipitation Index (SPI- McKee et al., 1993)
- Index of Moisture adequacy (IMA- Sastri, 1993)

Ο υπολογισμός περισσότεροι του ενός δείκτη λειψυδρίας είναι απαραίτητος πριν τη λήψη των τελικών αποφάσεων για τη διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής. Βέβαια, με τον όρο διαχείριση υδατικών πόρων εννοούμε το σύνολο των μέτρων με τα οποία επιδιώκεται η κάλυψη των αναγκών σε νερό στην επιθυμητή

ποσότητα και ποιότητα στον χώρο και στον χρόνο που απαιτείται (Χ. Καραβίτης, 2006).

Οι Δείκτες λειψυδρίας αφομοιώνουν χιλιάδες κομμάτια δεδομένων από τη βροχόπτωση, τη χιονόπτωση, την απορροή και άλλους δείκτες παροχής νερού σε μια μεγάλη κατανοητή εικόνα. Η τιμή του δείκτη λειψυδρίας είναι συνήθως ένας απλός αριθμός, πολύ πιο χρήσιμος από ό, τι τα ανεπεξέργαστα δεδομένα για τη λήψη αποφάσεων.

Υπάρχουν διάφοροι δείκτες που υπολογίζουν το κατά πόσο οι κατακρημνίσεις για μια δεδομένη χρονική περίοδο έχουν παρεκκλίνει από τα καθιερωμένα ιστορικά πρότυπα. Παρά το γεγονός ότι κανένας από τους σημαντικότερους δείκτες είναι εγγενώς ανώτερος από τους υπόλοιπους σε όλες τις περιπτώσεις, κάποιοι δείκτες είναι πιο κατάλληλοι από άλλους για ορισμένες χρήσεις. Για παράδειγμα, ο Δείκτης λειψυδρίας Palmer έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως από το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α. για να προσδιορίσει πότε θα χορηγήσει βοήθεια έκτακτης ανάγκης κατά της λειψυδρίας, αλλά ο Δείκτης Palmer είναι καλύτερος όταν χρησιμοποιείται σε μεγάλες περιοχές με ενιαία τοπογραφία. Στις Δυτικές πολιτείες, με ορεινό έδαφος και το αποτέλεσμα πολύπλοκων τοπικών μικροκλίματων, θεωρούν χρήσιμο να συμπληρώσουν τις τιμές του Palmer με άλλους δείκτες, όπως το Δείκτη *Surface Water Supply*, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του τη χιονόπτωση και άλλες ιδιαίτερες συνθήκες.

Το Εθνικό Κέντρο για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας χρησιμοποιεί ένα νέο δείκτη, τον *Standardized Precipitation Index*, για να παρακολουθεί τις συνθήκες ανεφοδιασμού της υγρασίας. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού του δείκτη είναι ότι εντοπίζει τους μήνες με λειψυδρία νωρίτερα από το Δείκτη Palmer και ότι υπολογίζεται σε διάφορες χρονικές κλίμακες.

Οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούν χρήσιμο να συμβουλευτούν έναν ή περισσότερους δείκτες πριν από τη λήψη μιας απόφασης. Αυτό που ακολουθεί είναι μια εισαγωγή σε κάθε ένα από τους σημαντικότερους δείκτες λειψυδρίας που χρησιμοποιούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Αυστραλία.

Percent of Normal

Επισκόπηση: Ο δείκτης *Percent of Normal* είναι ένας απλός υπολογισμός καλά προσαρμοσμένος στις ανάγκες των δελτίων καιρού της τηλεόρασης και του ευρέος κοινού.

Πλεονεκτήματα: Πολύ αποτελεσματικός για τη σύγκριση μίας περιοχής ή εποχής.

Μειονεκτήματα: Εύκολα «παρεξηγήσιμος», ως συνήθως είναι ένα μαθηματικό κατασκεύασμα το οποίο δεν αντιστοιχεί αναγκαστικά με αυτό που περιμένουμε να είναι οι καιρικές συνθήκες.

Το *Percent of Normal* (ποσοστό της κανονικής βροχόπτωσης) είναι μια από τις απλούστερες μετρήσεις βροχόπτωσης σε μια θέση. Αναλύσεις που χρησιμοποιούν *Percent of Normal* είναι πολύ αποτελεσματικές όταν χρησιμοποιούνται για μία μόνο περιοχή ή μια ενιαία εποχή. Ο *Percent of Normal* γίνεται εύκολα δυσνόητος και δίνει διαφορετικές ενδείξεις των συνθηκών, ανάλογα με την τοποθεσία και την εποχή. Υπολογίζεται διαιρώντας την πραγματική βροχόπτωση με τη κανονική βροχόπτωση (ο μέσος όρος 30 ετών) και πολλαπλασιάζοντας επί 100%. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί για ποικίλες χρονικές κλίμακες. Συνήθως αυτές οι χρονικές κλίμακες κυμαίνονται από ένα μήνα σε μια ομάδα μηνών που αντιπροσωπεύουν μια συγκεκριμένη εποχή, σε ένα έτος ή έτος νερού. Η κανονική βροχόπτωση για μια συγκεκριμένη θέση θεωρείται ότι είναι 100%.

Ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης του *Percent of Normal* είναι ότι η μέση τιμή ή ο μέσος όρος της κατακρήμνισης δεν είναι

συχνά ίδιο με τη διάμεση βροχόπτωση, που είναι τιμή που υπερβαίνει το 50% των περιστατικών βροχόπτωση σε μια μακροπρόθεσμη καταγραφή κλίματος. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι επειδή οι βροχοπτώσεις σε μηνιαία ή εποχιακή κλίμακα δεν έχουν κανονική κατανομή. Η χρήση του *Percent of Normal* συνεπάγεται ύπαρξη κανονικής κατανομής, όπου η μέση και η διάμεση τιμή θεωρούνται ίσες. Ένα παράδειγμα της σύγχυσης που αυτό θα μπορούσε να δημιουργήσει μπορεί να εξηγηθεί πολύ εύκολα από τη μακροχρόνια καταγραφή βροχοπτώσεων στη Μελβούρνη της Αυστραλίας, για το μήνα Ιανουάριο.

Η διάμεσος της βροχόπτωσης Ιανουαρίου είναι 36 χιλιοστά (1,4 ίντσες), που σημαίνει ότι στα μισά χρόνια λιγότερο από 36 χιλιοστά κατεγράφησαν ενώ στα μισά χρόνια κατεγράφησαν πάνω από 36 χιλιοστά βροχόπτωσης. Ωστόσο, ένα μηνιαίο συνολικό βροχόπτωσης Ιανουαρίου της τάξης των 36 χιλιοστών θα είναι μόνο το 75% της κανονικής, σε σύγκριση με τη μέση τιμή, η οποία συχνά θεωρείται ότι είναι αρκετά ξηρή (dry). Λόγω της ποικιλίας στα αρχεία βροχόπτωση με την πάροδο του χρόνου και τη θέση, δεν υπάρχει κανένας τρόπος να καθοριστεί η συχνότητα των παρεκκλίσεων από το κανονικό ή συγκριθούν διαφορετικές τοποθεσίες. Αυτό το καθιστά δύσκολο να συνδεθεί μια παρεκκλίνουσα τιμή με ειδική επίπτωση επέρχεται ως αποτέλεσμα απόκλισης, αναστέλλοντας τόσο τις προσπάθειες για μείωση των κινδύνων λειψυδρίας με βάση τις παρεκκλίσεις από το κανονικό όσο και τη δημιουργία ενός σχεδίου αντίδρασης (Willeke et al., 1994).

Standardized Precipitation Index (SPI- Δείκτης κανονικοποιημένης βροχόπτωσης)

Επισκόπηση: ο SPI είναι ένας δείκτης που βασίζεται στην πιθανότητα βροχόπτωσης για κάθε χρονική κλίμακα

Πλεονεκτήματα: Ο SPI μπορεί να υπολογιστεί για διαφορετικές χρονικές κλίμακες, μπορεί να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση για τη λειψυδρία και θα συμβάλλει στην εκτίμηση της σοβαρότητας της λειψυδρίας, και είναι λιγότερο πολύπλοκος από τον Palmer. Πολλοί αναλυτές της λειψυδρίας εκτιμούν την ευελιξία του SPI.

Μειονεκτήματα: Οι τιμές που βασίζονται σε αρχικά δεδομένα μπορούν να αλλάξουν.

Η κατανόηση ότι το έλλειμμα των κατακρημνισμάτων έχει διαφορετικές επιπτώσεις στα υπόγεια ύδατα, στη δεξαμενή αποθήκευσης, την υγρασία του εδάφους, τη χιονόπτωση και τα υδατορεύματα οδήγησε τους McKee, Doesken, Kleist να αναπτύξουν τον SPI το 1993. Ο SPI έχει σχεδιαστεί για την ποσοτικοποίηση του ελλείμματος βροχοπτώσεων για πολλαπλές χρονικές κλίμακες. Αυτές οι χρονικές κλίμακες αντανakλούν τις επιπτώσεις της λειψυδρίας στη διαθεσιμότητα των διαφόρων υδάτινων πόρων. Συνθήκες υγρασίας του εδάφους ανταποκρίνονται στις μεταβολές της βροχόπτωσης σε μια σχετικά μικρή κλίμακα. Τα υπόγεια ύδατα, η ροή του ποταμού και η δεξαμενή αποθήκευσης αντανakλούν τις μακροπρόθεσμες μεταβολές των κατακρημνισμάτων. Για αυτούς τους λόγους ο McKee et al. (1993) υπολόγισε αρχικά τον SPI για 3 -, 6 -, 12 -, 24 -, και 48μηνες χρονικές κλίμακες.

Ο υπολογισμός του SPI σε οποιαδήποτε θέση βασίζεται στη μακροχρόνια καταγραφή βροχόπτωσης για την επιθυμητή περίοδο. Αυτή η μακροπρόθεσμη καταγραφή έχει προσαρμοστεί σε μια κατανομή πιθανοτήτων, η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε κανονική κατανομή, έτσι ώστε η μέση τιμή του SPI για τη θέση και το επιθυμητό χρονικό διάστημα να είναι μηδέν (Edwards και McKee, 1997). Θετικές τιμές του SPI υποδεικνύουν μεγαλύτερη από ό, τι τη διάμεση τιμή βροχόπτωσης και οι αρνητικές τιμές σημαίνουν λιγότερο από το τη διάμεση τιμή βροχόπτωσης. Επειδή ο SPI κανονικοποιείται, τα πιο βροχερά και ξηρότερα κλίματα μπορούν να παρουσιάζονται με

τον ίδιο τρόπο και οι υγρές περιόδους μπορεί επίσης να παρακολουθούνται με χρήση του SPI.

Ο McKee et al. (1993) χρησιμοποίησε το σύστημα ταξινόμησης που παρατίθεται στον πίνακα με τις τιμές του SPI για τον καθορισμό της έντασης λειψυδρίας όπως αυτή προκύπτει από τη χρήση του SPI. Ο McKee et al. (1993) όρισε επίσης τα κριτήρια για εκδήλωση της λειψυδρίας για οποιαδήποτε από τις χρονικές κλίμακες. Λειψυδρία εμφανίζεται κάθε φορά που το SPI είναι συνεχώς αρνητικός και είναι ίσο ή μικρότερο του -1,0. Η εκδήλωση λειψυδρίας τελειώνει όταν ο SPI γίνεται θετικός. Κάθε περίπτωση λειψυδρίας, ως εκ τούτου, έχει χρονική διάρκεια που καθορίζεται από την αρχή και το τέλος της, και μια τιμή έντασης για κάθε μήνα που το φαινόμενο συνεχίζεται. Το θετικό άθροισμα των τιμών του SPI για όλους τους μήνες σε μια περίπτωση λειψυδρίας μπορεί να ονομαστεί «μέγεθος» της λειψυδρίας.

Με βάση την ανάλυση των σταθμών σε όλο το Κολοράντο, ο McKee διαπίστωσε ότι ο SPI είναι ήπια λειψυδρία 24% του χρόνου, μέτρια λειψυδρία 9,2% του χρόνου, σοβαρή λειψυδρία 4,4% του χρόνου και σε ακραίες συνθήκες λειψυδρίας 2,3% του χρόνου (McKee et al., 1993). Επειδή ο SPI είναι κανονικοποιημένος, αυτά τα ποσοστά εξάγονται από κανονική κατανομή του SPI. Το 2,3% των τιμών SPI στο πλαίσιο της κατηγορίας "ακραία λειψυδρία" είναι ένα ποσοστό που συνήθως αναμένεται για μια «ακραία» περίπτωση (Wilhite 1995). Αντίθετα, ο δείκτης Palmer φτάνει στην «ακραία» κατηγορία πάνω από το 10% του χρόνου σε τμήματα της κεντρικής Great Plains. Αυτή η κανονικοποίηση επιτρέπει στον SPI να προσδιορίζει τη σπανιότητα της τρέχουσας λειψυδρίας, καθώς και τη πιθανότητα της απαραίτητης βροχόπτωσης για να τερματιστεί η τρέχουσα λειψυδρία (McKee et al., 1993).

Ανάπτυξη: T.B. McKee, NJ Doesken, και J. Kleist, Colorado State University, 1993.

Δείκτης Palmer Drought Severity (PDSI)

Επισκόπηση: Ο Palmer είναι ένας αλγόριθμος εδαφικής υγρασίας βαθμονομημένος για σχετικά ομοιογενείς περιοχές.

Ποιος το χρησιμοποιεί: Πολλές κρατικές υπηρεσίες και πολιτείες των ΗΠΑ βασίζονται στον Palmer για την ενεργοποίηση των προγραμμάτων αντιμετώπισης της λειψυδρίας.

Πλεονεκτήματα: Ο πρώτος ολοκληρωμένος δείκτης λειψυδρίας που αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Μειονεκτήματα: Οι τιμές του δείκτη Palmer ενδέχεται να αποκλίνουν στην πρόβλεψη ξηρασίας κατά αρκετούς μήνες. Είναι λιγότερο κατάλληλος για τις ορεινές περιοχές της γης ή για περιοχές με συχνά ακραία κλιματικά φαινόμενα. Έχει μια απροσδιόριστη, ενσωματωμένη χρονική κλίμακα που μπορεί να είναι παραπλανητική.

Ανάπτυξη: W.C. Palmer, 1965

Το 1965, ο W.C. Palmer ανέπτυξε ένα δείκτη για τη μέτρηση της απόκλισης του ανεφοδιασμού σε υγρασία (Palmer, 1965). Ο Palmer βάσισε τον δείκτη του στην έννοια του ανεφοδιασμού και της ζήτησης της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου, λαμβάνοντας υπόψη περισσότερα από ό, τι μόνο το έλλειμμα βροχοπτώσεων σε συγκεκριμένες θέσεις. Ο στόχος του (PDSI) ήταν να προσφέρει μετρήσεις της υγρασίας που ήταν κανονικοποιημένες, έτσι ώστε οι συγκρίσεις με τη χρήση του δείκτη θα μπορούσε να γίνουν μεταξύ τοποθεσιών και μηνών (Palmer 1965).

Ο PDSI είναι ένας μετεωρολογικός δείκτης λειψυδρίας, και ανταποκρίνεται στις καιρικές συνθήκες που χαρακτηρίζονται ασυνήθιστα ξηρές ή υγρές. Όταν οι συνθήκες αλλάζουν, από ξηρές σε κανονικές ή υγρές, για παράδειγμα, η λειψυδρία που μετράται από τον PDSI τελειώνει χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η απορροή, η στάθμη της λίμνης και της αποθηκευτικής δεξαμενής και άλλες

μακροπρόθεσμες επιπτώσεις υδρολογικών επιπτώσεων (Karl και Knight, 1985).

Ο PDSI υπολογίζεται με βάση τη βροχόπτωση και τα δεδομένα της θερμοκρασίας, καθώς και την εδαφική τοπική διαθέσιμη περιεκτικότητα σε νερό (AWC). Από τα δεδομένα που εισάγουμε μπορούν να προσδιοριστούν όλοι οι βασικοί όροι της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου, συμπεριλαμβανομένων της εξατμισοδιαπνοής, της επαναφόρτισης του εδάφους, της απορροής και της απώλειας υγρασίας από το επιφανειακό στρώμα. Οι ανθρώπινες επιπτώσεις στο υδατικό ισοζύγιο, όπως η άρδευση, δεν λαμβάνονται υπόψη. Πλήρεις περιγραφές των εξισώσεων αναφέρονται στην αρχική μελέτη Palmer (1965) και στην πιο πρόσφατη ανάλυση Alley (1984).

Ο Palmer ανέπτυξε τον PDSI ώστε να περιλαμβάνει τη διάρκεια μιας λειψυδρίας (wet spell). Κίνητρό του ήταν τα εξής: ένας ασυνήθιστα υγρός μήνας στα μέσα μιας μακροχρόνιας λειψυδρίας δεν θα πρέπει να έχει σημαντική επίπτωση στο δείκτη, ή μια σειρά από μήνες με σχεδόν φυσιολογική βροχόπτωση μετά από σοβαρή λειψυδρία δεν σημαίνει ότι η λειψυδρία έχει τελειώσει. Ως εκ τούτου, ο Palmer ανέπτυξε τα κριτήρια για να προσδιορίσει πότε μια λειψυδρία ή υγρή περίοδος αρχίζει και πότε τελειώνει, τα οποία προσαρμόζουν τον PDSI αναλόγως. Ο Palmer (1965) περιέγραψε την προσπάθεια αυτή και έδωσε παραδείγματα, καθώς επίσης περιγράφεται λεπτομερώς από τον Alley (1984). Σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, ο δείκτης Palmer δεν είναι πλέον ένας μετεωρολογικός δείκτης, αλλά γίνεται ένας υδρολογικός δείκτης που αναφέρεται ως ο *Palmer Hydrological Drought* δείκτης (PHDI), επειδή βασίζεται στην εισροή υγρασίας (βροχοπτώσεις), εκροή, αποθήκευση και δεν λαμβάνει υπόψη τη μακροπρόθεσμη τάση (Karl και Knight, 1985).

Το 1989, μια τροποποιημένη μέθοδος για τον υπολογισμό του PDSI ξεκίνησε (Heddinghaus και Sabol, 1991). Αυτός ο τροποποιημένος PDSI διαφέρει από τον PDSI κατά τη διάρκεια μεταβατικών περιόδων μεταξύ ξηρών και υγρών περιόδων (dry and wet spells). Λόγω των ομοιοτήτων μεταξύ αυτών των δεικτών Palmer, οι όροι Palmer Δείκτης και Palmer Drought Δείκτης έχουν χρησιμοποιηθεί για να περιγράψουν τα γενικά χαρακτηριστικά των δύο δεικτών.

Ο Δείκτης Palmer κυμαίνεται περίπου μεταξύ -6,0 και 6,0. Ο Palmer επιλεγεί αυθαίρετα την κλίμακα ταξινόμησης των συνθηκών υγρασίας βασισμένος στις αρχικές περιοχές μελέτης στην κεντρική Αϊόβα και το δυτικό Κάνσας (Palmer, 1965). Ιδανικά ο δείκτης Palmer είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε ένα -4,0 στη Νότια Καρολίνα να έχει την ίδια έννοια, όσον αφορά την μείωση της υγρασίας υπό κανονικές κλιματολογικές συνθήκες, όπως ένα -4,0 στο Idaho (Alley, 1984). Ο Δείκτης Palmer συνήθως υπολογιζόταν σε μηνιαία βάση, με αποτέλεσμα να υπάρχουν στο *National Climatic Data Center* σε αρχεία μηνιαίων τιμών PDSI, για κάθε τμήμα του κλίματος στις Ηνωμένες Πολιτείες, από το 1895 μέχρι και σήμερα. Επιπλέον, οι εβδομαδιαίες τιμές του Δείκτη Palmer (στην πραγματικότητα τροποποιημένες PDSI τιμές) υπολογίζονται για τα τμήματα του κλίματος κατά τη διάρκεια κάθε καλλιεργητικής περιόδου και είναι διαθέσιμα στο Εβδομαδιαίο Δελτίο Καιρού και των καλλιεργειών.

Ο Δείκτης Palmer είναι δημοφιλής και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για μια ποικιλία εφαρμογών σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες. Είναι πιο αποτελεσματικός στη μέτρηση των επιπτώσεων ευαίσθητων στις συνθήκες υγρασίας του εδάφους, όπως είναι η γεωργία (Willeke et al., 1994). Είναι επίσης χρήσιμο ως εργαλείο παρακολούθησης της λειψυδρίας και έχει χρησιμοποιηθεί για να ξεκινήσουν ενέργειες που σχετίζονται σχέδια έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας (Willeke et al., 1994). Ο Alley (1984) προσδιόρισε τρία

θετικά χαρακτηριστικά του Δείκτη Palmer που συμβάλλουν στη δημοτικότητά του: (1) παρέχει στους υπευθύνους λήψης αποφάσεων, μια μέτρηση της μεταβολής των καιρικών συνθηκών σε μια περιοχή (2) παρέχει μια ευκαιρία να τοποθετηθούν οι τρέχουσες συνθήκες σε ιστορική προοπτική και (3) παρέχει χωρικές και χρονικές απεικονίσεις της λειψυδρίας ιστορικά. Αρκετές πολιτείες, συμπεριλαμβανομένων της Νέας Υόρκης, Κολοράντο, Αϊντάχο και Γιούτα, χρησιμοποιούν το Δείκτη Palmer ως μέρος των συστημάτων παρακολούθησης της λειψυδρίας τους.

Υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί κατά τη χρήση του Δείκτη Palmer, οι οποίοι περιγράφονται λεπτομερώς από Alley (1984) και Karl και Knight (1985). Στα Μειονεκτήματα του Δείκτη Palmer περιλαμβάνονται:

- Οι τιμές ποσοτικοποίησης της έντασης της λειψυδρίας και σηματοδότησης της έναρξης και του τέλος μιας λειψυδρίας ή υγρής περιόδου επιλέχθηκαν αυθαίρετα με βάση τη μελέτη του Palmer στην κεντρική Αϊόβα και δυτικό Κάνσας και έχουν μειωμένη επιστημονική έννοια.
- Ο Δείκτης Palmer είναι ευαίσθητος στην περιεκτικότητα σε νερό του τύπου του εδάφους. Έτσι, η εφαρμογή του δείκτη για ένα τμήμα του κλίματος μπορεί να είναι πολύ γενική.
- Τα δύο εδαφικά στρώματα εντός των υπολογισμών του υδατικού ισοζυγίου είναι απλοποιημένα και μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά για μια θέση
- Χιονόπτωση, χιονοκάλυψη και παγωμένο έδαφος δεν περιλαμβάνονται στο δείκτη. Όλες οι κατακρημνίσεις αντιμετωπίζονται ως βροχή, έτσι ώστε η χρονική στιγμή των PDSI ή PHDI τιμών ενδέχεται να είναι ανακριβείς κατά τους χειμερινούς και ανοιξιότικους μήνες στις περιοχές όπου εμφανίζεται χιόνι.
- Η φυσική υστέρηση από τη στιγμή της βροχόπτωσης μέχρι να προκύψει απορροή δεν συμπεριλαμβάνεται. Επιπλέον, δεν

επιτρέπεται να λάβει χώρα στο μοντέλο απορροή μέχρι τα επιφανειακά και υπόγεια στρώματα του εδάφους είναι πλήρη σε νερό, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε υποτίμηση των απορροών.

Δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται με τη μέθοδο Thornthwaite. Η τεχνική αυτή έχει ευρεία αποδοχή, αλλά εξακολουθεί να είναι μόνο μια προσέγγιση.

Αρκετοί άλλοι ερευνητές έχουν υποβάλει επιπλέον περιορισμούς του Δείκτη Palmer. Ο McKee et al. (1995) πρότεινε ότι ο PDSI έχει σχεδιαστεί για τη γεωργία, αλλά δεν αντιπροσωπεύει με ακρίβεια τις υδρολογικές επιπτώσεις που προκύπτουν από μεγάλες ξηρασίες. Επίσης, ο δείκτης Palmer εφαρμόζεται εντός των Ηνωμένων Πολιτειών, αλλά δεν έχει μεγάλη αποδοχή αλλού (Kogan, 1995). Μια εξήγηση για αυτό δόθηκε από τον Smith et al. (1993), ο οποίος πρότεινε ότι ο Palmer δείκτης δεν ανταποκρίνεται καλά σε περιοχές όπου υπάρχουν ακραίες μεταβολές της βροχόπτωσης και της απορροής. Παραδείγματα στην Αυστραλία και τη Νότιο Αφρική δόθηκαν. Μια άλλη αδυναμία του Δείκτη Palmer είναι ότι η ταξινόμηση της λειψυδρίας ως «ακραία» και «σοβαρή» εμφανίζεται με μεγαλύτερη συχνότητα σε ορισμένες περιοχές της χώρας από ό, τι σε άλλες (Willeke et al., 1994). Οι ακραίες λειψυδρίες στην Great Plains εμφανίζονται με συχνότητα μεγαλύτερη από 10%. Το γεγονός αυτό περιορίζει την ακρίβεια της σύγκρισης της έντασης των ξηρασιών μεταξύ των δύο περιοχών και δυσχεραίνει τον προγραμματισμό δράσεων κατά της λειψυδρίας.

Crop Moisture Index (CMI)

Ένα παράγωγο του Palmer, ο CMI αντανakλά τον ανεφοδιασμό υγρασίας σε σύντομο χρονικό διάστημα σε μεγάλες καλλιεργητικές

περιοχές και δεν έχει σκοπό να αξιολογήσει τη μακροπρόθεσμη λειψυδρία.

Πλεονεκτήματα: Προσδιορίζει πιθανές γεωργικές λειψυδρίες

Ανάπτυξη: W.C. Palmer, 1968.

Ο Δείκτης CMI χρησιμοποιεί μια μετεωρολογική προσέγγιση για την παρακολούθηση των εβδομαδιαίων συνθηκών καλλιέργειας. Αναπτύχθηκε από τον Palmer (1968) από διαδικασίες στο πλαίσιο του υπολογισμού του PDSI. Ενώ ο PDSI παρακολουθεί μακροχρόνια μετεωρολογικά υγρές και ξηρές περιόδους, ο CMI σχεδιάστηκε για να αξιολογήσει τις βραχυπρόθεσμες συνθήκες υγρασίας σε όλες τις κύριες καλλιεργητικές περιοχές. Βασίζεται στη μέση θερμοκρασία και συνολική βροχόπτωση κάθε εβδομάδας μέσα σε ένα τμήμα του κλίματος, καθώς και στην τιμή του CMI από την προηγούμενη εβδομάδα. Ο CMI ανταποκρίνεται γρήγορα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες και είναι σταθμισμένος με βάση την τοποθεσία και την ώρα, έτσι ώστε χάρτες, που εμφανίζουν συνήθως την εβδομαδιαία τιμή CMI στις Ηνωμένες Πολιτείες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συγκρίνουν τις συνθήκες υγρασίας σε διαφορετικές θέσεις.

Επειδή έχει σχεδιαστεί για να παρακολουθούν τις βραχυπρόθεσμες συνθήκες υγρασίας που επηρεάζουν την ανάπτυξη των καλλιεργειών, ο CMI δεν είναι ένα καλό μακροπρόθεσμο εργαλείο παρακολούθησης της λειψυδρίας. Η άμεση αντίδραση του CMI στις αλλαγές των βραχυπρόθεσμων συνθηκών μπορεί να οδηγήσει σε παραπλανητικές πληροφορίες σχετικά με τις μακροπρόθεσμες συνθήκες. Για παράδειγμα, μια ευεργετική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια μιας λειψυδρίας μπορεί να επιτρέψει στην τιμή του CMI να υποδείξει κατάλληλες συνθήκες υγρασίας, ενώ η μακροχρόνια λειψυδρία σε αυτή τη θέση εξακολουθεί να υφίσταται. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του CMI που περιορίζει τη χρήση του ως ένα μακροπρόθεσμο εργαλείο παρακολούθησης της

λειψυδρίας είναι ότι ο CMI συνήθως ξεκινά και τελειώνει κάθε καλλιεργητική περίοδο με τιμή κοντά στο μηδέν. Αυτός ο περιορισμός εμποδίζει τον CMI από το να χρησιμοποιηθεί για να παρακολουθεί τις συνθήκες υγρασίας εκτός της γενικής καλλιεργητικής περιόδου, ιδιαίτερα σε ξηρασίες που εκτείνονται σε διάστημα πολλών ετών. Ο CMI, επίσης, μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμος κατά τη διάρκεια βλάστησης των σπόρων στην έναρξη της καλλιεργητικής περιόδου.

Surface Water Supply

Ο SWSI έχει σχεδιαστεί για να συμπληρώσει τον Palmer στην πολιτεία του Κολοράντο, όπου η ορεινή χιονοκάλυψη αποτελεί βασικό στοιχείο της ύδρευσης. Υπολογίζεται ανά λεκάνη απορροής ποταμού, με βάση τη χιονοκάλυψη, την απορροή, τη βροχόπτωση και την αποθηκευτική δεξαμενή.

Πλεονεκτήματα: Αντιπροσωπεύει μοναδικές συνθήκες ύδρευσης για κάθε λεκάνη απορροής.

Μειονεκτήματα: Η αλλαγή σταθμού συλλογής δεδομένων ή διαχείρισης των υδάτων απαιτεί τον υπολογισμό νέων αλγορίθμων, επιπλέον ο δείκτης είναι μοναδικός για κάθε λεκάνη απορροής γεγονός που περιορίζει τις συγκρίσεις εσωτερικά της λεκάνης.

Ο Δείκτης SWSI αναπτύχθηκε από τους Shafer και Dezman (1982) για να συμπληρώσει το δείκτη Palmer για τις συνθήκες υγρασίας σε ολόκληρη την πολιτεία του Κολοράντο. Ο Δείκτης Palmer είναι βασικά ένας αλγόριθμος υγρασίας του εδάφους βαθμονομημένος για σχετικά ομοιογενείς περιοχές, αλλά δεν έχει σχεδιαστεί για μεγάλες τοπογραφικές διαφορές που πιθανόν να υπάρχουν σε μια περιοχή και δεν συνυπολογίζει τη συσσώρευση του χιονιού και τα ακόλουθα φαινόμενα απορροής. Οι Shafer και Dezman σχεδίασαν τον SWSI να είναι ένας δείκτης των συνθηκών των επιφανειακών υδάτων και περιγράφεται ως ο δείκτης

διαθεσιμότητας νερού σε ορεινές περιοχές, στον οποίο η χιονοκάλυψη είναι ένας σημαντικός παράγοντας.

Ο στόχος του SWSI ήταν να ενσωματώσει τόσο τα υδρολογικά όσο και τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά σε μια ενιαία τιμή του δείκτη που μοιάζει με το Δείκτη Palmer για κάθε μεγάλη λεκάνη απορροής ποταμού στην πολιτεία του Κολοράντο (Shafer και Dezman 1982). Οι τιμές αυτές θα κανονικοποιηθούν ώστε να επιτρέπουν τη σύγκριση μεταξύ των λεκανών απορροής. Τέσσερα δεδομένα εισόδου απαιτούνται για τον SWSI: χιονοκάλυψη, απορροή, βροχόπτωση και η αποθηκευτική δεξαμενή (reservoir storage). Επειδή εξαρτάται από την εποχή, ο SWSI κατά τη διάρκεια του χειμώνα υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μόνο τη χιονοκάλυψη, τη κατακρήμνιση και τη δεξαμενή αποθήκευσης. Κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών τα υδατορεύματα αντικαθιστούν τον παράγοντα χιονοκάλυψης στην εξίσωση του SWSI.

Η διαδικασία για τον καθορισμό του SWSI για μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής έχει ως εξής: τα μηνιαία στοιχεία συλλέγονται και αθροίζονται από όλους τους σταθμούς κατακρήμνισης, δεξαμενές, και σταθμούς μέτρησης χιονοκάλυψης / υδατορευμάτων της λεκάνης. Κάθε άθροισμα κανονικοποιείται χρησιμοποιώντας μια ανάλυση συχνοτήτων που συλλέχτηκε από μια μακροπρόθεσμη σειρά δεδομένων. Η πιθανότητα της μη υπέρβασης - η πιθανότητα ότι τα μελλοντικά αθροίσματα αυτής της συνιστώσας δεν θα είναι μεγαλύτερα από το τρέχον άθροισμα - καθορίζεται για κάθε συνιστώσα με βάση την ανάλυση συχνοτήτων. Αυτό επιτρέπει να πραγματοποιηθεί η σύγκριση πιθανοτήτων μεταξύ των συνιστωσών. Σε κάθε συνιστώσα έχει δοθεί ένα βάρος, ανάλογα με τη συμβολή της στα επιφανειακά ύδατα εντός της λεκάνης, και αυτές οι σταθμισμένες συνιστώσες αθροίζονται για να καθορίσουν μια SWSI τιμή που αντιπροσωπεύει ολόκληρη τη λεκάνη. Όπως και ο

Δείκτης Palmer έτσι και ο SWSI παίρνει τιμές κοντά στο μηδέν και έχει ένα εύρος μεταξύ -4,2 και 4,2.

Ο SWSI έχει χρησιμοποιηθεί, μαζί με το Δείκτη Palmer για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του Σχεδίου Λειψυδρίας στο Κολοράντο. Ένα από τα πλεονεκτήματά του είναι ότι είναι απλό να υπολογιστεί και να δίνει μια αντιπροσωπευτική μέτρηση των ανεφοδιασμών των επιφανειακών υδάτων σε ολόκληρη την πολιτεία. Έχει τροποποιηθεί και εφαρμοστεί και σε άλλες δυτικές πολιτείες, όπως το Όρεγκον, Μοντάνα, Αϊντάχο και Γιούτα.

Αρκετά χαρακτηριστικά του SWSI περιορίζουν την εφαρμογή του. Επειδή ο υπολογισμός SWSI είναι μοναδικός για κάθε λεκάνη απορροής ή περιοχή, είναι δύσκολο να συγκριθούν οι SWSI τιμές μεταξύ λεκανών ή περιοχών (Doesken et al., 1991). Μέσα σε μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής ή περιοχή, τη διακοπή οποιουδήποτε σταθμού σημαίνει ότι οι νέοι σταθμοί θα πρέπει να προστεθούν στο σύστημα και νέες κατανομές συχνοτήτων πρέπει να καθοριστούν για τη συγκεκριμένη συνιστώσα. Πρόσθετες αλλαγές στη διαχείριση του νερού μέσα σε μια λεκάνη, όπως οι εκτροπές της ροής ή νέων δεξαμενών, σημαίνει ότι το όλος ο SWSI αλγόριθμος για την εν λόγω λεκάνη, χρειάζεται να επανασχεδιασθεί για να ληφθούν υπόψη οι αλλαγές στο βάρος κάθε συνιστώσας. Επομένως, είναι δύσκολο να διατηρηθεί μία ομοιογενή χρονοσειρά του δείκτη (Heddinghaus και Sabol, 1991). Ακραία φαινόμενα μπορούν επίσης να προκαλέσουν κάποιο πρόβλημα, αν τα γεγονότα είναι πέρα από τις ιστορικές χρονοσειρές, και ο δείκτης θα πρέπει να επαναξιολογηθεί για να συμπεριλάβει αυτά τα γεγονότα στην κατανομή συχνοτήτων μιας συνιστώσας της λεκάνης.

Reclamation Drought Index

Επισκόπηση: Όπως και το SWSI, το RDI υπολογίζεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού, που ενσωματώνει τη

θερμοκρασία καθώς και την καθίζηση, τη χιονοκάλυψη, την απορροή σε βάση δεδομένων εισόδου.

Πλεονεκτήματα: περιλαμβάνοντας τιμές θερμοκρασίας, αντιπροσωπεύει κατά κάποιο τρόπο και την εξάτμιση

Μειονεκτήματα: Επειδή ο δείκτης είναι μοναδικός για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού, είναι περιορισμένες οι συγκρίσεις μεταξύ λεκανών.

Ο RDI πρόσφατα αναπτύχθηκε ως ένα εργαλείο για τον καθορισμό της σοβαρότητας και διάρκειας της ξηρασίας, καθώς και για την πρόβλεψη της έναρξης και λήξης των περιόδων ξηρασίας. Η ώθηση για την εκπόνηση του RDI έγινε το 1988 και επιτρέπει στα κράτη να ζητήσουν βοήθεια από το Προεδρείο του Βελτιώσεων για την άμβλυνση των επιπτώσεων της ξηρασίας.

Όπως και το SWSI, το RDI υπολογίζεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού, και ενσωματώνει τη βροχοπτώση, τη χιονοκάλυψη, την απορροή και τα επίπεδα στους ταμιευτήρες. Ο RDI διαφέρει από το SWSI δεδομένου ότι χτίζει μια θερμοκρασία που βασίζεται με συνιστώσα τη ζήτηση και τη διάρκεια στο δείκτη, επιπλέον ο RDI μπορεί να προσαρμοστεί σε κάθε συγκεκριμένη περιοχή και η ικανότητά του είναι να λαμβάνει υπόψη το κλίμα σε συνδυασμό με τη διαθεσιμότητα σε νερό.

Deciles

Επισκόπηση: Ομαδοποιημένες μηνιαίες βροχοπτώσεις που βασίζονται σε δεκατημόρια και εξ'ορισμού δεν είναι αντιπροσωπευτικές και δε μπορεί να συμβεί συχνότερα από το 20% του χρόνου.

Πλεονεκτήματα: Παρέχει μια ακριβή στατιστική μέτρηση της βροχόπτωσης.

Μειονεκτήματα: Ακριβείς υπολογισμοί απαιτούν μια μακρά βάση δεδομένων όσον αφορά το κλίμα.

Η καταγραφή μηνιαίων στοιχείων βροχοπτώσεων σε δεκατημόρια είναι μια από τις τεχνικές παρακολούθησης της ξηρασίας. Αυτό αναπτύχθηκε από τους Gibbs και Maher (1967) για να αποφευχθούν μερικές από τις αδυναμίες στο πλαίσιο της προσέγγισης "επί τοις εκατό των κανονικών». Η τεχνική που αναπτύχθηκε καταγράφει την κατανομή των περιστατικών κατά τη διάρκεια μιας μακροχρόνιας περιόδου υψηλών βροχοπτώσεων σε δέκατα της διανομής. Ονόμασαν κάθε μία από αυτές τις κατηγορίες *δεκατημόριο*. Το πρώτο δεκατημόριο είναι το σύνολο των βροχοπτώσεων και δεν υπερβαίνει το χαμηλότερο 10% των περιστατικών βροχόπτωσης. Το δεύτερο δεκατημόριο είναι η συνολική βροχόπτωση που δεν υπερβαίνει το χαμηλότερο 20% των περιστατικών. Αυτά τα δεκατημόρια συνεχίζονται μέχρι το σύνολο της βροχόπτωσης που προσδιορίζονται από το δέκατο δεκατημόριο και είναι το μεγαλύτερο ποσό βροχοπτώσεων. Εξ ορισμού, το πέμπτο δεκατημόριο είναι το μεσαίο, και αυτό είναι η συνολική βροχόπτωση που δεν υπερβαίνει το 50% των περιστατικών κατά τη διάρκεια της καταγραφής. Ομαδοποιούνται σε πέντε ταξινομήσεις.

Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε ως η μετεωρολογική μέτρηση της ξηρασίας στην Αυστραλία επειδή είναι σχετικά απλό να υπολογίσει και να απαιτεί λιγότερα δεδομένα και λιγότερες υποθέσεις από ό, τι ο Δείκτης Palmer (Smith et al., 1993). Σε αυτό το σύστημα, οι γεωργοί και κτηνοτρόφοι μπορούν να ζητήσουν μόνο τη βοήθεια της κυβέρνησης, εάν η ξηρασία έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα γεγονός που συμβαίνει μόνο μια φορά σε 20-25 χρόνια (δεκατημόρια 1 και 2

πάνω από ένα 100-έτος ρεκόρ) και έχει διαρκέσει περισσότερο από 12 μήνες (White and O'Meagher, 1995)). Αυτή η ομοιομορφία στις ταξινομήσεις της ξηρασίας, σε αντίθεση με ένα σύστημα που βασίζεται στην τοις εκατό των κανονικών βροχοπτώσεων, έχει βοηθήσει τις αρχές της Αυστραλίας για τον προσδιορισμό κατάλληλων απαντήσεων στην αντιμετώπιση της ξηρασίας. Ένα μειονέκτημα συστήματος είναι ότι μια μεγάλη κλιματολογική εγγραφή είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της με ακρίβεια.

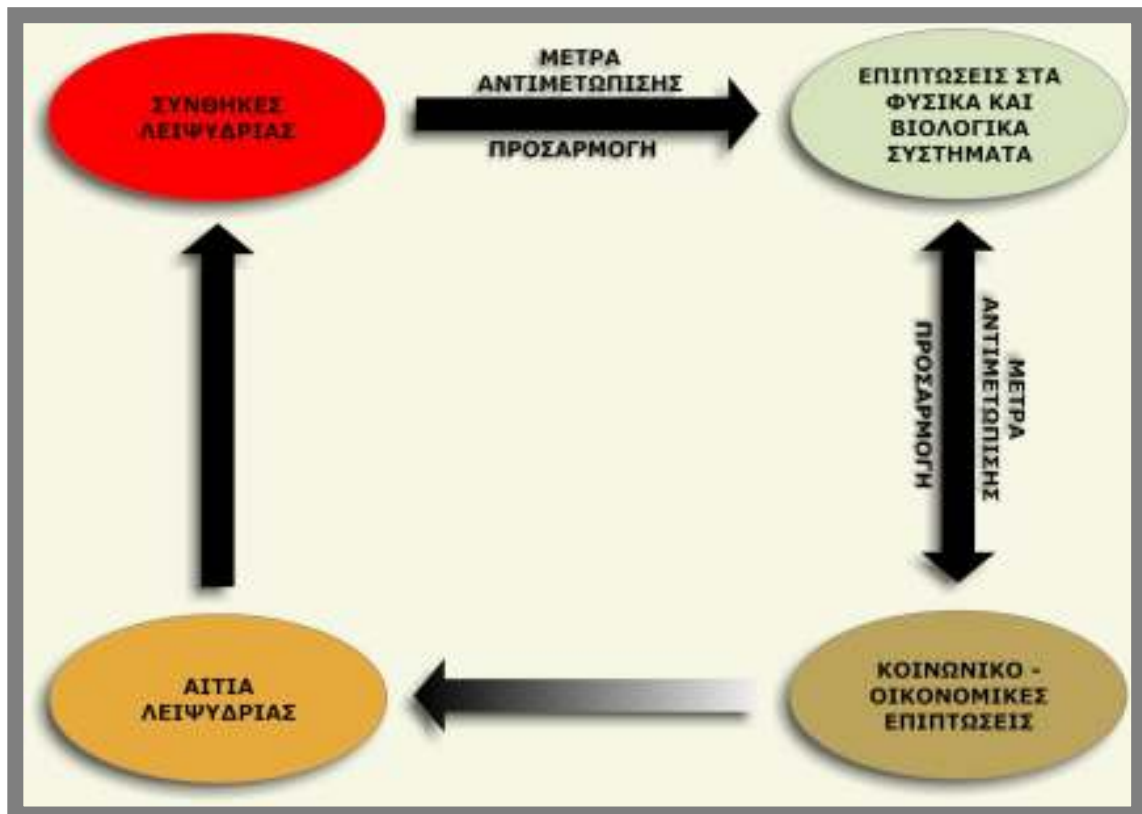
2.5 Συνέπειες της Λειψυδρίας

Τα αποτελέσματα του φαινομένου έχουν αθροιστική δράση σε όλες τις δραστηριότητες και σχετίζονται με την οικονομία του νερού και την κοινωνία. Οι Wilhiteetal., (1987) περιέγραψαν δύο μεθόδους προσέγγισης των αποτελεσμάτων. Σαν πρώτη είναι η προσέγγιση του αιτίου- αιτιατού : η λειψυδρία είναι ένα κλιματικό φαινόμενο που λειτουργεί μοναδικά και έχει κάποιο αποτέλεσμα. Η δεύτερη είναι η προσέγγιση της αλληλεπίδρασης και υποστηρίζει πως ποικίλες διαδικασίες (φυσικές, οικονομικές, κοινωνικές) ίσως επηρεάζουν την μοναδική δράση του φαινομένου και επηρεάσουν και το αποτέλεσμα. Με άλλα λόγια εάν κοινωνικοπολιτικοί και περιβαλλοντικοί λόγοι συνδυαστούν αρνητικά με μια μοναδική λειτουργία ίσως να προκληθεί κρίση. Η δεύτερη προσέγγιση της αλληλεπίδρασης θεωρήθηκε πιο ρεαλιστική, παρουσιάζοντας τα αποτελέσματα του φαινομένου της λειψυδρίας σαν «βαθμούς αλληλεπίδρασης» (Wilhite, D.A. etal., 1987). Από αυτή την άποψη μια πρώτη κατηγοριοποίηση θα ήταν σε πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού αποτελέσματα (Changnon, S.A. andEasterling, W.E., 1989).

Τα αποτελέσματα πρώτου βαθμού σχετίζονται με αλλαγές στον υδρολογικό κύκλο (βροχόπτωση, απορροή, υπεδάφιο νερό, παροχή

ποταμών). Τα αποτελέσματα δευτέρου βαθμού επηρεάζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες (γεωργία, βιομηχανία, μεταφορά, αστική χρήση). Τα αποτελέσματα τρίτου βαθμού μπορούν να θεωρηθούν οι ενέργειες για προσαρμογή απέναντι στα πρώτου και δευτέρου βαθμού αποτελέσματα (έλλειμμα εισοδήματος, ρυθμίσεις στον τρόπο ζωής, ορθολογική οργάνωση). Την ίδια στιγμή τα αποτελέσματα τη λειψυδρίας θα πρέπει να κατηγοριοποιηθούν σε ένα ενιαίο πλαίσιο εργασίας, λιτό και περιεκτικό, έτσι ώστε να οδηγηθούμε σε δυναμικές αντιδράσεις απέναντι στο φαινόμενο (Yevjevich, V. Etal., 1983; Karavitis, C., A., 1999).

Οι Wheaton, E., etal., 2005 υποστηρίζουν πως η λειψυδρία επηρεάζει την κοινωνία έμμεσα ή άμεσα. Χρησιμοποίησαν για τη μελέτη τους ένα ενιαίο πλαίσιο εργασίας, αιτίου αιτιατού, στο οποίο οι παράγοντες που προκαλούν λειψυδρία οδηγούν σε λειψυδρίες διαφόρων χαρακτηριστικών. Οι λειψυδρίες αυτές έχουν βιολογικές και οργανικές επιπτώσεις, οι οποίες στη συνέχεια οδηγούν σε κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Οι προσαρμοσμένες αντιδράσεις στη λειψυδρία λαμβάνουν χώρα σε δύο χρονικές κλίμακες : μια βραχυπρόθεσμη χρονική κλίμακα που λαμβάνει χώρα νωρίς, στην αρχή της λειψυδρίας και μια μακροπρόθεσμη στρατηγική που λαμβάνει χώρα πριν ή μετά το φαινόμενο της λειψυδρίας με σκοπό την αντιμετώπιση αντίστοιχων μελλοντικών φαινομένων. Στην παρακάτω εικόνα δίνεται σχηματικά ο σχεδιασμός. Η προσαρμοστικότητα (adaptation) ορίζεται ως η ρύθμιση-προσαρμογή στα φυσικά ή ανθρώπινα συστήματα, και προκύπτει σαν απάντηση στα πραγματικά ή αναμενόμενα κλιματικά ερεθίσματα (αίτια) ή στα αποτελέσματα τους. Η επιτυχία της προσαρμοστικότητας είναι να μετριάσει τη βλαβερή επίδραση ή να εκμεταλλευτεί τις ευκαιρίες που μπορούν να προκύψουν από ένα φαινόμενο λειψυδρίας (Watsonetal., 2001).



Εικόνα 9. Ένα πλαίσιο αιτίου-αιτιατού ανάμεσα στη γένεση, τα χαρακτηριστικά, τις επιπτώσεις και τα μέτρα αντιμετώπισης της λειψυδρίας. (Wheaton, E. etal., 2005)

Ο Yevjevich ήταν από τους πρώτους που προσπάθησε να δώσει μια πρόβλεψη των ιδιοτήτων της λειψυδρίας, χρησιμοποιώντας την γεωμετρική πιθανολογική κατανομή, ορίζοντας μια λειψυδρία k χρόνων σαν k συνεχόμενα χρόνια κατά τα οποία δεν υπάρχουν επαρκείς υδατικοί πόροι (Yevjevich V., 1967). Χωρίς αμφιβολία ένας ακριβής και ξεκάθαρος ορισμός της λειψυδρίας παραμένει απατηλός (Yevjevich, etal 1983; andGrigg, N.S. 1996; Karavitis, C. A., 1992; 1999).

2.6 Ιστορικό Λειψυδριών στην Κύπρο

Ως την πρώτη χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης που μαστίζεται από το πρόβλημα της λειψυδρίας παρουσιάζεται σε επιστημονικό

επίπεδο η Κύπρος, διευκρινίζοντας ότι η ζήτηση για πόσιμο νερό είναι μεγαλύτερη από τις ποσότητες που μπορούν να προσφέρουν οι φυσικοί πόροι. Το κλίμα της Κύπρου επηρεάζεται από διάφορα καιρικά συστήματα. Τέτοια συστήματα είναι οι αντικυκλώνες ή συστήματα υψηλής πίεσης, οι κυκλώνες ή υφέσεις ή βαρομετρικά χαμηλά, οι μετωπικές υφέσεις, τα θερμά μέτωπα, τα ψυχρά μέτωπα, οι σφήνες χαμηλής πίεσης και οι σφήνες υψηλής πίεσης. Τα συστήματα αυτά σχετίζονται με τα μεγάλα μόνιμα συστήματα πίεσης του Ατλαντικού, της Αφρικής και της Ευρασίας. Τα μόνιμα αυτά καιρικά συστήματα είναι τα εξής:

Το χειμώνα:

- Ο μόνιμος υποτροπικός αντικυκλώνας των Αζορών.
- Ο Σιβηρικός αντικυκλώνας.
- Το βαρομετρικό χαμηλό της ερήμου της Βόρειας Αφρικής και της τροπικής περιοχής του Ατλαντικού.

Το καλοκαίρι:

- Ο μόνιμος υποτροπικός αντικυκλώνας των Αζορών.
- Το βαρομετρικό χαμηλό της νοτιοδυτικής Ασίας.
- Το βαρομετρικό χαμηλό της Σαχάρας.

Το καλοκαίρι η Κύπρος και γενικά η περιοχή της ανατολικής Μεσογείου βρίσκονται κάτω από την επίδραση του εποχιακού βαρομετρικού χαμηλού, που έχει το κέντρο του στη νοτιοδυτική Ασία. Αποτέλεσμα της επίδρασης αυτής είναι οι υψηλές θερμοκρασίες και ο καθαρός ουρανός. Η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή, με μέση τιμή που δεν ξεπερνά το 5% της μέσης ολικής βροχόπτωσης ολόκληρου του χρόνου. Η πιθανότητα να σημειωθεί βροχή με καταιγίδες και χαλάζι το καλοκαίρι είναι σχετικά μικρή. Αυτό συμβαίνει όταν επηρεάζει την Κύπρο κάποιο ασθενές σύστημα

κακοκαιρίας ή δημιουργείται τοπική αστάθεια λόγω της υπερθέρμανσης του εδάφους και της μεγάλης σχετικής υγρασίας του αέρα. Σε τέτοιες περιπτώσεις πέφτουν βροχές κυρίως στις ορεινές περιοχές και στην κεντρική Μεσαορία.

Το χειμώνα η Κύπρος επηρεάζεται από το συχνό πέρασμα μικρών υφέσεων και μετώπων που κινούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και προέρχονται από την κεντρική Μεσόγειο. Αποτέλεσμα των ασταθών αυτών καιρικών συστημάτων είναι τα νέφη, οι βροχές, τα χιόνια, οι καταιγίδες και το χαλάζι. Οι καιρικές αυτές διαταραχές διαρκούν συνήθως από μία μέχρι τρεις μέρες κάθε φορά και δίνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες βροχόπτωσης. Το χειμώνα η Κύπρος επηρεάζεται επίσης από το Σιβηρικό αντικυκλώνα. Πρόκειται για ψυχρές μάζες αέρα που εισβάλλουν στην Κύπρο από τα βόρεια και κάποτε προκαλούν χιονοπτώσεις. Στο τέλος του χειμώνα με αρχές της άνοιξης η Κύπρος επηρεάζεται από υφέσεις που προέρχονται από τις ερήμους της Βόρειας Αφρικής. Αυτές συνήθως μεταφέρουν μαζί τους και σκόνη από τις ερήμους.

Στην Κύπρο οι περισσότερες βροχές πέφτουν από το Νοέμβρη μέχρι το Μάρτη και οφείλονται είτε σε συστήματα χαμηλών ατμοσφαιρικών πιέσεων και μετώπων που κινούνται κυρίως από τα δυτικά προς τα ανατολικά, είτε σε αστάθεια στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Στις αρχές του φθινοπώρου και στο τέλος της άνοιξης αλλά και το καλοκαίρι, πέφτουν βροχές οι οποίες είναι κάποτε ραγδαίες, λόγω κυρίως τοπικής αστάθειας και ανοδικών ρευμάτων που δημιουργούνται από τη θέρμανση του εδάφους.

Η μέση ετήσια βροχόπτωση για ολόκληρη την Κύπρο από το 1951 έως το 2008 (εικόνα 10) ήταν 477 mm. Στην περίοδο αυτή η πιο χαμηλή ετήσια βροχόπτωση σε ένα υδρολογικό έτος (Οκτώβρης-Σεπτέμβρης του επόμενου χρόνου) ήταν 182 mm το 1972-73, και η πιο ψηλή 759 mm το 1968-69. Η επίδραση του ανάγλυφου της

ξηράς πάνω στην κατανομή της βροχόπτωσης είναι σημαντική. Η βροχόπτωση στις νοτιοδυτικές προσηήμες περιοχές αυξάνεται από 450 mm στα παράλια, σε 600 mm στις πλαγιές και στους πρόποδες του Τροόδους και φτάνει τα 1.064 mm στην κορυφή του Ολύμπου. Στις υπήνεμες πλαγιές του Τροόδους η βροχόπτωση ελαττώνεται σταθερά κατεβαίνοντας προς τα βόρεια και τα ανατολικά με τιμές μεταξύ 300 και 400 mm στην κεντρική πεδιάδα και τα νοτιοανατολικά παράλια του νησιού. Η οροσειρά του Πενταδακτύλου προκαλεί επίσης σχετικά μικρή αύξηση στη βροχόπτωση που φτάνει τα 550 mm στις κορυφογραμμές της.



Εικόνα 10. Μέση ετήσια βροχόπτωση της Κύπρου.

Το 2007 η Κύπρος αντιμετώπισε τη χειρότερη υδρολογική χρονιά της τελευταίας εκατονταετίας με ελάχιστη ροή νερού στα φράγματα. Η βροχόπτωση ήταν 272,3 mm, 54% της κανονικής και είχε ως αποτέλεσμα την περιορισμένη ροή νερού στα φράγματα. Τα αποθέματα νερού στα Κυβερνητικά Υδατικά Έργα του Ενιαίου

Σχεδίου Νοτίου Αγωγού είχαν ουσιαστικά εξαντληθεί και για τον λόγο αυτό δεν δόθηκαν καθόλου ποσότητες για άρδευση στις περιοχές που καλύπτονται από το Σχέδιο του Νοτίου Αγωγού για όλες τις φυτείες (μόνιμες, εποχιακές και θερμοκήπια).

Για εξοικονόμηση νερού έγιναν περικοπές στην άρδευση, και στις περιοχές Πάφου και Πόλεως Χρυσοχούς, της τάξης των 80% και 60% αντίστοιχα. Η εισροή νερού στα φράγματα κατά το 2008 (Ιαν. – Δεκ.) ήταν 15,7 m³ και η πληρότητα τους την 01/01/2008 ήταν 25,2 m³ ή 9,2% ενώ την 31/12/2008 ήταν 11,2 m³ ή 4,1% της ολικής χωρητικότητας.

Η Κυπριακή Δημοκρατία ζήτησε οικονομική ενίσχυση από το Ταμείο Αλληλεγγύης της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως βοήθεια για να ανταποκριθεί στις ζημιές που προκάλεσε η περίοδος της εξαιρετικά σοβαρής ξηρασίας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε τη χορήγηση ενίσχυσης €7,6 εκατ. για να βοηθήσει την Κύπρο να καλύψει δαπάνες για επείγοντα μέτρα, όπως η μεταφορά νερού από την Ελλάδα. Αυτή είναι η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε το Ταμείο Αλληλεγγύης για παροχή οικονομικής ενίσχυσης για επείγοντα μέτρα λόγω προβλήματος υπερβολικής ξηρασίας. Ως αποτέλεσμα της μείωσης των βροχοπτώσεων, οι εισροές σε λίμνες, ποτάμια, δεξαμενές και υπόγειων υδροφορέων ήταν μειωμένες αντίστοιχα. Καλλιέργειες, κτηνοτροφία και η άγρια πανίδα επηρεάστηκαν σοβαρά κατά τη διάρκεια της λειψυδρίας. Τέλος η βιομηχανία και οι οικονομικές δραστηριότητες αντιμετωπίζουν έντονη ύφεση.

Λύσεις εισαγωγής νερού από το γειτονικό Λίβανο αναζητά ο Υπουργός Γεωργίας της Κύπρου μετά τα συνεχόμενα κύματα ξηρασίας που πλήττουν το νησί. Η διαδικασία μεταφοράς νερού μέσω τάνκερ προτιμάται από την επιβολή περιορισμών στη χρήση του νερού, καθώς ο Λίβανος προτίθεται να διαθέσει δωρεάν το νερό, με αποτέλεσμα το μόνο κόστος για την κυπριακή κυβέρνηση να είναι

το κόστος μεταφοράς του νερού. Ωστόσο, η εναλλακτική λύση της επιβολής δελτίου νερού σε κάθε οικογένεια, ίσως βοηθούσε τους πολίτες να συνειδητοποιήσουν το συνεχώς αυξανόμενο πρόβλημα της λειψυδρίας.

Το ζεστό κλίμα και η συνεχής ξηρασία των τελευταίων δυο ετών έχουν φέρει την Κύπρο αντιμέτωπη με σημαντικότερο πρόβλημα λειψυδρίας. Οι δεξαμενές νερού του νησιού βρίσκονται αυτή τη στιγμή στο 10,4% της χωρητικότητάς τους, ποσοστό μειωμένο κατά 15,2% σε σχέση με την περσινή χρονιά. Οι βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα ήταν αισθητά μειωμένες, φτάνοντας μόλις στο 50% του μέσου όρου.

Στην Κύπρο, ήδη, εφαρμόζεται σύστημα επιβολής προστίμων σε περιπτώσεις ανεξέλεγκτης κατανάλωσης νερού, το οποίο όμως δεν έχει αποφέρει εμφανή αποτελέσματα. Η κυπριακή κυβέρνηση για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα, το οποίο αναμένεται να ενταθεί τους καλοκαιρινούς μήνες - καθώς οι βροχοπτώσεις αναμένεται να σταματήσουν από τον Απρίλιο ως τον Οκτώβριο - θα προχωρήσει στην κατασκευή νέων μονάδων αφαλάτωσης και στη μέγιστη εκμετάλλευση των ήδη υπαρχόντων εγκαταστάσεων.

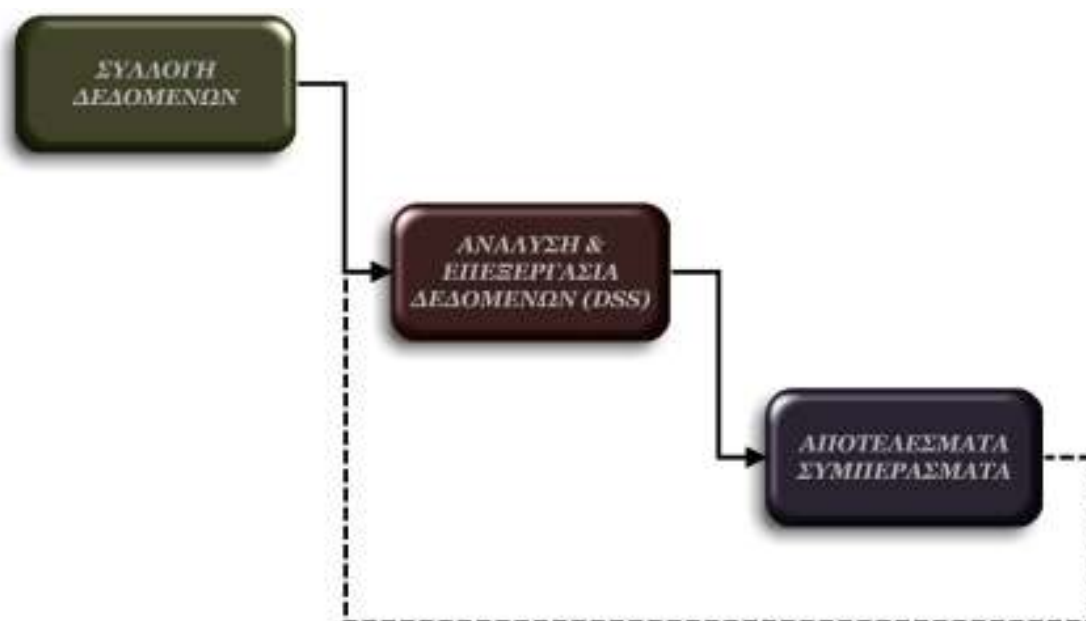
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε πρώτο επίπεδο έγινε η μελέτη των σημαντικών λειψυδριών τα τελευταία 35 χρόνια στην Κύπρο. Η εκτεταμένη αναφορά του τύπου για τα προβλήματα που δημιουργούσε η λειψυδρία όλα αυτά τα χρόνια έδωσε το έναυσμα για περαιτέρω μελέτη και ανάλυση των αποτελεσμάτων. Εν συντομία τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής:

1. Πραγματοποιήθηκε η συλλογή και καταχώρηση μετεωρολογικών δεδομένων και συγκεκριμένα της βροχόπτωσης για 100 μετεωρολογικούς σταθμούς στην Κύπρο. Στη συνέχεια επεξεργάστηκαν για να είναι εφικτή η εισαγωγή τους στο «μαύρο κουτί» (DSS). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης για τον δείκτη.
2. Έπειτα πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή τους στη γλώσσα προγραμματισμού όπου υπολογίσθηκε ο δείκτης SPI (Standard Precipitation Index) των μετεωρολογικών σταθμών (πραγματικών και υποθετικών μετεωρολογικών σταθμών) που ήταν το σημαντικότερο κομμάτι της μελέτης.
3. Για να αποδοθούν με τον βέλτιστο τρόπο τα αποτελέσματα του δείκτη και να κατανεμηθεί ομοιόμορφα η κατάσταση των φαινομένων λειψυδρίας για τα έτη 1972, 1990, 2007 και 2008 όπου προέκυψαν προβλήματα σε τοπικό επίπεδο έγινε η χαρτογράφηση με τη βοήθεια της γεωστατιστικής μεθόδου Kriging.
4. Τέλος, ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων όπως αυτά προέκυψαν μετά την ανάλυση και επεξεργασία των

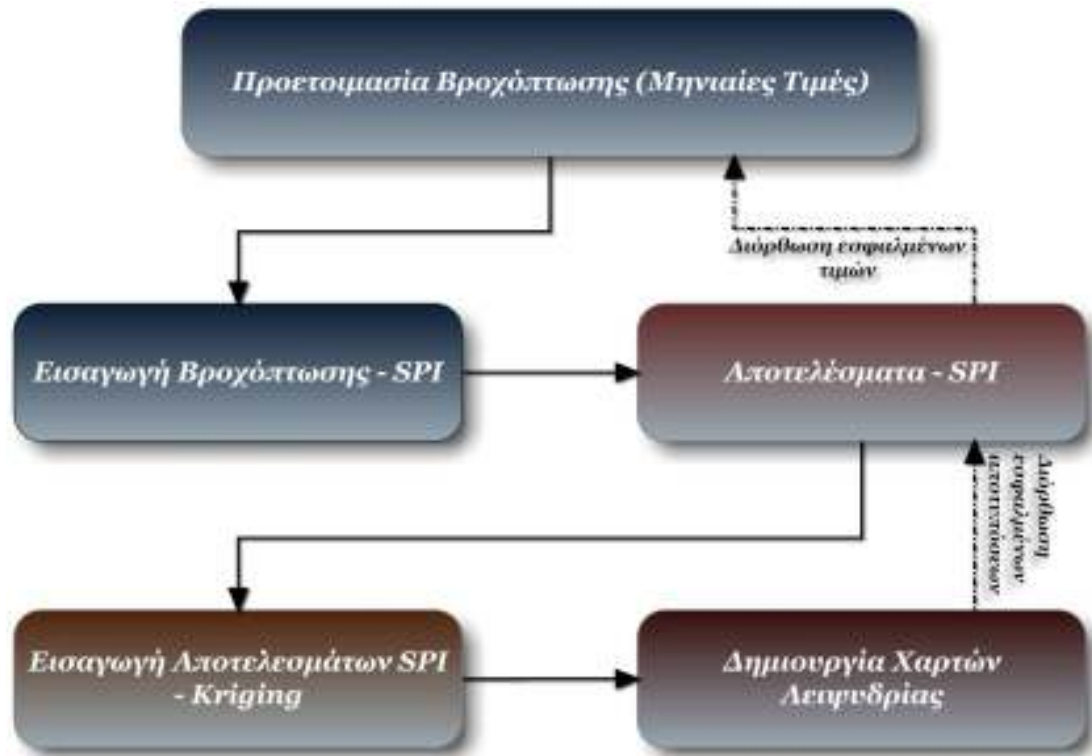
δεδομένων αλλά και οι διαφορές που προέκυψαν ανάμεσα στους χάρτες με τους πραγματικούς σταθμούς και στους χάρτες με τις υποθέσεις. Στην εικόνα 11 αναπαρίσταται η διαδικασία σχεδιασμού της παρούσας μελέτης με τα βήματα που ακολουθήθηκαν ώστε να ολοκληρωθεί.



Εικόνα 11. Διαδικασία σχεδιασμού της παρούσας μελέτης.

Το βήμα της ανάλυσης και επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων και συγκεκριμένα της βροχόπτωσης αναλύεται εκτενέστερα στην εικόνα 12. Μετά τη συλλογή όλων των μετεωρολογικών δεδομένων από όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς άρχισε η επεξεργασία τους. Αρχικά τα δεδομένα έπρεπε να αναχθούν σε μηνιαία λόγω ότι το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων διέθετε τα στοιχεία μετά το έτος 2000 σε τρίωρες τιμές. Έγινε η μετατροπή σε ημερήσιες τιμές και στη συνέχεια σε μηνιαίες. Επιλέχθηκε να μην πραγματοποιηθεί συμπλήρωση των εκλιπουσών τιμών λόγω ότι μελετούνται ακραία φαινόμενα. Στη συνέχεια οι κενές τιμές συμπληρώθηκαν με την τιμή -99 ώστε να λειτουργήσει το

πρόγραμμα. Επιπλέον έγινε ένας ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων με τη δημιουργία των γραφημάτων της βροχόπτωσης όλων των μετεωρολογικών σταθμών. Για να εισαχθεί η βροχόπτωση στο πρόγραμμα έπρεπε να μετατραπούν τα δεδομένα σε συγκεκριμένο τύπο αρχείου και συγκεκριμένη μορφή.



Εικόνα 12. Διαδικασία ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δείκτη δημιουργήθηκαν όλα τα διαγράμματα του SPI για όλες τις περιπτώσεις, δηλαδή των χρονικών βημάτων έξι και δώδεκα μηνών (SPI6, SPI12). Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται και δεύτερος ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων εισαγωγής. Στην περίπτωση αναγνώρισης λάθους δηλαδή εσφαλμένης τιμής βροχόπτωσης ο δείκτης δεν θα ανταποκριθεί με την πραγματικότητα.

Αφού έγινε η διασταύρωση και οι κατάλληλες διορθώσεις άρχισε η διαδικασία της γεωστατιστικής μεθόδου (Kriging) για τη δημιουργία των χαρτών. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν τέσσερα αρχεία για κάθε έτος με το όνομα των σταθμών, τις συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ87 και τα αποτελέσματα του SPI6 και του SPI12 (τα δύο αρχεία είναι για τους πραγματικούς και τα άλλα δύο για τους πραγματικούς και τους υποθετικούς). Έπειτα δημιουργήθηκαν τα ακριβές όρια όπου θα λάμβανε χώρα η γεωστατιστική μέθοδος αλλά και η απόχρωση που θα εμφανίζεται σύμφωνα με τα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται οι ακραίες λειψυδρίες και με μπλε οι εξαιρετικά υγρές περιόδους. Η διαβάθμιση έγινε σύμφωνα με τον πίνακα 4.1 όπου παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο. Η παραπάνω διαδικασία αποτυπώνεται στην εικόνα 13.



Εικόνα 13. Διαδικασία δημιουργία χαρτών με την γεωστατιστική μέθοδο (Kriging).

Η μεθοδολογία στηρίχθηκε στα βήματα του σχεδιασμού όπου έγινε η αναγνώριση του προβλήματος, ένας πρωταρχικός σχεδιασμός που βασίστηκε η μελέτη για να προχωρήσει στα επόμενα βήματα. Έπειτα έγινε η συλλογή των στοιχείων και η επεξεργασία τους που αναλύονται στο κεφάλαιο πέντε και στη συνέχεια τα αποτελέσματα βοήθησαν ώστε να βγουν κάποια συμπεράσματα όπως η ένταση του φαινομένου, η διάρκεια του αλλά και η επαναφορά της κατάσταση σε κανονικές συνθήκες. Τέλος, βάση όλων αυτών προτείνονται κάποιες λύσεις οι οποίες σαφώς χρειάζονται περαιτέρω έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΝΑΠΤΥΞΗ SPI & ΓΕΩΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

4.1 Δείκτης λειψυδρίας(SPI)

Ο δείκτης λειψυδρίας SPI (Standard Precipitation Index) είναι ιδιαίτερα διαδεδομένος. Σχεδιάστηκε για την ανίχνευση της έναρξης και για την παρακολούθηση των επεισοδίων λειψυδρίας (McKeeetal, 1993) και διαφέρει από τους υπολοίπους δείκτες, διότι αναγνωρίζει έγκαιρα τα διάφορα επεισόδια λειψυδρίας. Είναι απλούστερος σε σχέση με τον δείκτη PDSI (Palmer Drought Severity Index) και βασίζεται στην πιθανότητα κατακρήμνισης κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου. Χαρακτηριστικό του δείκτη SPI είναι η ευελιξία του στον προσδιορισμό της λειψυδρίας σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες, κάτι πολύ σημαντικό, αφού η διάρκεια των επεισοδίων λειψυδρίας παρουσιάζει πολύ μεγάλες διακυμάνσεις. Τα επεισόδια μικρής διάρκειας μετρώνται από μετεωρολογικά όργανα και ορίζονται σύμφωνα με τους τοπικούς κλιματολογικούς όρους. Επεισόδια διάρκειας τριών ως έξι μηνών έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή, διότι οδηγούν σε μεγάλη μείωση της εδαφικής υγρασίας. Επεισόδια μεγαλύτερης διάρκειας (μήνες ως χρόνια) έχουν σοβαρή επίδραση στους επιφανειακούς και υπόγειους υδατικούς πόρους.

Οι τιμές του δείκτη υπολογίζονται συγκρίνοντας το συνολικό ύψος των κατακρημνίσεων μιας περιοχής κατά τη διάρκεια ορισμένης χρονικής περιόδου, με το μέσο ύψος κατακρημνίσεων της ίδιας χρονικής διάρκειας. Για παράδειγμα, το συνολικό ύψος κατακρημνίσεων κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε μήνα, συγκρίνεται

με το μέσο ύψος κατακρημνίσεων του ίδιου μήνα, που προκύπτει από τις διαθέσιμες ιστορικές καταγραφές προηγούμενων ετών. Η ένταση ενός επεισοδίου λειψυδρίας στη συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να συγκριθεί με τις μέσες συνθήκες. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 2.00 και πάνω (εξαιρετικά υγρή περίοδος) ως και λιγότερο από -2.00 (εξαιρετική λειψυδρία), ενώ η περιοχή τιμών από 0.99 ως -0.99 υποδεικνύει περίπου φυσιολογικές συνθήκες (Πίνακας 4.1). Ένα επεισόδιο λειψυδρίας ορίζεται από τις συνεχώς αρνητικές τιμές του δείκτη, μικρότερες ή ίσες του -1, και το επεισόδιο συνεχίζεται μέχρι ο δείκτης να λάβει θετικές τιμές. Η διάρκεια του επεισοδίου ορίζεται από το χρονικό διάστημα μεταξύ της έναρξης και λήξης αυτής της περιόδου. Το μέγεθος του επεισοδίου λειψυδρίας μετριέται από το άθροισμα των τιμών του δείκτη για τους μήνες της λειψυδρίας.

<i>Τιμές SPI</i>	<i>Κατηγοριοποίηση</i>
<i>2.00 ή περισσότερο</i>	<i>Εξαιρετικά υγρή</i>
<i>1.50 μέχρι 1.99</i>	<i>Πολύ υγρή</i>
<i>1.00 μέχρι 1.49</i>	<i>Μετρίως υγρή</i>
<i>0 μέχρι 0.99</i>	<i>Ήπια υγρή</i>
<i>0 μέχρι -0.99</i>	<i>Ήπια λειψυδρία</i>
<i>-1 μέχρι -1.49</i>	<i>Μέτρια λειψυδρία</i>
<i>-1.50 μέχρι -1.99</i>	<i>Μεγάλη λειψυδρία</i>
<i>-2.00 ή λιγότερο</i>	<i>Ακραία λειψυδρία</i>

Πίνακας 4.1. Κατηγοριοποίηση λειψυδρίας με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη SPI

Το SPI υπολογίζεται με την προσαρμογή μιας συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας στην κατανομή συχνότητας της βροχόπτωσης αθροισμένη πέρα από το χρονικό διάστημα ενδιαφέροντος. Αυτό εκτελείται χωριστά για κάθε μήνα (ή οποιοσδήποτε είναι η χρονική βάση από τη χρονοσειρά βροχόπτωσης) και για κάθε θέση στο διάστημα. Κάθε συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μετασχηματίζεται έπειτα μέσα στην τυποποιημένη κανονική κατανομή.

Η γάμμα κατανομή καθορίζεται από τη συχνότητά της ή η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας ορίζεται ως:

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]} \quad g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \text{ για } x > 0 \quad (4.1)$$

όπου $\alpha > 0$ είναι ο παράγοντας μορφής, $\beta > 0$ είναι ο παράγοντας κλίμακας και $x > 0$ είναι τη τιμή της βροχόπτωσης. $\Gamma(\alpha)$ είναι η συνάρτηση γάμμα που ορίζεται ως εξής:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (4.2)$$

Η προσαρμογή της κατανομής στα δεδομένα απαιτεί τα α και β να εκτιμηθούν. Οι Edwards και McKee (1997) πρότειναν την εκτίμηση αυτών των παραμέτρων χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του Thom (1958) για τη μέγιστο πιθανότητα ως εξής:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (4.3)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad (4.4)$$

$$\text{όπου για } n \text{ παρατηρήσεις: } A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4.5)$$

Οι προκύπτουσες παράμετροι χρησιμοποιούνται έπειτα για να βρουν τη συσσωρευτική πιθανότητα ενός παρατηρηθέντος γεγονότος βροχόπτωσης για το δοθέν μήνα και χρονική κλίμακα:

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}}\Gamma(\hat{\alpha})} = \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\hat{\beta}}} dx \quad (4.6)$$

Η αντικατάσταση του t με $x/\hat{\beta}$ μειώνει την εξίσωση στην ελλιπή κατανομή γάμμα. Ο McKee και λοιποί (1993) χρησιμοποίησαν μια αναλυτική μέθοδο μαζί με τον προτεινόμενο κώδικα λογισμικού από τον τύπο (1986). Δεδομένου ότι η κατανομή γάμμα είναι απροσδιόριστη για $x=0$ και μια κατανομή βροχόπτωσης μπορεί να περιέχει μηδενικά, η αθροιστική πιθανότητα γίνεται

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (4.7)$$

όπου q είναι η πιθανότητα της μηδενικής βροχόπτωσης.

Η αθροιστική πιθανότητα, $H(x)$, μετασχηματίζεται έπειτα στην τυποποιημένη κανονική τυχαία μεταβλητή Z με το μέσο όρο μηδέν και τη διακύμανση ένα, η οποία είναι η τιμή του SPI. Μετά από τους Edwards και McKee (1997), οι Hughes και Saunders (2002), υιοθετούν την κατά προσέγγιση μετατροπή που παρέχεται από τους Abramowitz και Stegun (1965) ως εναλλακτική λύση:

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ για } 0 < H(x) < 0.5 \quad (4.8)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \text{ για } 0.5 < H(x) < 1 \quad (4.9)$$

όπου

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]}, \text{ για } 0 < H(x) < 0.5 \quad (4.10)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{1 - (H(x))^2} \right]}, \text{ για } 0.5 < H(x) < 1 \quad (4.11)$$

και $c_0=2.515517$, $c_1=0.802853$, $c_2=0.010308$, $d_1=1.432788$,
 $d_2=0.189269$, $d_3=0.001308$.

4.2 Γεωστατιστική Μέθοδος (Kriging)

Η μέθοδος Kriging αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 50 από το μηχανικό ορυχείων Krige (1951) με σκοπό την πρόγνωση της περιεκτικότητας σε μέταλλευμα μιας περιοχής εξόρυξης αξιοποιώντας μεμονωμένες μετρήσεις περιεκτικότητας σε συγκεκριμένα σημεία. Η περιεκτικότητα αυτή μοντελοποιείται ως μια στοχαστική συνάρτηση στις τρεις διαστάσεις, δηλαδή ως ένα τυχαίο πεδίο (random field) σύμφωνα με τη πιο σύγχρονη ορολογία. Ο γενικότερος χαρακτήρας του Kriging ως μεθόδου πρόγνωσης ενός τυχαίου πεδίου αναγνωρίστηκε από τον Matheron (1962) ο οποίος μελέτησε τα λεπτά μαθηματικά προβλήματα που σχετίζονται με τον απειροδιάστατο χαρακτήρα του άγνωστου τυχαίου πεδίου. Έτσι αργότερα η μέθοδος βρήκε εφαρμογή και σε άλλα προβλήματα πρόγνωσης όπως αυτά της υδρολογίας. Όμως παρόμοια προβλήματα πρόγνωσης τυχαίων πεδίων ή στοχαστικών συναρτήσεων (stochastic processes), όρος που επεκράτησε για συναρτήσεις του χρόνου, είχε ήδη μελετηθεί ανεξάρτητα τόσο από τον Kolmogorov (1941) όσο και από τον Wiener (1949), ώστε να μπορούμε να μιλούμε για μία συγκροτημένη θεωρία πρόγνωσης τυχαίων πεδίων των Wiener-Kolmogorov.

Στην γεωδαισία μια παρόμοια μέθοδος εισήχθηκε από τον Moritz (Heiskanen & Moritz, 1967) για την πρόγνωση του πεδίου βαρύτητας αλλά αναλύθηκε διεξοδικά από τον Krarup (1969), ο οποίος επιπλέον κατέδειξε τη σχέση με το ντετερμινιστικό πρόβλημα παρεμβολής μιας αρμονικής συνάρτησης δυναμικού έλξης η οποία ανήκει σε ένα χώρο συναρτήσεων Hilbert με αναπαραγωγό πυρήνα (reproducing kernel). Η σχετική μεθοδολογία ονομάστηκε σημειακή προσαρμογή (collocation).

Παρά την παρουσία ενός απειροδιάστατου πεδίου σε κάθε εφαρμογή, το πρόβλημα μπορεί να αναχθεί σε ένα κλασσικό πρόβλημα στατιστικής πρόγνωσης, με πεπερασμένες διαστάσεις, στα πλαίσια του λεγομένου μοντέλου τυχαίων επιδράσεων (randomeffectsmodel), επειδή ο αριθμός των δεδομένων είναι πεπερασμένος αλλά και η ίδια η πρόγνωση του άγνωστου τυχαίου πεδίου μπορεί να αντιμετωπισθεί ως πρόβλημα πρόγνωσης μίας τιμής του σε οποιοδήποτε σημείο του πεδίου ορισμού του.

Παρά όλες τις ομοιότητες με τη γενικότερη θεωρία πρόγνωσης των Wiener- Kolmogorov η μέθοδος kriging έχει μια σημαντική διαφορά, στο ότι χρησιμοποιεί τη συνάρτηση του μεταβολογράμματος (variogram) στη θέση της συνάρτησης συμμεταβλητότητας (covariance function) του σχετικού τυχαίου πεδίου. Από θεωρητική σκοπιά η επιλογή αυτή επεκτείνει την εφαρμοσιμότητα του kriging και σε τυχαία πεδία τα οποία διαθέτουν μεταβολόγραμμα αλλά όχι συνάρτηση συμμεταβλητότητας. Η ευρύτητα αυτή του πεδίου εφαρμογής είναι όμως ασήμαντη από πρακτική σκοπιά, όπου πλέον σημαντική είναι η δυνατότητα πρόγνωσης όταν το τυχαίο πεδίο έχει σταθερή μεν αλλά άγνωστη δε συνάρτηση μέσης τιμής, ενώ οι άλλες μέθοδοι προϋποθέτουν γνώση της σταθερής μέσης τιμής.

Περιοριζόμαστε εδώ λόγω του περιορισμένου χώρου στο λεγόμενο κοινό kriging (ordinary kriging) με άγνωστη σταθερή μέση τιμή. Το πρόβλημα του «παγκόσμιου» kriging (universal kriging) όπου η άγνωστη μέση συνάρτηση είναι γραμμικός συνδυασμός γνωστών συναρτήσεων με άγνωστους συντελεστές, αντιμετωπίζεται και αυτό στα πλαίσια της κλασσικής πεπερασμένων διαστάσεων στατιστικής μεθοδολογίας εκτίμησης-πρόγνωσης στα πλαίσια του λεγομένου μοντέλου μικτών επιδράσεων (mixed effectsmodel). Η ουσία όμως των εδώ συγκρίσεων και συμπερασμάτων δεν χρειάζεται τη γενίκευση του «παγκόσμιου» kriging (universal kriging), το οποίο απλά οδηγεί σε κάπως πολυπλοκότερους αλγορίθμους, οι οποίοι όμως (συνήθως) χρησιμοποιούν τη συνάρτηση συμμεταβλητότητας αντί του μεταβολογράμματος. Περισσότερο δραστική είναι η γενίκευση του intrinsic kriging, το οποίο οδηγεί σε λύσεις ανεξάρτητες της άγνωστης συνάρτησης μέσης τιμής αξιοποιώντας τη λεγόμενη γενικευμένη συνάρτηση συμμεταβλητότητας. Τέλος μια πρόσφατη γενίκευση είναι το γενικευμένο kriging (generalized kriging) των Reguzzonietal. (2005), το οποίο επιτρέπει τη χρήση οποιωνδήποτε σχεδόν πραγματικών τιμών που σχετίζονται με το άγνωστο πεδίο, τόσο ως παρατηρήσεων όσο και ως ποσοτήτων προς πρόγνωση, αρκεί αυτές να μπορούν να εκφραστούν ως γραμμικά συναρτησιακά του σχετικού πεδίου (γραμμικές απεικονίσεις συναρτήσεων σε πραγματικές τιμές). Από την εδώ σύγκριση στα πλαίσια του στατιστικού μοντέλου τυχαίων επιδράσεων, προκύπτει μια ακόμη γενίκευση, το «επηρασμένο kriging» (biased kriging) η οποία έχει ήδη προταθεί από τους Dermanis & Sansò (2007).

Σημειακό kriging: είναι η απλούστερη από τις μεθόδους kriging. Αυτό χρησιμοποιεί αδιάστατα σημεία που εκτιμά άλλα αδιάστατα σημεία, π.χ. ισοϋψείς (Gallier, J., 2000). Στο σημειακό kriging οι περιφερειακές μεταβλητές είναι θεωρούνται στατικές, η μεταβολή δεν υφίσταται. Αυτή η υπόθεση επιτρέπει για μια εκτίμηση

σε μια άγνωστη τιμή του σημείου p , $Y_{E,p}$, που υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας σταθμισμένο μέσο όρο από τις γνωστές τιμές ή από τα σημεία ελέγχου:

$$Y_{E,p} = \sum W_i Y_i \quad (4.12)$$

Αυτή η εκτιμώμενη τιμή μπορεί να είναι διαφορετική από την πραγματική τιμή του σημείου, $Y_{A,p}$, και αυτή η διαφορά καλείται λάθος εκτίμησης:

$$E_p = (Y_{E,p} - Y_{A,p}) \quad (4.13)$$

Αν δεν υφίσταται η μεταβολή και ο σταθμισμένος μέσος όρος χρησιμοποιείται στην εκτίμηση του αθροίσματος του ενός, τότε η εκτιμώμενη τιμή αναμένεται να είναι ανεπηρέαστη. Η διασπορά των εκτιμήσεων για τις πραγματικές τιμές ονομάζεται σφάλμα ή εκτιμώμενη τυπική απόκλιση,

$$s_z^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{E,p} - Y_{A,p})_i^2}{n} \quad (4.14)$$

ή ως τετραγωνική ρίζα του, γνωστή ως τυπικό σφάλμα της εκτίμησης

$$s_z = \sqrt{s_z^2} \quad (4.15)$$

Η εκτίμηση και το εκτιμώμενο σφάλμα εξαρτάται από οι επιλεγόμενοι σταθμισμένοι μέσοι όροι. Θεωρητικά, η μέθοδος kriging

προσπαθεί να επιλέξει τους μικρότερους σταθμισμένους μέσους όρους αυτό παράγει το ελάχιστο σφάλμα εκτίμησης. Μικροί σταθμισμένοι μέσοι όροι, παράγουν ανεπηρέαστες εκτιμήσεις και έχουν ελάχιστη διακύμανση εκτίμησης, αυτά λαμβάνονται με την επίλυση μιας σειράς ταυτόχρονων εξισώσεων. Για απλότητα και για να τονίσει τη μεθοδολογία του kriging, τρεις άγνωστες τιμές Y_1 , Y_2 και Y_3 , θα χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί μια άγνωστη τιμή του σημείου p , Y_E, P . Τρεις σταθμισμένοι μέσοι όροι πρέπει να καθοριστούν W_1 , W_2 και W_3 , δημιουργούν μια εκτίμηση. Η διαδικασία kriging ξεκινά μαζί με τις ακόλουθες τρεις ταυτόχρονες εξισώσεις:

$$\begin{aligned} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) &= \gamma(h_{1p}) \\ W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) &= \gamma(h_{2p}) \\ W_1\gamma(h_{31}) + W_2\gamma(h_{32}) + W_3\gamma(h_{33}) &= \gamma(h_{3p}) \end{aligned} \quad (4.16)$$

Όπου $\gamma(h_{ij})$ είναι η μέση διακύμανση ανάμεσα στο σημείο ελέγχου i και j ανάλογα με την απόσταση ανάμεσα της, h . Αφού $h_{ij} = h_{ji}$, η αριστερή πλευρά του πίνακα είναι συμμετρική, με μηδενικά κατά μήκος της διαγωνίου καθώς η απόσταση από το καθαυτό σημείο είναι μηδέν. Οι τιμές της μέσης διακύμανσης παίρνονται από γνωστές ή εκτιμώμενες μέσες διακυμάνσεις.

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1 \quad (4.17)$$

Επιπλέον, μια τέταρτη μεταβλητή είναι εισαγωγική και καλείται πολλαπλασιαστής **Lagrange, λ** , ώστε να διασφαλίσει ότι το ελάχιστο δυνατό σφάλμα εκτίμησης επιτυγχάνεται. Ως εκ τούτου, το πλήρες σύνολο των ταυτόχρονων εξισώσεων είναι:

$$\begin{aligned}
W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) + \lambda &= \gamma(h_{1p}) \\
W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) + \lambda &= \gamma(h_{2p}) \\
W_1\gamma(h_{31}) + W_2\gamma(h_{32}) + W_3\gamma(h_{33}) + \lambda &= \gamma(h_{3p}) \\
W_1 + W_2 + W_3 + 0 &= 1
\end{aligned} \tag{4.18}$$

Ο διαχωρισμός των εξισώσεων αυτών σε πίνακα αποδόσεων έχει τη μορφή:

$$\begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 \\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & \gamma(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{2p}) \\ \gamma(h_{3p}) \\ 1 \end{bmatrix} \tag{4.19}$$

ή με γενική σχέση,

$$[A]*[W]=[B] \tag{4.20}$$

Αυτή η εξίσωση του πίνακα επιλύεται για τους άγνωστους συντελεστές $[W]$. Οι τιμές του πίνακα A και B λαμβάνονται από τη μέση διακύμανση ή από μαθηματικές εκφράσεις που περιγράφουν τη μορφή τους. Όταν τα μεμονωμένα βάρη είναι γνωστά, μια εκτίμηση μπορεί να γίνει από

$$Y_{E,p} = W_1Y_1 + W_2Y_2 + W_3Y_3 \tag{4.21}$$

και μια εκτίμηση της διακύμανσης μπορεί να υπολογιστεί από:

$$s_z^2 = W_1\gamma(h_{1p}) + W_2\gamma(h_{2p}) + W_3\gamma(h_{3p}) + \lambda \tag{4.22}$$

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στο kriging του επιτρέπουν να έχει ένα πλεονέκτημα από άλλες διαδικασίες εκτίμησης στο ότι οι εκτιμώμενες τιμές έχουν ελάχιστο σφάλμα που σχετίζεται με αυτές και το σφάλμα αυτό είναι μετρήσιμο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΙΚΤΗ SPI

5.1 Περιοχή Μελέτης

Η Κύπρος είναι νησί που βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της ανατολικής Μεσογείου, μεταξύ των παραλλήλων 34°33' και 35°42' Β και των μεσημβρινών 32°16' και 34°35' Α. Καταλαμβάνει έκταση 9.251 τετραγωνικών χιλιομέτρων (3.572 τετραγωνικών μιλίων) και είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί της Μεσογείου μετά τη Σικελία και τη Σαρδηνία. Έχει μέγιστο μήκος 225 χιλιόμετρα (απόσταση μεταξύ των ακρωτηρίων Δρέπανον και Απόστολος Ανδρέας) και πλάτος 94 χιλιόμετρα (απόσταση μεταξύ των ακρωτηρίων Κορμακίτη και Γάτας). Το συνολικό μήκος των ακτών της είναι 782 χιλιόμετρα. Η πλησιέστερη προς την Κύπρο χώρα είναι η Τουρκία (Μικρά Ασία), της οποίας τα νότια παράλια απέχουν μόνο 70 χιλιόμετρα από τα βόρεια παράλια της Κύπρου. Στα ανατολικά οι ακτές της Συρίας απέχουν περί τα 100 χιλιόμετρα, ενώ στα νότια οι ακτές της Αφρικής (Αίγυπτος) απέχουν 350 χιλιόμετρα περίπου. Η Ελλάδα, που βρίσκεται στα βορειοδυτικά, είναι η πλησιέστερη προς την Κύπρο ευρωπαϊκή χώρα. Το ανατολικότερο τμήμα της ελληνικής επικράτειας, το νησί Καστελόριζο, απέχει από την Κύπρο περί τα 270 χιλιόμετρα. Η απόσταση μεταξύ Κύπρου και Ρόδου είναι 400 χιλιόμετρα περίπου. Από μορφολογική άποψη η Κύπρος μπορεί να υποδιαιρεθεί στις πιο κάτω μορφολογικές περιφέρειες:

- Το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους
- Τη βόρεια οροσειρά
- Την κεντρική πεδιάδα
- Τη λοφώδη περιοχή γύρω από το ορεινό σύμπλεγμα Τροόδους

- Τις παράκτιες πεδιάδες

Η Κύπρος χαρακτηρίζεται από ένα θαυμάσιο μεσογειακό κλίμα. Τα κύρια χαρακτηριστικά του κλίματος αυτού είναι τα ζεστά και ξηρά καλοκαίρια από τα μέσα του Μάη ως τα μέσα του Σεπτέμβρη και ο βροχερός και ήπιος χειμώνας από το Νοέμβρη μέχρι το Φεβρουάριο. Ενδιάμεσα επικρατούν οι δύο μεταβατικές εποχές, το φθινόπωρο από τα μέσα του Σεπτέμβρη ως το τέλος του Οκτώβρη και η άνοιξη από το Μάρτη ως τα μέσα του Μάη. Το ήπιο κλίμα της Κύπρου οφείλεται τόσο στα διάφορα καιρικά συστήματα που την επηρεάζουν όσο και στη μορφολογία του εδάφους της. Η οροσειρά του Τροόδους, με μεγαλύτερο υψόμετρο 1.952 μέτρα, και σε μικρότερο βαθμό η οροσειρά του Πενταδακτύλου, με κορυφές που φτάνουν τα 1.024 μέτρα, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των μετεωρολογικών συνθηκών στις διάφορες περιοχές του νησιού και στη δημιουργία τοπικών φαινομένων. Η παρουσία επίσης της θάλασσας που περιβάλλει την Κύπρο είναι η αιτία δημιουργίας τοπικών φαινομένων στις παράλιες περιοχές.



Εικόνα 14. Χάρτης Κύπρου.

5.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι από 100 μετεωρολογικούς σταθμούς υπό την ευθύνη του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων της Κύπρου. Ως επί τω πλείστων στους μετεωρολογικούς σταθμούς δεν υπάρχουν μεγάλα προβλήματα στις χρονοσειρές. Το λογισμικό μπορεί και υπολογίζει τον δείκτη SPI όταν υπάρχουν κενές τιμές θέτοντάς την τιμή -99. Γι αυτόν τον λόγο επιλέχθηκε να μην γίνει επέμβαση στις χρονοσειρές και υπολογίστηκε ο δείκτης με τις κενές τιμές.

Ο πίνακας 5.1 εμφανίζει τους σταθμούς και τη θέση τους και στην εικόνα 15 παρουσιάζεται η τοποθεσία τους στον Κυπριακό χώρο.

Πίνακας 5.1. Λίστα μετεωρολογικών σταθμών.

Σταθμός	X	Y
acheleia	32,491635	34,71622
agia varvara	33,374861	35,00056
Agios ioannis	33,01984	34,895178
agios neofytos	32,44638	34,841783
agios theodoros	32,644706	35,17387
agros	33,016667	34,916667
akrotiri	32,955	34,600833
alaminos	33,434148	34,805827
alona	33,04	34,932778
alonoudi	32,716996	34,935602
amargeti	32,58417	34,822747
analiontas	33,289722	35,006667
apesia	32,978056	34,789722
apliki	33,116942	34,930831
aradippou	33,583331	34,95
argaka	32,491112	35,065556
asprokremmos	32,558485	34,734842
astromeritis	33,033333	35,133333
athalassa	33,387535	35,128618

athienou	33,533313	35,066676
avdimou	32,761909	34,696043
chapotami	32,60618	34,69012
chrysochous	32,444277	35,010268
dasaki achnas	33,783424	35,055032
dipotamos	33,354947	34,856698
dodeka anemoi	33,78324	35,057648
drinia	32,527778	34,915833
drouseia	32,3975	34,961389
evretou	32,483611	34,960278
evrychou	32,9015	35,041664
fassouri	32,974399	34,65184
filousa	32,504469	34,974127
frenaros	33,919141	35,040822
galata	32,899399	34,997336
germasogeia	33,085562	34,718058
gialia	32,53167	35,095831
gourri	33,156944	34,957222
kakopetri	32,911384	34,978878
kalavastos	33,295833	34,771944
kalopanagiotis	32,831189	34,992932
kaminaria	32,784388	34,928459
kapouras	32,976111	34,982222
kathikas	32,425085	34,916677
kato deftera	33,284064	35,086306
kato drys	33,304167	34,850833
kato pyrgos	32,684444	35,181389
kionia	33,198584	34,92155
klirou	33,178048	35,017858
kofinou	33,391665	34,825835
koilani	32,860278	34,844722
kokkinothrimithia	33,199892	35,15277
kornos	33,395556	34,921667
kykkos	32,733705	34,983298
kyperounta	32,969114	34,941398
larnaka marina	33,565572	34,813132
lefkara	33,29038	34,896225

lemesos port	32,895371	34,660775
limnitis	32,742697	35,153647
lythrodontas	33,29611	34,949722
machairas	33,214041	34,933329
malia	32,782778	34,816389
mantra tou kampiou	33,209133	34,933551
mathiatis	33,335959	34,962743
mavrokolumpos	32,407437	34,856815
meniko	32,903329	35,028365
moni	33,200558	34,738872
ora	33,195559	34,862151
oreites	33,186989	34,856922
pachna	32,793358	34,778051
pafos	32,749548	34,794131
panagia bridge	32,700787	34,668622
pano amiantos	32,916295	34,927161
pano lefkara	33,300907	34,870282
pano panagia	32,634828	34,918369
pano platres	32,856555	34,887185
pano polemidia	32,985618	34,706516
pano vrysi	32,413425	34,781358
panostoumpi	32,67345	35,008535
paralimni	33,980132	35,03282
pedoulas	32,832486	34,967721
pegeia	32,383333	34,883333
pera chorio	33,390278	35,011667
peristerona	33,07919	35,12888
pissouri	32,7	34,666667
Platania	32,928552	34,947658
politiko	33,241914	35,02777
pomos	32,545098	35,159703
prodromos	32,832425	34,948304
psevdas	33,463292	34,950833
saittas	32,914182	34,869367
smigies	32,3	35,05
stavros psokas	32,628452	35,024043

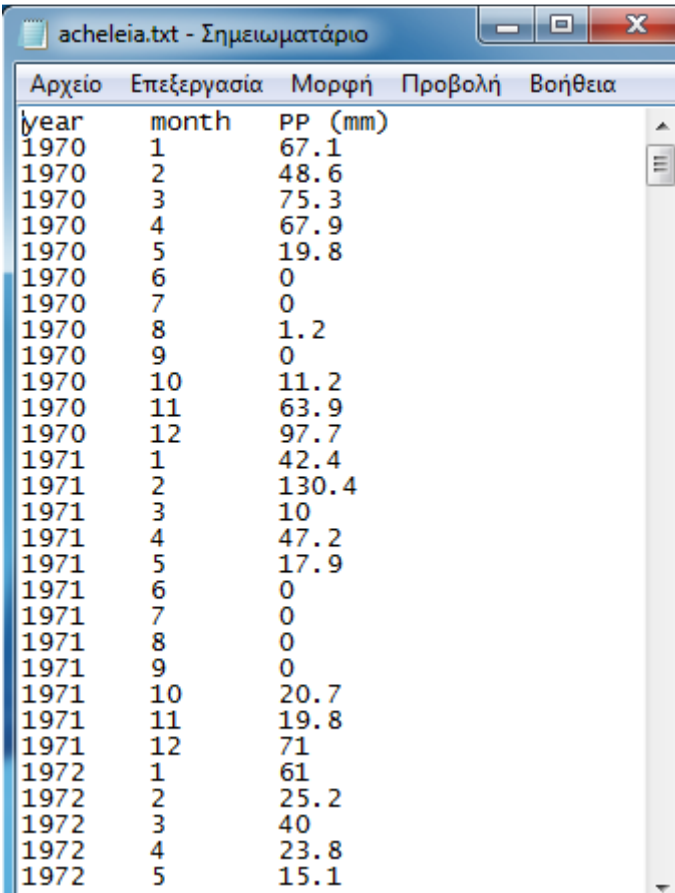
stavrovouni	33,425	34,879167
tripylos	32,679173	35,008332
Troodos square	32,881064	34,923099
tseri	33,31666	35,066871
vavla	33,267778	34,841111
vretsia	32,65745	34,890296
xylofagou	33,851653	34,974999
zygi	33,333333	34,733333



Εικόνα 15. Θέση των μετεωρολογικών σταθμών

Για να υπολογιστεί ο μηνιαίος δείκτης SPI των μετεωρολογικών σταθμών αρχικά έγινε λήψη του προγράμματος από το Κέντρο Διαχείρισης της Λειψυδρίας για την Νότιο Ανατολική Ευρώπη (Drought Management Center for Southeastern Europe–DMCSEE, 2009). Έχοντας τα δεδομένα της βροχόπτωσης θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα αρχείο (txt) για τον κάθε ένα σταθμό ξεχωριστά όπου θα έχει στην πρώτη στήλη το έτος, στην δεύτερη το μήνα και

στην τρίτη τη βροχόπτωση σε χιλιοστά (mm). Στην παρακάτω εικόνα 5,3 απεικονίζεται το αρχείο εισαγωγής (input).



Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
year	month	PP (mm)		
1970	1	67.1		
1970	2	48.6		
1970	3	75.3		
1970	4	67.9		
1970	5	19.8		
1970	6	0		
1970	7	0		
1970	8	1.2		
1970	9	0		
1970	10	11.2		
1970	11	63.9		
1970	12	97.7		
1971	1	42.4		
1971	2	130.4		
1971	3	10		
1971	4	47.2		
1971	5	17.9		
1971	6	0		
1971	7	0		
1971	8	0		
1971	9	0		
1971	10	20.7		
1971	11	19.8		
1971	12	71		
1972	1	61		
1972	2	25.2		
1972	3	40		
1972	4	23.8		
1972	5	15.1		

Εικόνα 16. Αρχείο εισαγωγής για τον υπολογισμό του δείκτη SPI.

Στην συνέχεια δημιουργήθηκε ένα δεύτερο αρχείο (txt) όπου θα έχει τα μηνιαία αποτελέσματα του δείκτη SPI. Τρέχοντας το πρόγραμμα που είναι σε περιβάλλον Fortran ζητείτε το αρχείο εισαγωγής όπου προέρχεται από το σταθμό με τη μεγαλύτερη χρονοσειρά, η ημερομηνία εκκίνησης της χρονοσειράς (1972), η ημερομηνία λήξης της (2008), η διάρκεια του SPI (SPI 6 και SPI 12) και τέλος το αρχείο όπου θα περιέχει τα αποτελέσματα. Στην εικόνα 17 φαίνεται το πρόγραμμα το οποίο θα ολοκληρωθεί πατώντας οποιοδήποτε πλήκτρο.

```

***END OF INPUT SECTION***

***SPI SECTION***
Beginning of calibration period:
1948
End of calibration period:
2009
Specify number of run lengths:
5
*** Specify 1. run length: 1
*** Specify 2. run length: 3
*** Specify 3. run length: 6
*** Specify 4. run length: 12
*** Specify 5. run length: 24
***END OF SPI SECTION***

OUTPUT SECTION
Name of the file to write out the results <results will be written on screen if
you leave this field empty>:

```

Εικόνα 17. Υπολογισμός δείκτη SPI.

Έπειτα ανοίγοντας το αρχείο output.txt εμφανίζονται τα αποτελέσματα των τιμών του SPI 6 και SPI 12. Στην εικόνα 18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

year	month	PP (mm)	spi1	spi3	spi6	spi12	spi24
1970	1	0.06	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1970	2	-0.22	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1970	3	0.99	0.42	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1970	4	1.76	1.47	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1970	5	1.32	1.98	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1970	6	-0.46	1.92	1.25	-99.00	-99.00	-99.00
1970	7	-0.56	1.11	1.57	-99.00	-99.00	-99.00
1970	8	-1.73	0.21	1.93	-99.00	-99.00	-99.00
1970	9	-0.74	-0.28	1.64	-99.00	-99.00	-99.00
1970	10	-0.08	-0.16	0.06	-99.00	-99.00	-99.00
1970	11	0.33	-0.04	-0.05	-99.00	-99.00	-99.00
1970	12	0.21	0.04	0.01	0.48	-99.00	-99.00
1971	1	-0.69	-0.21	-0.41	0.40	-99.00	-99.00
1971	2	2.04	0.56	0.29	0.99	-99.00	-99.00
1971	3	-0.91	0.26	-0.01	0.51	-99.00	-99.00
1971	4	1.27	1.40	0.42	0.32	-99.00	-99.00
1971	5	1.20	0.31	0.53	0.30	-99.00	-99.00
1971	6	-0.46	1.42	0.81	0.30	-99.00	-99.00
1971	7	-0.56	1.00	1.48	0.30	-99.00	-99.00
1971	8	-1.73	-0.64	0.27	0.29	-99.00	-99.00
1971	9	-0.74	-0.91	1.16	0.29	-99.00	-99.00
1971	10	0.31	0.17	0.27	0.39	-99.00	-99.00
1971	11	-0.76	-0.78	-0.82	0.00	-99.00	-99.00
1971	12	-0.14	-0.61	-0.65	-0.17	0.19	-99.00
1972	1	-0.11	-0.90	-0.97	0.00	0.21	-99.00
1972	2	-1.36	-0.98	-1.47	-1.08	0.10	-99.00
1972	3	0.26	-0.95	-1.38	-0.86	-0.16	-99.00
1972	4	0.51	-0.68	-1.25	-1.22	-0.55	-99.00
1972	5	1.02	0.40	-0.67	-1.21	-0.59	-99.00
1972	6	2.01	0.78	-0.51	-1.15	-0.55	-99.00
1972	7	-0.56	1.04	-0.40	-1.14	-0.55	-99.00
1972	8	-1.73	1.01	0.44	-1.14	-0.56	-99.00
1972	9	-0.74	-0.91	0.57	-1.16	-0.58	-99.00

Εικόνα 18. Αρχείο αποτελεσμάτων του δείκτη SPI.

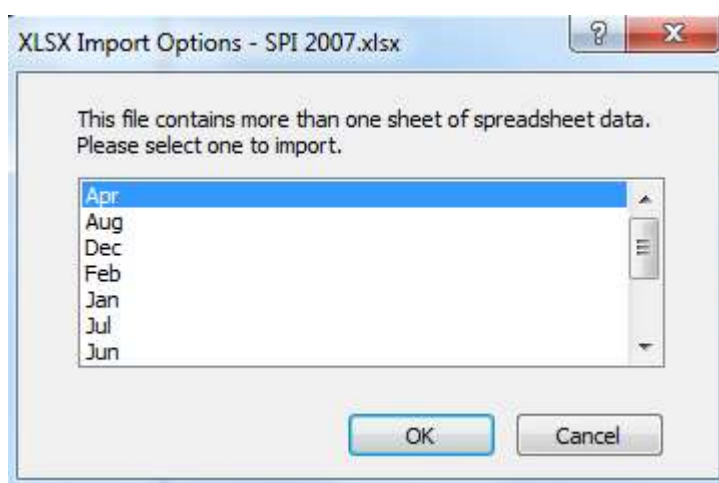
5.3 Δημιουργία Χαρτών με την Βοήθεια Λογισμικού

Για να απεικονιστούν οι τιμές των SPI6 και SPI12 πρέπει να δημιουργηθούν αρχικά δύο αρχεία excel (ένα για τις πραγματικές τιμές και άλλο ένα για τις πραγματικές μαζί με τις υποθετικές τιμές) όπου θα εμπεριέχουν δώδεκα φύλλα επεξεργασίας όσοι και οι μήνες ενός έτους. Τα αρχεία αυτά θα περιέχουν τα ζητούμενα του λογισμικού ώστε να δημιουργηθούν οι χάρτες. Το ειδικό λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Surfer 10 της Golden. Στην πρώτη στήλη υπάρχει το όνομα του μετεωρολογικού σταθμού, στην δεύτερη και τρίτη στήλη βρίσκονται οι συντεταγμένες τους σε WGS 1984 (X), (Y), στην τέταρτη ο SPI6 και στην πέμπτη ο SPI12. Στην εικόνα 19 εμφανίζεται η δομή ενός υπολογιστικού φύλλου excel.

A	B	C	D	E
Station	X	Y	SPI 6	SPI 12
acheleia	32,49164	34,71622	-0,28	-1,86
agia varvara	33,37486	35,00056	-1,64	-1,84
agios ioannis-malountas	33,01984	34,89518	-0,79	-1,86
agios neofytos	32,44638	34,84178	-0,24	-1,9
agios theodoros	32,64471	35,17387	-0,08	-2,07
agros	33,01667	34,91667	0,08	-2,06
akrotiri	32,955	34,60083	0,08	-1,06
alaminos	33,43415	34,80583	-1,32	-1,69
alona	33,04	34,93278	-0,1	-2,36
alonoudi	32,717	34,9356	0,05	-2,12
amargeti	32,58417	34,82275	-0,22	-1,39
analiontas	33,28972	35,00667	0,13	-2,14
apesia	32,97806	34,78972	-0,36	-1,92
apliki	33,11694	34,93083	-0,01	-2,13
aradippou	33,58333	34,95	-0,81	-0,71
argaka	32,49111	35,06556	-0,24	-1,52
asprokremmos	32,55849	34,73484	0,08	-1,61
astromeritis	33,03333	35,13333	-0,89	-1,99
athalassa	33,38754	35,12862	-0,73	-2,46
athienou	33,53331	35,06668	-1,34	-1,71
avdimou	32,76191	34,69604	-0,21	-1,98
chapotami	32,60618	34,69012	-0,06	-1,41
chrysochous	32,44428	35,01027	0,03	-1,72
dasaki achnas	33,78342	35,05503	-0,76	-1,57

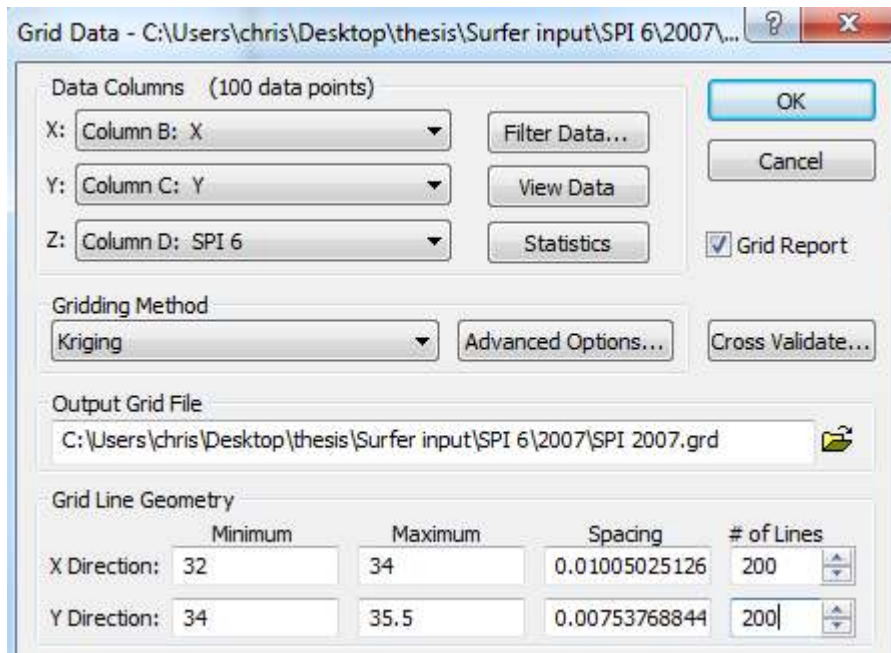
Εικόνα 19. Υπολογιστικό φύλλο excel με για την εισαγωγή στο λογισμικό.

Μετά την ολοκλήρωση των αρχείων έγινε επεξεργασία στον χάρτη της Κύπρου ώστε να μπορεί να εισαχθεί το ειδικό λογισμικό. Επίσης δημιουργήθηκαν τα όρια στα οποία θα γίνει η μέθοδος Kriging. Συγκεντρώνοντας όλα τα παραπάνω άρχισε η εισαγωγή των δεδομένα, αρχικά εισήχθησαν τα δεδομένα των δεικτών αλλά και οι συντεταγμένες των μετεωρολογικών σταθμών για κάθε μήνα και κάθε δείκτη ξεχωριστά, όπως φαίνεται στην εικόνα 20.



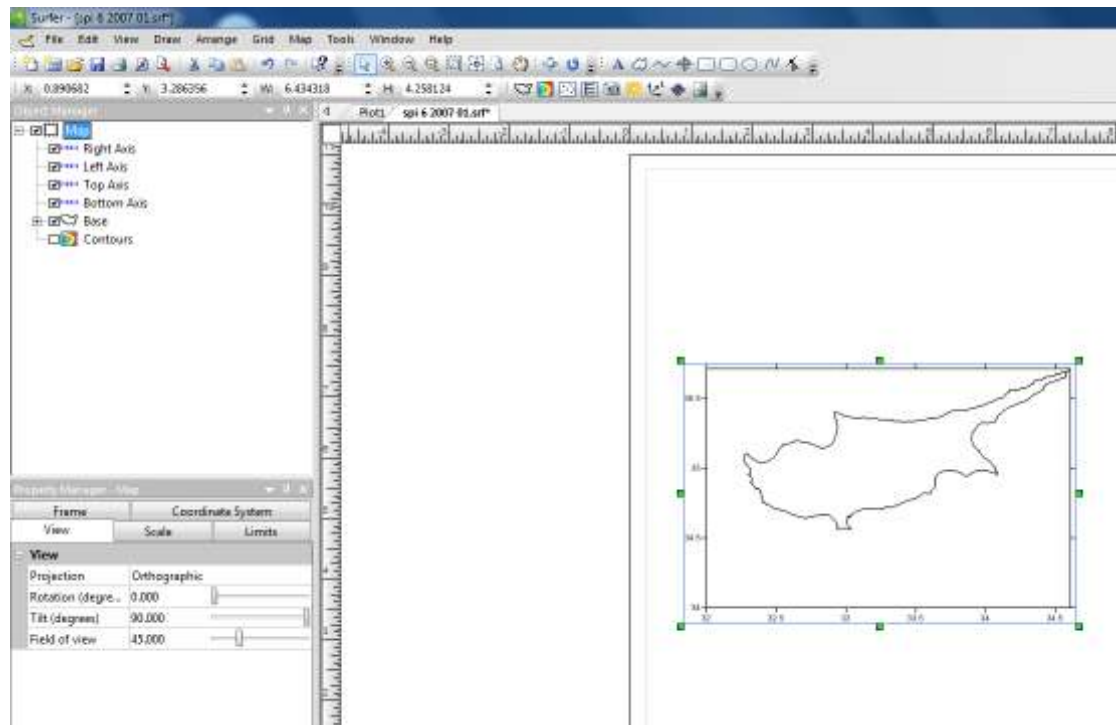
Εικόνα 20. Εισαγωγή στο λογισμικό.

Στην εικόνα 21 φαίνεται το σημαντικότερο βήμα για την δημιουργία των χαρτών. Γίνεται η δημιουργία αρχείου όπου θα περιέχει για το συγκεκριμένο μήνα του έτους. Η διαδικασία αυτή θα υπολογίσει τις υπόλοιπες τιμές του δείκτη ώστε να δημιουργηθεί ο χάρτης του μήνα αυτού. Επίσης ρυθμίζονται τα ακριβές όρια μέσα στα οποία θα γίνει ο υπολογισμός. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε για όλους τους μήνες και των υπό μελέτη ετών.

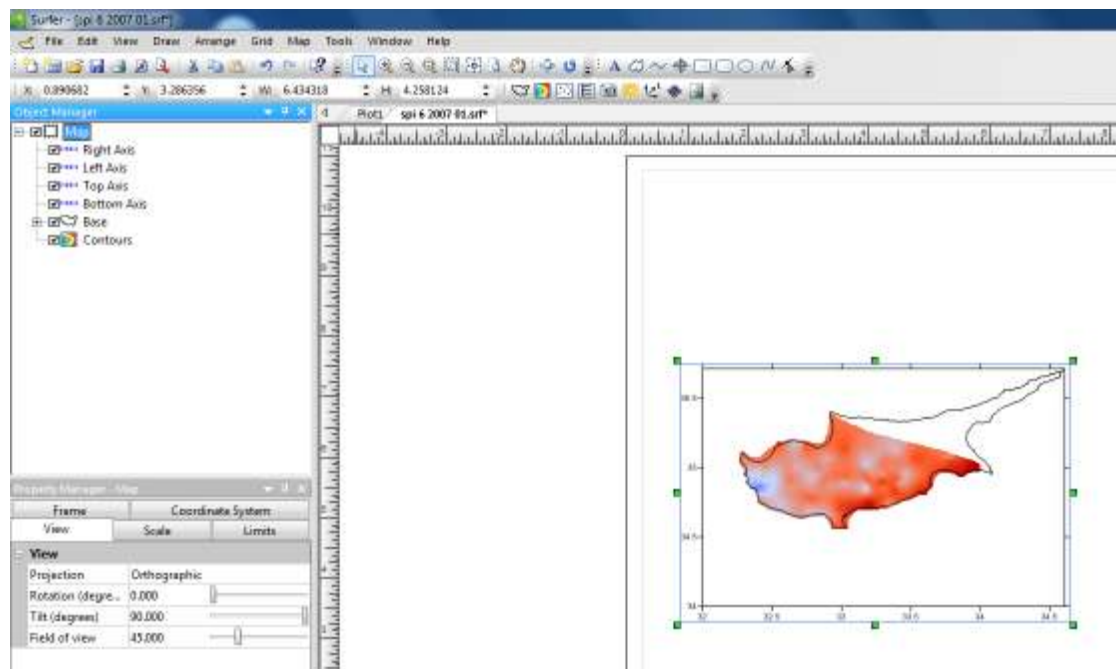


Εικόνα 21. Δημιουργία αρχείου με τα δεδομένα με την μέθοδο Kriging με τα όρια που τέθηκαν.

Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή του χάρτη της περιοχής μελέτης δηλαδή της Κύπρου (βλέπε εικόνα 22). Επιπλέον εισάγεται το αρχείο όπου δημιουργήσαμε με τις παραμέτρους και έτσι εμφανίζεται ο χάρτης (εικόνα 23). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για όλους τους μήνες των πέντε ετών, έτσι δημιουργήθηκαν 48 χάρτες για τον SPI6, 48 χάρτες για τον SPI12. Συνολικά δηλαδή δημιουργήθηκαν 96 χάρτες που υπάρχουν στο παράρτημα.



Εικόνα 22. Εισαγωγή του χάρτη της Κύπρου.



Εικόνα 23. Δημιουργία του χάρτη με την αποτύπωση του δείκτη με την μέθοδο Kriging.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα του δείκτη SPI συμπεραίνουμε ότι ακόμα και στις περιόδους όπου το περιβάλλον δεν έχει υποστεί σημαντικές αλλοιώσεις από τον άνθρωπο εμφανίζεται το φαινόμενο της λειψυδρίας. Συμπεριλαμβάνοντας τους περισσότερους παράγοντες, όπου πιθανώς να επηρεάζουν το φαινόμενο της λειψυδρίας στο χρονικό διάστημα που εμφανίζεται και να δημιουργούν άλλοτε μικρά και άλλοτε σοβαρά προβλήματα στο σύστημα άνθρωπος-περιβάλλον-άνθρωπος μπορούμε να οδηγηθούμε ότι το φαινόμενο αυτό δεν είναι μία ανωμαλία του κλίματος ή κάτι το τόσο αφύσικο, αντιθέτως πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν ένα φαινόμενο όπου υπήρχε, υπάρχει και θα υπάρχει. Περαιτέρω έρευνα ίσως χρειάζεται για την συχνότητα και στη διάρκειά του φαινομένου.

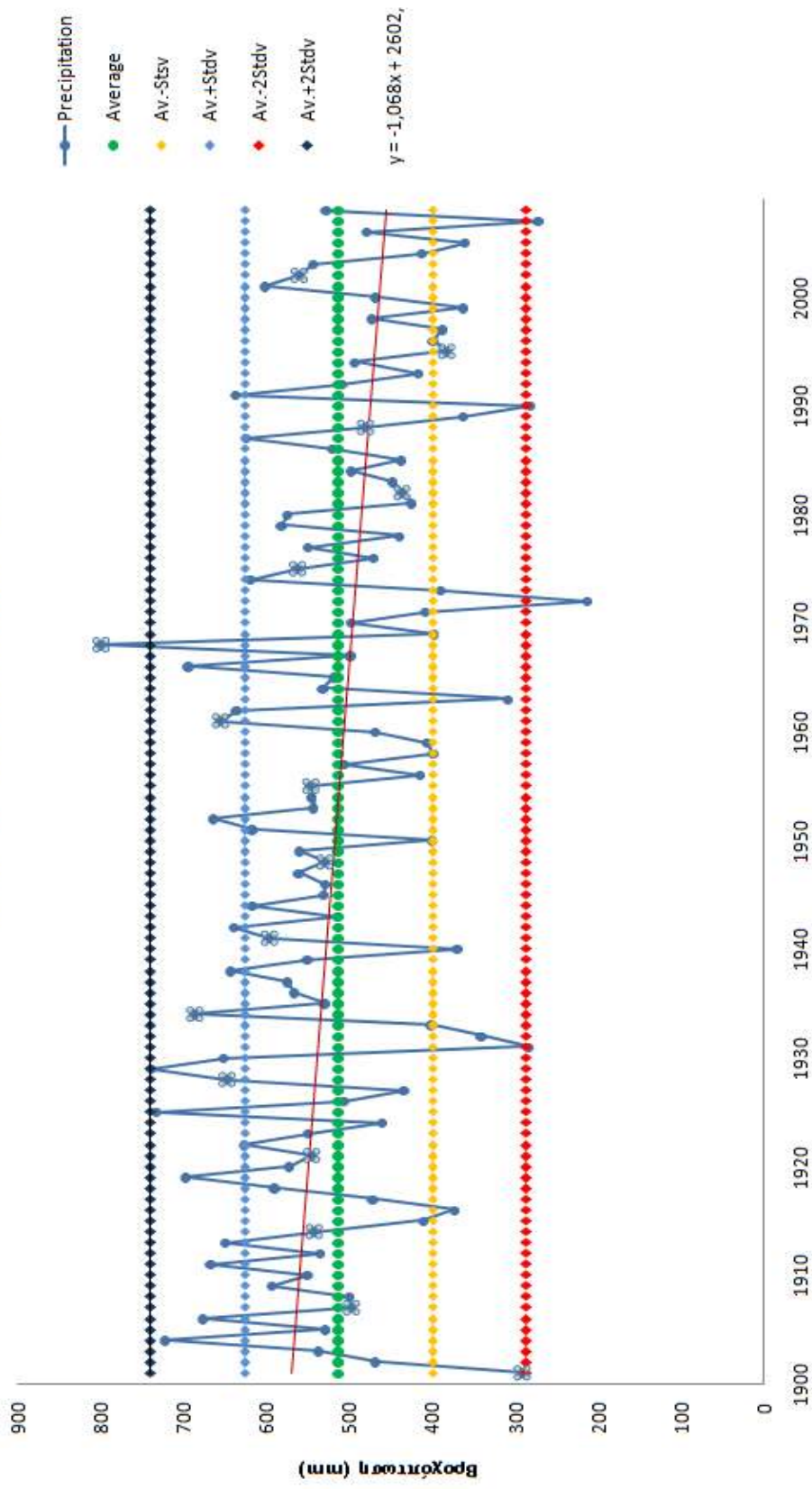
Ο άνθρωπος από τη φύση του όταν εμφανίζεται μία διαφοροποίηση έστω και παροδική στο περιβάλλον στο οποίο βιώνει, τότε ανατρέχει στα αίτια που το δημιούργησαν, στη λύση και στη συνέχεια στην επιστημονική λύση του προβλήματος. Το πρόβλημα της λειψυδρίας δεν θα πάψει να υφίσταται εάν γίνουμε «φιλικοί» στο περιβάλλον ή μειώνοντας την ανθρωπογενή παρέμβαση σε αυτό ή να γυρίσουμε στην πρωτόγονη εποχή, αντιθέτως υπάρχουν πολύ παράγοντες όπου μπορούν να εντείνουν ή να μειώσουν το φαινόμενο όπου δεν μπορεί ο άνθρωπος να επέμβει σε αυτούς (αστρονομικοί και μετεωρολογικοί). Για να οχυρωθούμε σε αυτό το μεγάλο πρόβλημα πρέπει να εφαρμοστούν τρόποι πρόγνωσης και τρόποι αντιμετώπισης του που εμπεριέχονται στη διαχείριση της λειψυδρίας σε εθνικό και τοπικό επίπεδο. Οι πολιτικές που θα εφαρμόζονται δεν θα πρέπει να είναι πολιτικές της στιγμής ή

πολιτικές υπό πίεση αλλά να στηρίζονται στη γνώση και σύμφωνα με την επιστημονική τεκμηρίωση. Ο φορέας διαχείρισης πρέπει ανάλογα με την κατάσταση που υπάρχει να δίνει προτάσεις – συμβουλές - διαταγές στην τρωτή περιοχή.

Το μεγάλο πρόβλημα του φαινομένου αυτού είναι η ποσοτικοποίηση του, δηλαδή δεν υπάρχει μονάδα μέτρησης. Για να επιλυθεί το πρόβλημα αυτό δημιουργήθηκαν οι διάφοροι δείκτες για τη λειψυδρία. Οι δείκτες παίζουν μεγάλο ρόλο στη διαχείριση λειψυδρίας σε μια περιοχή, όμως έχουν ένα σοβαρό διαχειριστικό μειονέκτημα το οποίο είναι ότι δεν λαμβάνουν υπόψη τη ζήτηση του νερού (ύδρευση, άρδευση, τουρισμός και βιομηχανίες).

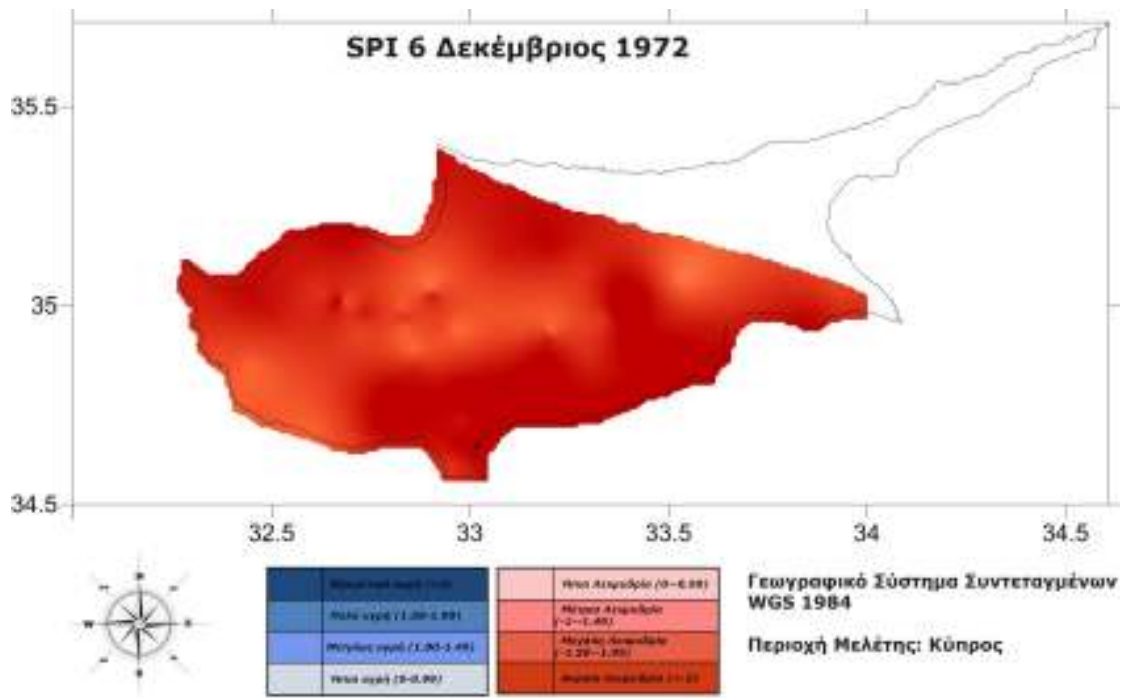
Στην παρούσα μελέτη με την βοήθεια της γεωστατιστικής μεθόδου που εφαρμόστηκε για την αποτύπωση των αποτελεσμάτων του SPI 6 και SPI 12, δηλαδή με χρονικό βήμα έξι και δώδεκα μηνών αντίστοιχα. Έγινε αυτή η επιλογή για τον απλό λόγο ότι στην κυπριακή επικράτεια οι βροχοπτώσεις σημειώνονται στο χρονικό διάστημα Οκτώβριο – Μάρτιο και το αντιπροσωπεύει ο SPI 6, έτσι επιλέχθηκε και ο SPI 12. Στα έτη που εφαρμόστηκε η γεωστατιστική μέθοδος ήταν τα έτη με τις σημαντικότερες λειψυδρίες αυτά είναι το 1972, το 1990, και το 2007. Επίσης η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε και για το έτος 2008 όπου επιλέχθηκε για να εμφανιστούν οι διαφορές με τα άλλα έτη. Τα έτη λειψυδρίας διαγνώστηκαν αρχικά από το διάγραμμα της εικόνας 24. Το διάγραμμα αυτό δημιουργήθηκε από το ετήσιο μέσο όρο από εκατό μετεωρολογικούς σταθμούς, επίσης έχει υπολογιστεί ο μέσος όρος των τιμών, και οι τυπικές αποκλίσεις. Με πράσινο χρώμα αποτυπώνεται η μέση τιμή, με σκούρο μπλε οι πολύ υγρές εποχές και με κόκκινο τα έτη με ακραία φαινόμενα λειψυδρίας.

Ετήσια Ανάλυση Βροχόπτωσης Κύπρου

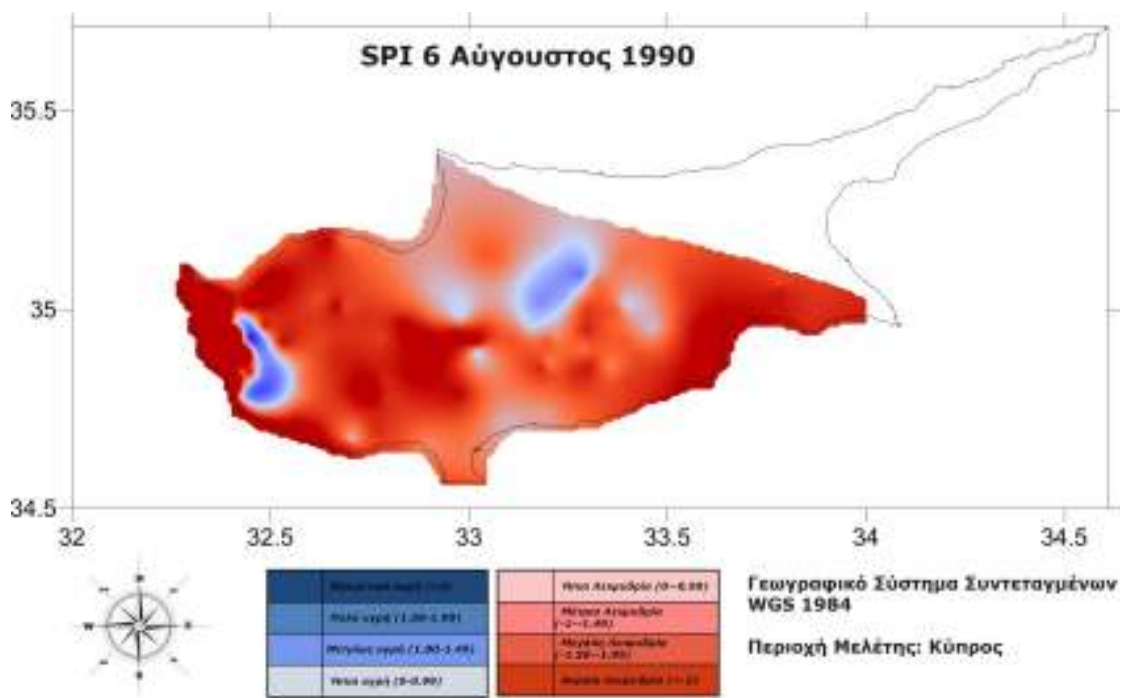


Εικόνα 24. Ανάλυση Βροχόπτωσης.

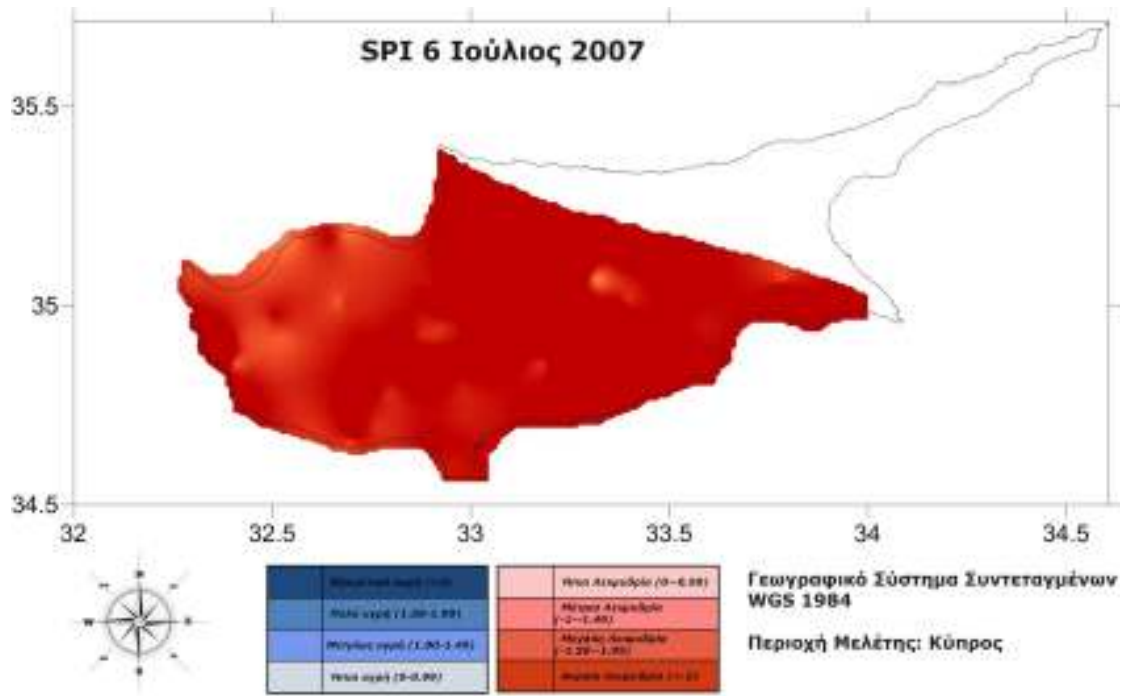
Με τον υπολογισμό του SPI με χρονικό βήμα έξι μηνών και δώδεκα μηνών προκύπτουν διαγράμματα για κάθε σταθμό. Λόγω ότι η επεξήγηση των διαγραμμάτων από όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς είναι ανέφικτη δημιουργήθηκαν χάρτες με την γεωστατιστική μέθοδο Kriging. Τα έτη που χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργηθούν οι χάρτες ήταν τα έτη με τις σημαντικότερες λειψυδρίες και συγκεκριμένα το 1972, το 1990, το 2007 και επίσης το 2008 σαν σχετικά υγρό έτος. Οι χάρτες που προέκυψαν ήταν 96 για κάθε έτος για χρονικό βήμα έξι μηνών και δώδεκα μηνών. Παρακάτω εμφανίζονται οι χάρτες όπου το φαινόμενο της λειψυδρίας είναι εντονότερο. Έτσι για το έτος 1972 επιλέχθηκε ο Δεκέμβριος (εικόνα 25), για το 1990 ο Αύγουστος (εικόνα 26), για το 2007 ο Ιούλιος (εικόνα 27), και για το υγρό έτος 2008 ο Δεκέμβριος (εικόνα 28) ήταν ο υγρότερος μήνας. Τα χρώματα τα οποία επιλέχθηκαν στις τιμές του SPI είναι για την τιμή από 2 και πάνω βαθύ μπλε όπου στις τιμές του μηδέν γίνεται πολύ ανοιχτό μπλε, για τις αρνητικές τιμές του δείκτη επιλέχθηκε το κόκκινο χρώμα όπου γίνεται εντονότερο από τις τιμές κάτω από -2 και τα χρώματα συμφωνούν με τον πίνακα 4.1 του τέταρτου κεφαλαίου.



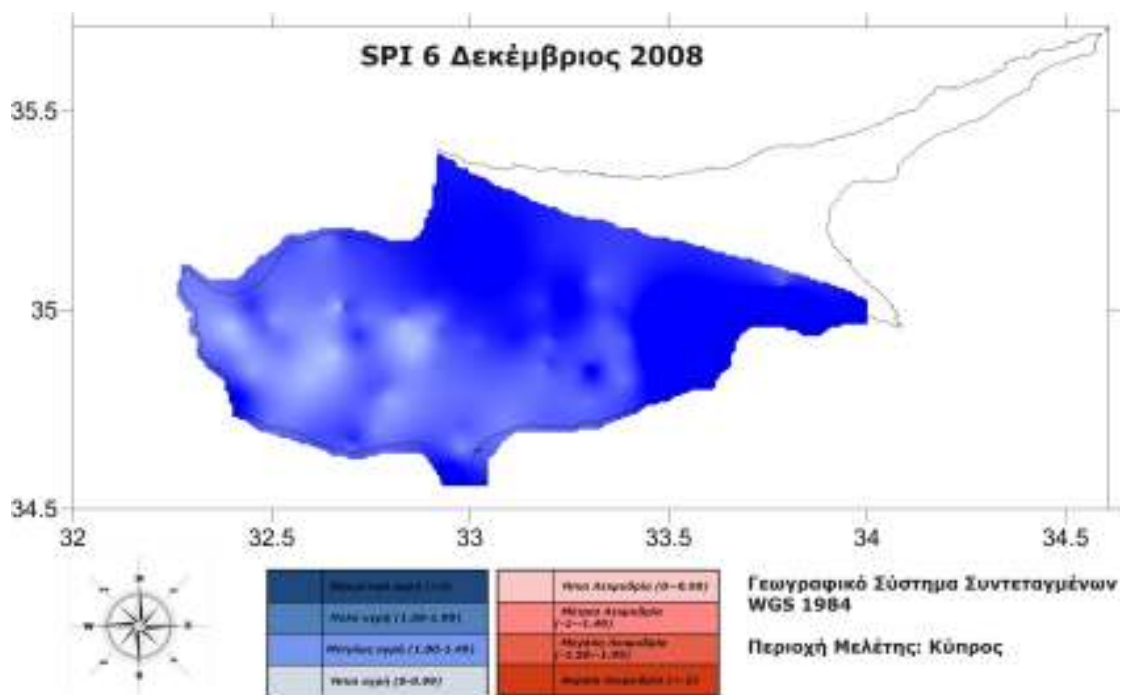
Εικόνα 25. Χάρτης SPI 6 Δεκεμβρίου 1972 (kriging).



Εικόνα 26. Χάρτης SPI 6 Αυγούστου 1990 (kriging).



Εικόνα 27. Χάρτης SPI 6 Ιουλίου 2007 (kriging).



Εικόνα 28. Χάρτης SPI 6 Δεκεμβρίου 2008 (kriging).

Η λειψυδρία του 1972 σύμφωνα με το SPI6 ξεκίνησε από τον Ιανουάριο και έγινε εντονότερη το επόμενο δίμηνο, σημειώνοντας ύφεση τον Απρίλιο για να συνεχιστεί και να κορυφωθεί κατά τους θερινούς μήνες έως και το Δεκέμβριο. Συνέχισε μέχρι και τον Αύγουστο με σχεδόν την ίδια ένταση όπου έπειτα λόγω μικρών βροχοπτώσεων που σημειώθηκαν μετά το πέρας Δεκεμβρίου το φαινόμενο έλαβε τέλος τον Ιανουάριο του 1973. Όμως με το SPI12 το φαινόμενο ξεκινάει από τον Φεβρουάριο του 1973 και τελειώνει τον Μάρτιο του 1973. Παρατηρείται μια αναμενόμενη καθυστέρηση στο πέρας του φαινομένου για το λόγο ότι ο δείκτης με δωδεκάμηνο βήμα λαμβάνει υπόψη περισσότερες τιμές βροχόπτωσης. Οι υποθέσεις που έγιναν μας επιβεβαίωσαν ότι στα υψηλότερα σημεία το φαινόμενο της λειψυδρίας συνήθως γίνεται λίγο ηπιότερο. Αντιλαμβανόμαστε ότι όταν εμφανίζεται το φαινόμενο αυτό δεν γίνεται να μείνει ανεπηρέαστο κάποιο μέρος από την περιοχή που πλήττεται. Συγκεκριμένα για το 1972 το υποθετικό SPI6 παρουσιάζει ότι το φαινόμενο είναι ηπιότερο και γίνεται εμφανής με τη γεωστατιστική μέθοδο. Φαίνεται η διαφορά στον Φεβρουάριο του 1972 όπου στις υποθέσεις παρατηρείται λίγο πιο ανοιχτό το χρώμα του χάρτη, το ίδιο συμβαίνει για τους περισσότερους μήνες.

Η λειψυδρία του 1990 σύμφωνα με τον SPI6 ξεκίνησε το Δεκέμβριο του 1989 με αποκορύφωση τον Σεπτέμβριο του 1990. Το φαινόμενο έλαβε τέλος τον Οκτώβριο του ίδιου έτους. Έπληξε όλη την Κύπρο και συγκεκριμένα από τον Ιανουάριο έως και τον Οκτώβριο. Οι περιοχές οι οποίες δεν αντιμετώπισαν πολλά προβλήματα ήταν η περιοχή της Λευκωσίας, η ευρύτερη περιοχή του Όρους Πενταδάκτυλου καθώς επίσης λιγότερο η Λάρνακα. Για τον SPI12 η λειψυδρία ξεκινάει τον Ιανουάριο του ίδιου έτους και τελειώνει τον Ιανουάριο του επομένου έτους. Όλο το έτος 1990 σύμφωνα με τον συγκεκριμένο δείκτη δεν υπάρχουν μεγάλες αυξομειώσεις αντιθέτως υπάρχει μια σταθερή κατάσταση μέχρι και

τον Οκτώβριο. Ο Σεπτέμβριος δείχνει ότι το φαινόμενο υποχωρεί σταδιακά αλλά ο Οκτώβριος έρχεται για να διαψεύσει αυτή την τάση όπου και γίνεται λίγο εντονότερο. Οι υποθέσεις για τον SPI6 και για τον SPI12 δείχνουν ότι η λειψυδρία του 1990 είναι ιδιαίτερα έντονη.

Η λειψυδρία του 2007 με βάση τον SPI6 εμφανίστηκε τον Ιανουάριο του έτους σε ακραία μορφή στη Λάρνακα, τη Λευκωσία, και στην Αμμόχωστο. Από τον Απρίλιο και μετά του ίδιου έτους το φαινόμενο γίνεται ολοένα και εντονότερο με συνέπεια να συμπεραίνουμε ότι ξεπερνάει σε ένταση και τη λειψυδρία του 1990. Πλήττει ολόκληρη την Κύπρο, γεγονός που συμβαίνει μέχρι τον Σεπτέμβριο. Ύστερα από την ύφεση Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου η λειψυδρία εμφανίζεται εντονότερα στην ευρύτερη περιοχή της Λευκωσίας κατά τον μήνα Νοέμβριο για να μειωθεί αισθητά στο τέλος του έτους 2007. Σύμφωνα με τον SPI12 εμφανίζεται τον Φεβρουάριο του 2007 και γενικά εμφανίζεται εντονότερο το φαινόμενο σε σχέση με τον SPI6. Η λειψυδρία λαμβάνει χώρα τον Ιούλιο του 2007. Η διαφορά αυτή μεταξύ του SPI6 και του SPI12 εξηγείται από το ότι ο SPI12 λαμβάνει υπόψη του περισσότερους μήνες έτσι δεν είναι τόσο ευαίσθητος στις γρήγορες μεταβολές. Οι υποθέσεις και σε αυτή την περίπτωση επιβεβαιώνουν ότι η λειψυδρία σε μεγαλύτερα υψόμετρα πιθανώς να είναι ηπιότερη.

Τέλος το έτος 2008 επιλέχθηκε για τον λόγο ότι είχαν σημειωθεί σημαντικές βροχοπτώσεις σχεδόν σε όλη την Κύπρο. Ο SPI6 έδειξε σημαντική λειψυδρία για το μήνα Απρίλιο που πιθανώς να οφειλόταν στην προηγούμενη χρόνια όπου δεν ήταν και από τις υγρότερες. Στη συνέχεια από τον Μάιο έως και τον Αύγουστο ο δείκτης έδειξε ότι υπήρχε μικρής έντασης πρόβλημα στην ευρύτερη περιοχή ανάμεσα στην Πάφο και τη Λεμεσό. Στη συνέχεια ο δείκτης δεν έδωσε σημαντικά προβλήματα, δηλαδή μεγάλα και ακραία φαινόμενα λειψυδρίας με εξαίρεση αισθητά το Νοέμβριο και λιγότερο τον Δεκέμβριο. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα του SPI12 που

επιβεβαίωσαν την παρατήρηση για τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο όπως επίσης και για τις περιοχές που προαναφέρθηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη εξετάστηκαν οι σημαντικότερες λειψυδρίες στην Κύπρο. Όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια τα έτη που έπληξαν την Κύπρο ήταν το 1972, 1990, και το 2007. Η μεγαλύτερη λειψυδρία ήταν αυτή του 2007 και σε διάρκεια και σε ένταση. Αρχικά δημιούργησε σοβαρά προβλήματα στην άρδευση των καλλιεργειών και την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας στην αρχή του έτους και συγκεκριμένα το Μάρτιο σύμφωνα με τον SPI 3, που στην ουσία ξεκινά η άρδευση των καλλιεργειών. Τα αποθέματα του νερού βρίσκονταν στο 10,4% της χωρητικότητάς τους, ποσοστό μειωμένο κατά 15,2% σε σχέση με την προηγούμενη χρονιά. Οι βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια του χειμώνα ήταν αισθητά μειωμένες, φτάνοντας μόλις στο 50% του μέσου όρου. Σε αντίθεση με τον SPI12 τα αποτελέσματα του αποτυπώνουν ότι ο χειρότερος μήνας για την Κύπρο ήταν ο Ιούλιος.

Η κυπριακή επικράτεια είχε σοβαρότατο πρόβλημα στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους που δημιουργούσαν προβλήματα στην ύδρευση. Η κρατική υδατική πολιτική έβαλε σα στόχο την απεξάρτηση της κάλυψης των αναγκών ύδρευσης της Κύπρου από τις κλιματικές συνθήκες και τις βροχοπτώσεις. Η δημιουργία νέων μονάδων αφαλάτωσης και η αναβάθμιση των υφιστάμενων μονάδων αποτελούν τα κυριότερα μέτρα επίτευξης αυτού του στόχου. Επιπλέον πάρθηκαν γρήγορα μέτρα από την τότε Κυβέρνηση για τη διάνοιξη γεωτρήσεων, για τη μεταφορά νερού με υδροφόρα πλοία (με πολύ μεγάλο κόστος) καθώς και τη δημιουργία και συντήρηση φραγμάτων.

Οι άλλες δυο λειψυδρίες που εξετάστηκαν, δηλαδή του 1972 και 1990 μπορεί να μην ήταν εξίσου έντονες με του 2007 όμως και αυτές δημιούργησαν σημαντικά προβλήματα κυρίως στον αγροτικό τομέα. Η λειψυδρία του 1972 έπληξε κυρίως την Πάφο και τη Λεμεσό. Ιδιαίτερα το πρόβλημα έγινε εντονότερο τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω τουρισμού που η ζήτηση του νερού είναι αυξημένη. Προς το τέλος του έτους το φαινόμενο αυτό εντάθηκε σε ολόκληρη την Κύπρο, ύστερα εξασθένησε και στο τέλος του έτους επανήλθαν οι φυσιολογικές συνθήκες. Η λειψυδρία του 1990 ήταν η μεγαλύτερη από αυτή του 1972, δημιούργησε προβλήματα στις καλλιέργειες της ευρύτερης περιοχής του όρους Τροόδους καθώς και της πεδιάδας της Μεσαορίας.

Εξετάζοντας τα μεγάλα υδατικά έργα σε κυβερνητικό επίπεδο συμπεραίνουμε ότι τα επιφανειακά νερά παρέμειναν αναξιοποίητα μέχρι το 1960 λόγω του μεγάλου κόστους που απαιτείται για την ανάπτυξή τους. Μετά την ανεξαρτησία από την Αγγλική κυριαρχία και με τη βοήθεια του FAO (Food and Agriculture Organization) άρχισε η κατασκευή φραγμάτων για την ανάπτυξη των επιφανειακών υδάτων. Η χωρητικότητα των φραγμάτων ήταν το 1960 $6 * 10^6 \text{ m}^3$ και σήμερα η χωρητικότητα στις ελεύθερες περιοχές είναι γύρω στα $312,81 * 10^6 \text{ m}^3$ από τα οποία $304,5 * 10^6 \text{ m}^3$ είναι η ολική χωρητικότητα των φραγμάτων των Κυβερνητικών Υδατικών Έργων, $4,57 * 10^6 \text{ m}^3$ των μικρών κοινοτικών φραγμάτων και λιμνοδεξαμενών και τα υπόλοιπα $3,74 * 10^6 \text{ m}^3$ των εμπλουτιστικών φραγμάτων.

Την ευθύνη για τη λειτουργία και τη συντήρησή τους έχει το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, εκτός από μερικά έργα όπως το έργο Γερμασόγειας-Πολεμιδιών, Καλοπαναγιώτη, Αγίας Μαρίνας Χρυσοχούς και Πωμού όπου η διαχείριση του έργου γίνεται από την Υδατική Επιτροπή της οποίας παρεδρεύει ο Έπαρχος ενώ την ευθύνη για τη συντήρηση και την κατανομή του νερού την έχει το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων.

Από αυτά τα έργα του Νοτίου Αγωγού, Βασιλικού-Πεντάσχοινου και Γερμασόγειας-Πολεμιδιών αποτελούν το ενιαίο έργο του Νοτίου Αγωγού το οποίο εκτός από τους άλλους σκοπούς παρέχει επίσης πόσιμο νερό μέσω των διυλιστηρίων Χοιροκιτίας, Κόρνου, Λεμεσού και Τερσεφάνου στις αστικές περιοχές Λευκωσίας, Λεμεσού και Λάρνακας καθώς και στην ελεύθερη περιοχή της Αμμοχώστου και σε πολλά χωριά των πιο πάνω επαρχιών.

Για το έτος 2008 πραγματοποιήθηκε η ίδια διαδικασία ώστε να εμφανιστούν οι διαφορές ανάμεσα σε ένα υγρό έτος με ένα έτος ακραίων λειψυδριών. Η διαφορά ήταν εμφανής όπου σχεδόν όλη η Κύπρος ήταν σχεδόν υγρή σε αντίθεση με τα έτη λειψυδρίας. Η χρήση των δεικτών της λειψυδρίας είναι ένα σημαντικό κομμάτι για την ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων σε μια περιοχή ή σε εθνικό επίπεδο. Για μεγαλύτερη ασφάλεια και για καλύτερα αποτελέσματα χρειάζεται η χρησιμοποίηση περισσότερων από ένα δείκτη. Ένα άλλο μέρος της διαχείρισης είναι η πρόγνωση για το φαινόμενο της λειψυδρίας, όμως είναι εξαιρετικά δύσκολο και επικίνδυνο ειδικά για μεγάλες χρονικές περιόδους, αλλά σε συνδυασμό δεικτών-πρόγνωσης τα αποτελέσματα για τη λήψη των αποφάσεων θα είναι σαφώς ικανοποιητικότερα. Επίσης σημαντικό κομμάτι είναι η ποιότητα των μετεωρολογικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Στην εν λόγω μελέτη το πλήθος των μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αρκετά ικανοποιητικό, όμως δεν υπήρχαν δεδομένα βροχοπτώσεων για μερικούς μήνες του 1972 και 1990.

Προκειμένου να υπάρχει ένα πλάνο πρόληψης για την Κύπρο αλλά και σε άλλες περιοχές που πλήττονται από ακραία φαινόμενα λειψυδρίας πρέπει να υφίσταται ένα σχέδιο δράσης ικανό να θέσει τους σκοπούς και τους στόχους με στρατηγική διορατικότητα για τη διαχείριση των υδατικών πόρων. Όμως συνήθως οι πολιτικοί και οι λήπτες των αποφάσεων δεν λειτουργούν με διορατικότητα και βάση

του σχεδίου που υπάρχει για την αντιμετώπιση και τον μετριασμό του φαινομένου, όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω όπου αποτυπώνεται η παρούσα κατάσταση με τον υδρο(παρα)λογικό κύκλο. Η ανησυχία και ο πανικός κατά τη διάρκεια μιας λειψυδρίας αντικαθίστανται γρήγορα από την απάθεια μόλις επιστρέψουν οι βροχές και οι συνθήκες λειψυδρίας βελτιωθούν.



Εικόνα 29. Ο Υδρο(παρα)λογικός Κύκλος.

Σημαντικό είναι να εκπονηθεί ένα σχέδιο δράσης που με την υποστήριξη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων θα πρέπει να γίνει κατάρτιση των στρατηγικών διαχείρισης λειψυδριών και ενός βραχυπρόθεσμου σχεδίου αντιμετώπισης κινδύνου λειψυδρίας που να αναπτύσσει και να δίνει λύσεις πως πρέπει μία χώρα να προφυλαχθεί και να αντιμετωπίσει την επερχόμενη λειψυδρία.

Επιπλέον να αναλύει τις ευθύνες και τα καθήκοντα των ειδικών ομάδων δράσης αλλά και των ληπτών των αποφάσεων. Οι λειψυδρίες των τελευταίων ετών όπως εμφανίστηκαν στην παρούσα μελέτη έδειξαν ότι η πολιτεία πρέπει να οργανωθεί με το ισχυρό όπλο του προληπτικού σχεδιασμού ώστε οι λήπτες των αποφάσεων να μην προβούν σε λύσεις βεβιασμένες και αποφάσεις κάτω από μεγάλη πίεση που τελικά δεν επιφέρουν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Αντίθετα με τη σωστή προετοιμασία μειώνεται η τρωτότητα του συστήματος-περιοχής στα της λειψυδρίας.

Λόγω των παραπάνω, μέσα στα πλαίσια της αντιμετώπισης της στενότητας του νερού η Κυπριακή Κυβέρνηση μελέτησε διάφορες μεθόδους και μέτρα για να αυξήσει το διαθέσιμο νερό ώστε να καλυφθούν οι απαιτήσεις. Τέτοιες μέθοδοι είναι:

1. Επαναχρησιμοποίηση των απόνερων και των χαμηλής ποιότητας υδάτων
 2. Ανάπτυξη πρόσθετων ανανεώσιμων πηγών νερού
 3. Μεταφορά νερού από περιοχές που έχουν νερό
 4. Λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης
 5. Εισαγωγή νερού από άλλες χώρες (ακριβή μέθοδος)
 6. Εφαρμογή διαχειριστικών μέτρων (περικοπές νερού)
- Αυτό δεν είναι διαχειριστικό μέτρο είναι η έσχατη λύση.

Από τις παραπάνω μεθόδους η πιθανότητα να αυξηθεί το νερό με τους πέντε πρώτους τρόπους ήταν περιορισμένες για διάφορους λόγους είτε γιατί υπήρχε αυξημένο κόστος είτε γιατί δεν υπήρχε η δυνατότητα μεταφοράς από άλλες περιοχές (σχεδόν όλες οι περιοχές αντιμετωπίζουν πρόβλημα). Αποφάσισε να υιοθετήσει τη δημιουργία μονάδων αφαλάτωσης. Οι υπάρχουσες μονάδες αφαλάτωσης στην Κύπρο σήμερα είναι δύο: της Δεκέλειας και της Λάρνακας.

Στα πλαίσια της λειτουργίας του συστήματος έχει συμφωνηθεί κατώτατο όριο παραγωγής, δηλαδή σε περίπτωση που υπάρχουν

αυξημένες βροχοπτώσεις και μειώνεται η ανάγκη σε νερό από τις αφαλατώσεις η κυβέρνηση είναι υποχρεωμένη να αγοράζει τη συγκεκριμένη ποσότητα η οποία έχει συμφωνηθεί σαν κατώτατο όριο. Οι λόγοι που οδηγούν στην αναγκαιότητα μονάδων αφαλάτωσης είναι:

1. Αύξηση του διαθέσιμου νερού
2. Αύξηση της αξιοπιστίας ως προς την παροχή νερού
3. Ανεξαρτητοποίηση της προσφοράς νερού από τις κλιματολογικές συνθήκες
4. Αποφυγή οικονομικών επιπτώσεων

Στην περίπτωση της Κύπρου οι μονάδες αφαλάτωσης αποτελούν αξιόπιστη λύση ζωτικής σημασίας στην προσπάθεια αντιμετώπισης της λειψυδρίας, φυσικά με τις όποιες επιπτώσεις επιφέρουν αυτές στην οικονομία και το φυσικό περιβάλλον του νησιού. Το σημαντικό είναι να αμβλύνουμε τις επιπτώσεις και να μπορούμε να έχουμε το πολύτιμο αγαθό του νερού. Ουσιαστικά πρέπει να γίνονται μελέτες για την αναγκαιότητα των μονάδων και αν αυτό κρίνεται σκόπιμο πρέπει να γίνονται και περιβαλλοντικές μελέτες για τον τόπο στον οποίο θα εγκατασταθούν ώστε να αποφεύγονται στο μεγαλύτερο βαθμό οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

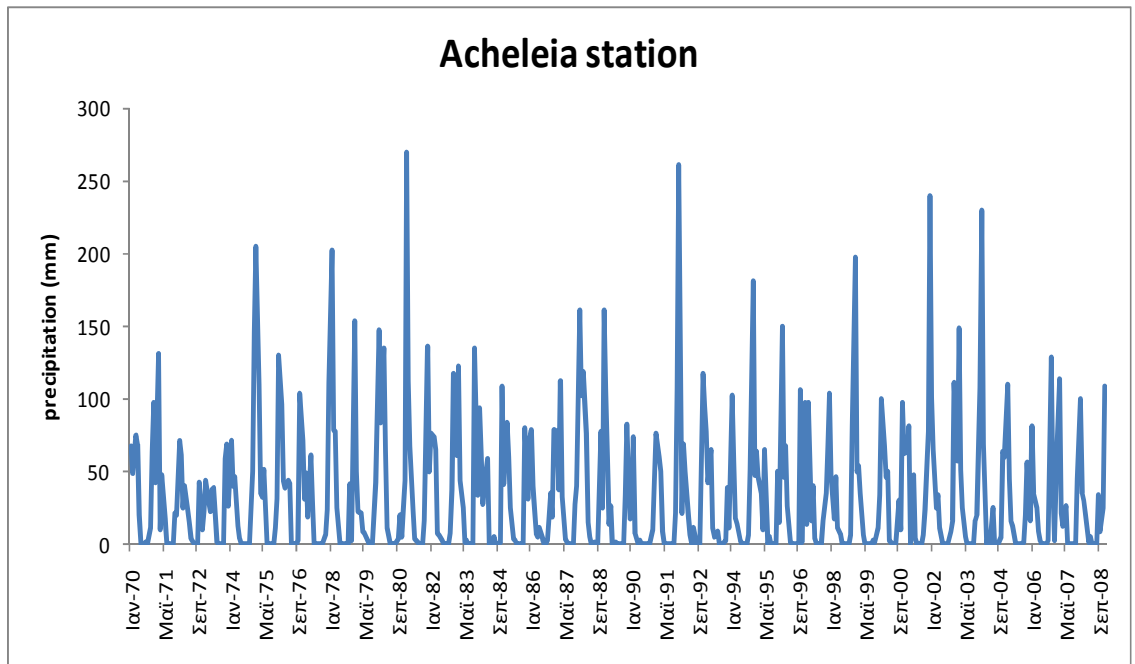
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **Abraham Joe, 2006.** Assessing Drought Impacts and Vulnerabilities for Long-term Planning and Mitigation Programs.
2. **Barraque B., Karavitis C., A. and Katsiardi P., 2008.** Water resources management strategies in WSM case studies in: Coping with Water Deficiencies: from research to Policy making.
3. **Bonaccorso B., Cancelliere A., Di Mauro G., Rossi G., 2006.** Drought forecasting using the SPI.
4. **Cesar N., 2001.** El Nino in History: Storming Through the Ages.
5. **Charalambous C.N., 2001.** Water management under drought condition.
6. **Cyprus in Figures, 2005.** Nicosia, Statistical Service of Cyprus, Republic of Cyprus.
7. **Dermanis A. and Sanso F., 2007.** On the Feasibility of Biased Kriging.
8. **Hayes M., 2004.** Drought Indices. NE: National Drought Mitigation Center University of Nebraska-Lincoln.
9. **Hersch R. and Fairbridge P., 2001.** Encyclopedia of Hydrology and Water Resources.
10. **Lieberman B., 2001.** Larnaca Desalination Plan.
11. **Mc Kee et al., 1993.** Developed the SPI for the purpose of defining and monitoring drought.
12. **Oladipo, 1985.** A comparative performance analysis of three meteorological drought indices.

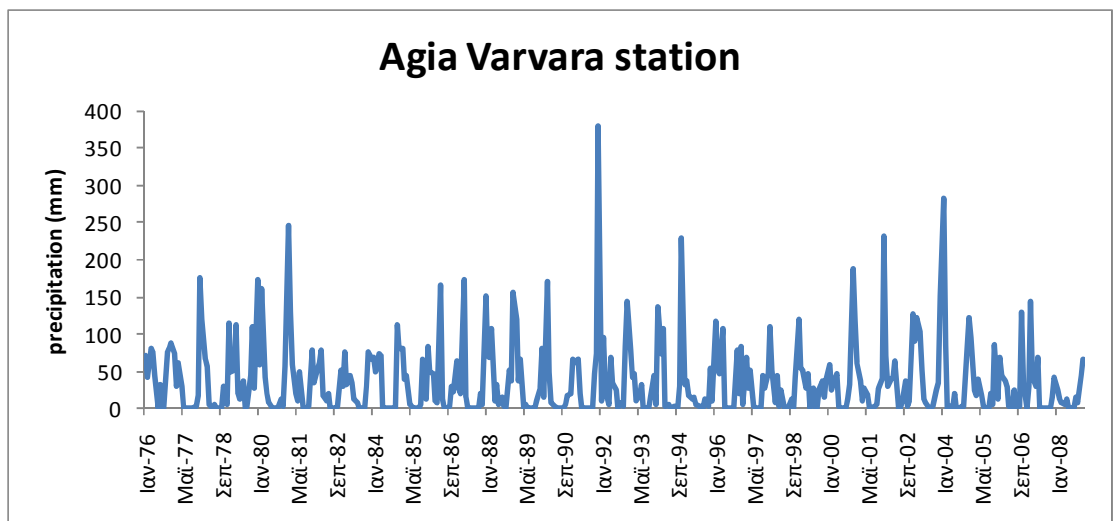
13. **Philander and George S., 1990.** El Nino, la Nina and the Southern Oscillation.
14. **Socratous G., 2001.** Management of water in Cyprus.
15. **Tannehill I.R., 1947.** Drought and its causes and effects.
16. **Tsiourtis N., 2005.** Drought: The Cyprus experience.
17. **Wilhite, D.A. and M.H. Glantz, 1985.** Understanding the Drought Phenomenon: The role of definitions.
18. **Yevjevich V., da Cuncha L., Vlachos E.C., 1983.** Coping with Droughts, editors, Water Resources Publications, Littleton, CO.
19. **Καραβίτης Χρ., 2008.** Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.
20. **Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ., 1999.** Στατιστική Υδρολογία 3^η έκδοση.
21. **Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ., 1999.** Τεχνική Υδρολογία 3^η έκδοση.
22. **Φλόκας Α., 1997.** Μαθήματα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας.
23. **Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων,**
http://www.cyprus.gov.cy/moa/wdd/wdd.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument
24. **Drought Management Center for Southeastern Europe,** <http://www.dmcsee.org/>
25. **National drought Mitigation Center,**
<http://drought.unl.edu/>
26. **World Meteorological Organization,**
http://www.wmo.int/pages/index_en.html

Παράρτημα Ι

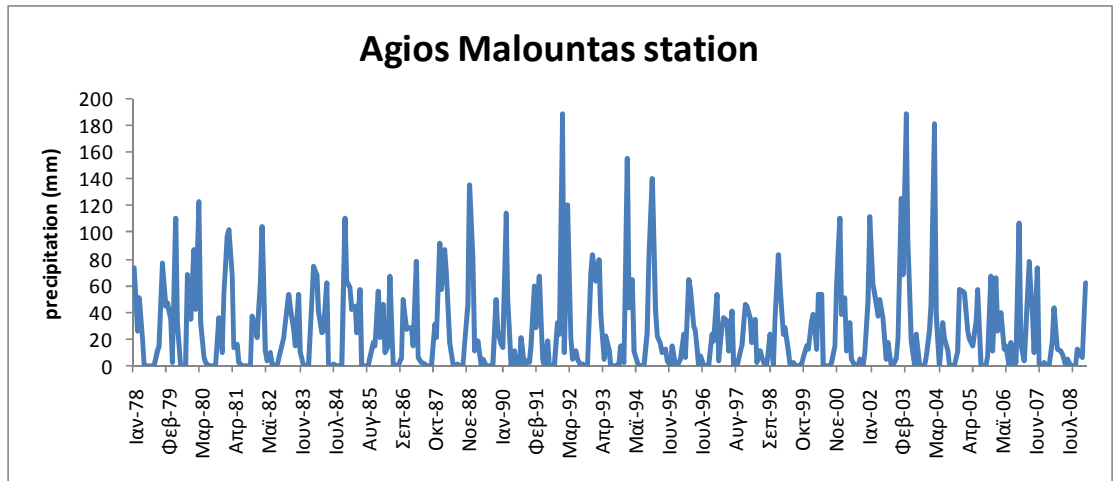
Βροχοπτώσεις



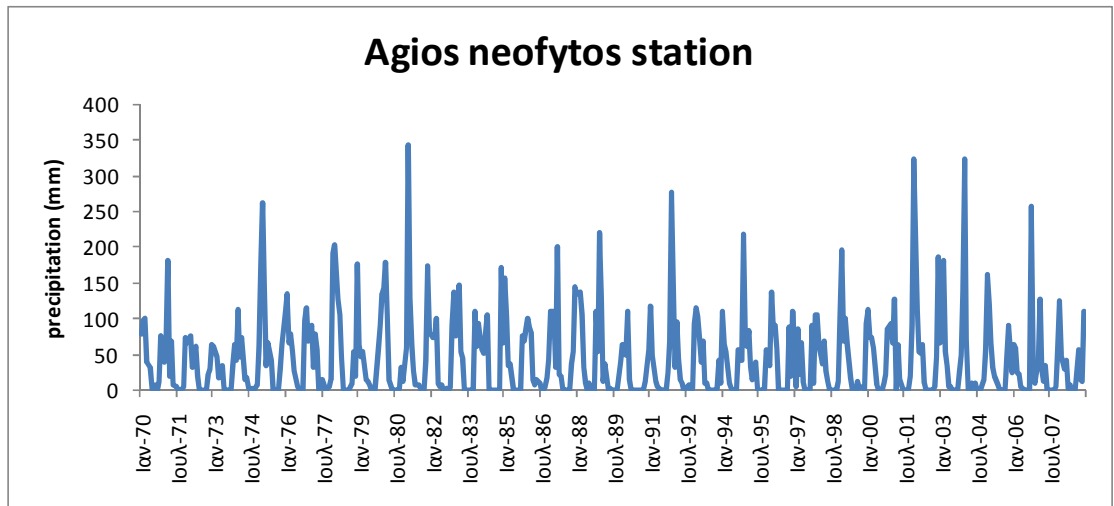
Διάγραμμα Ι.1. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Αχείλειας



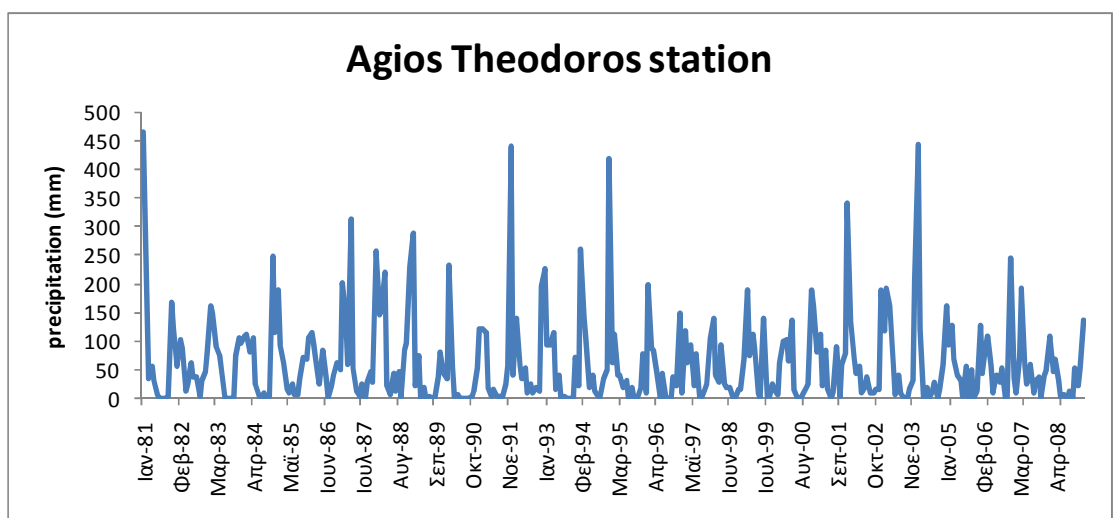
Διάγραμμα Ι.2. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Αγ. Βαρβάρας



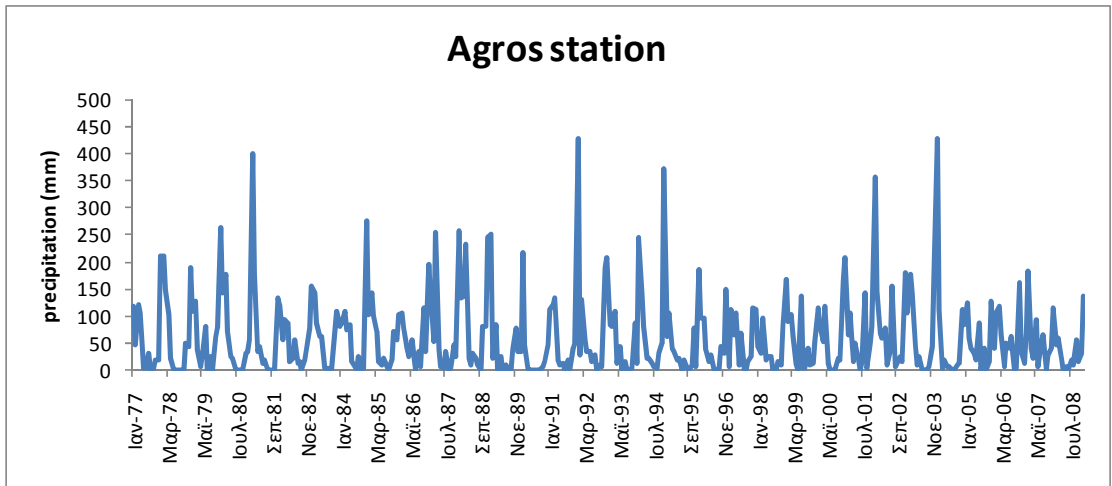
Διάγραμμα Ι.3. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αγ. Ιωάννη Μαλούντα



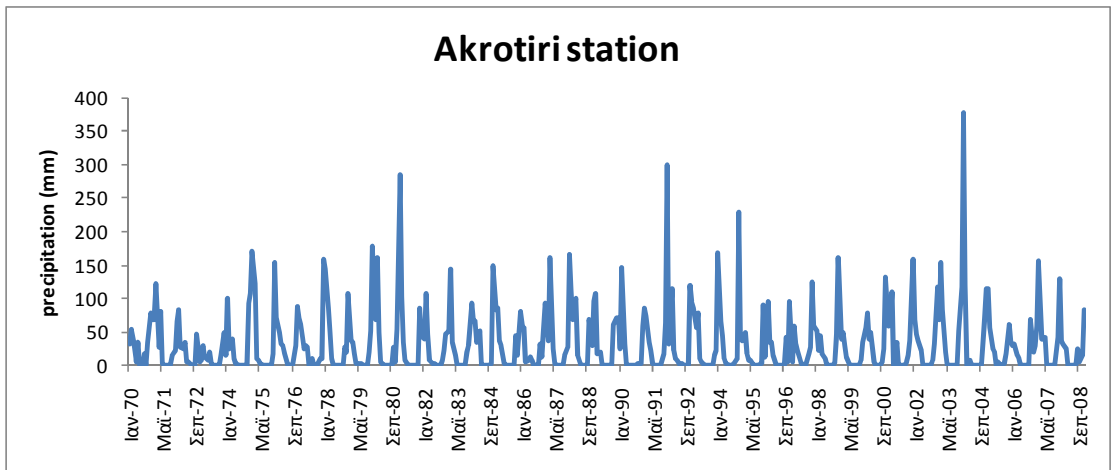
Διάγραμμα Ι.4. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αγ. Νεόφυτου



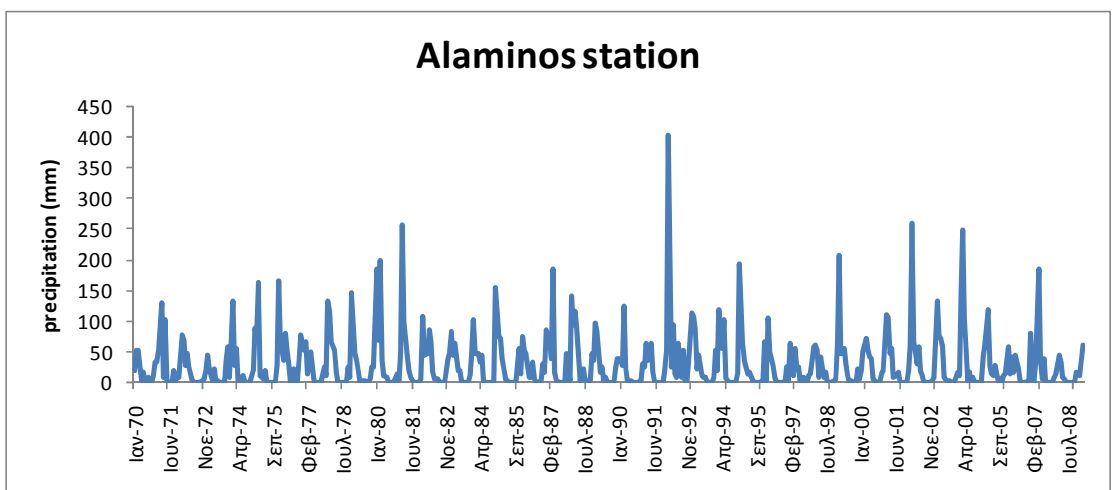
Διάγραμμα Ι.5. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αγ. Θεόδωρου



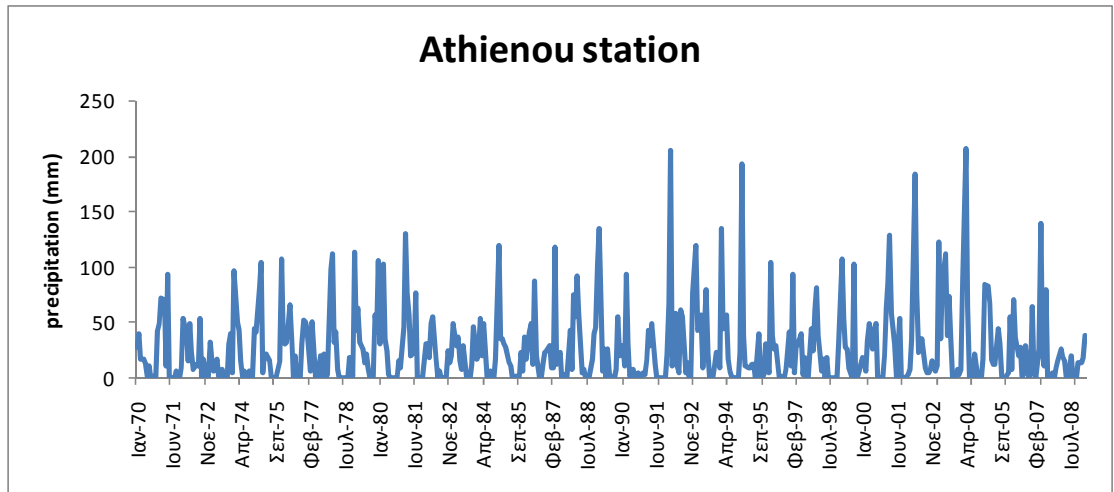
Διάγραμμα Ι.6. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αργού



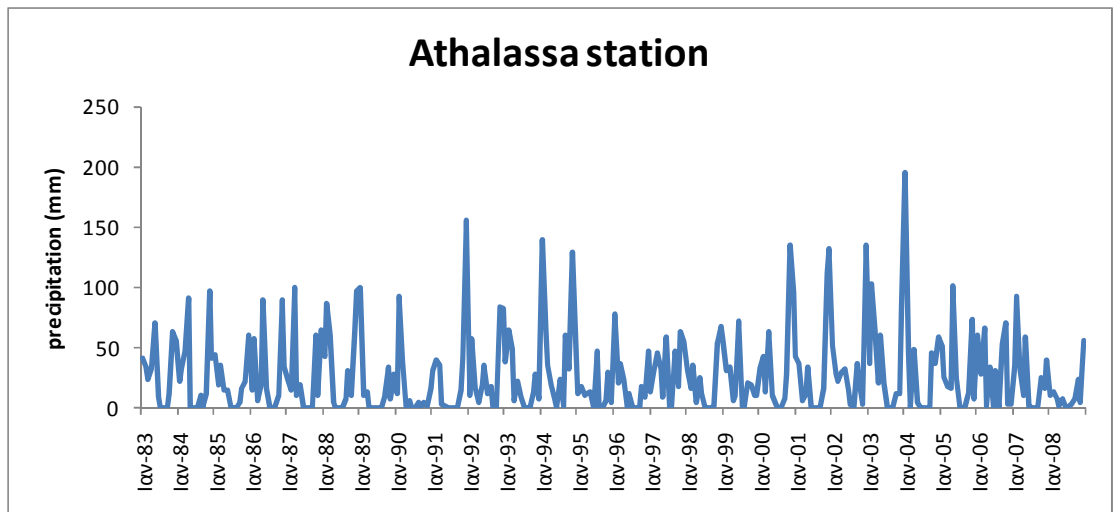
Διάγραμμα Ι.7. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ακρωτηρίου



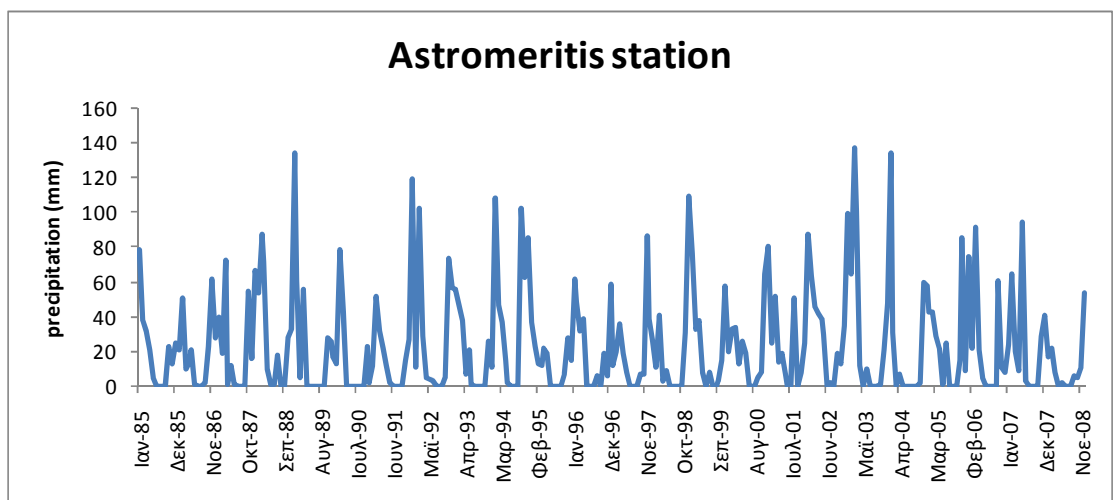
Διάγραμμα Ι.8. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αλάμινου



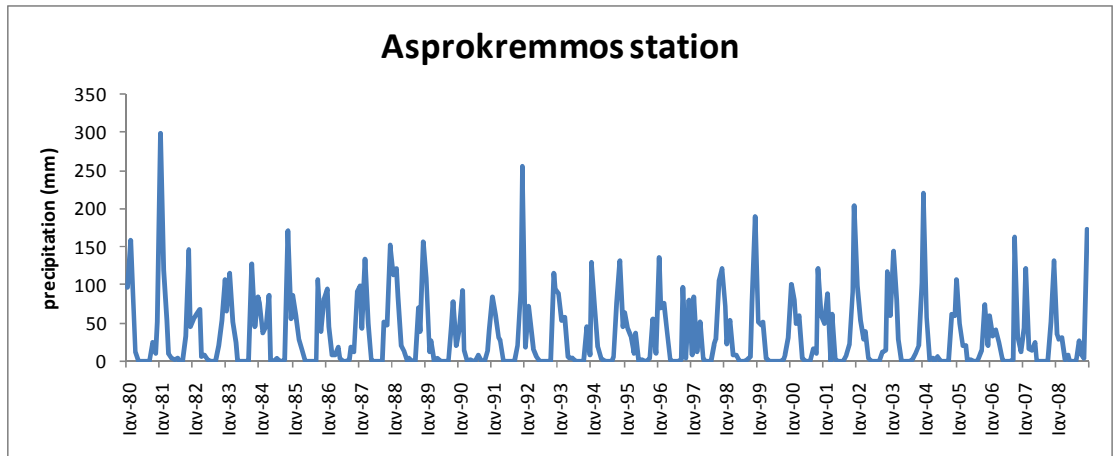
Διάγραμμα I.9. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αθιένου



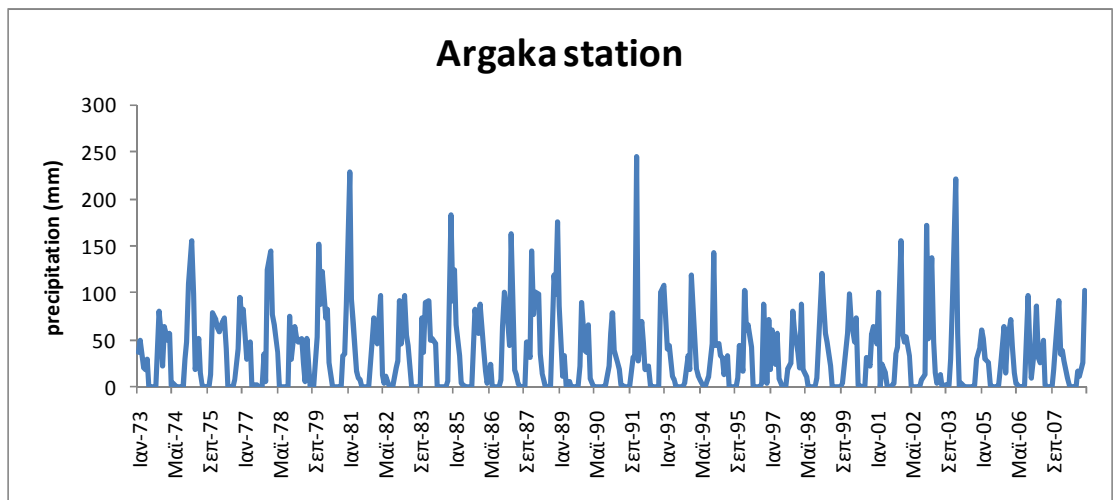
Διάγραμμα I.10. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Αθάλασσας



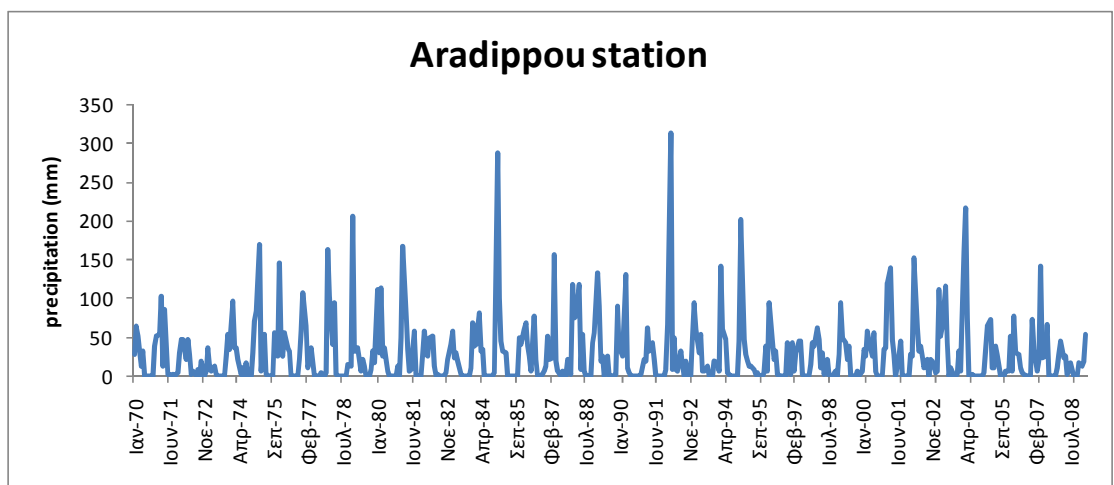
Διάγραμμα I.11. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αστρομερίτη



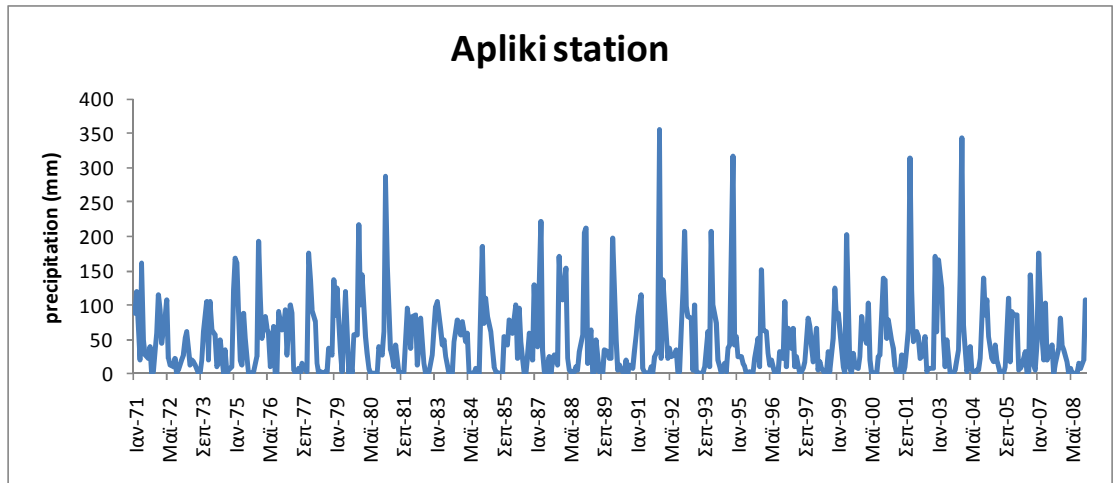
Διάγραμμα I.12. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ασπρόκρεμμου



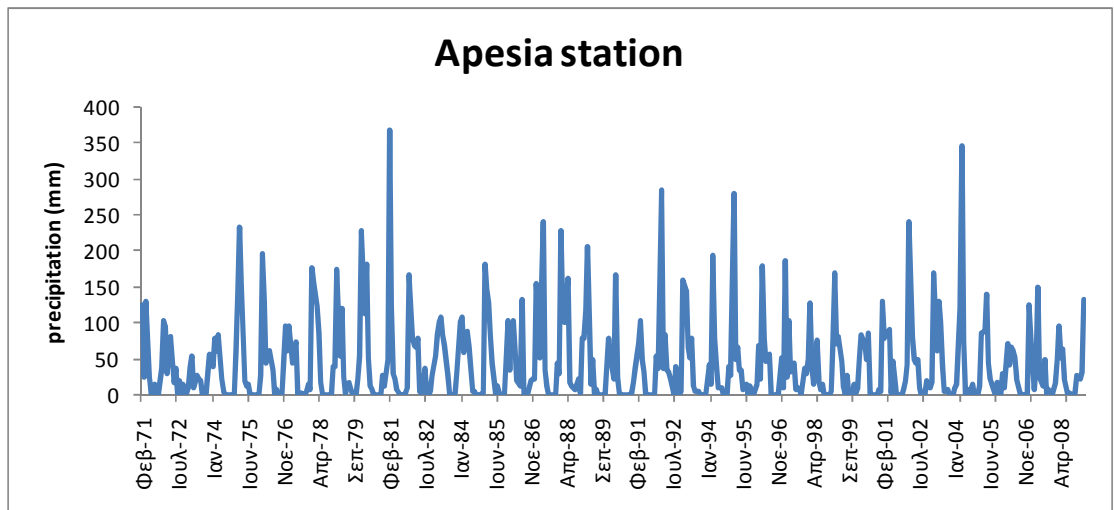
Διάγραμμα I.13. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Αργάκας



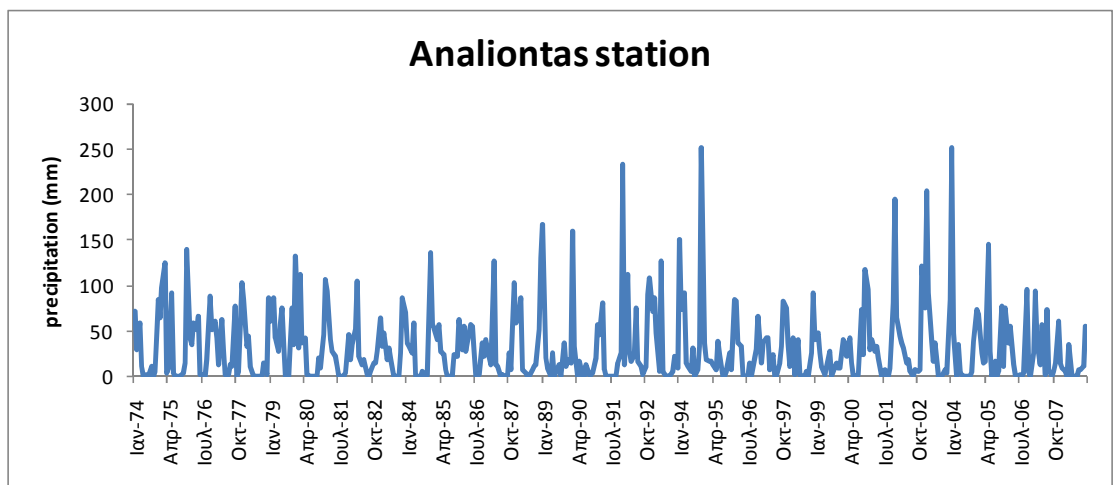
Διάγραμμα I.14. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αραδίππου



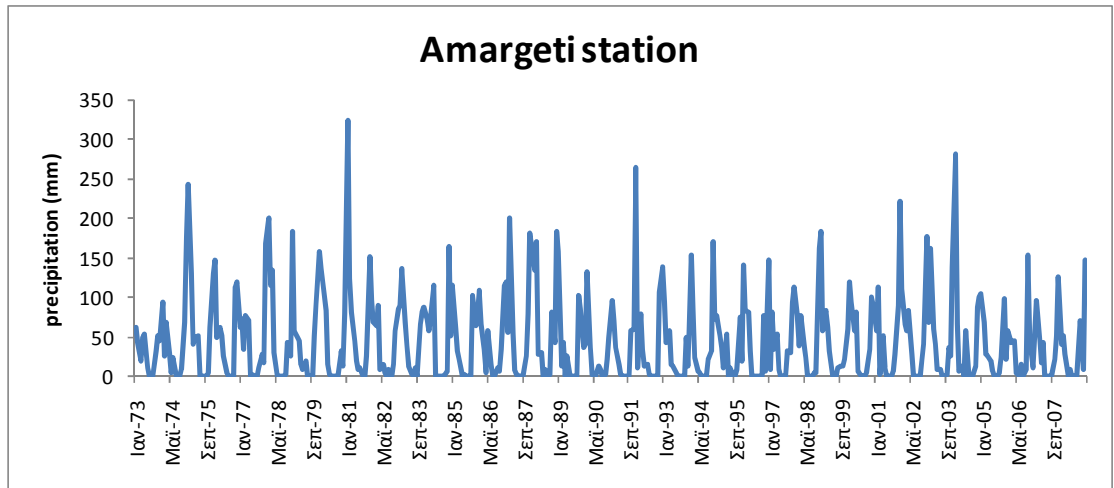
Διάγραμμα I.15. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Απλικίου



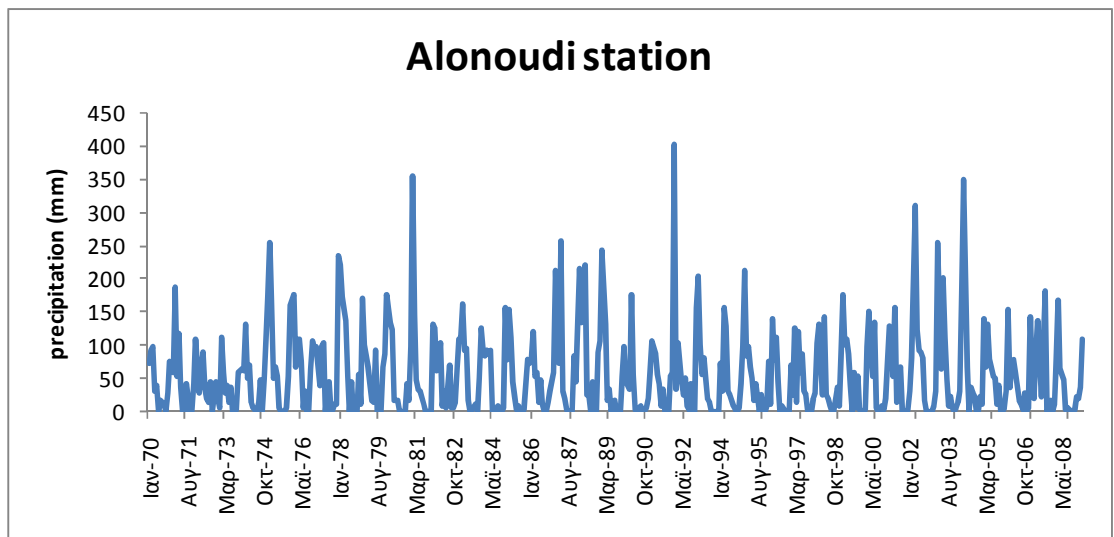
Διάγραμμα I.16. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Απέσιας



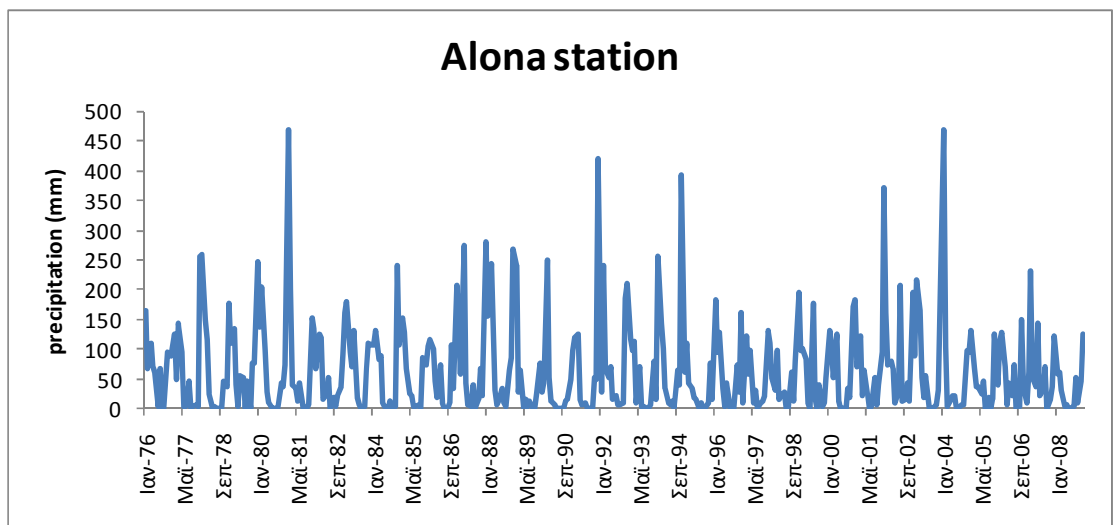
Διάγραμμα I.17. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αναλιόντα



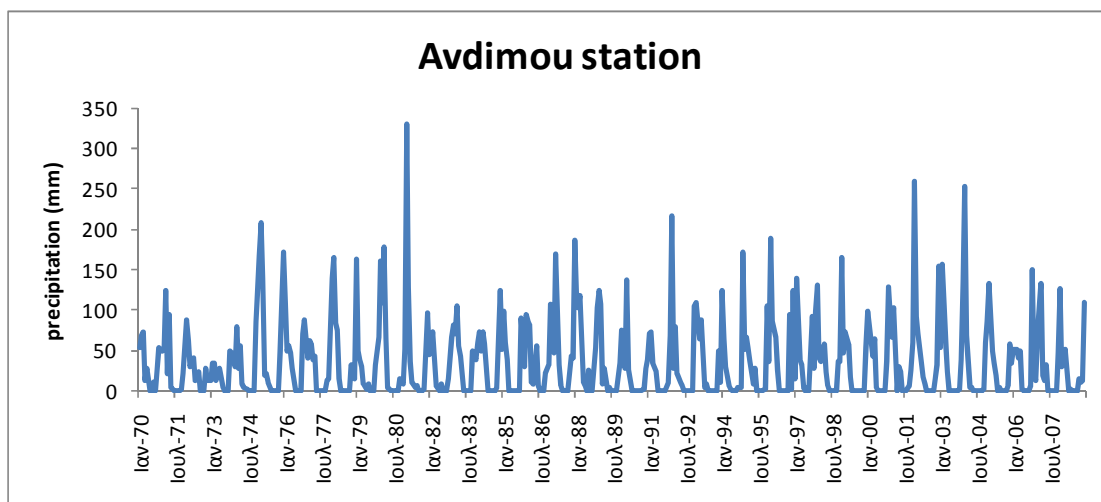
Διάγραμμα I.18. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αμαργετίου



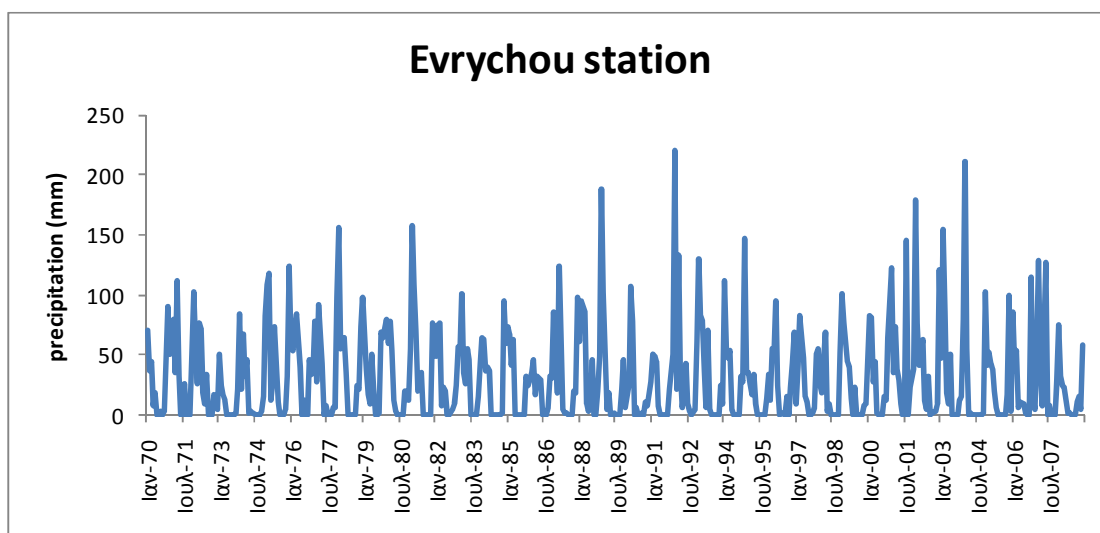
Διάγραμμα I.19. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αλονουδίου



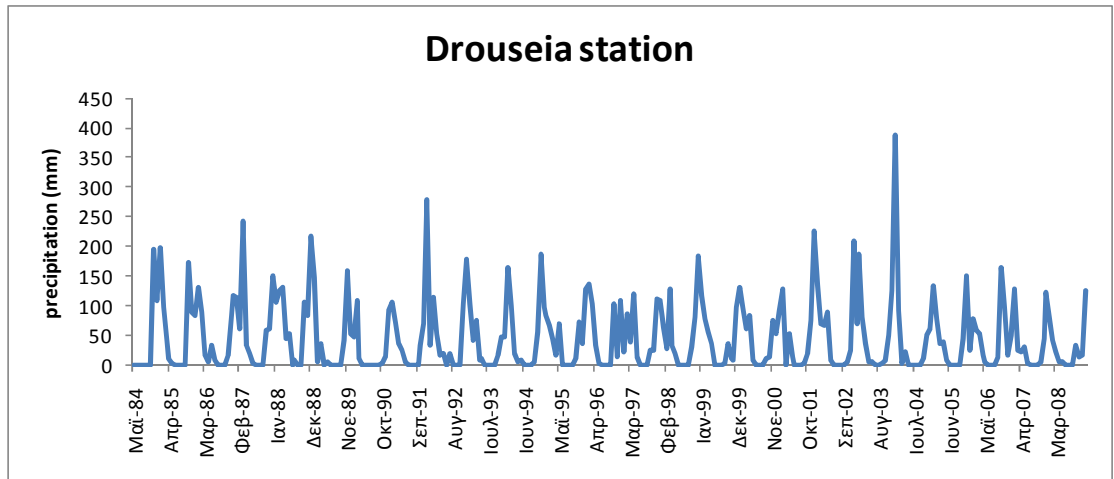
Διάγραμμα I.20. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Αλόνας



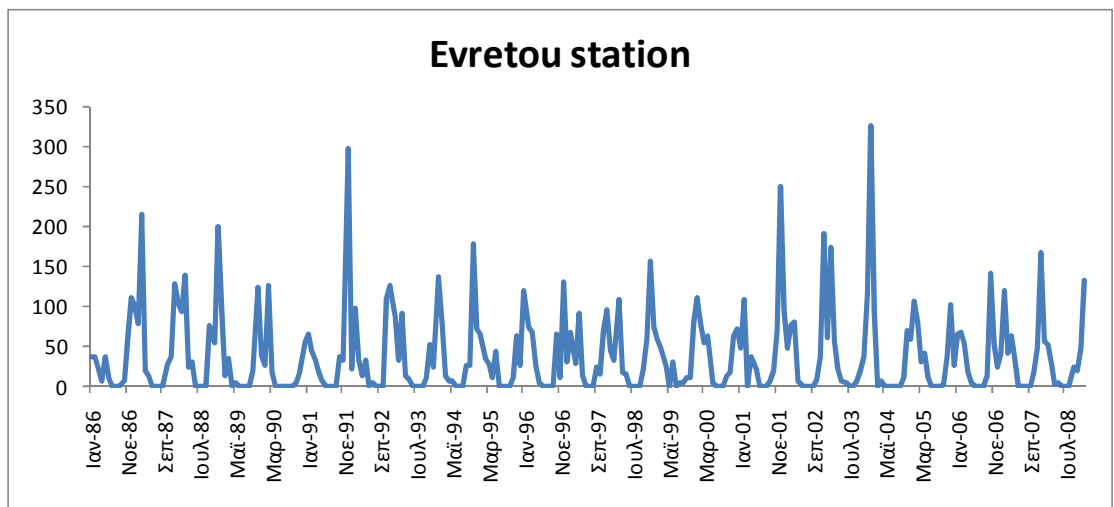
Διάγραμμα I.21. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αυδήμου



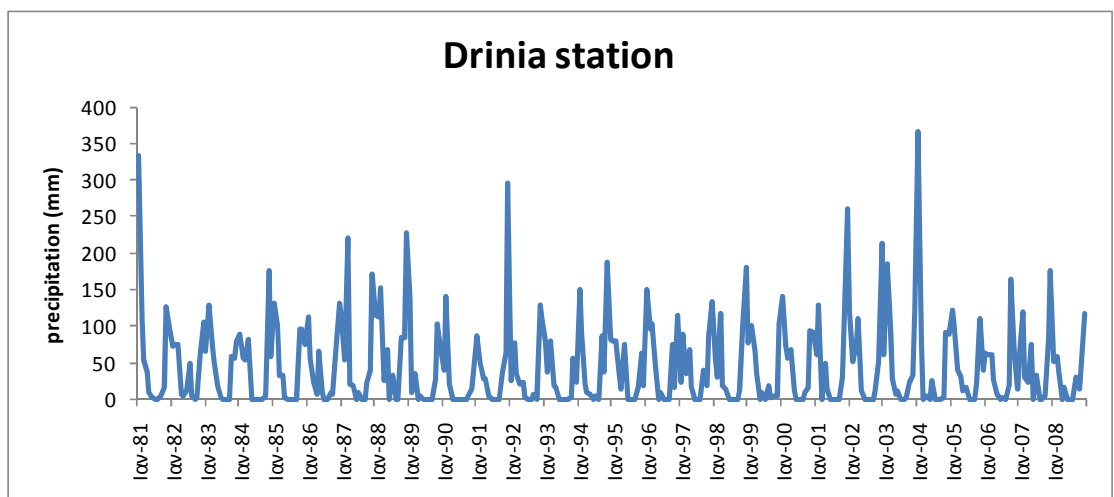
Διάγραμμα I.22. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ευρύχου



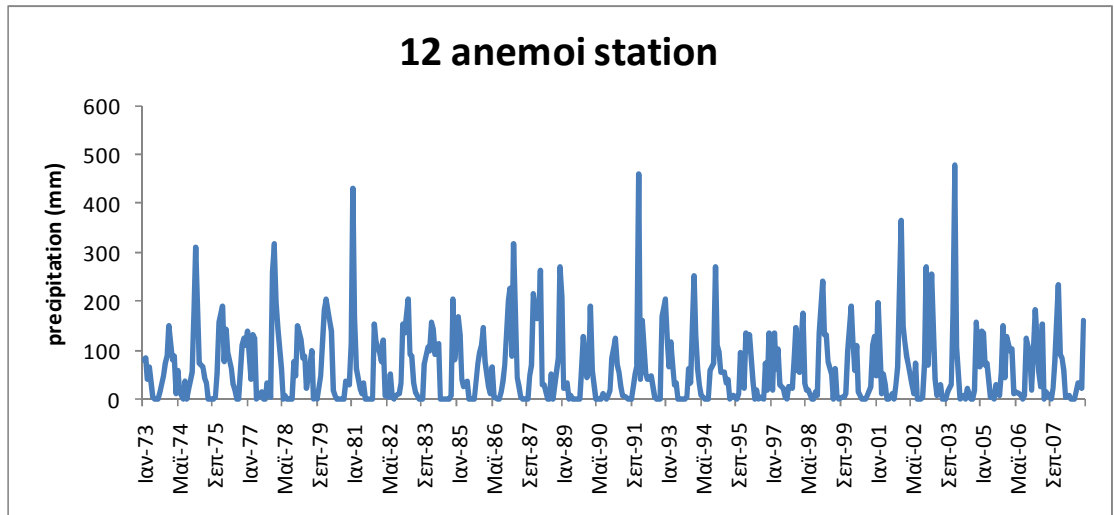
Διάγραμμα Ι.23. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Δρούσειας



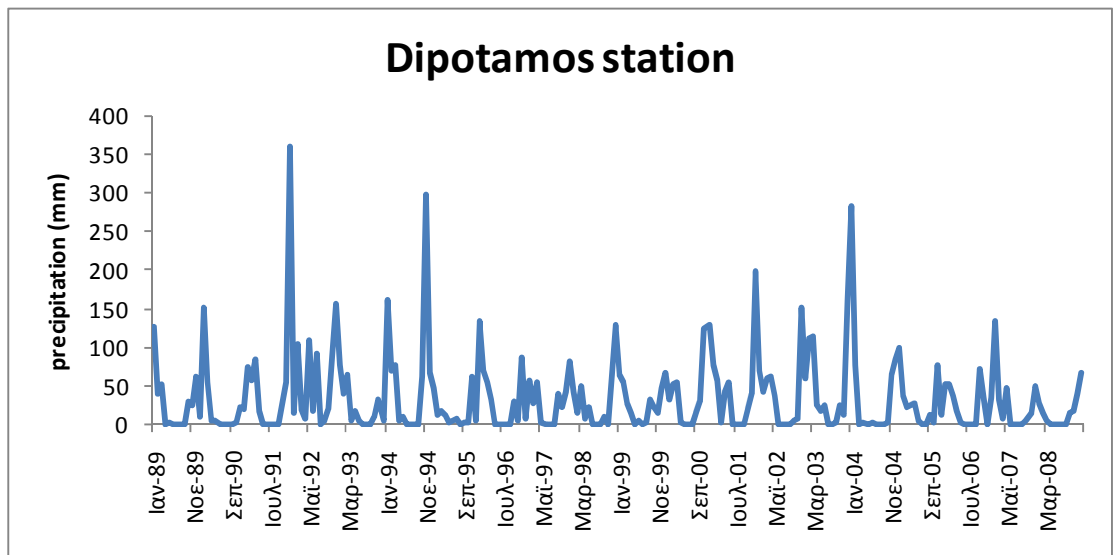
Διάγραμμα Ι.24. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ευρετού



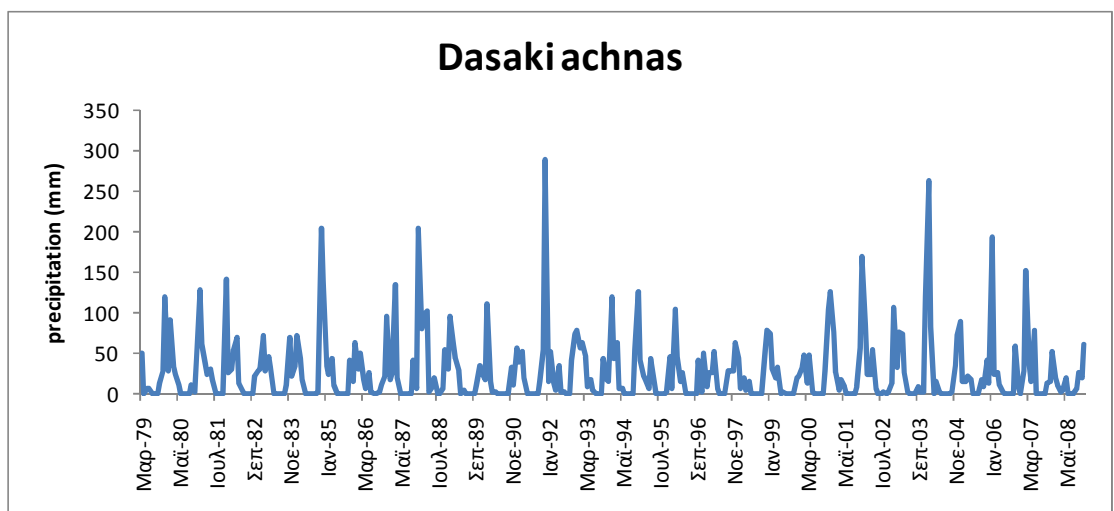
Διάγραμμα Ι.25. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Δρίνιας



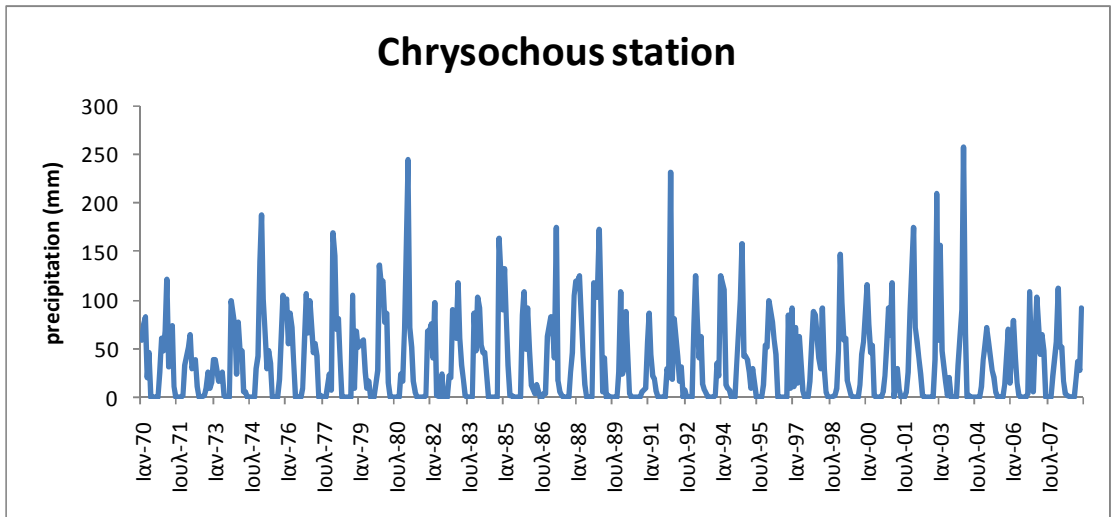
Διάγραμμα I.26. Βροχόπτωση για τον σταθμό 12 άνεμοι



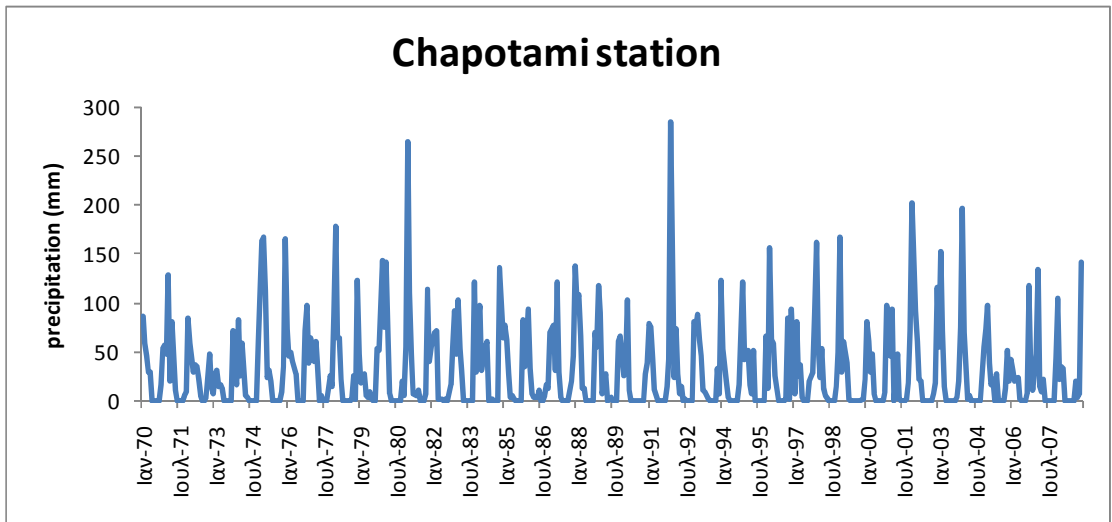
Διάγραμμα I.27. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Διπόταμου



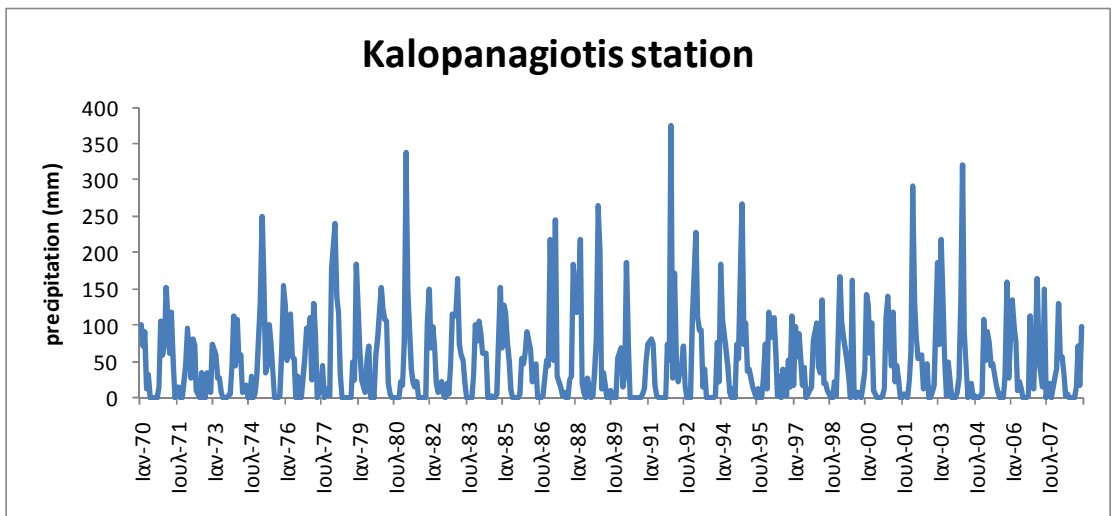
Διάγραμμα I.28. Βροχόπτωση για τον σταθμό Δασάκι Άχνας



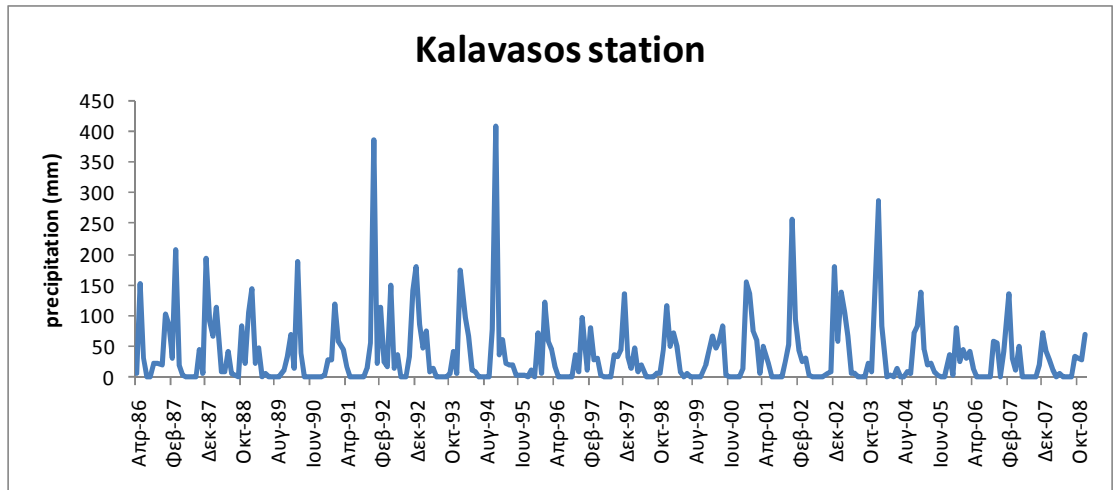
Διάγραμμα I.29. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Χρυσοχούς



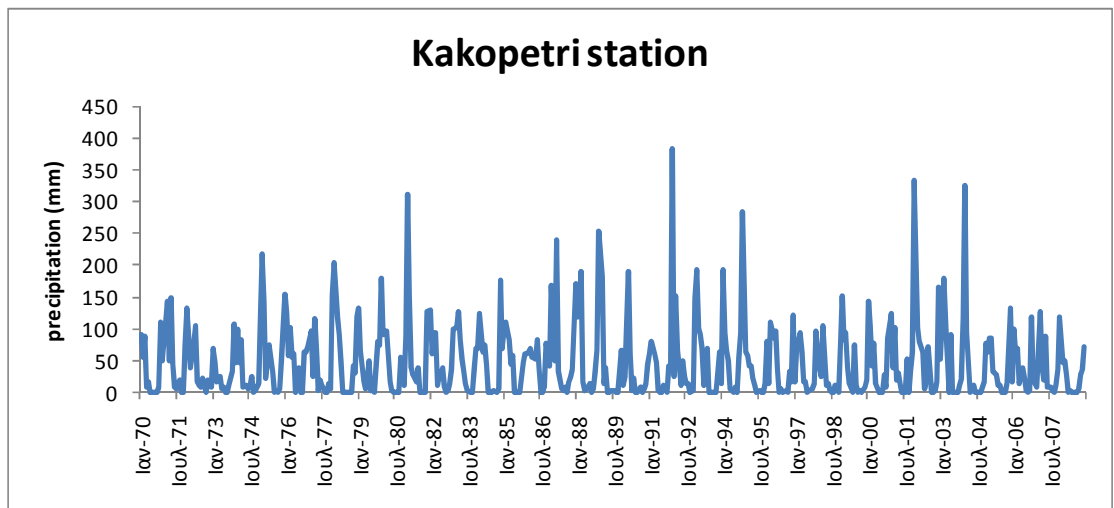
Διάγραμμα I.30. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Τσαποτάμι



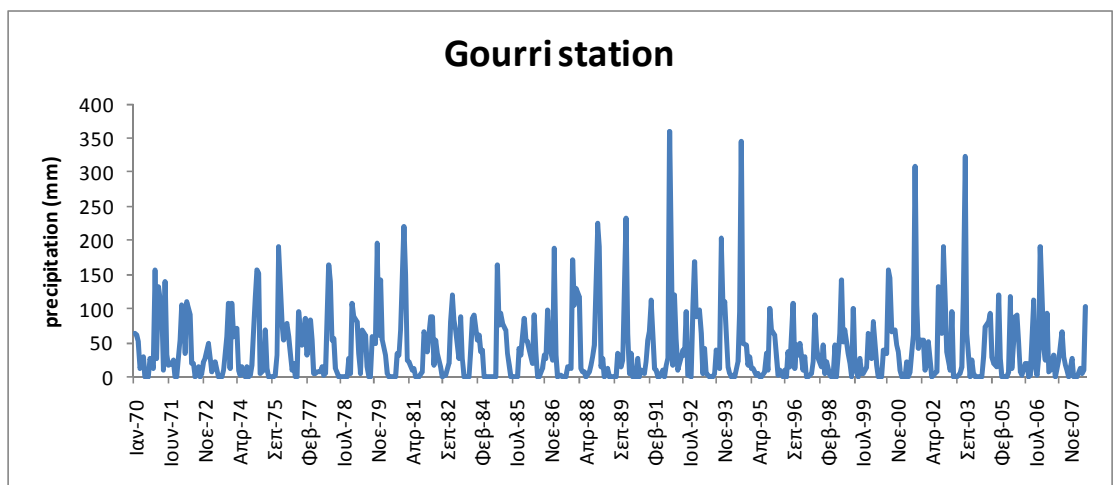
Διάγραμμα I.31. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Καλοπαναγιώτη



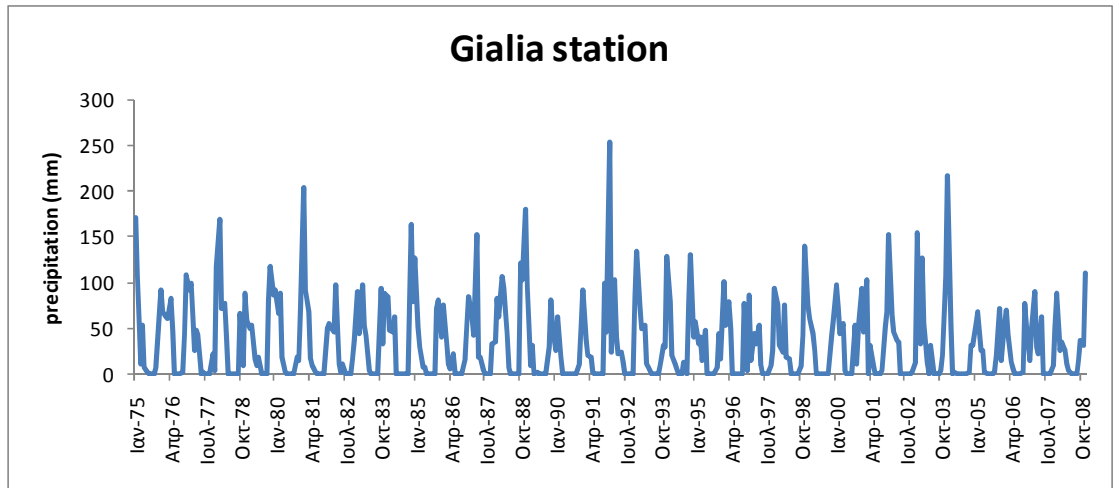
Διάγραμμα I.32. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Καλάβασου



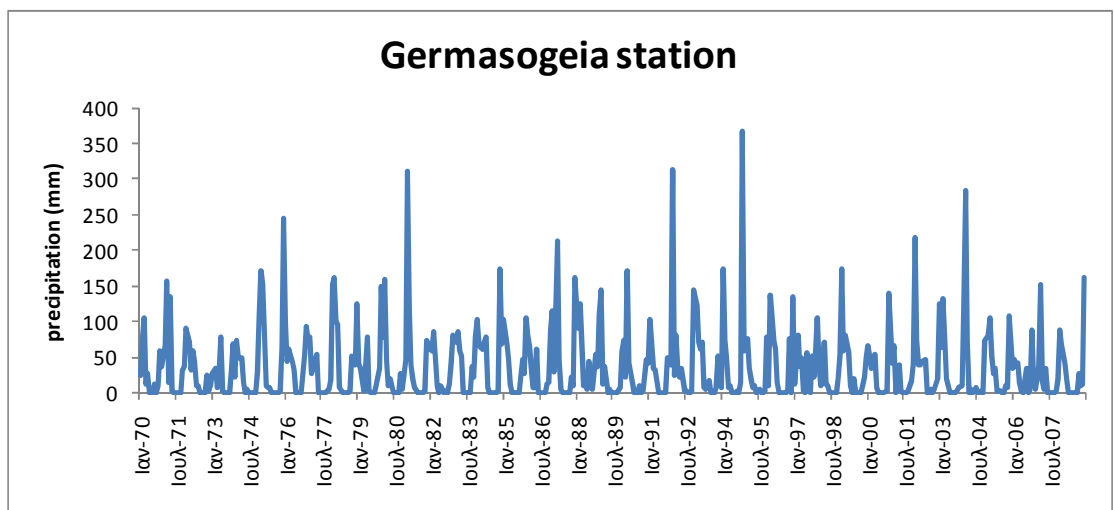
Διάγραμμα I.33. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Κακοπετρίου



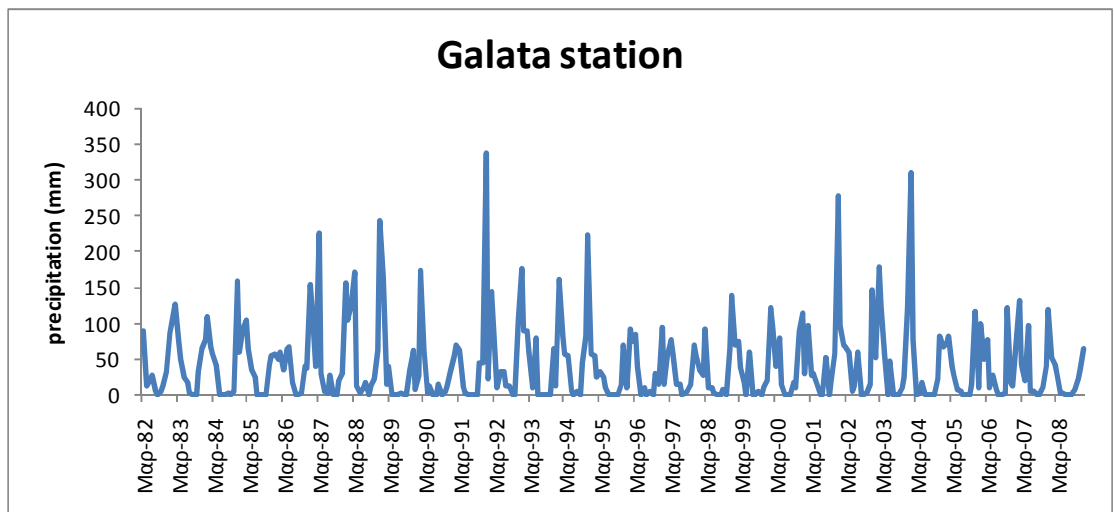
Διάγραμμα I.34. Βροχόπτωση για τον σταθμό Γούρι



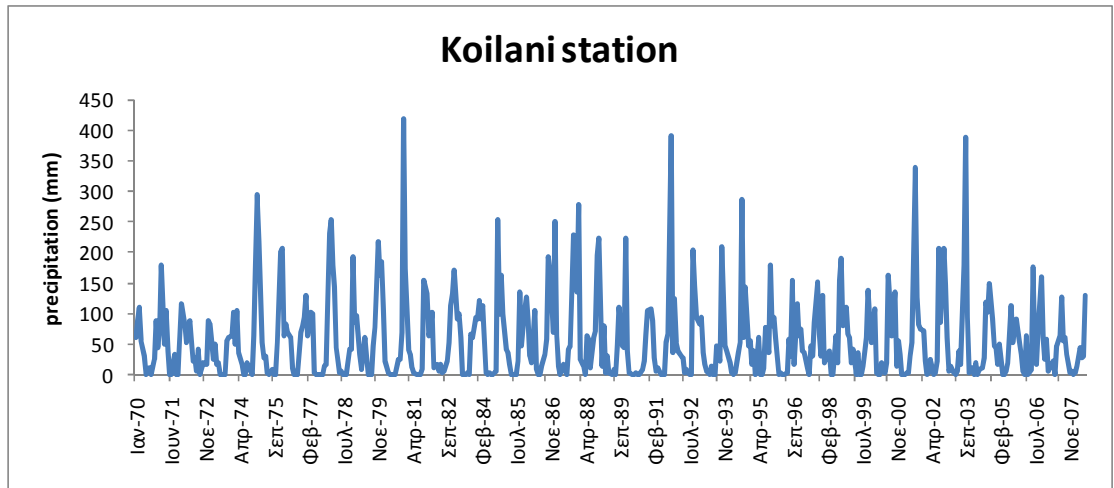
Διάγραμμα 1.35. Βροχόπτωση για τον σταθμό Γαλία



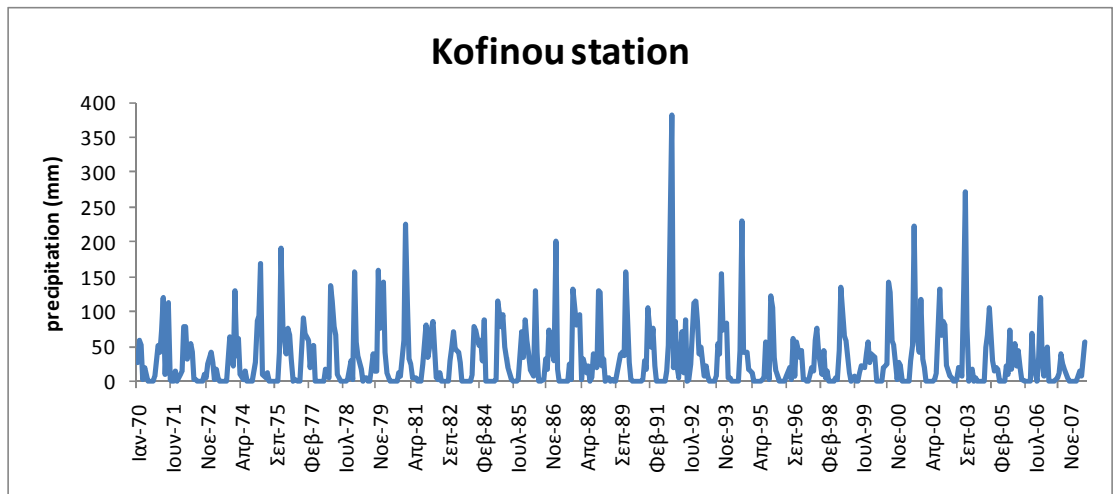
Διάγραμμα 1.36. Βροχόπτωση για τον σταθμό Γερμασόγεια



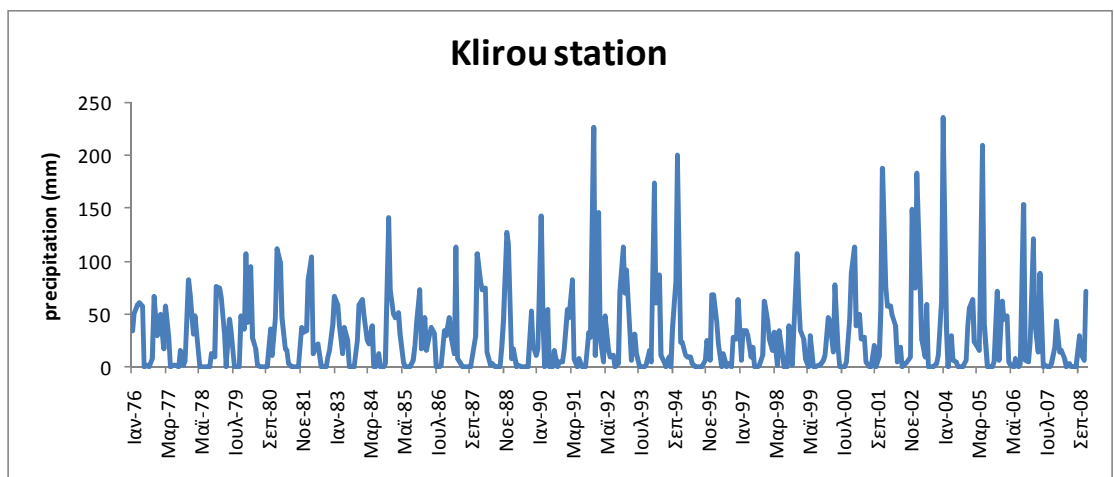
Διάγραμμα 1.37. Βροχόπτωση για τον σταθμό Γαλατά



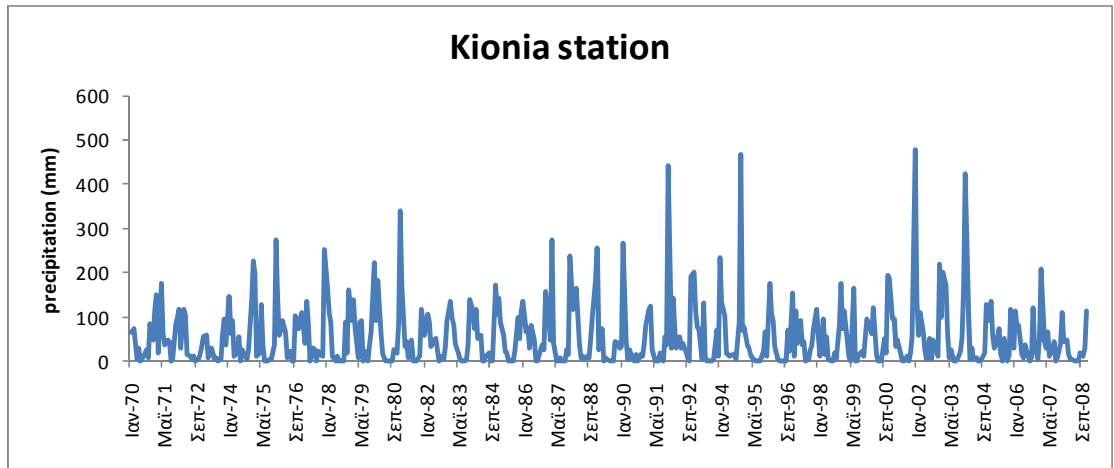
Διάγραμμα I.41. Βροχόπτωση για τον σταθμό Κοιλάνι



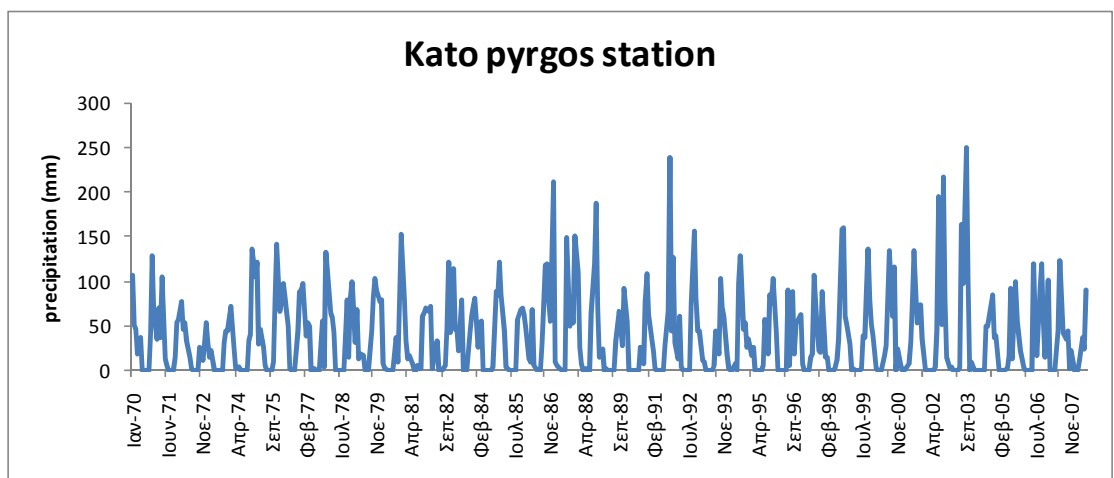
Διάγραμμα I.42. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Κοφίνου



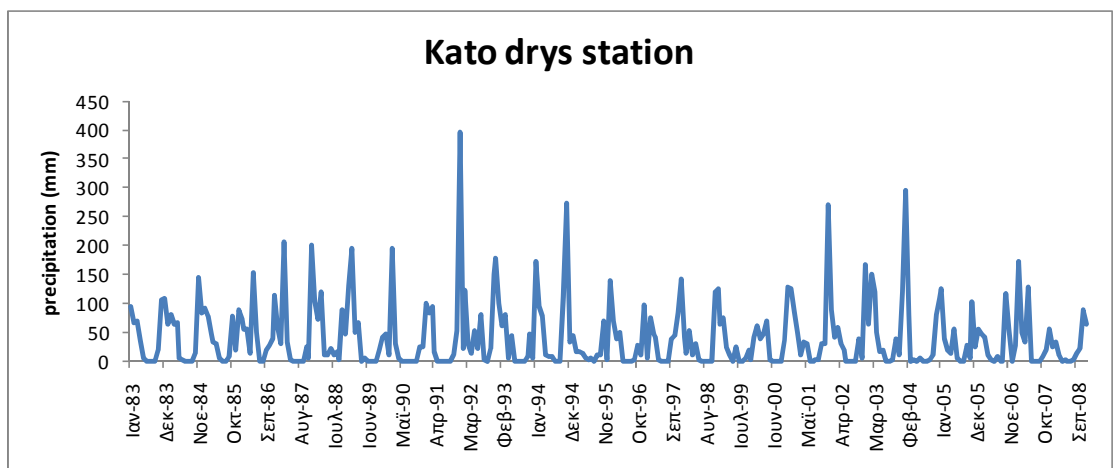
Διάγραμμα I.43. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Κλήρου



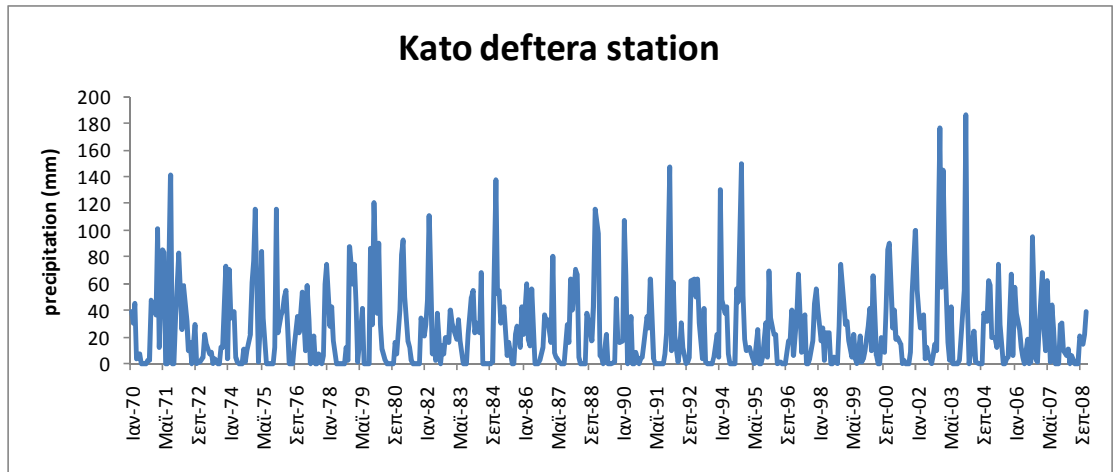
Διάγραμμα I.44. Βροχόπτωση για τον σταθμό Κίονια



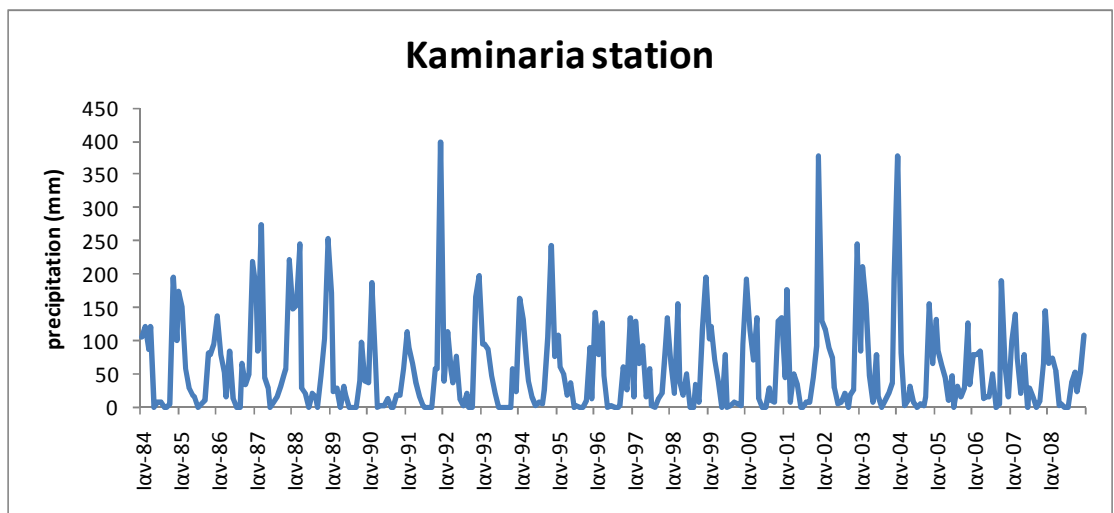
Διάγραμμα I.45. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Κάτω Πύργου



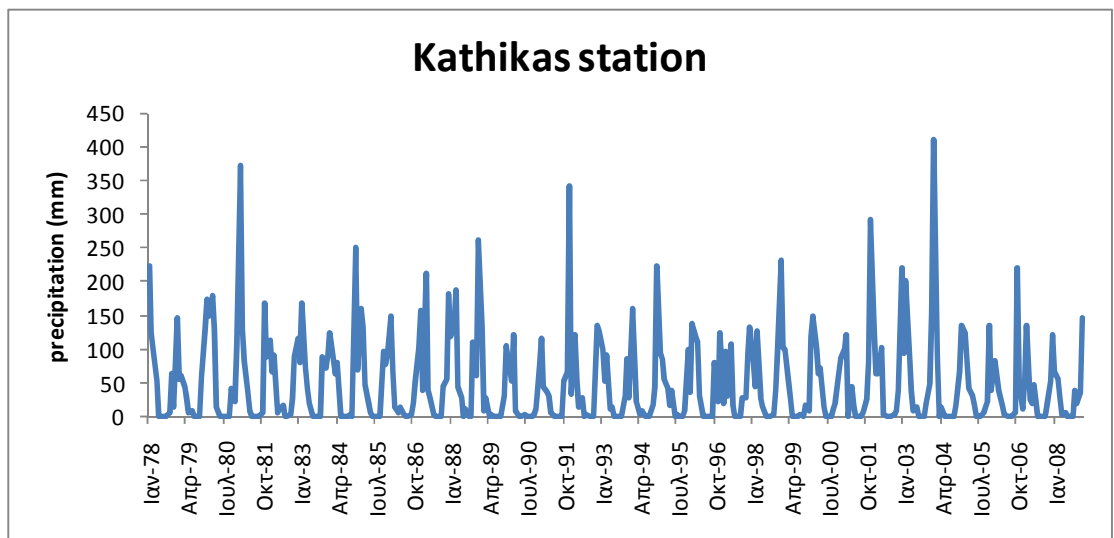
Διάγραμμα I.46. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Κάτω Δρυ



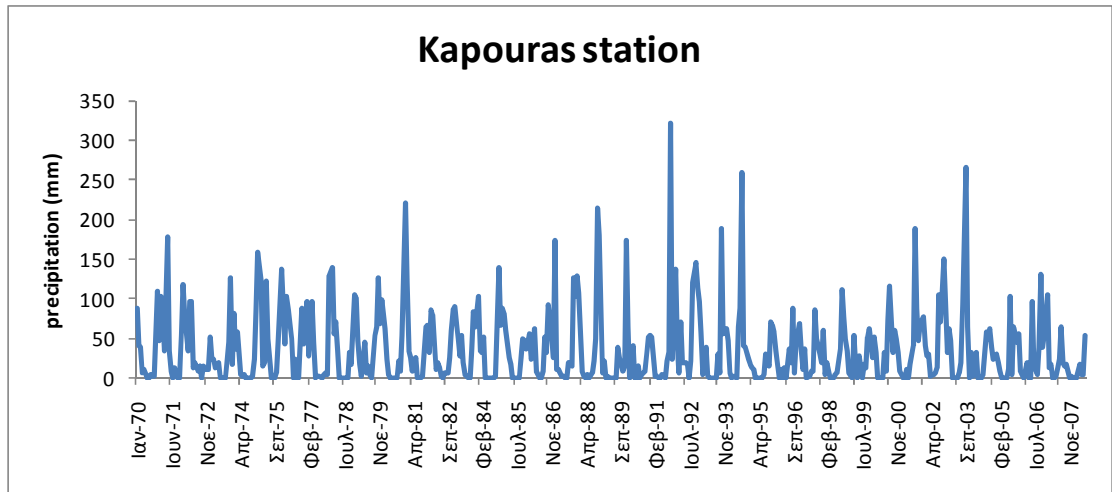
Διάγραμμα I.47. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Κάτω Δευτέρας



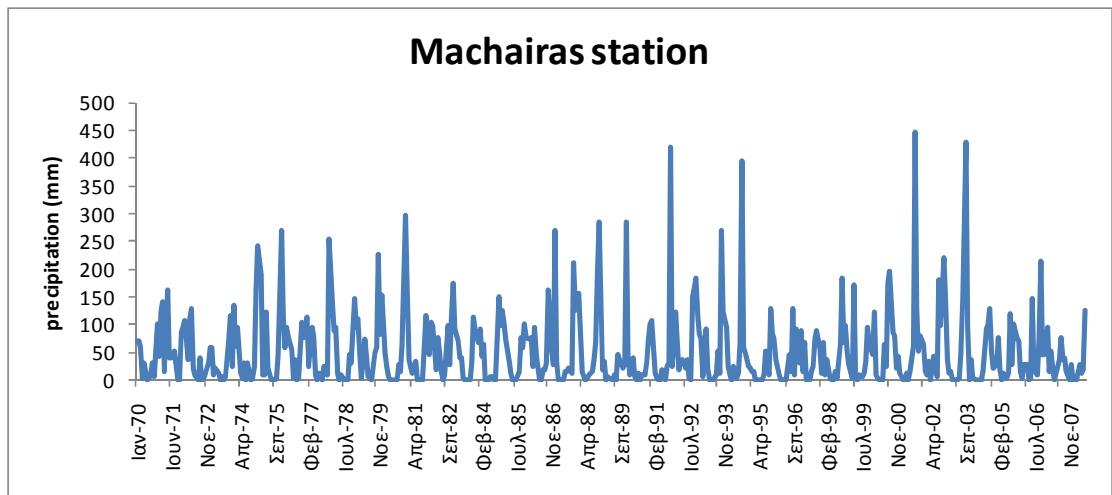
Διάγραμμα I.48. Βροχόπτωση για τον σταθμό Καμινάρια



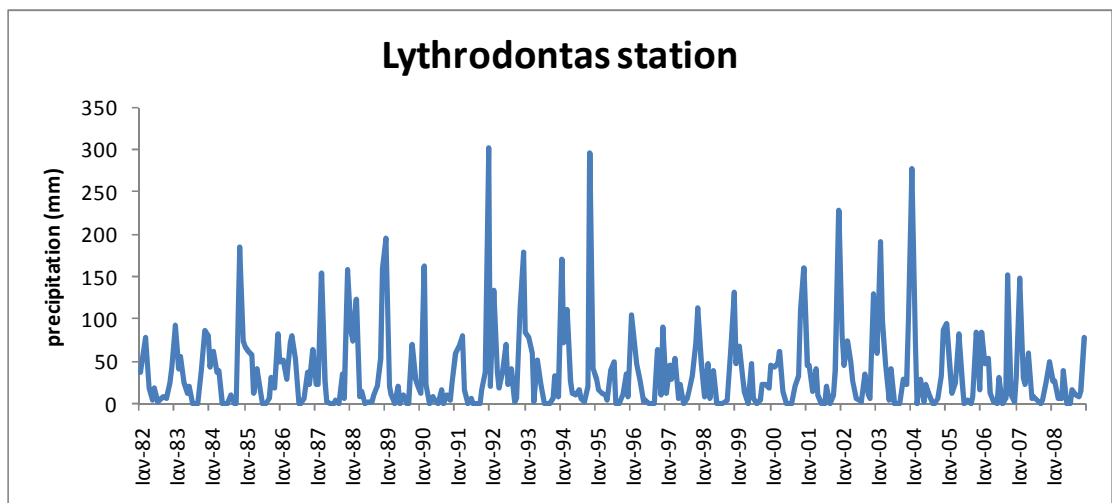
Διάγραμμα I.49. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Κάθικα



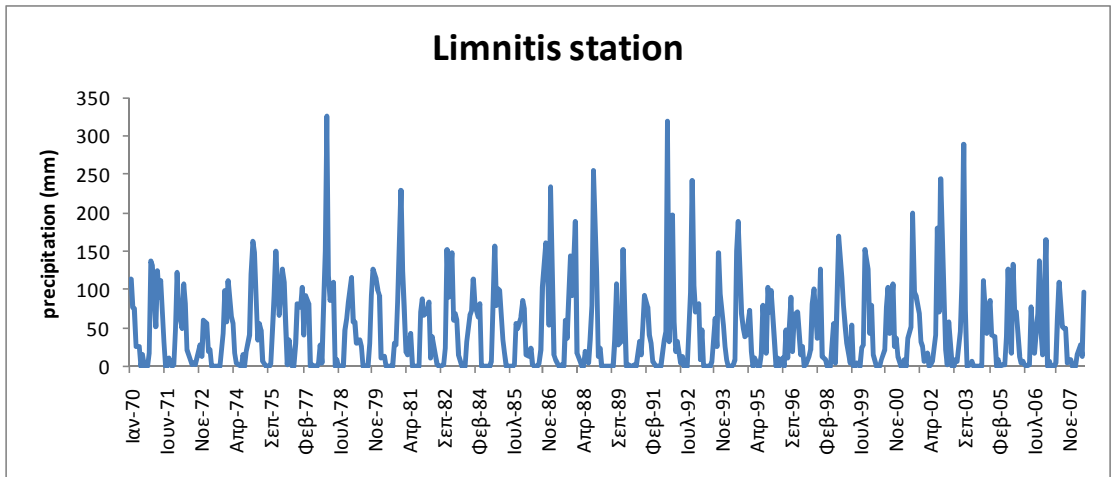
Διάγραμμα 1.50. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Κάπουρα



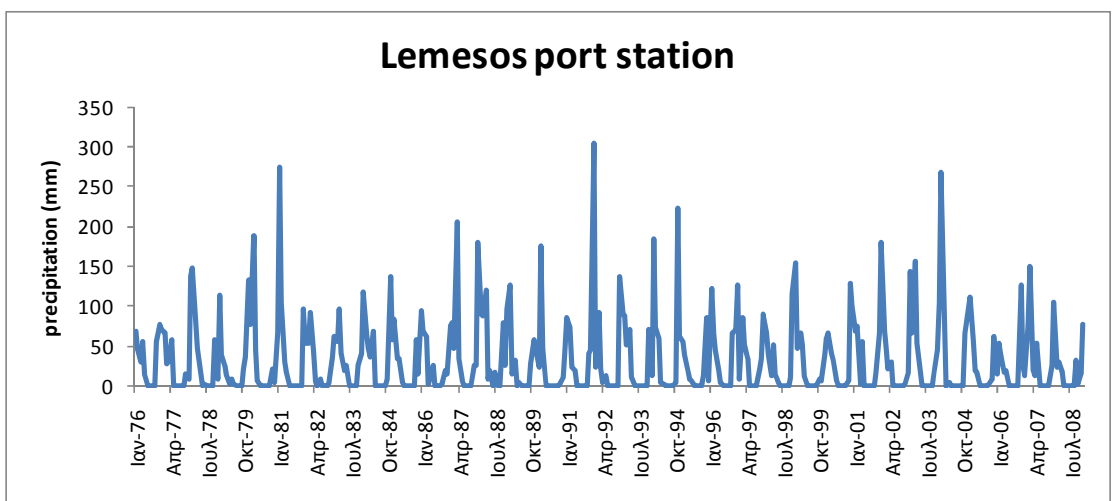
Διάγραμμα 1.51. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Μάχαιρα



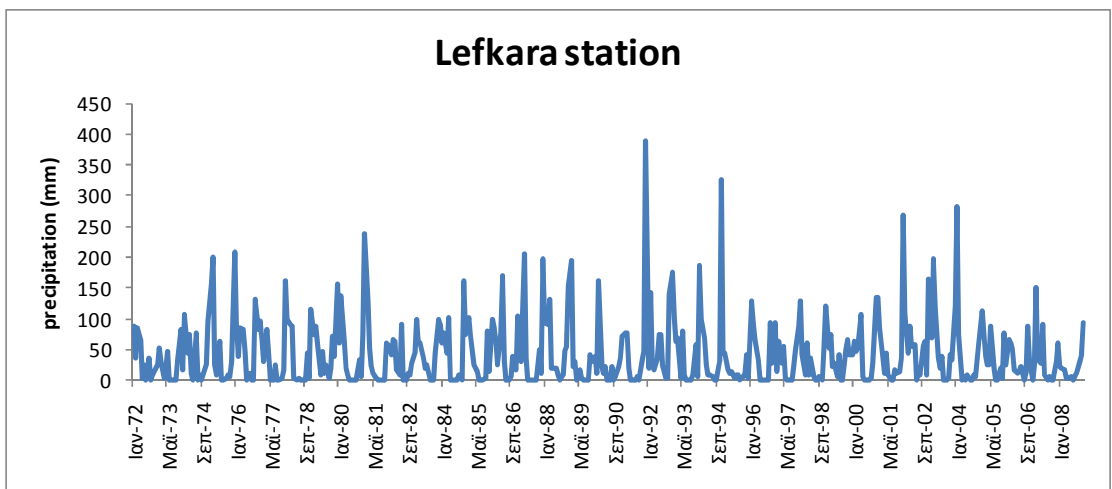
Διάγραμμα 1.52. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Λυθρόδοντα



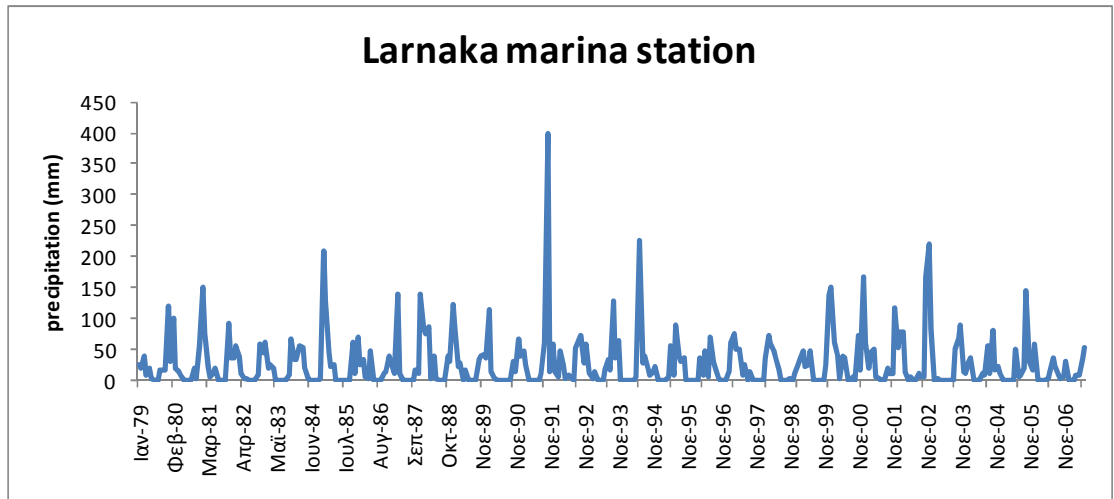
Διάγραμμα 1.53. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Λιμνίτη



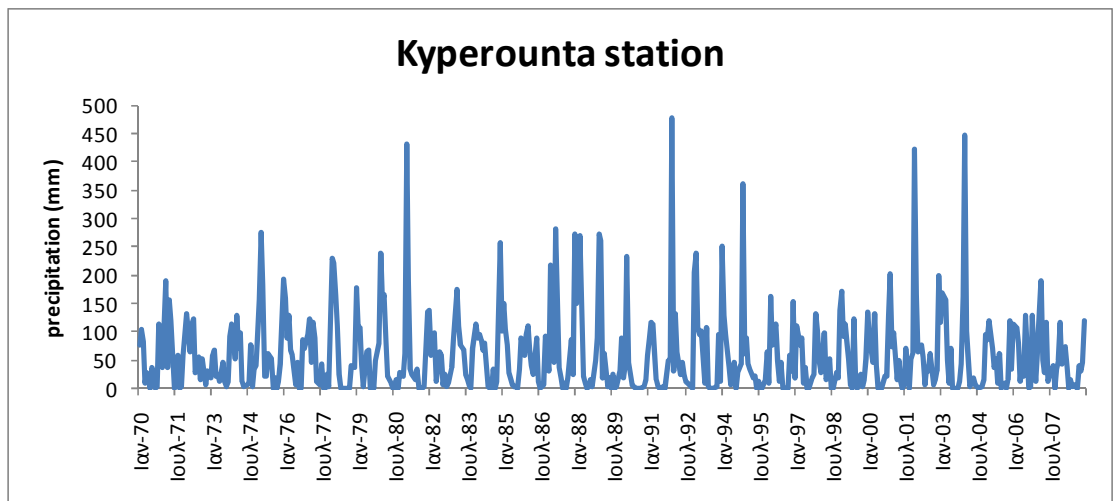
Διάγραμμα 1.54. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λεμεσού



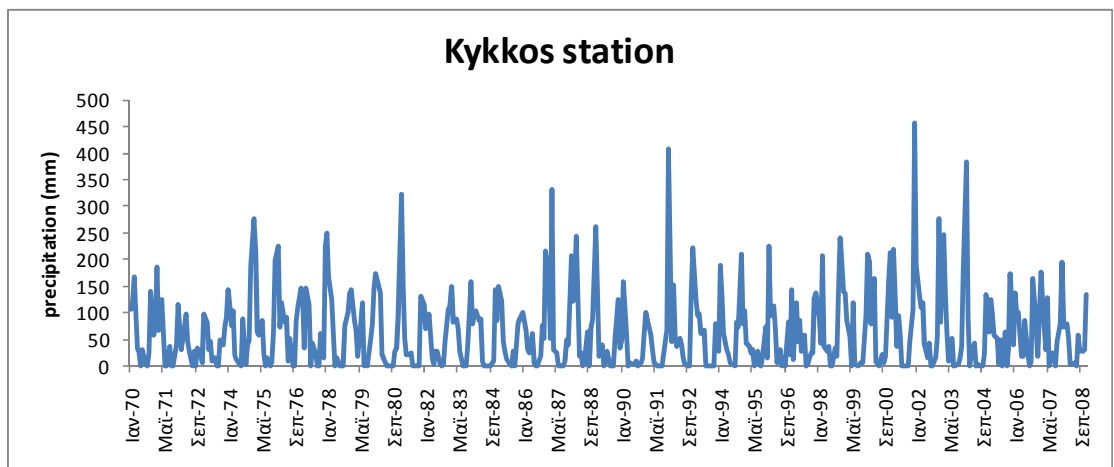
Διάγραμμα 1.55. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λευκαράς



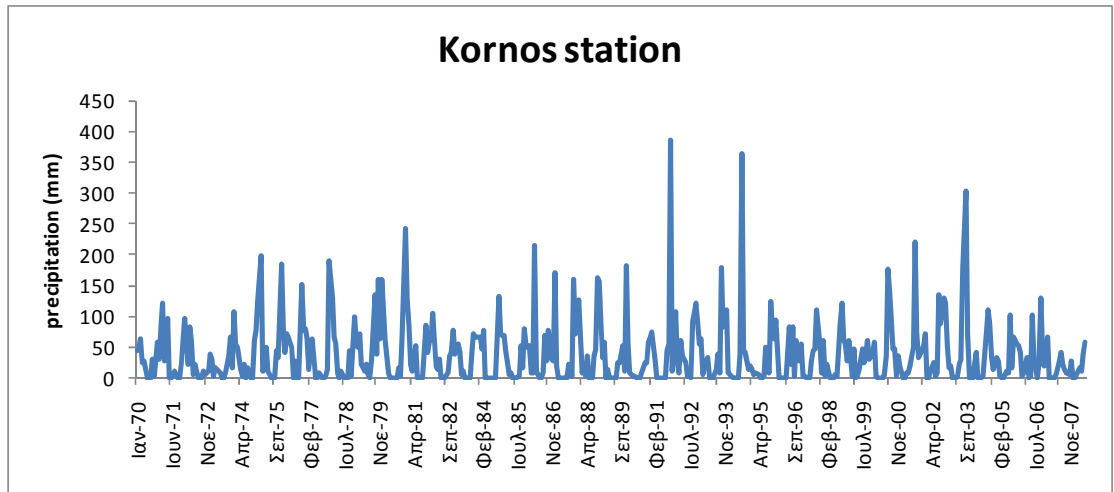
Διάγραμμα I.56. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Λάρνακας



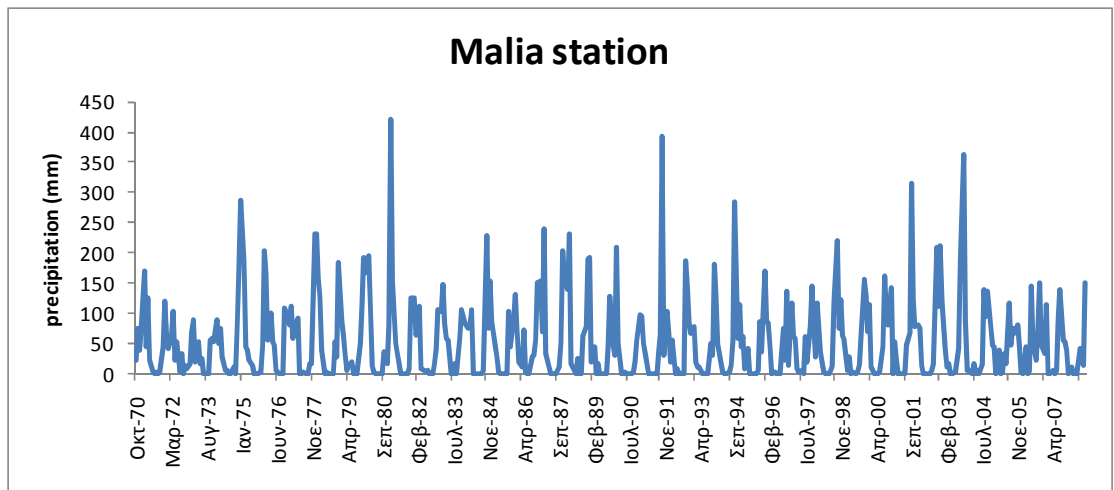
Διάγραμμα I.57. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Κυπερούντα



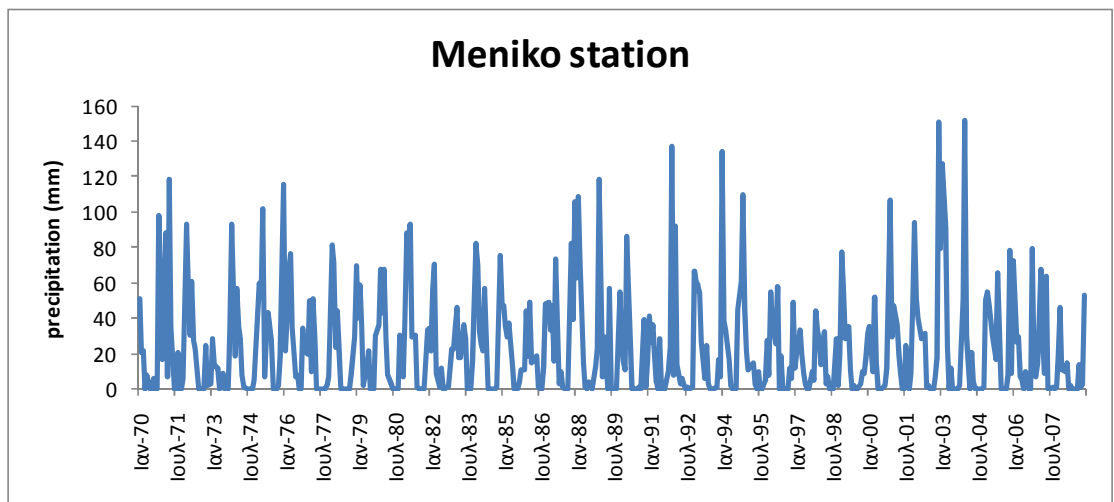
Διάγραμμα I.58. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Κύκκου



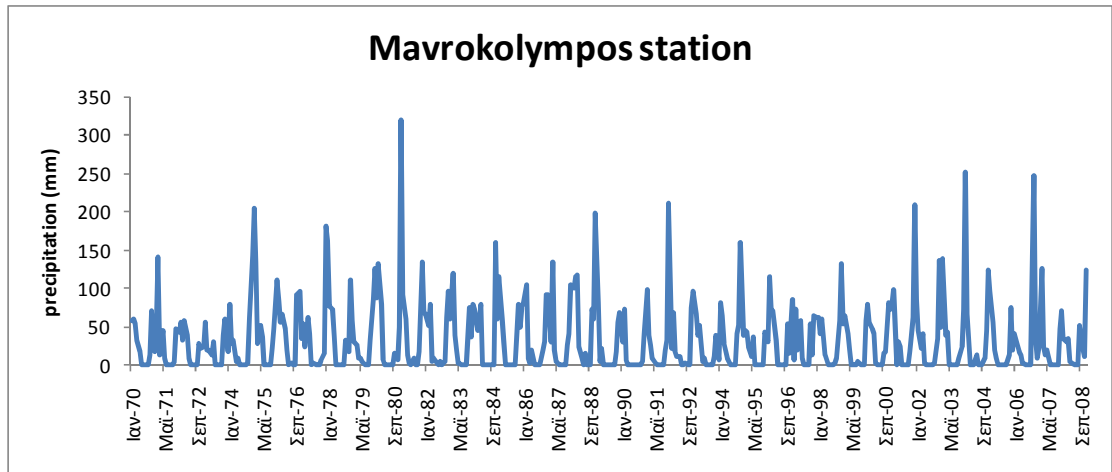
Διάγραμμα 1.59. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Κόρνου



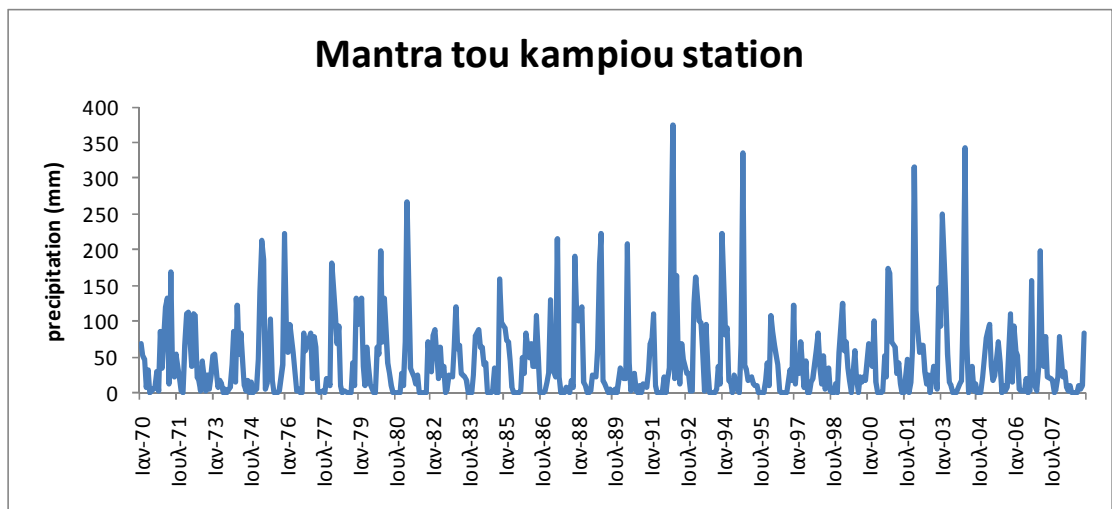
Διάγραμμα 1.60. Βροχόπτωση για τον σταθμό Μάλια



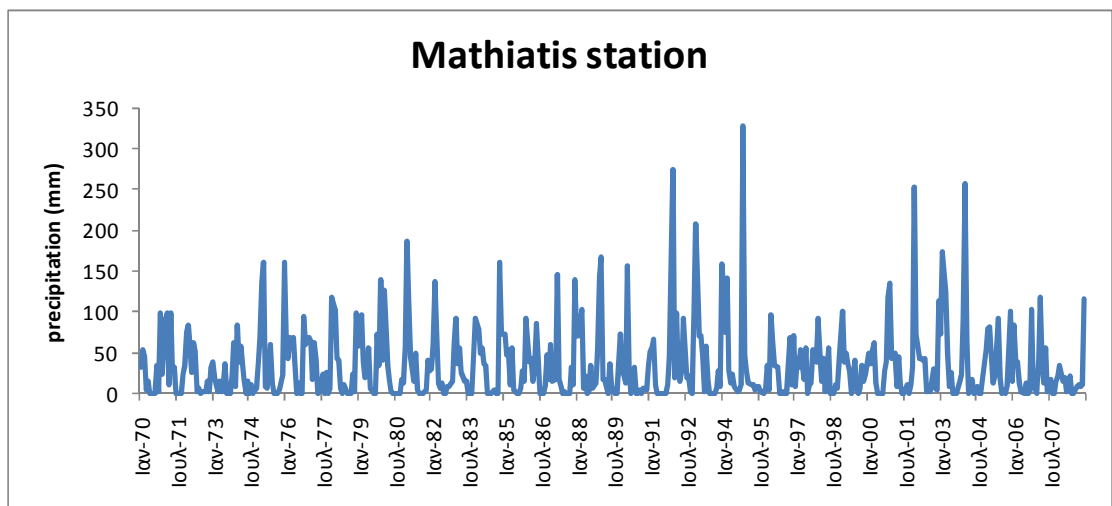
Διάγραμμα 1.61. Βροχόπτωση για τον σταθμό Μένικο



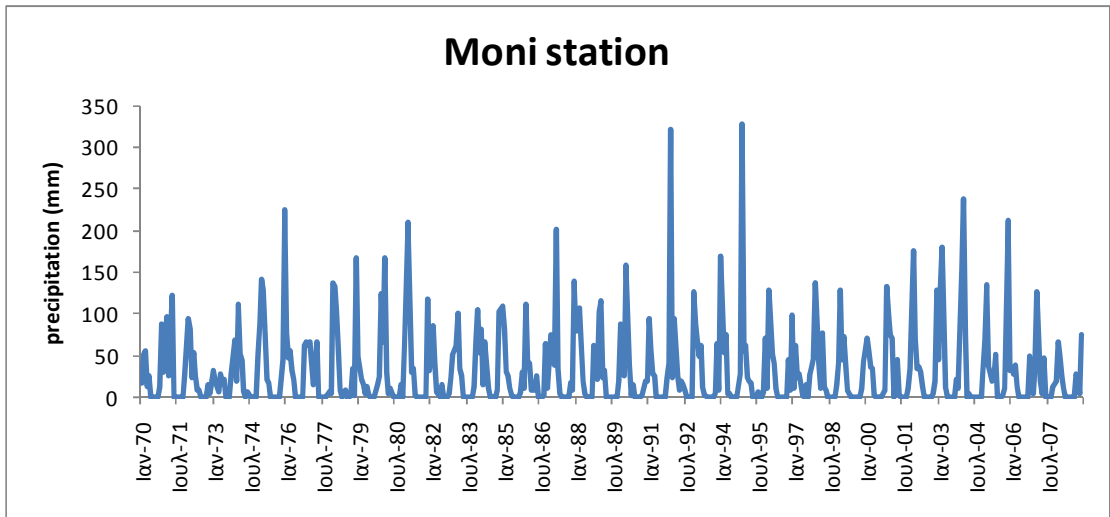
Διάγραμμα I.62. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Μαυροκόλυμπου



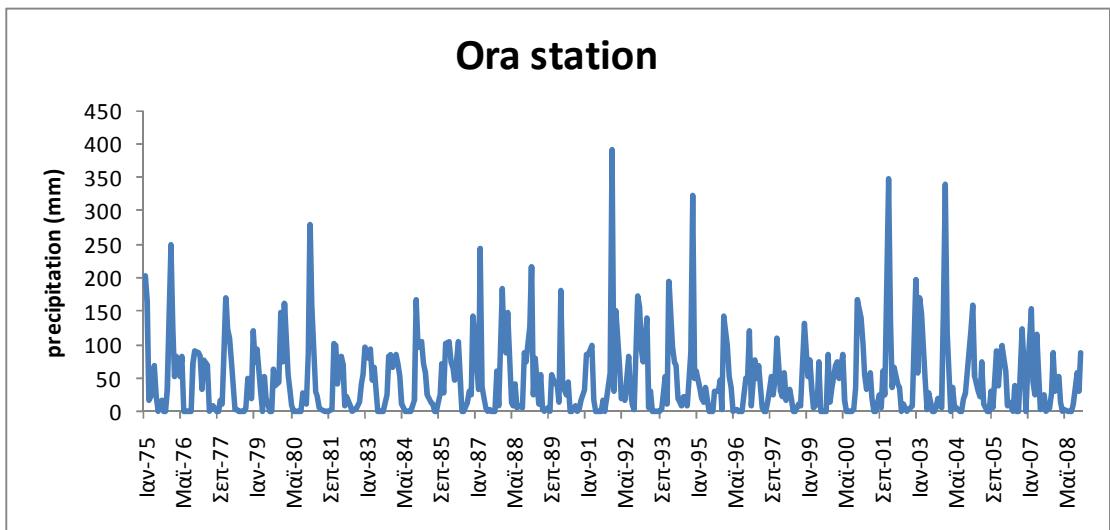
Διάγραμμα I.63. Βροχόπτωση για τον σταθμό Μάντρα



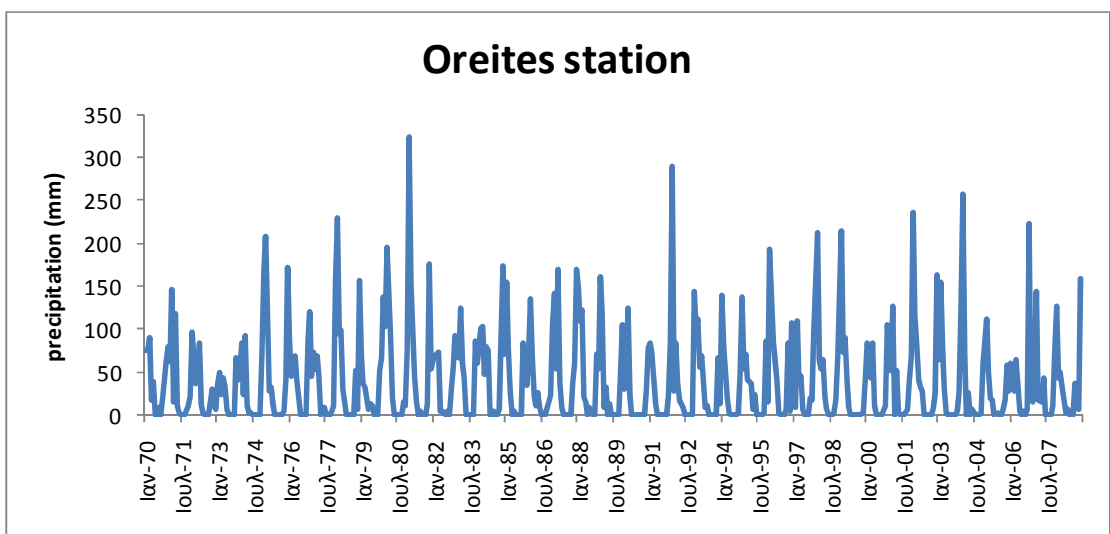
Διάγραμμα I.64. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Μαθιάτη



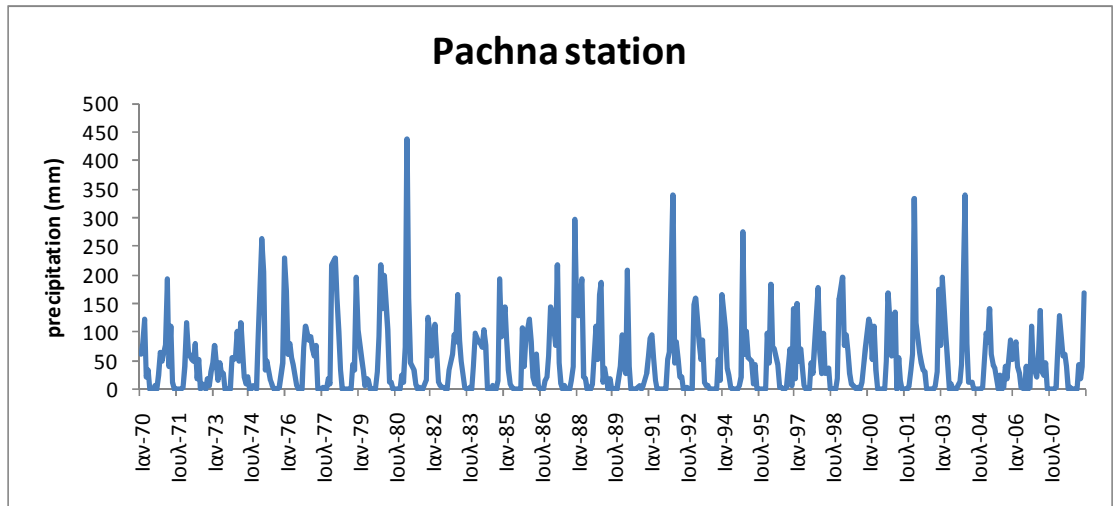
Διάγραμμα I.65. Βροχόπτωση για τον σταθμό Μονή



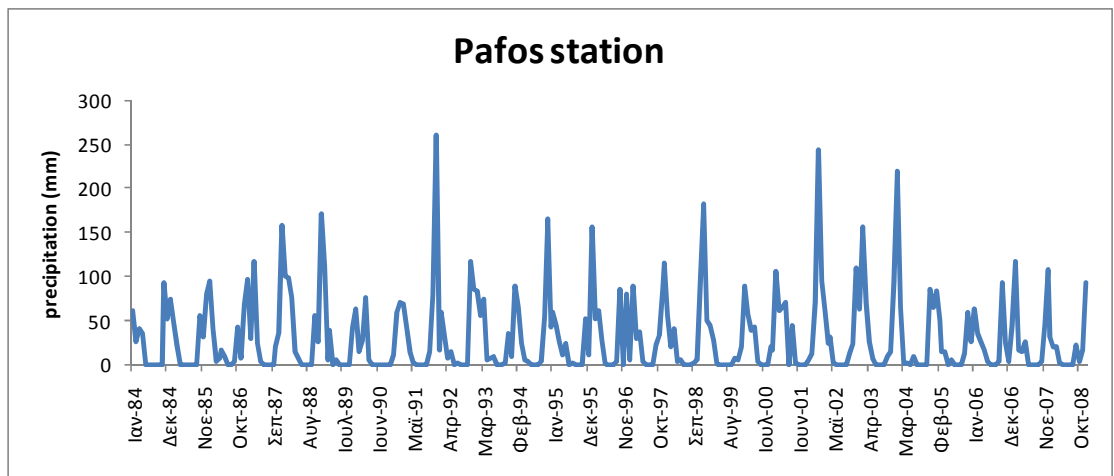
Διάγραμμα I.66. Βροχόπτωση για τον σταθμό Όρα



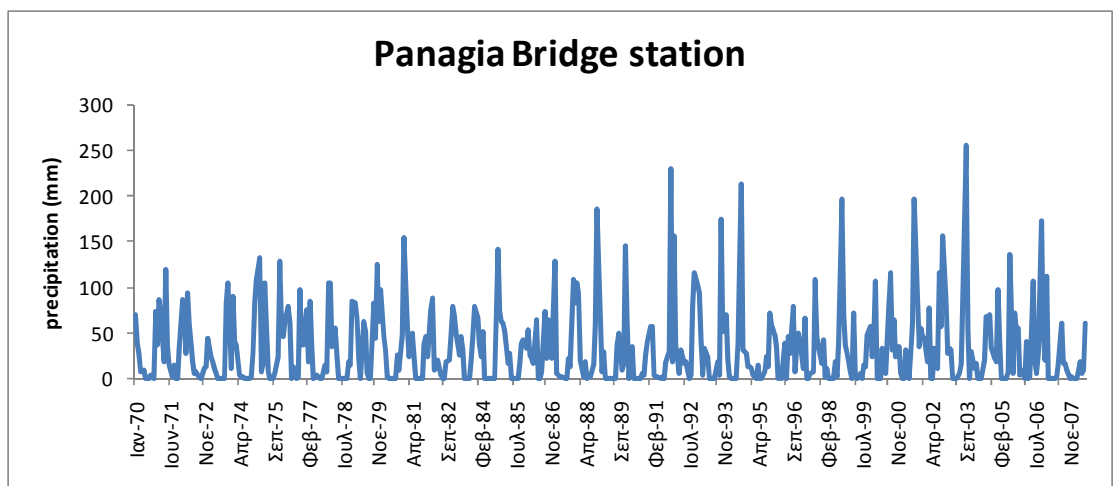
Διάγραμμα I.67. Βροχόπτωση για τον σταθμό Ορείτες



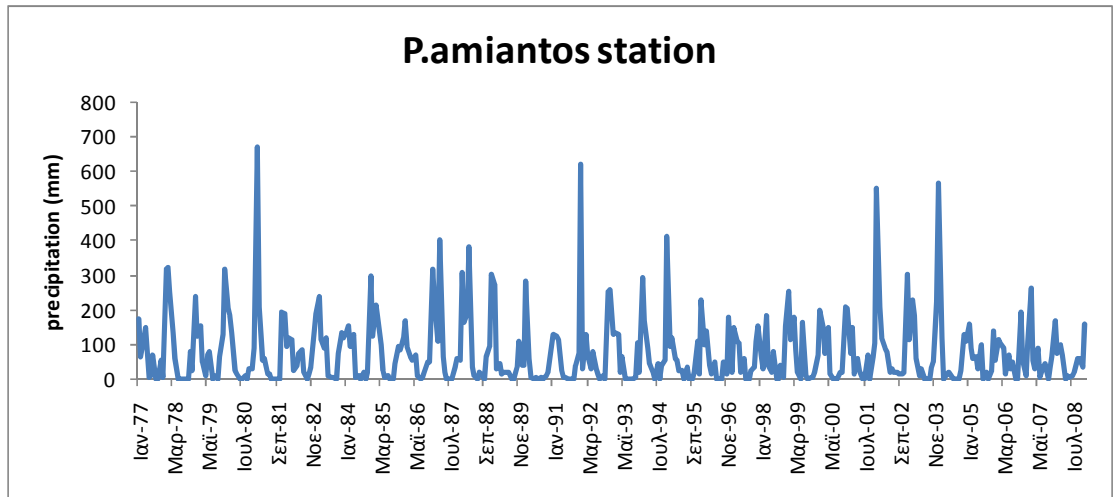
Διάγραμμα I.68. Βροχόπτωση για τον σταθμό Παχνά



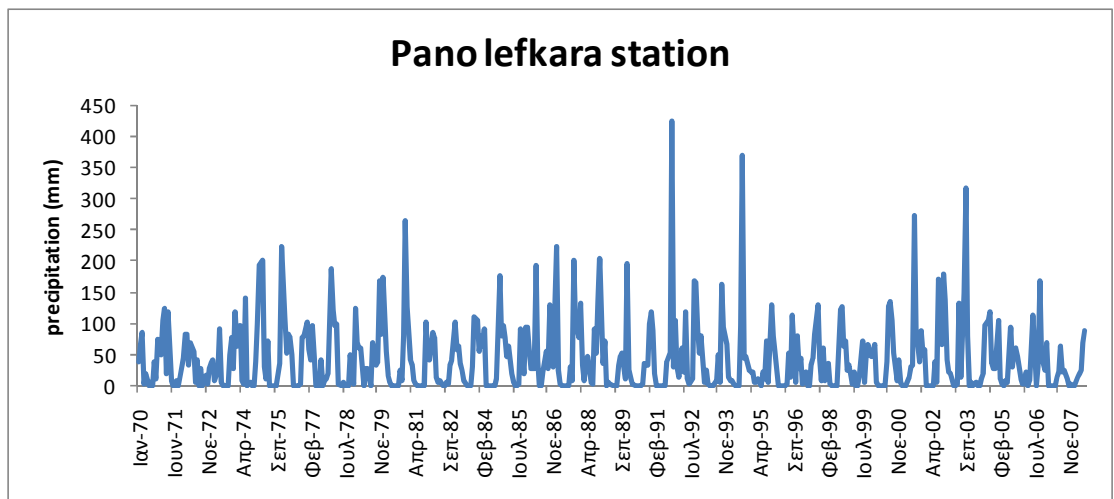
Διάγραμμα I.69. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Πάφου



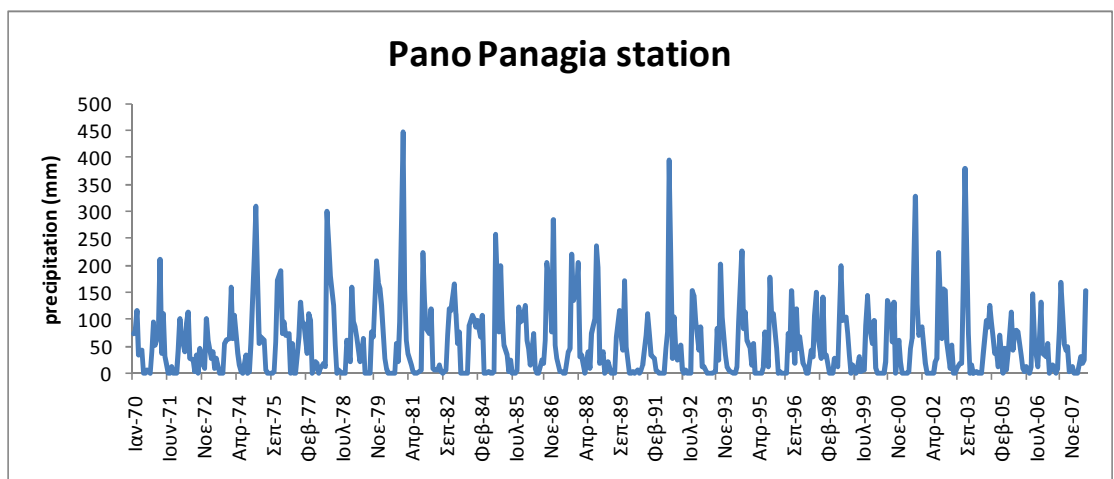
Διάγραμμα I.70. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Παναγιάς



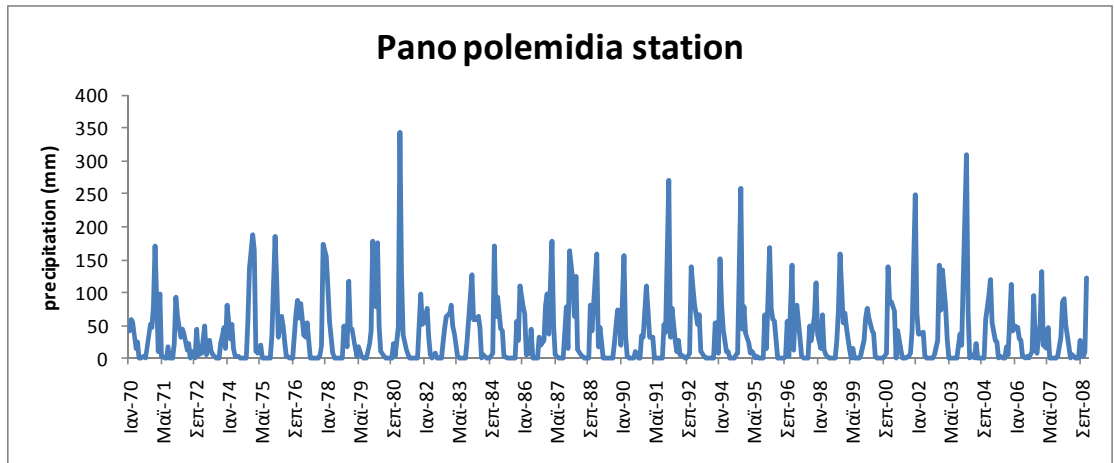
Διάγραμμα I.71. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Αμιάντου



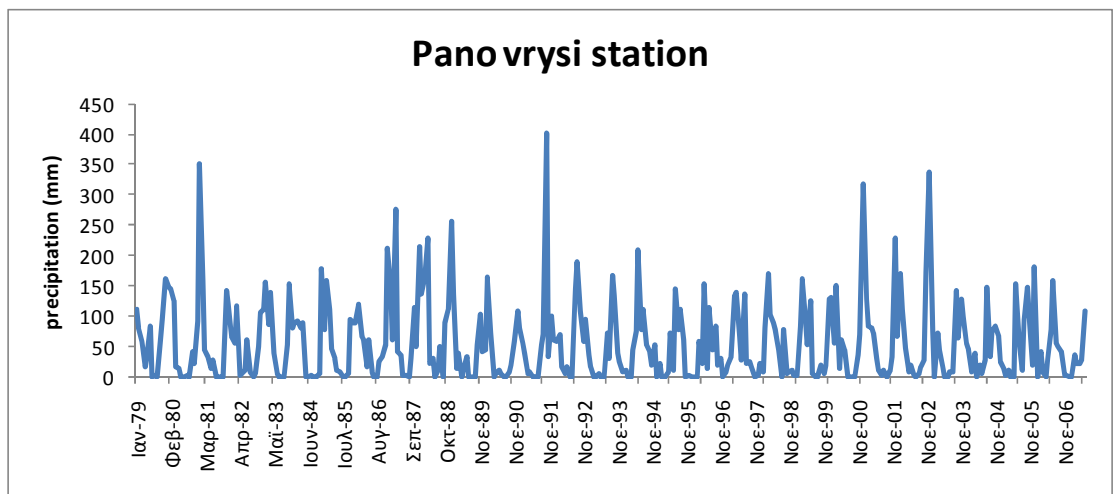
Διάγραμμα I.72. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Π.Λευκαράς



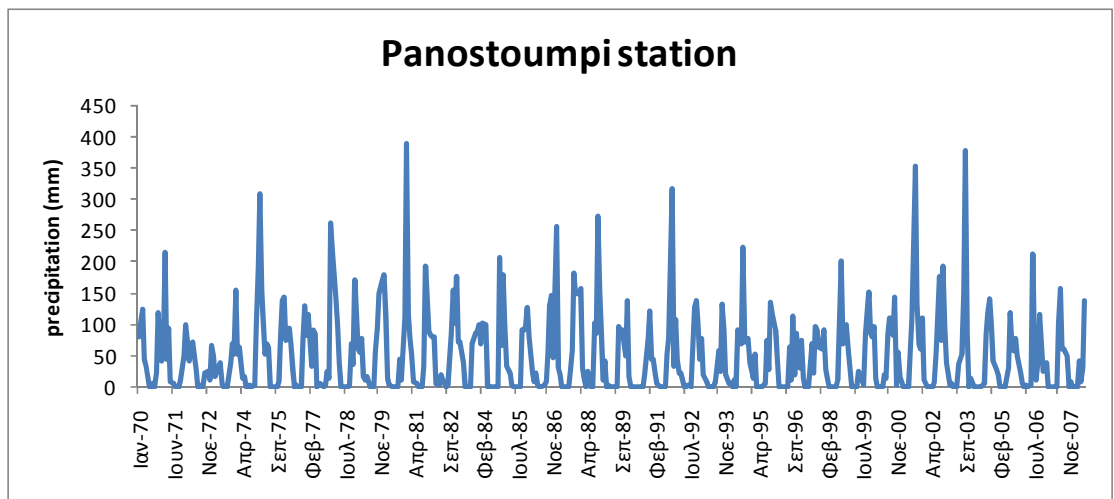
Διάγραμμα I.73. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Π.Παναγιάς



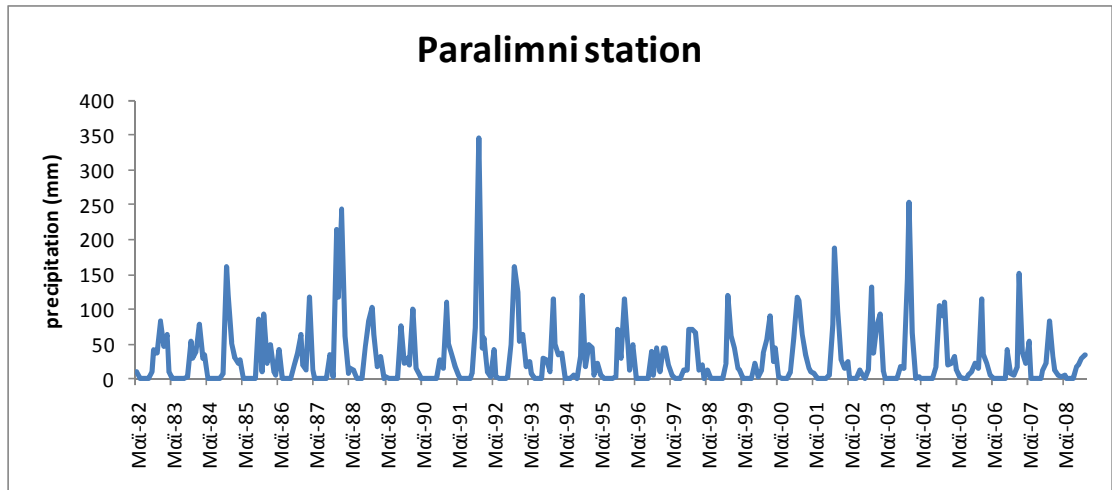
Διάγραμμα 1.74. Βροχόπτωση για τον σταθμό Π.Πολεμίδα



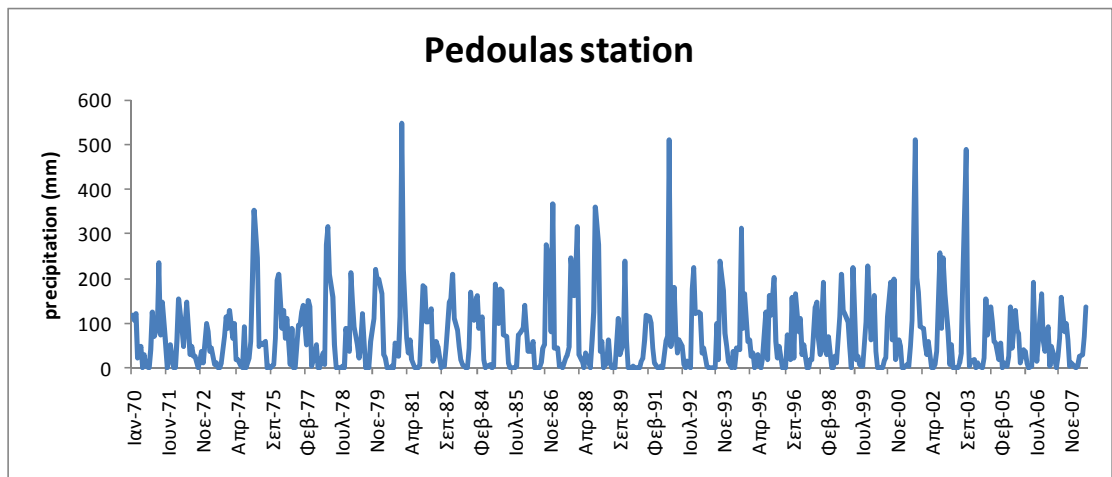
Διάγραμμα 1.75. Βροχόπτωση για τον σταθμό Π.Βρύση



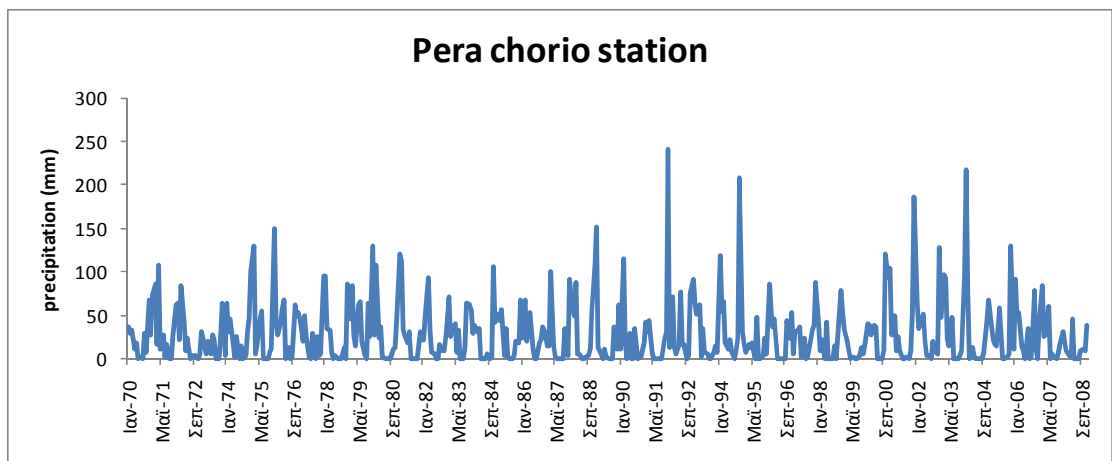
Διάγραμμα 1.76. Βροχόπτωση για τον σταθμό Πανοστούμπι



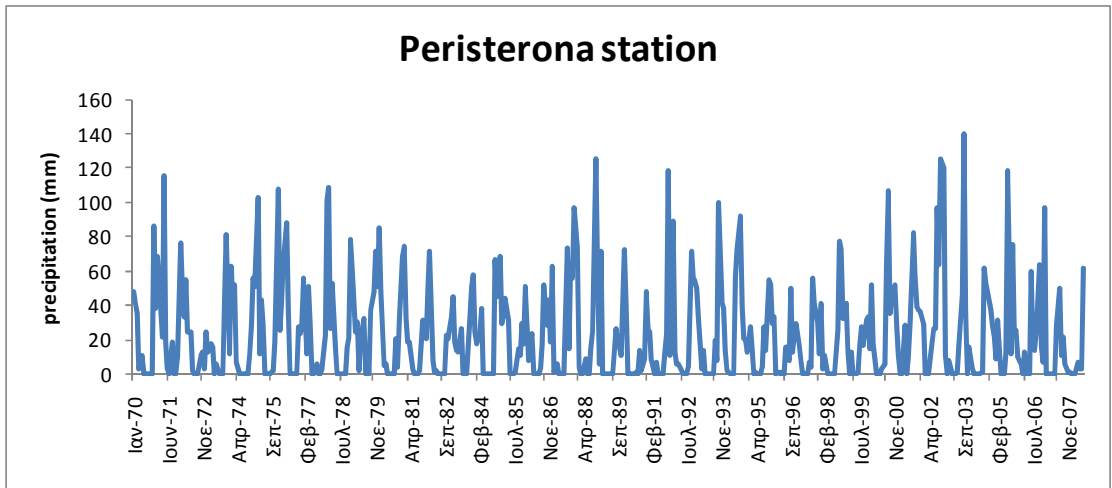
Διάγραμμα 1.77. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Παραλιμνίου



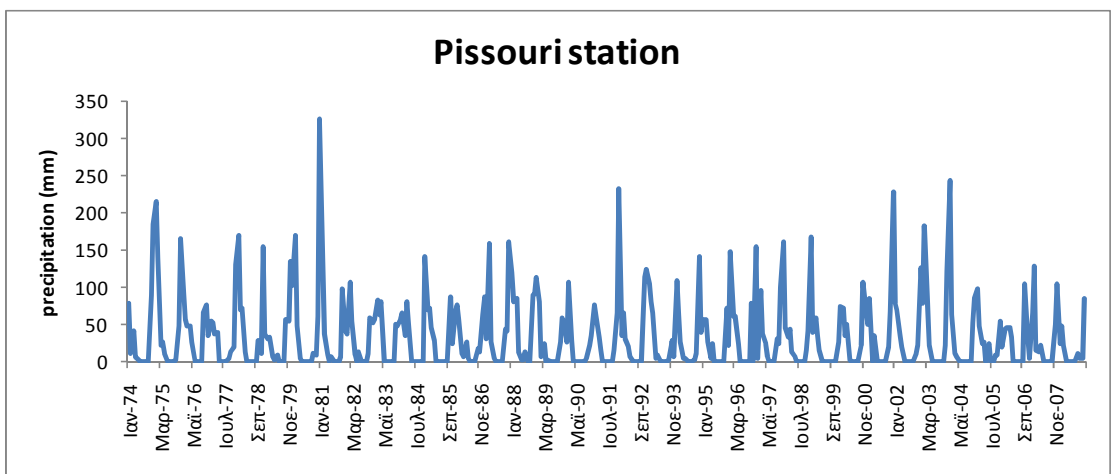
Διάγραμμα 1.78. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πέδουλα



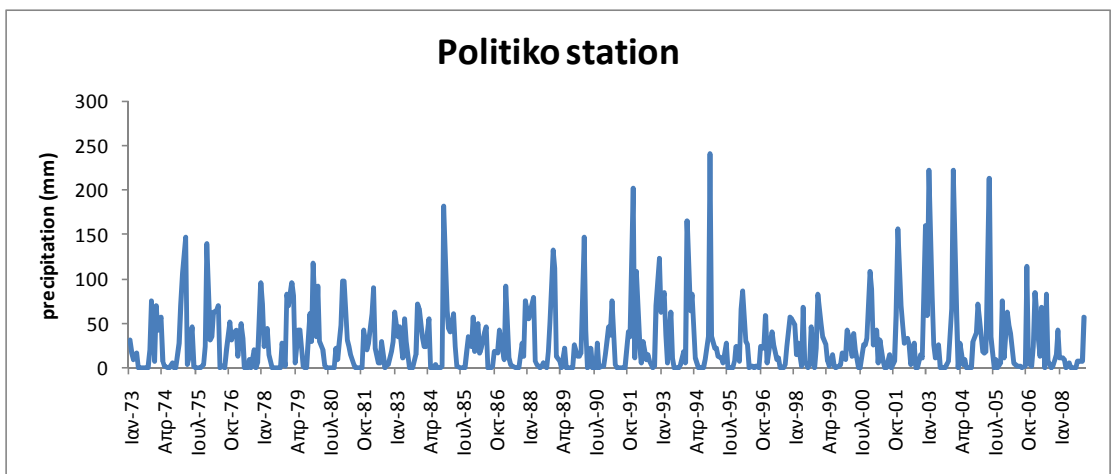
Διάγραμμα 1.79. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πέρα Χωριού



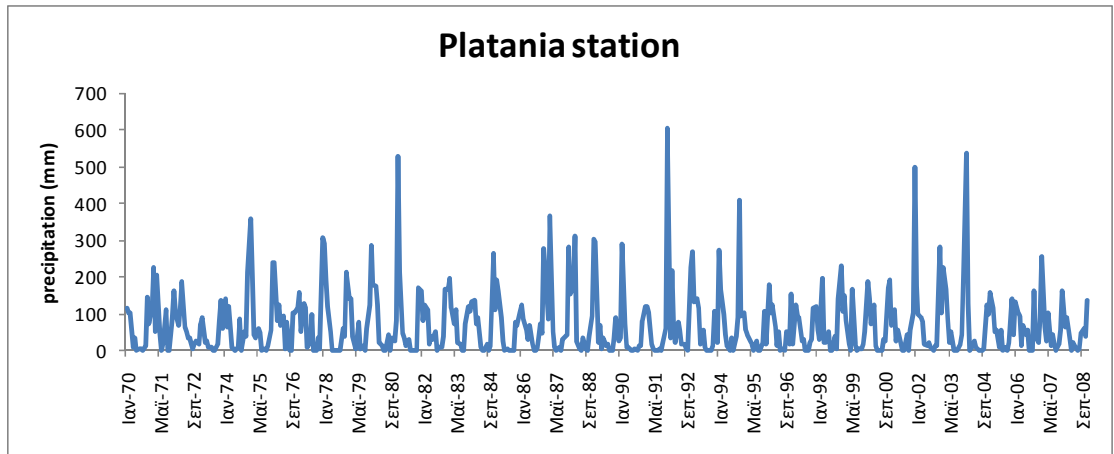
Διάγραμμα I.80. Βροχόπτωση για τον σταθμό της Περιστερώνας



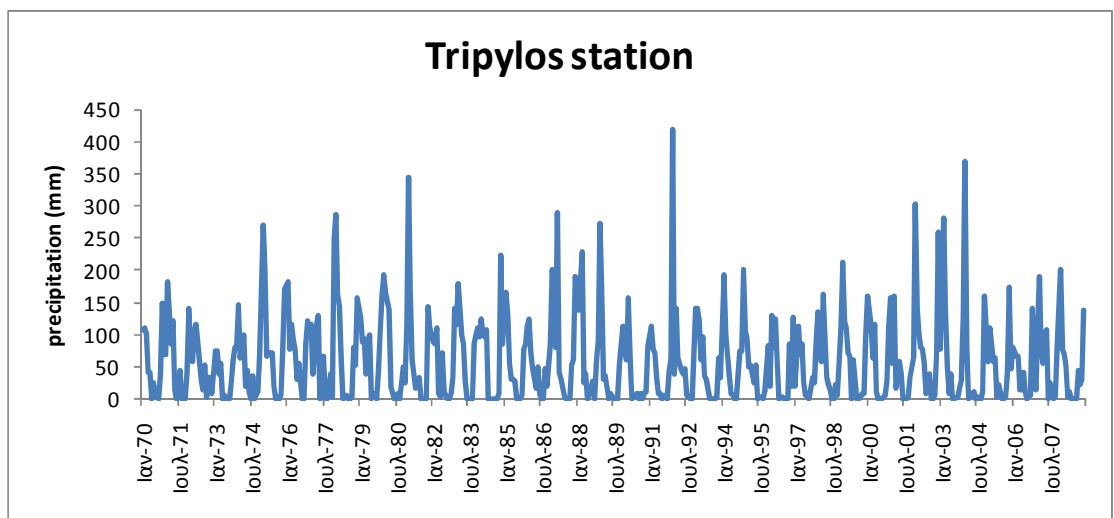
Διάγραμμα I.81. Βροχόπτωση για τον σταθμό Πισσούρι



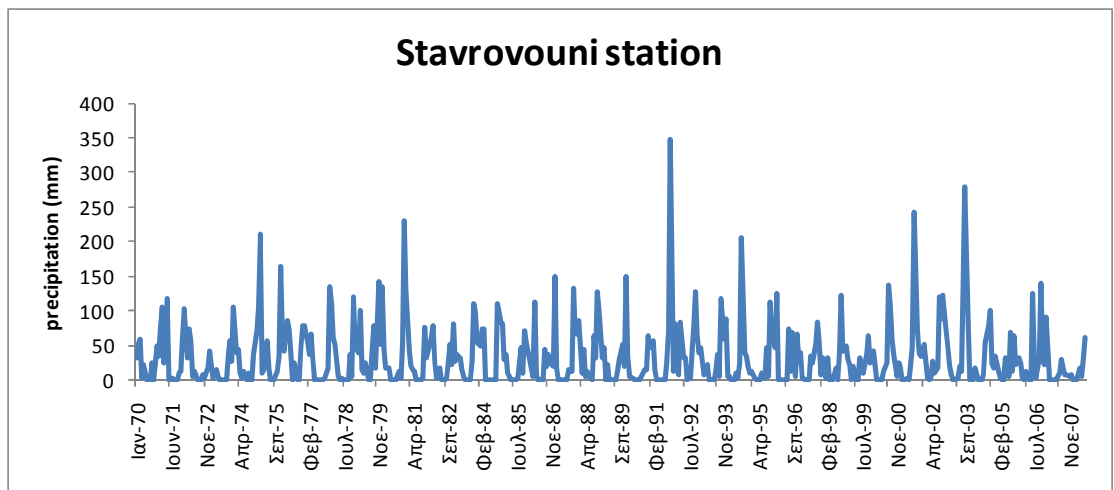
Διάγραμμα I.82. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πολίτικου



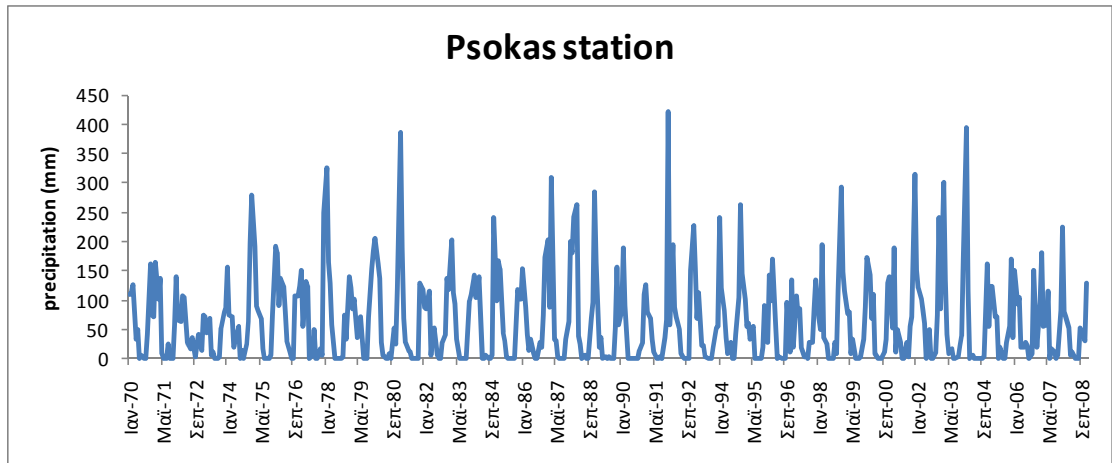
Διάγραμμα I.83. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πλατανιά



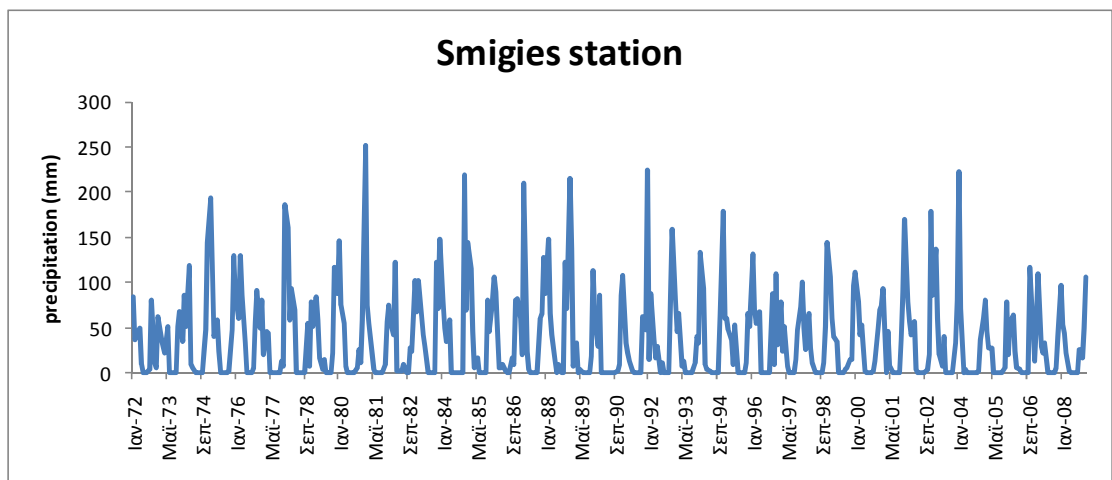
Διάγραμμα I.84. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Τρίπυλου



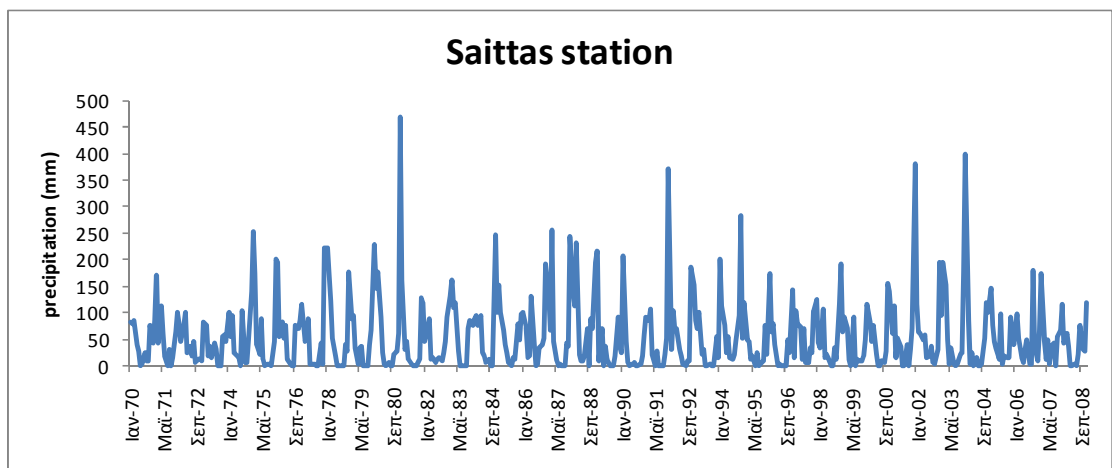
Διάγραμμα I.85. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Σταυροβουνίου



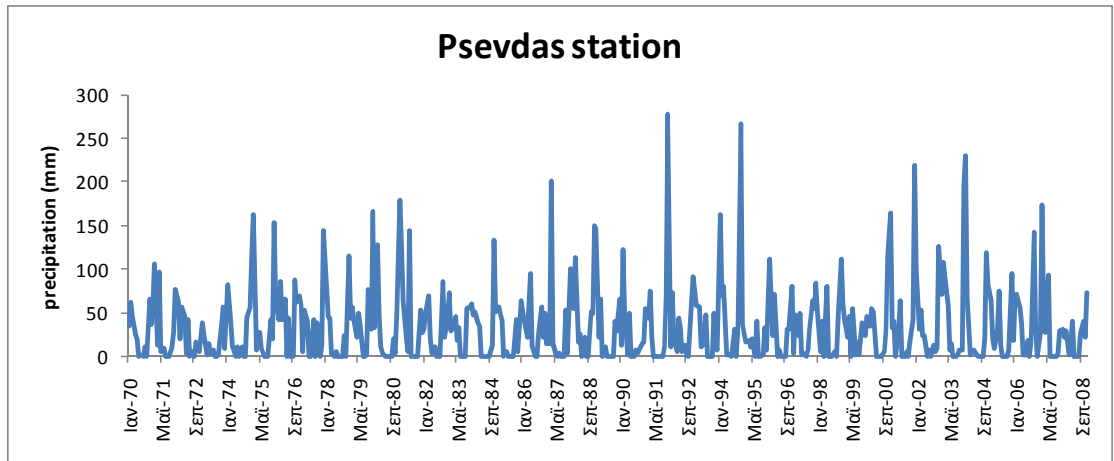
Διάγραμμα 1.86. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ψόκα



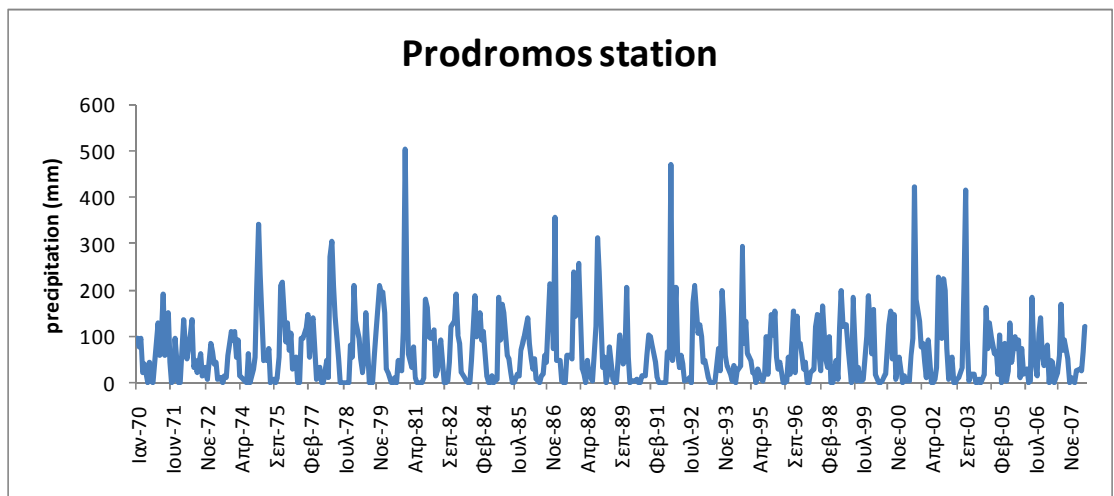
Διάγραμμα 1.87. Βροχόπτωση για τον σταθμό Σμιγιές



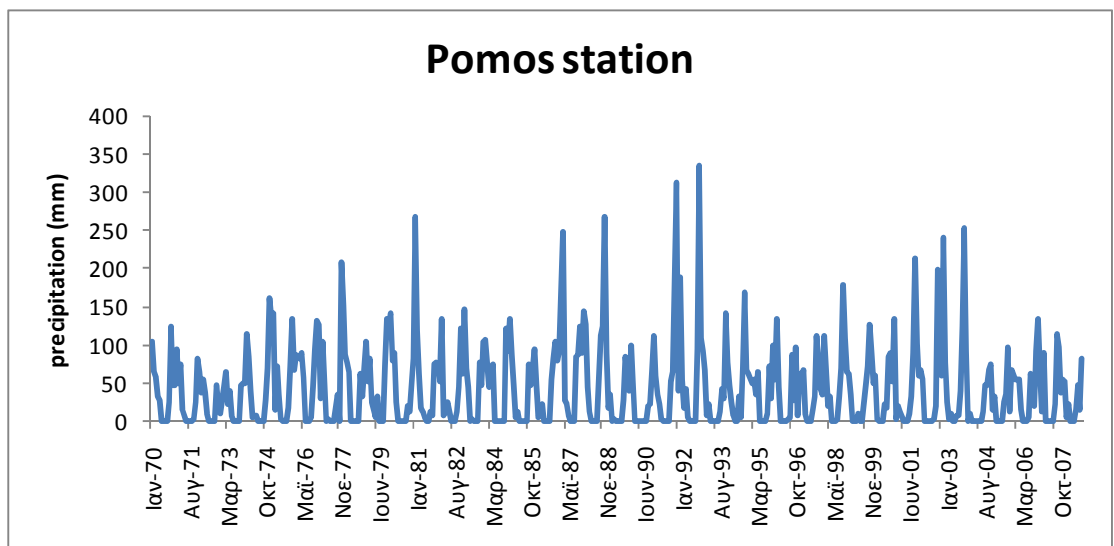
Διάγραμμα 1.88. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Σαίτα



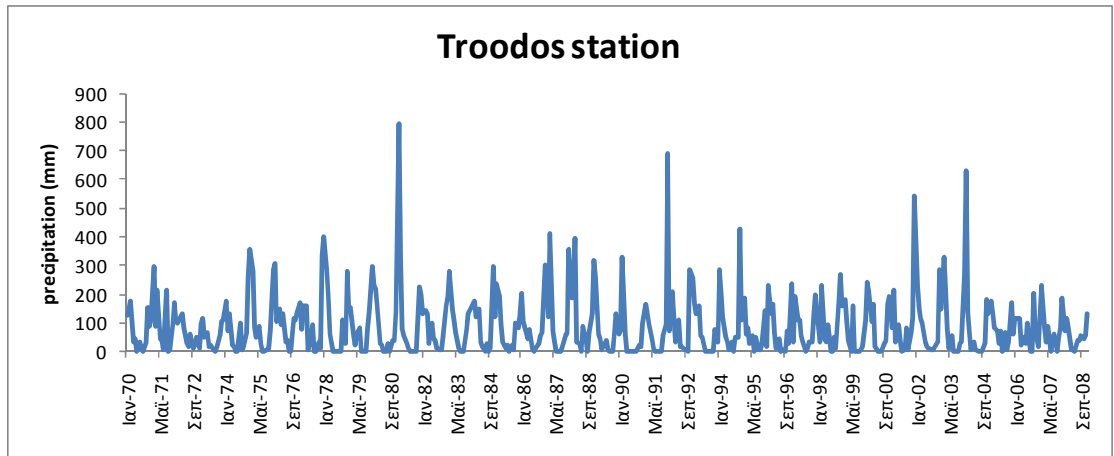
Διάγραμμα 1.89. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ψευδά



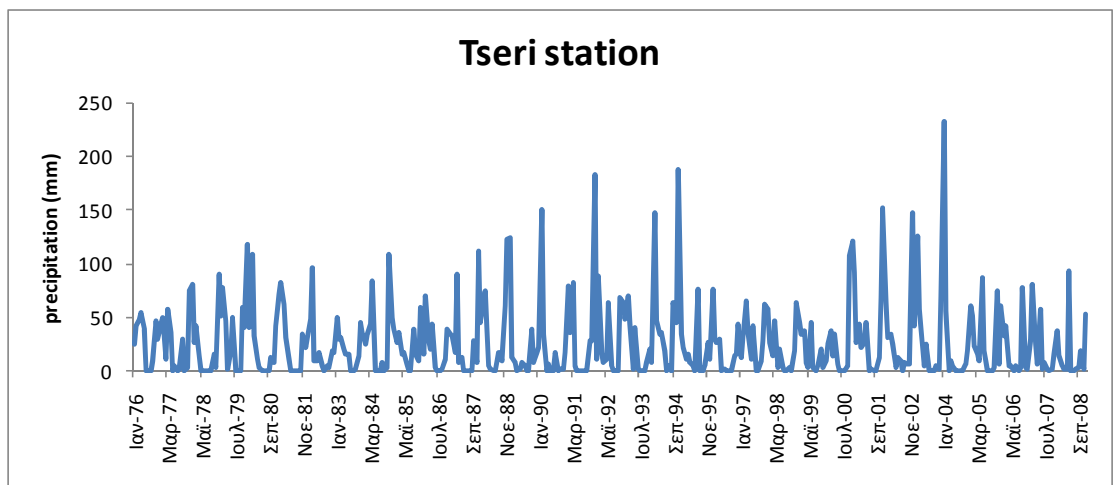
Διάγραμμα 1.90. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Προδρόμου



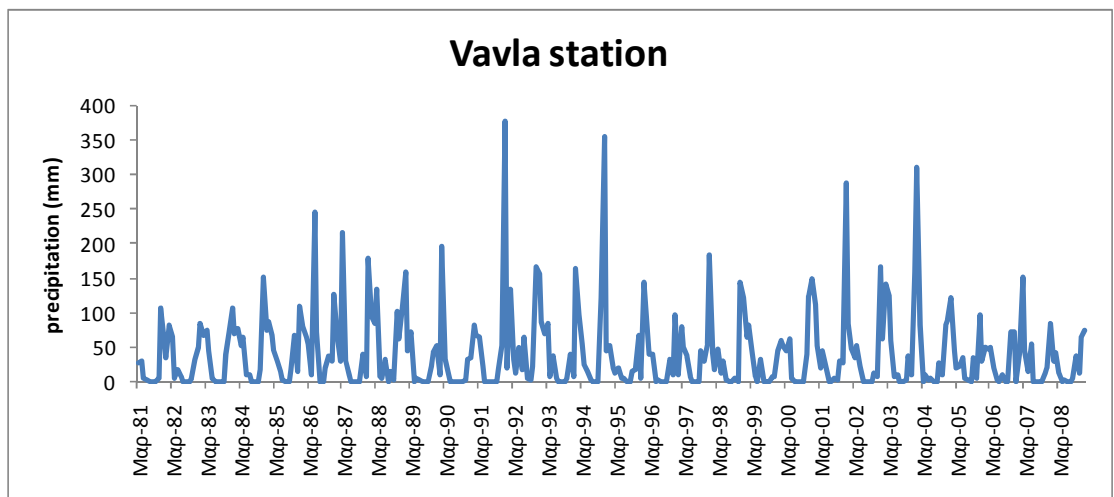
Διάγραμμα 1.91. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Πομού



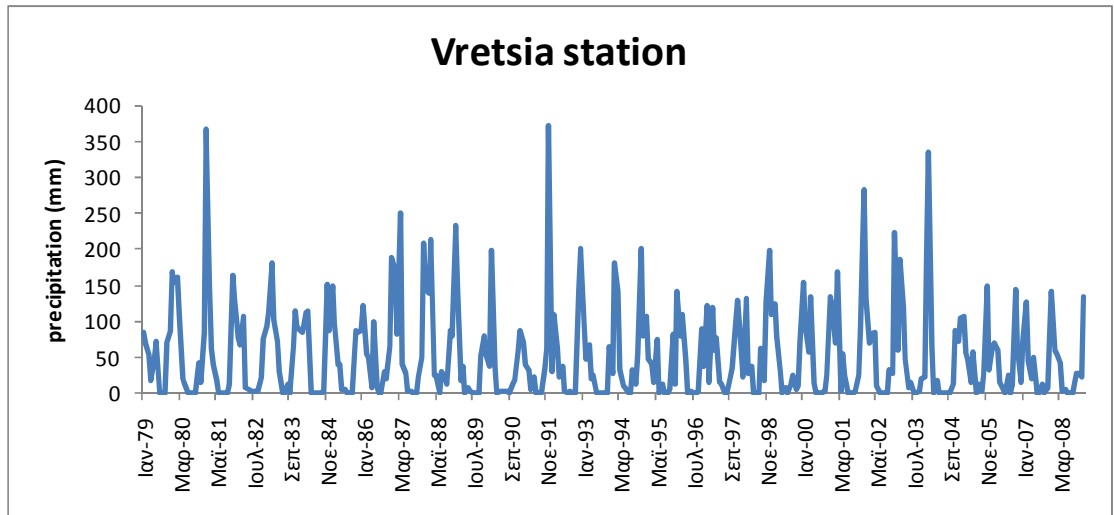
Διάγραμμα I.92. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Τροόδου



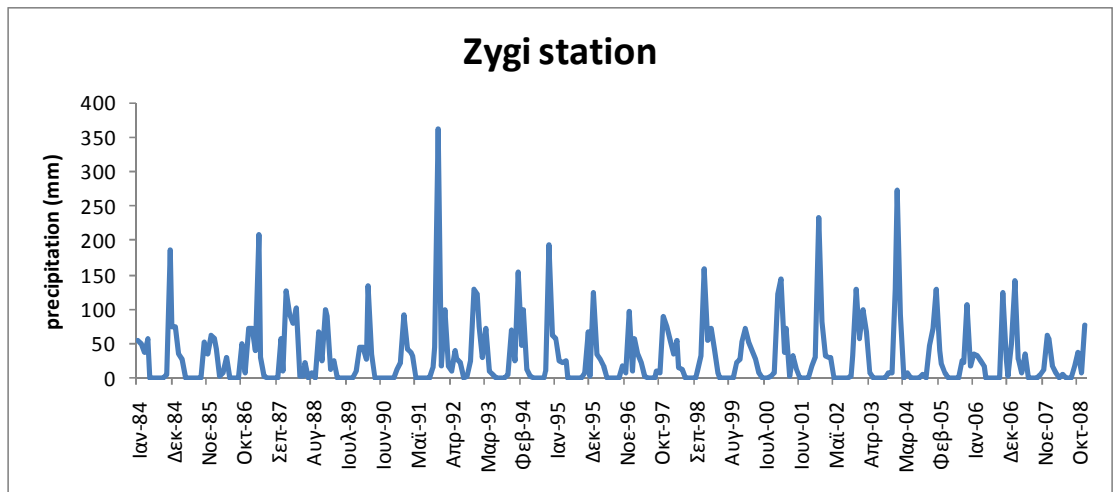
Διάγραμμα I.93. Βροχόπτωση για τον σταθμό Τσέρι



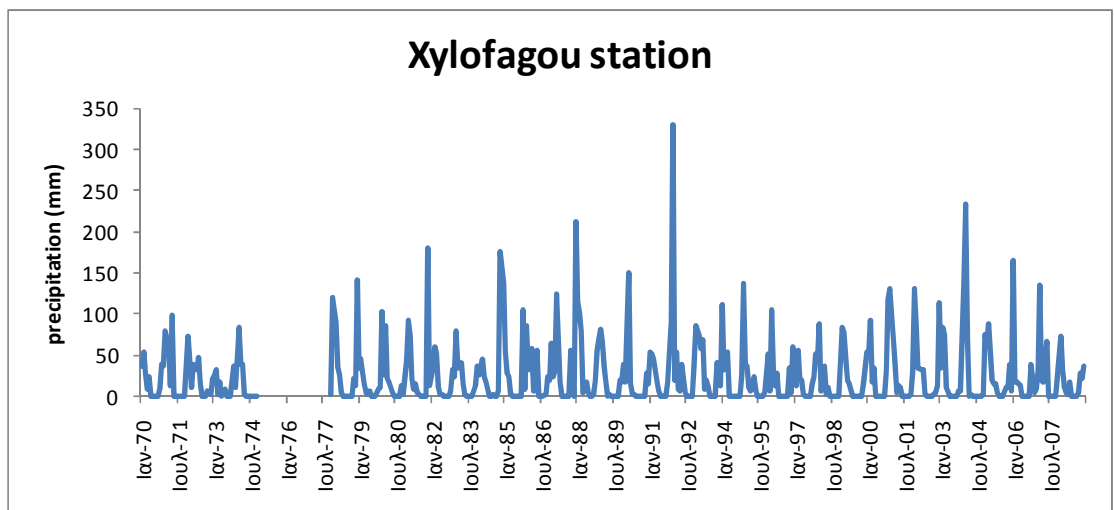
Διάγραμμα I.94. Βροχόπτωση για τον σταθμό Βάβλα



Διάγραμμα I.98. Βροχόπτωση για τον σταθμό Βρέτσια



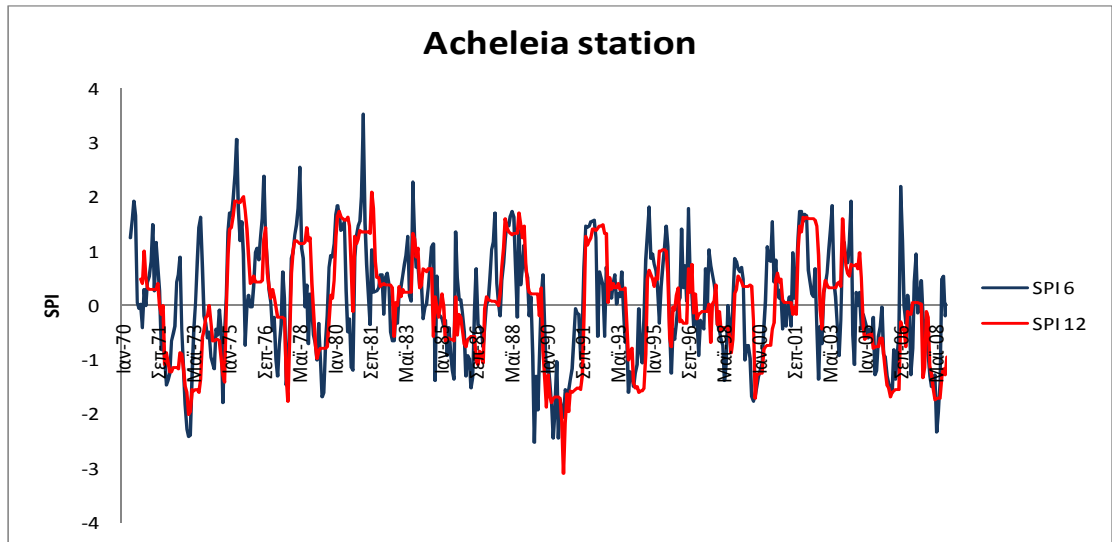
Διάγραμμα I.99. Βροχόπτωση για τον σταθμό Ζύγι



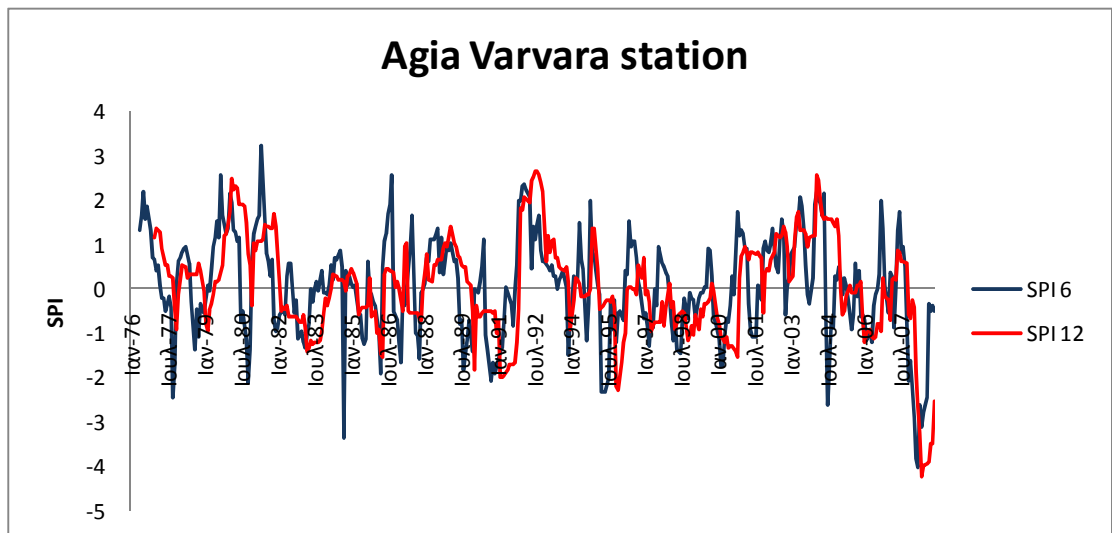
Διάγραμμα I.100. Βροχόπτωση για τον σταθμό του Ξυλοφάγου

Παράρτημα ΙΙ

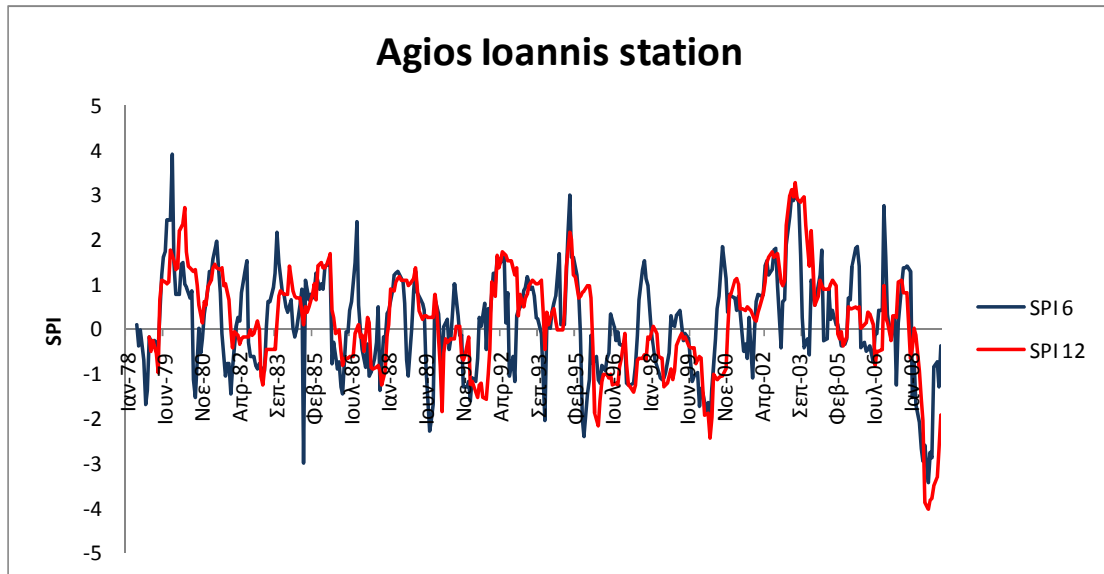
SPI 6 & SPI 12



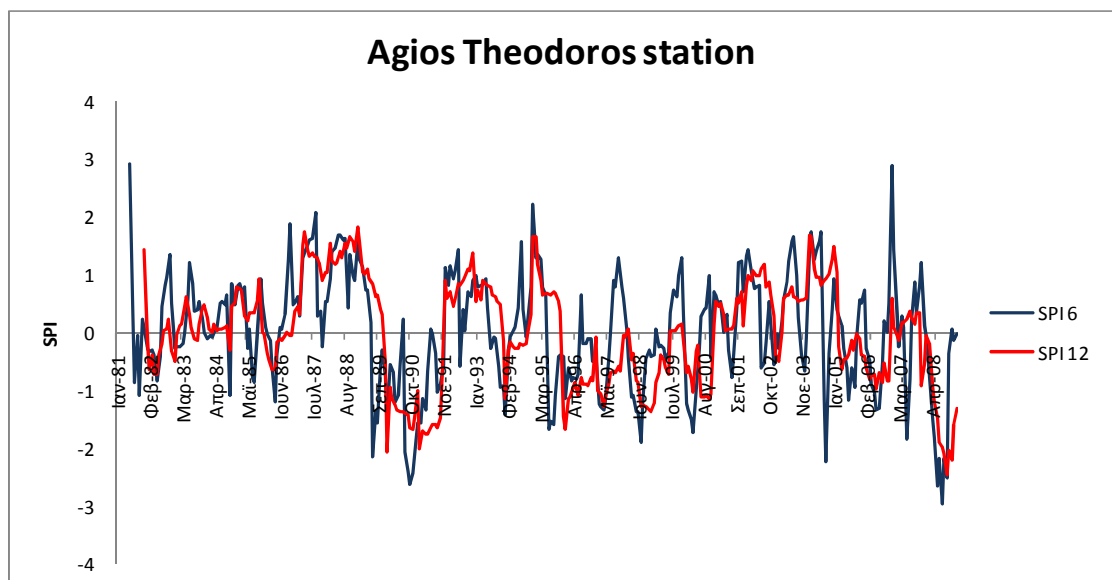
Διάγραμμα ΙΙ.1. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Αχείλειας.



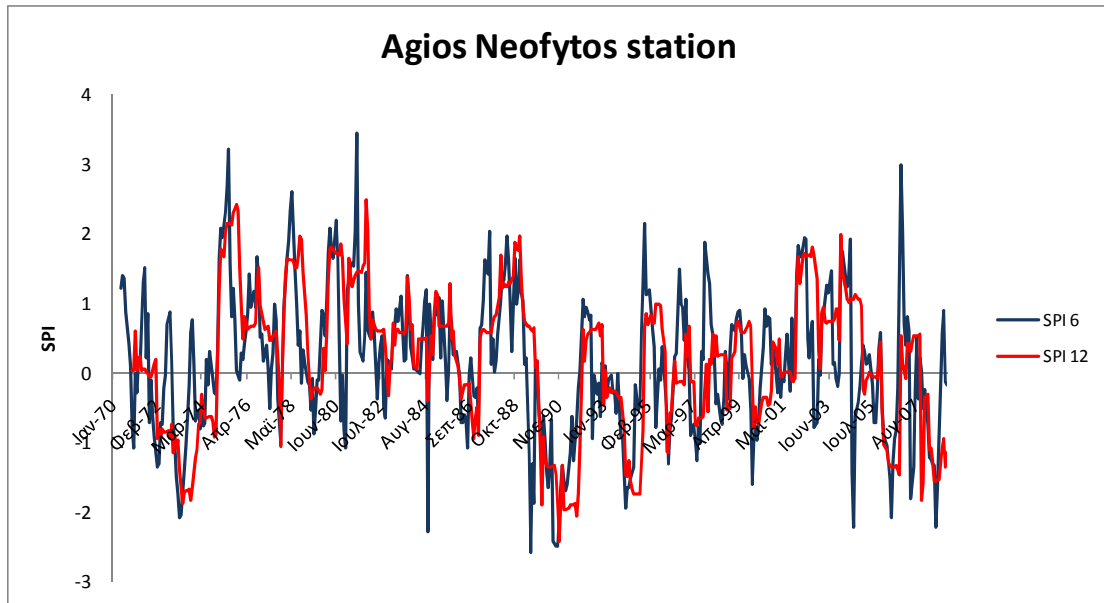
Διάγραμμα ΙΙ.2. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Αγίας Βαρβάρας.



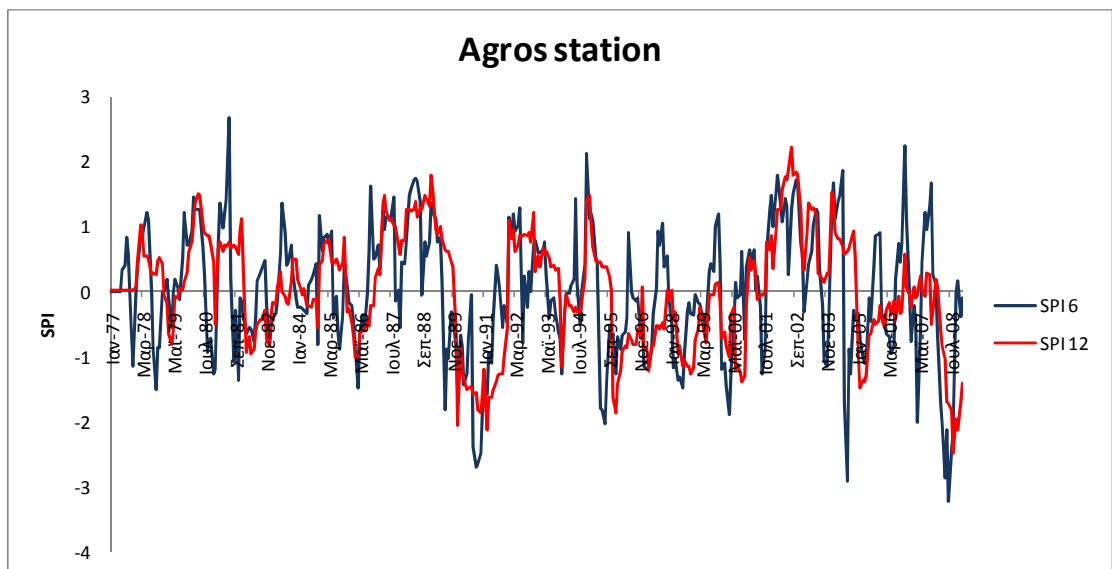
Διάγραμμα II.3. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αγ. Ιωάννη.



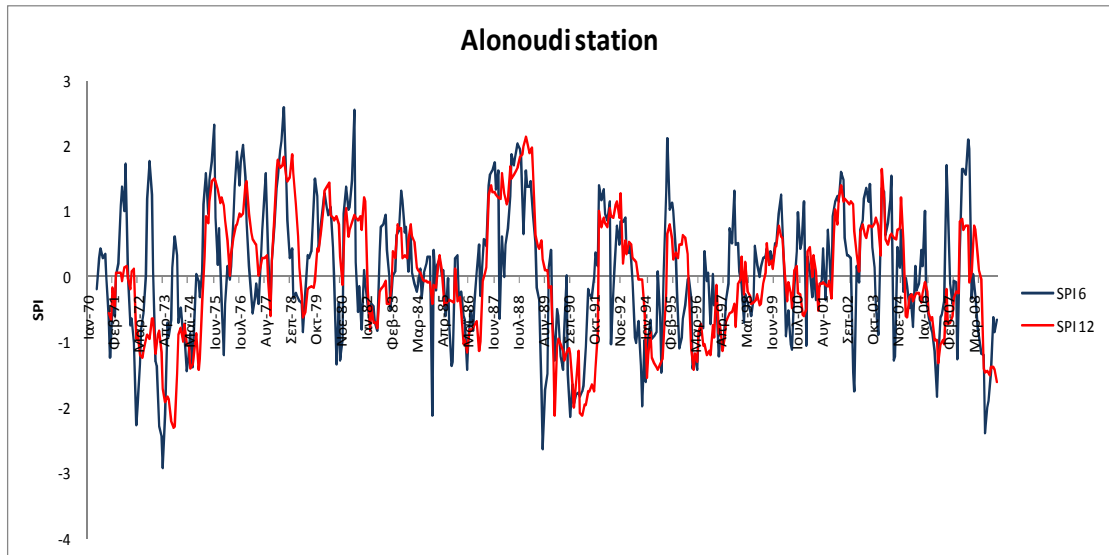
Διάγραμμα II.4. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αγ. Θεόδωρου.



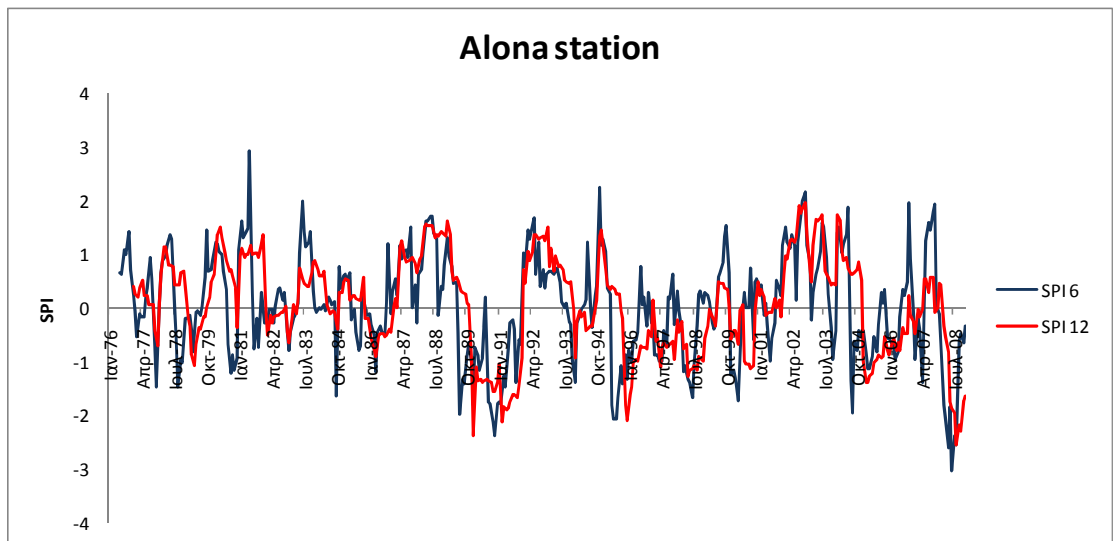
Διάγραμμα II.5. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αγ. Νεόφυτου.



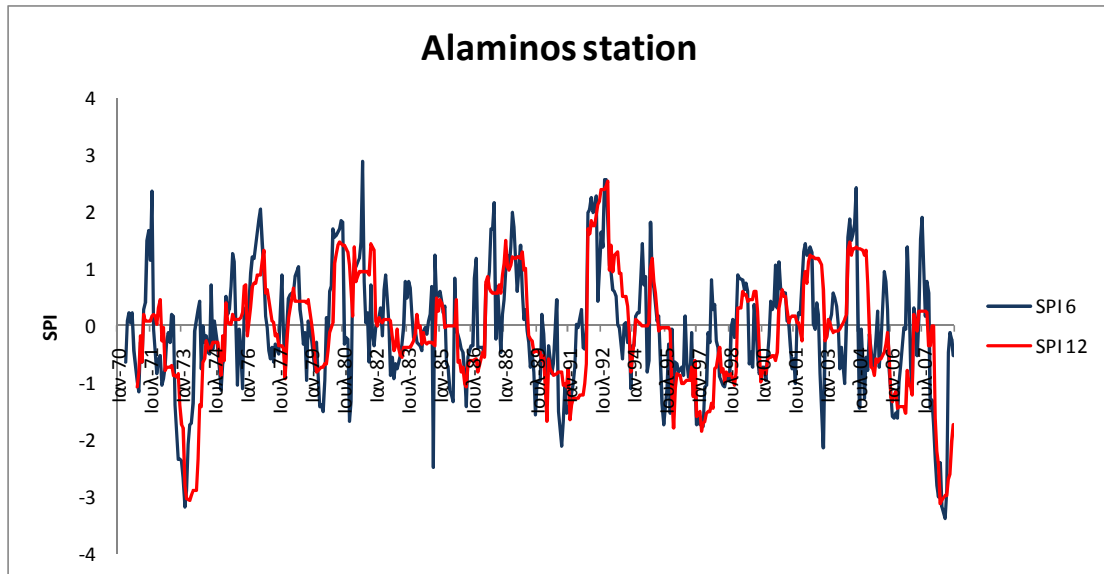
Διάγραμμα II.6. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αγρού.



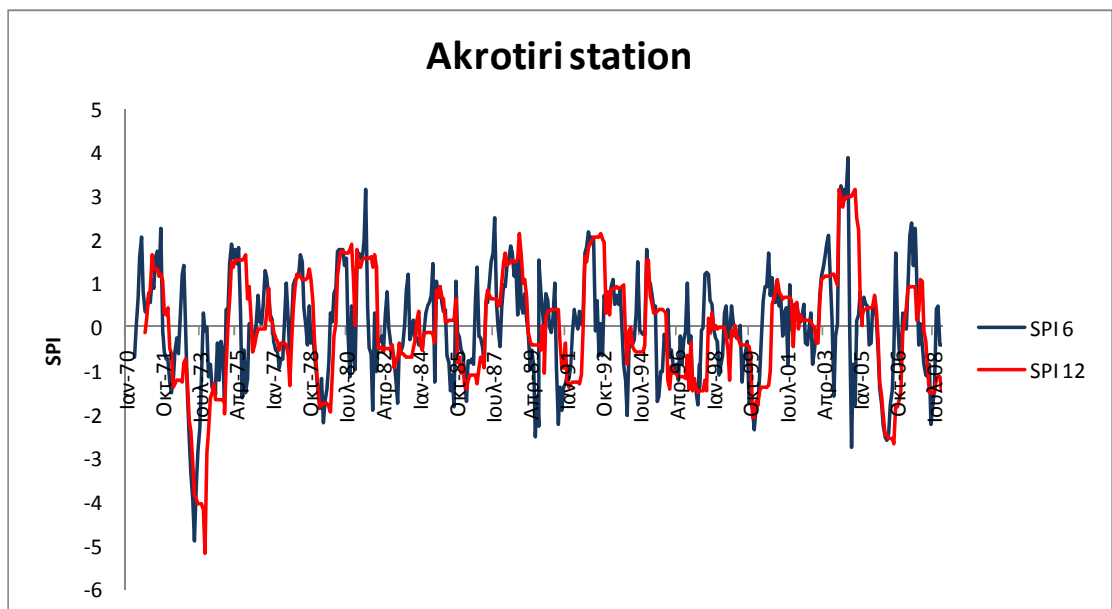
Διάγραμμα II.7. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Αλονούδι.



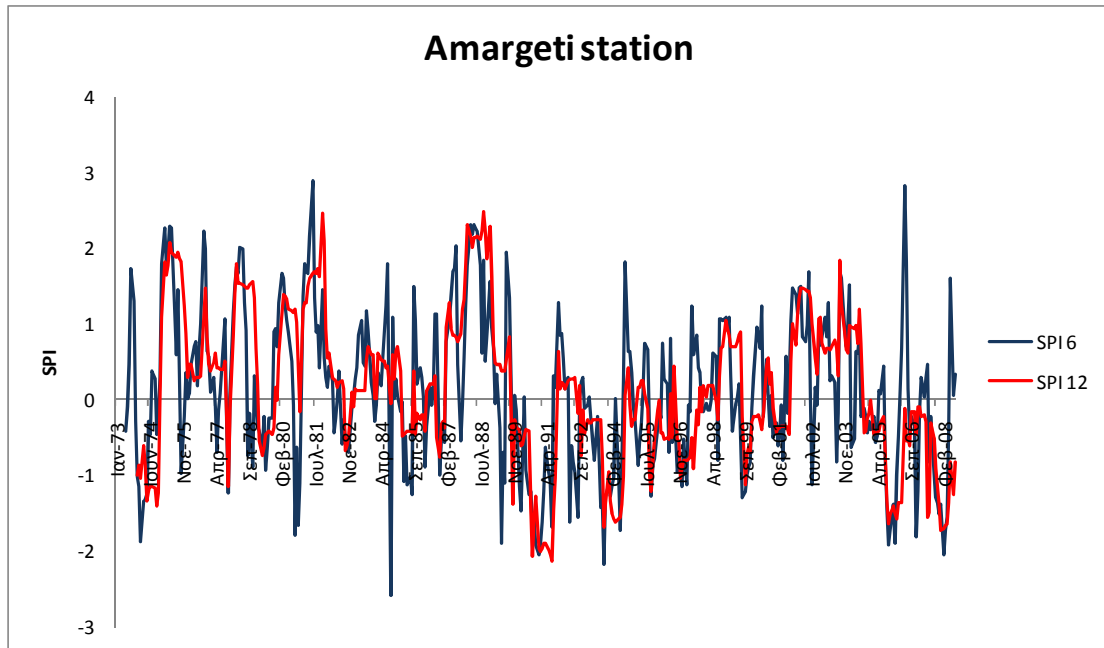
Διάγραμμα II.8. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Αλόνα.



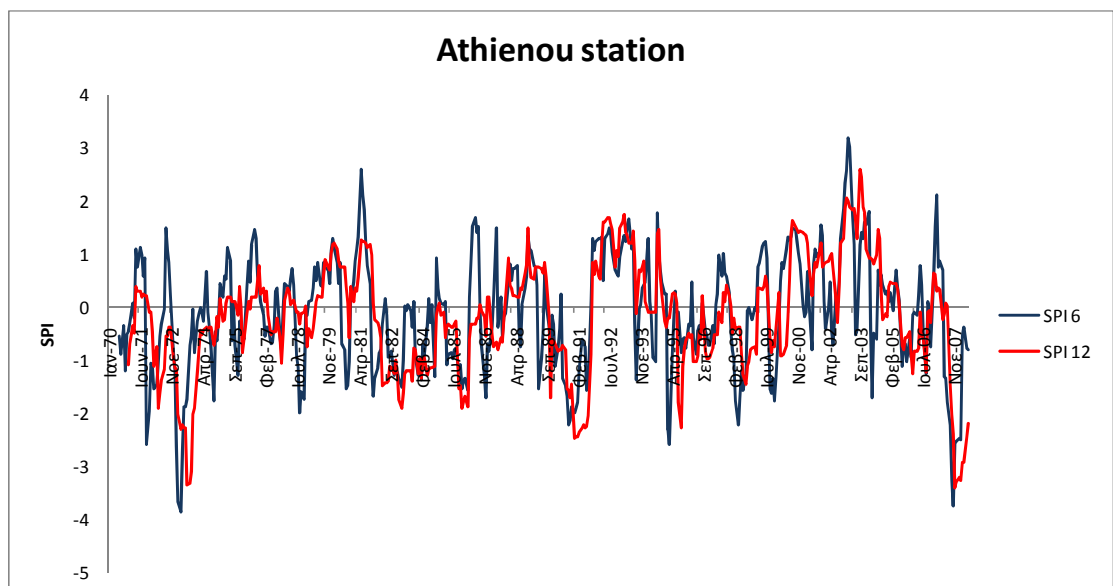
Διάγραμμα II.9. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Αλάμιнос.



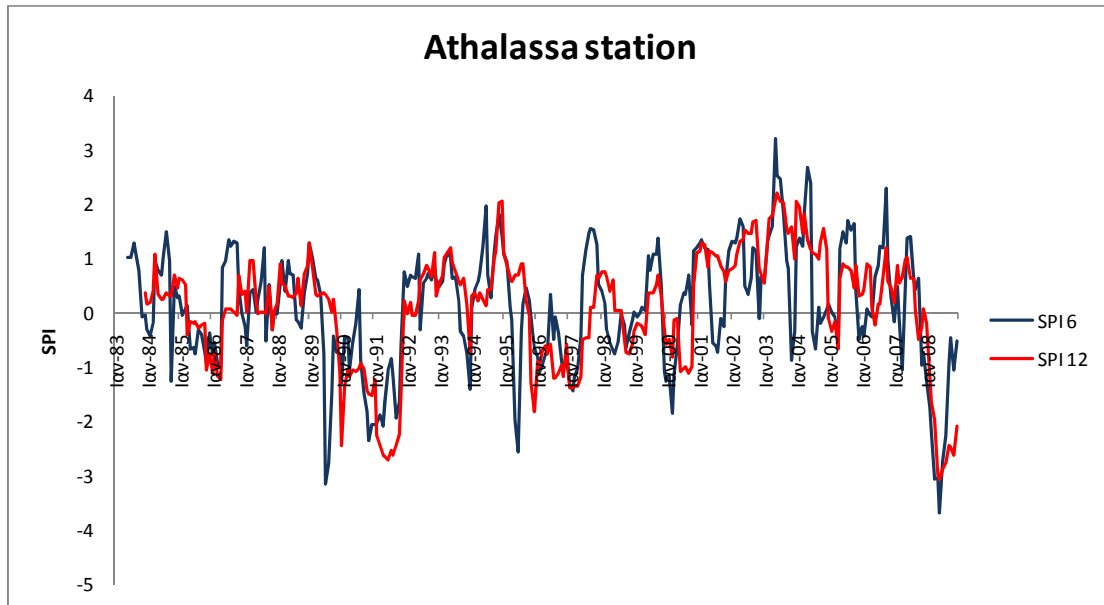
Διάγραμμα II.10. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Ακρωτηρίου.



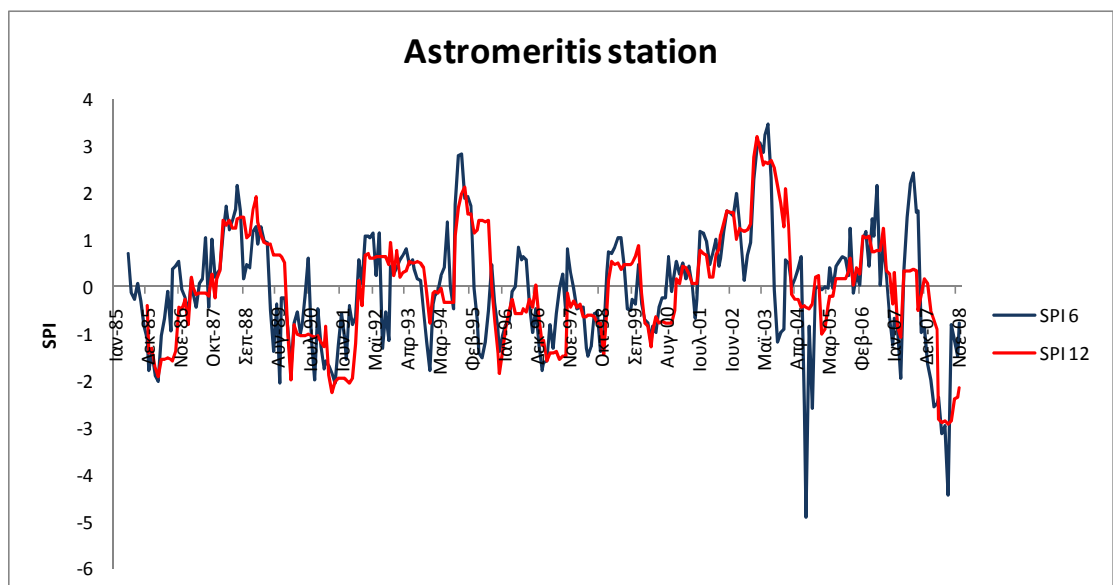
Διάγραμμα II.11. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Αμαργέτη.



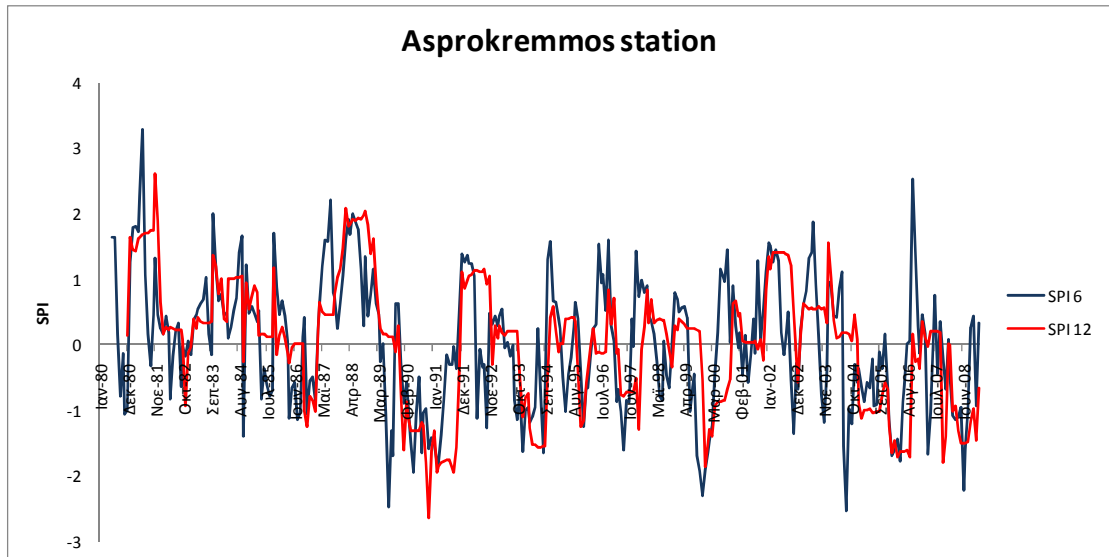
Διάγραμμα II.12. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Αθιένου.



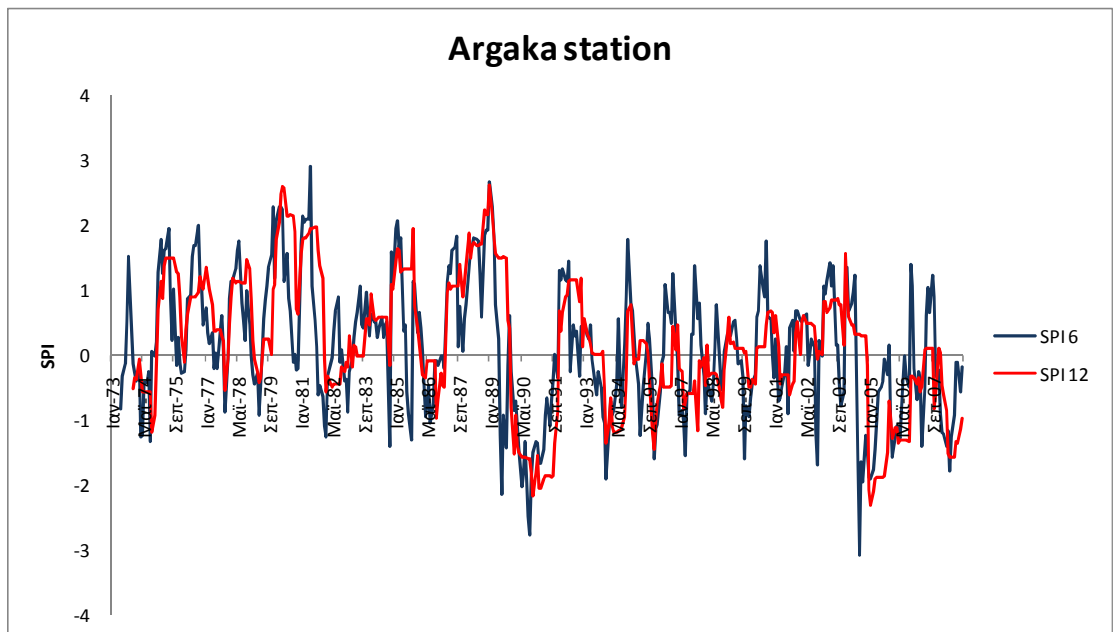
Διάγραμμα II.13. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Αθάλασσα.



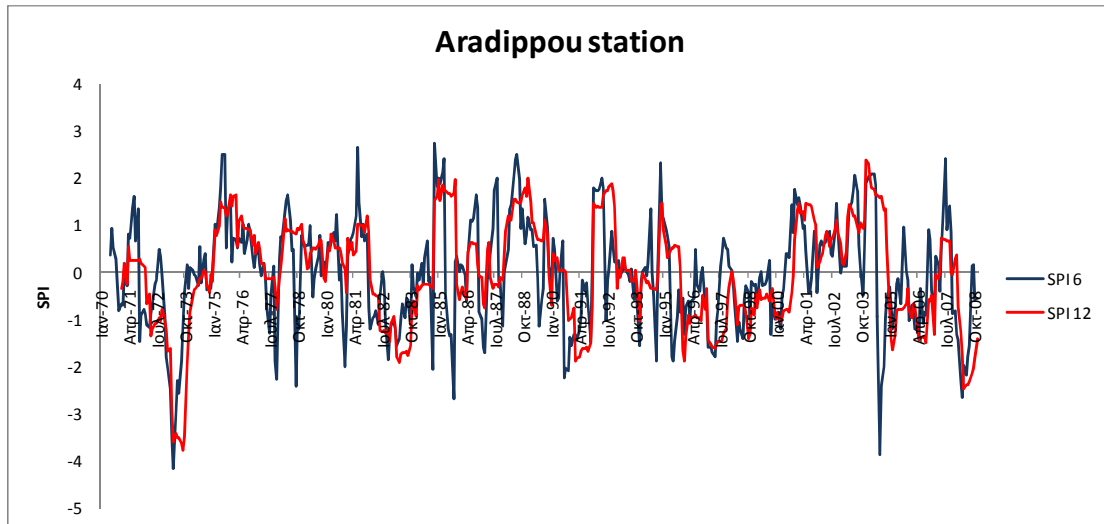
Διάγραμμα II.14. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αστρομερίτη.



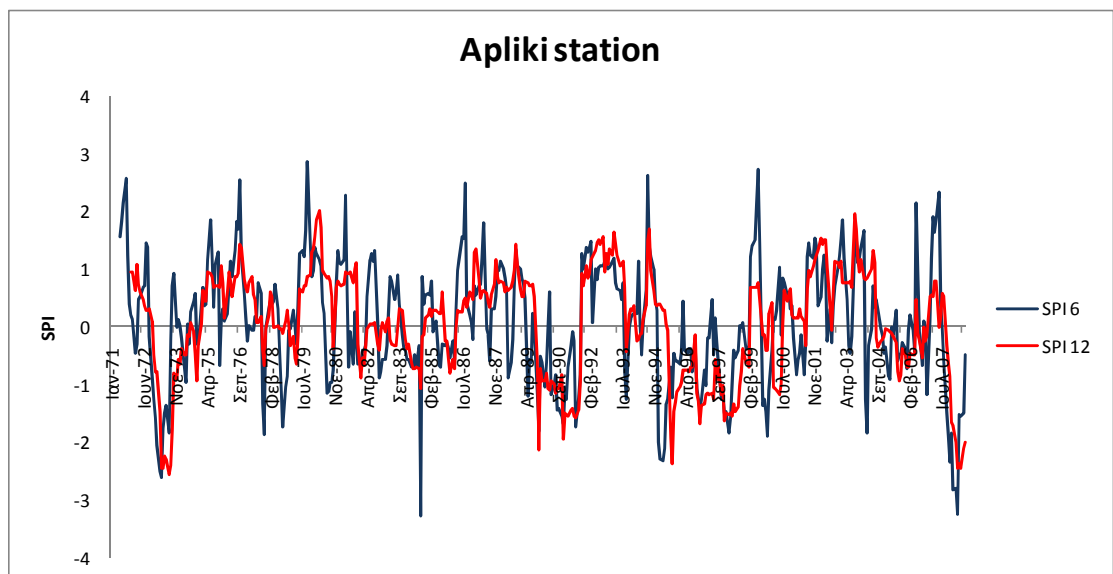
Διάγραμμα II.15. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Ασπρόκρεμμου.



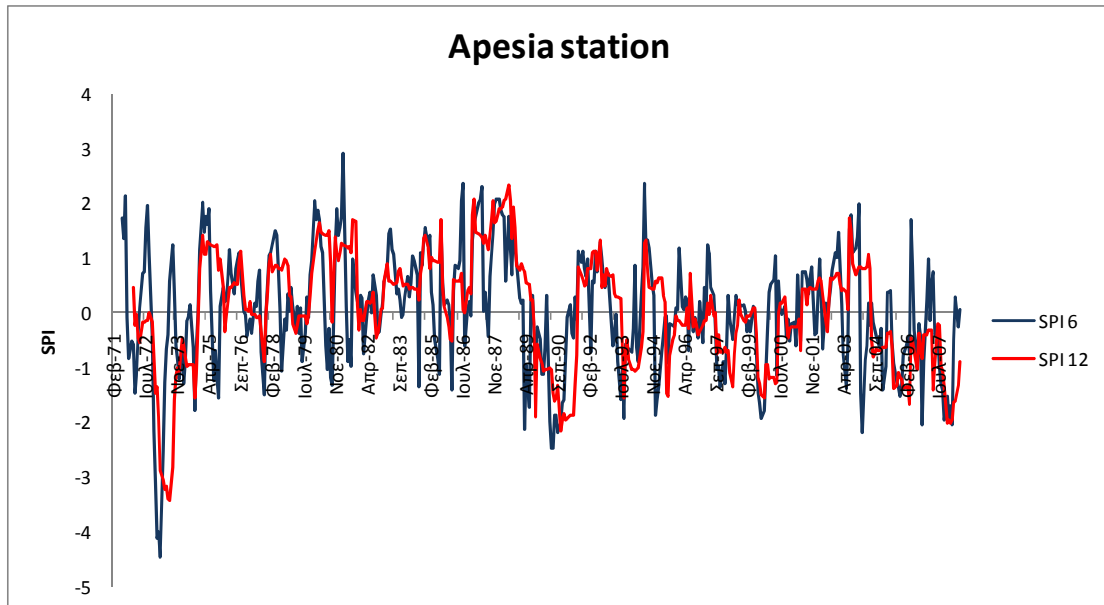
Διάγραμμα II.16. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Αργάκα.



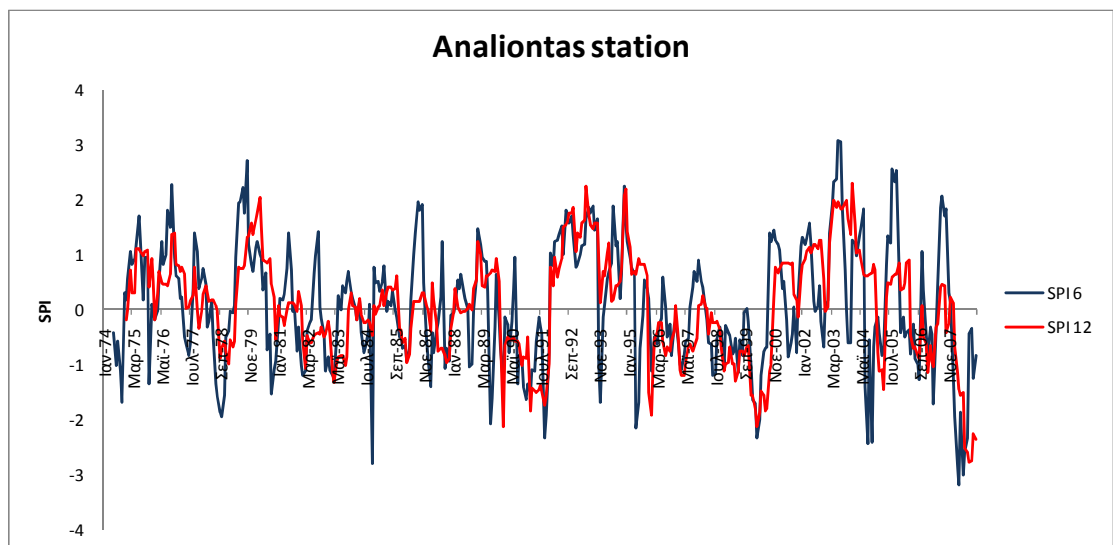
Διάγραμμα II.17. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αραδίππου.



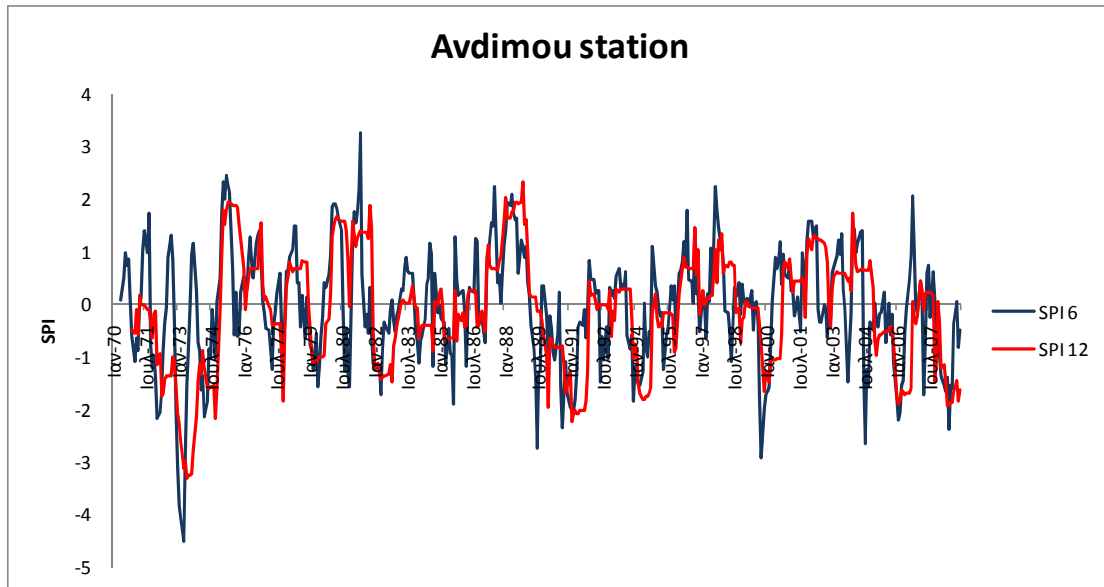
Διάγραμμα II.18. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Απλίκι.



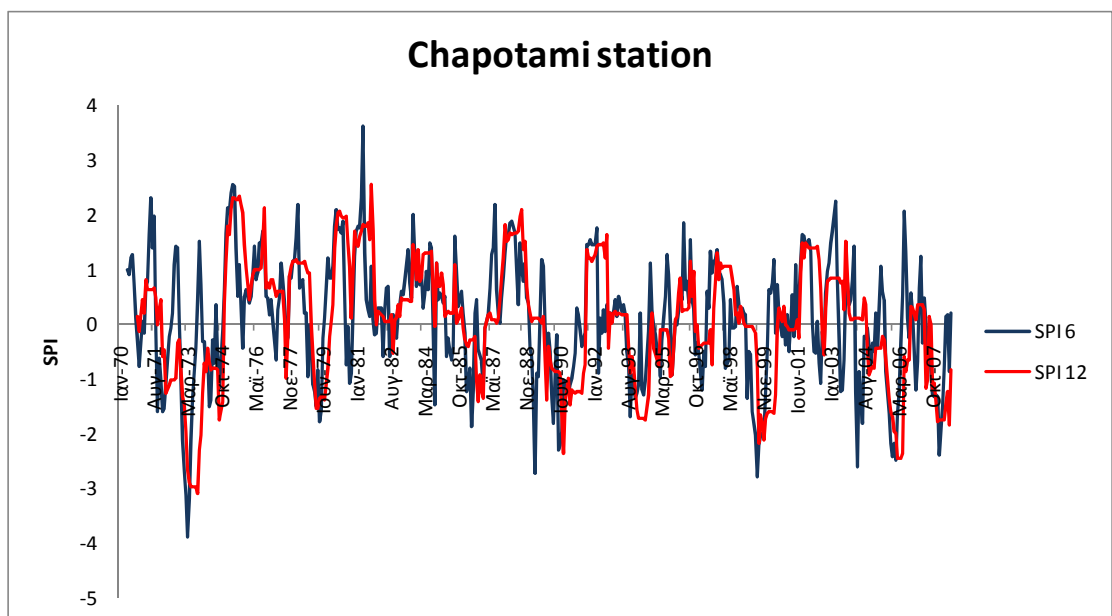
Διάγραμμα II.19. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Απέσια.



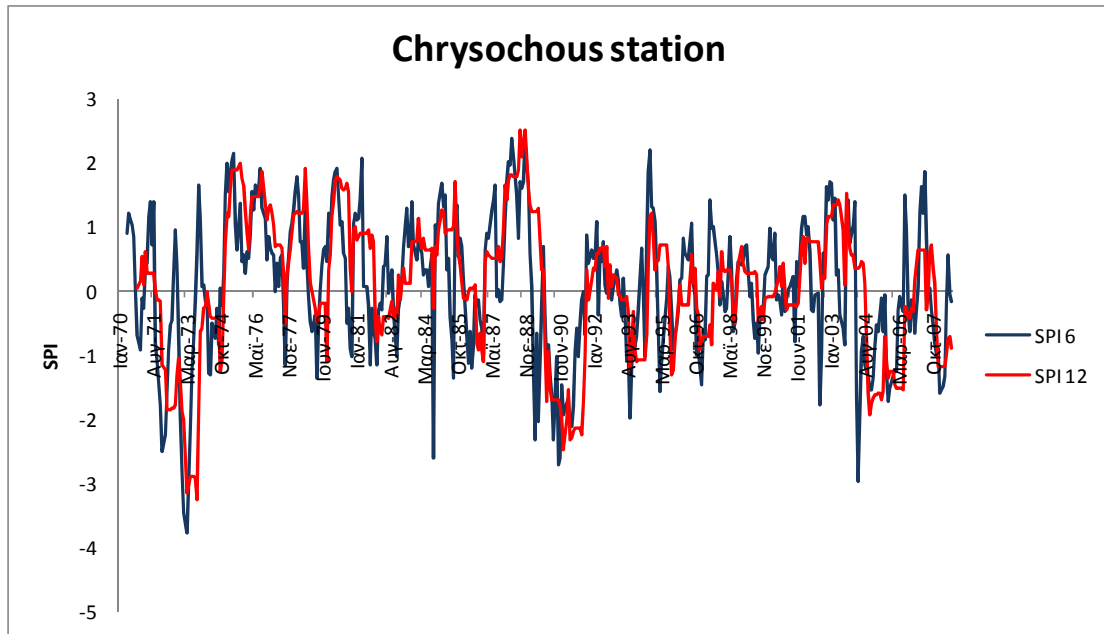
Διάγραμμα II.20. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αναλίοντα.



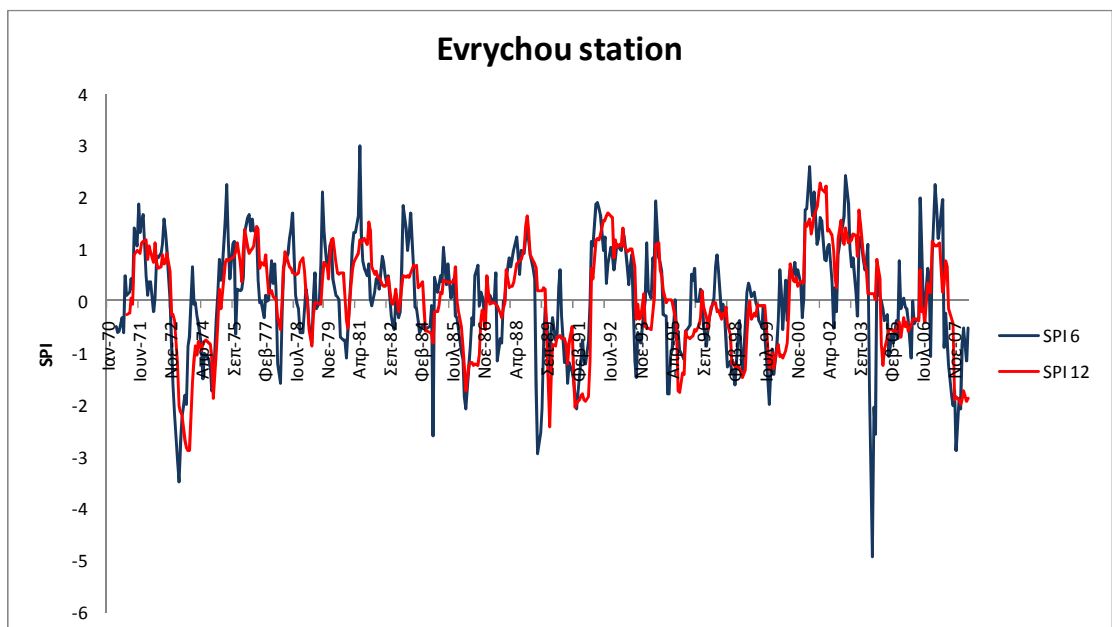
Διάγραμμα II.21. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αυδήμου.



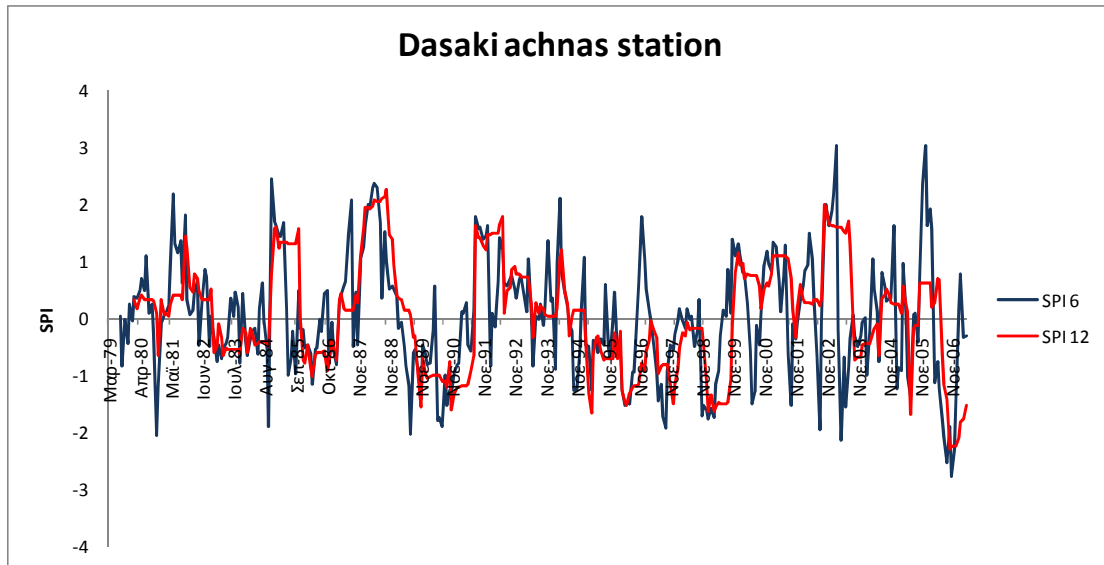
Διάγραμμα II.22. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Τσαποτάμι.



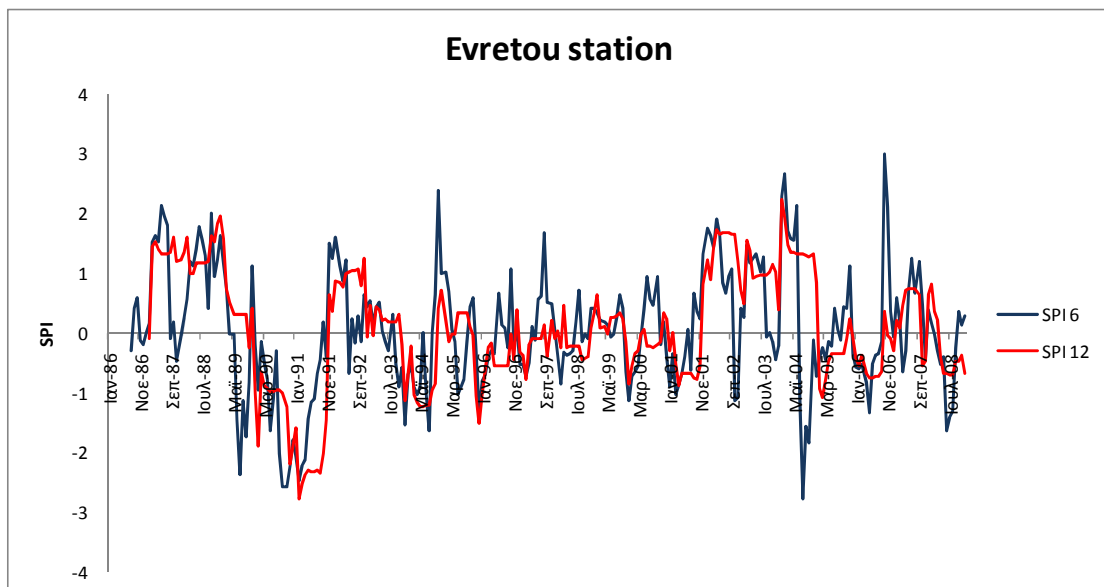
Διάγραμμα II.23. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Χρυσοχούς.



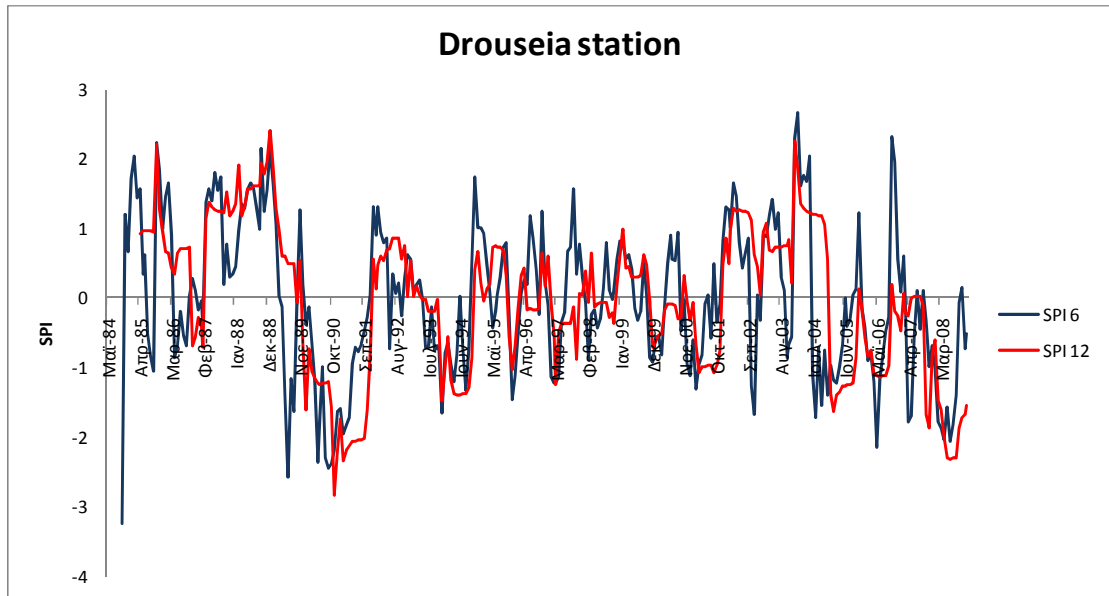
Διάγραμμα II.24. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Ευρύχου.



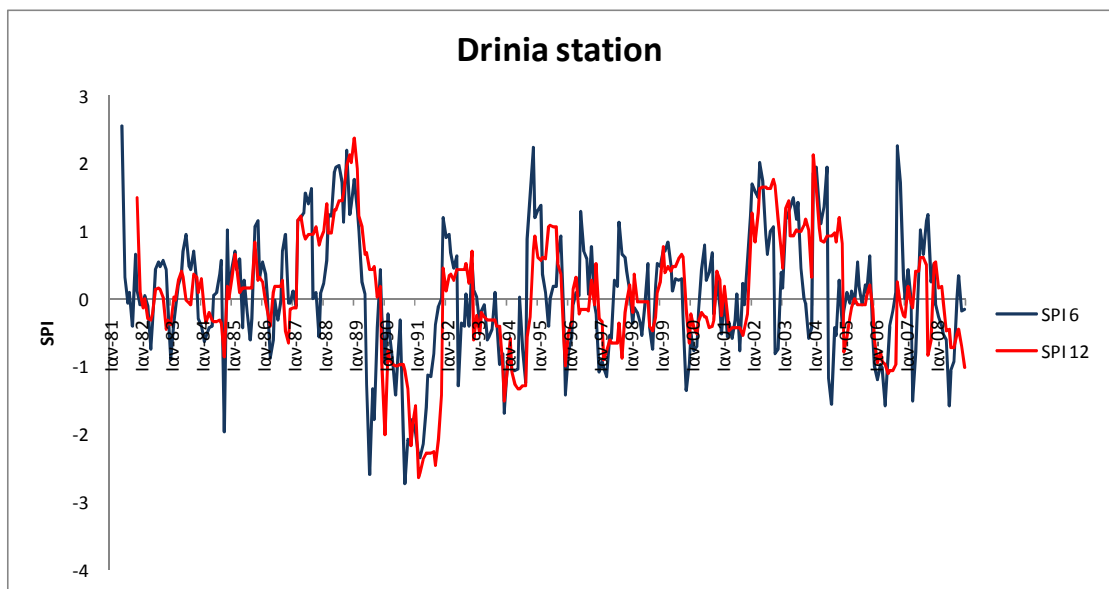
Διάγραμμα II.25. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Δασάκι Άχνας.



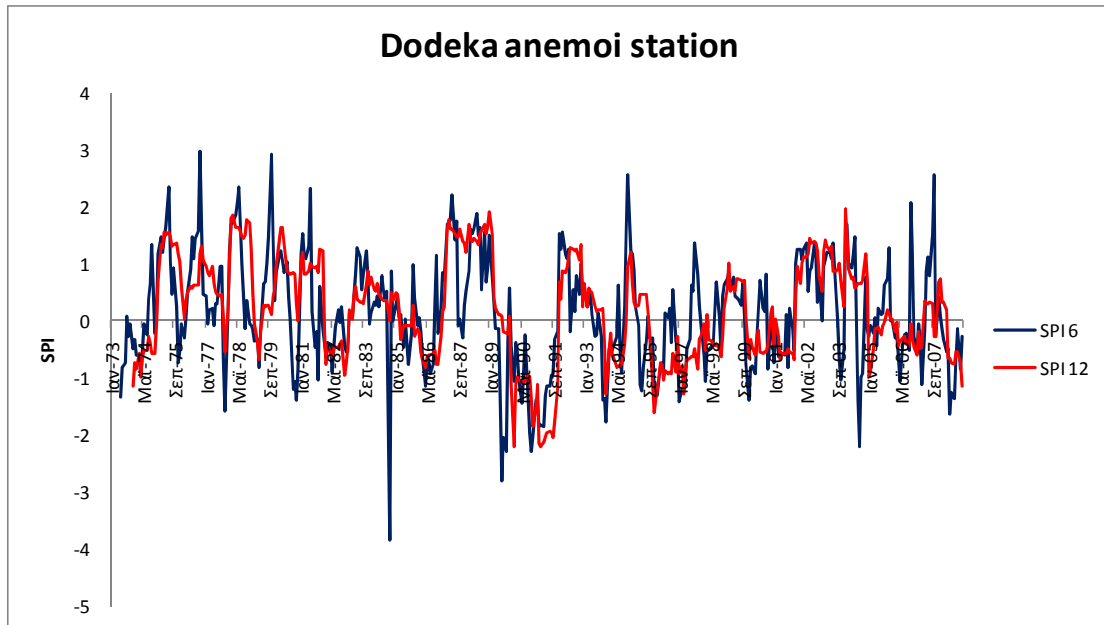
Διάγραμμα II.26. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Ευρετού.



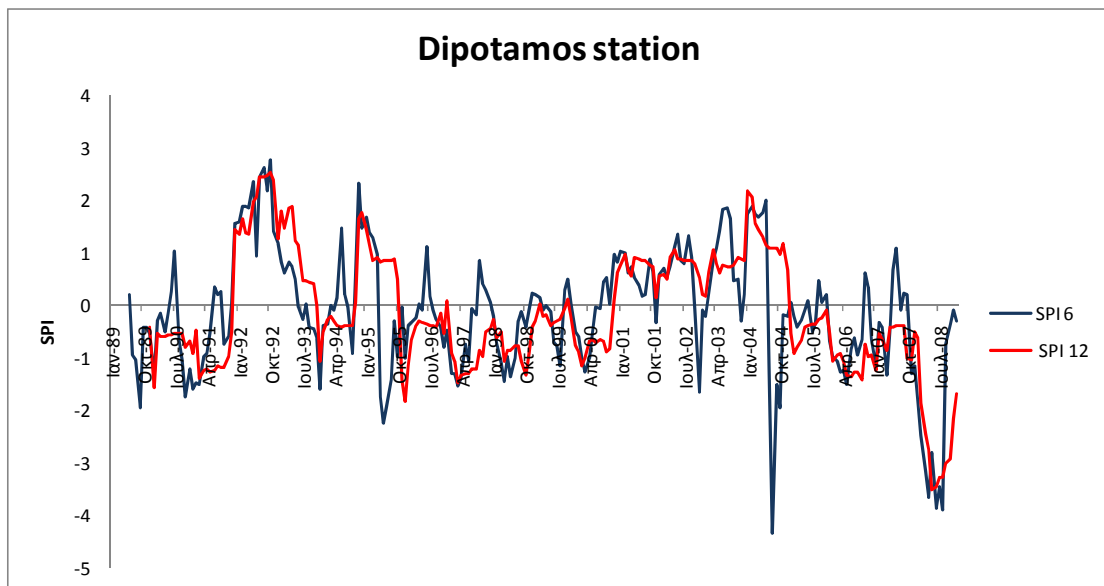
Διάγραμμα II.27. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Δρούσεια.



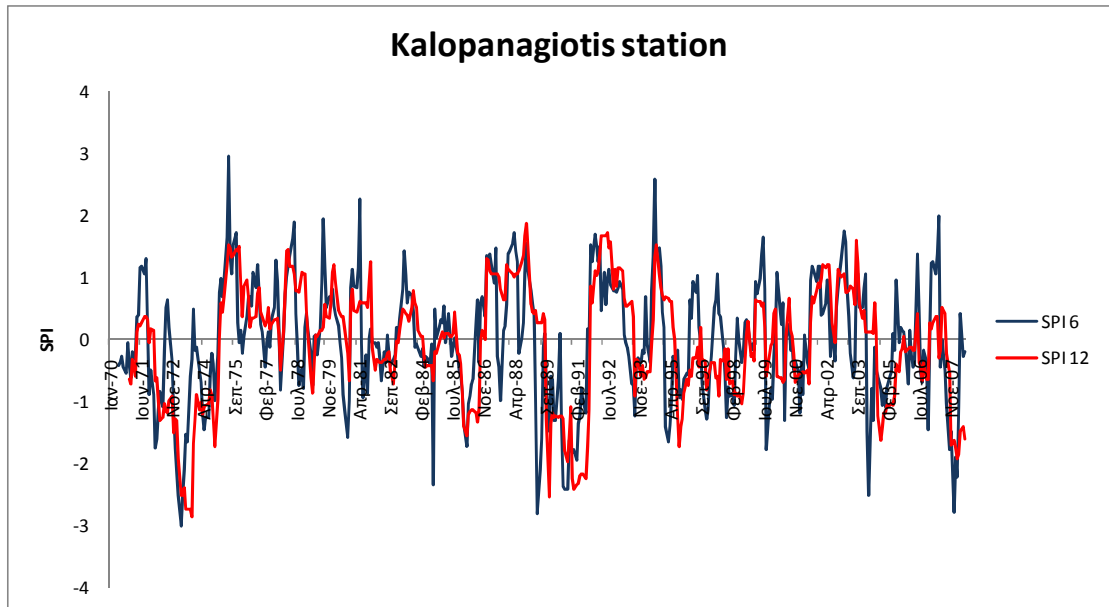
Διάγραμμα II.28. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Δρίνια.



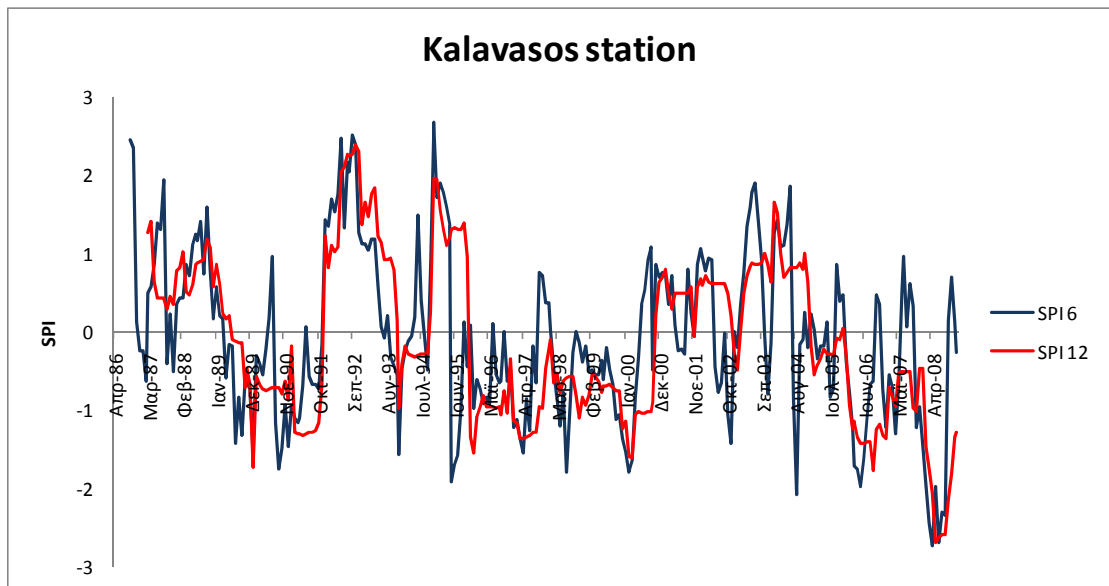
Διάγραμμα ΙΙ.29. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό 12 άνεμοι.



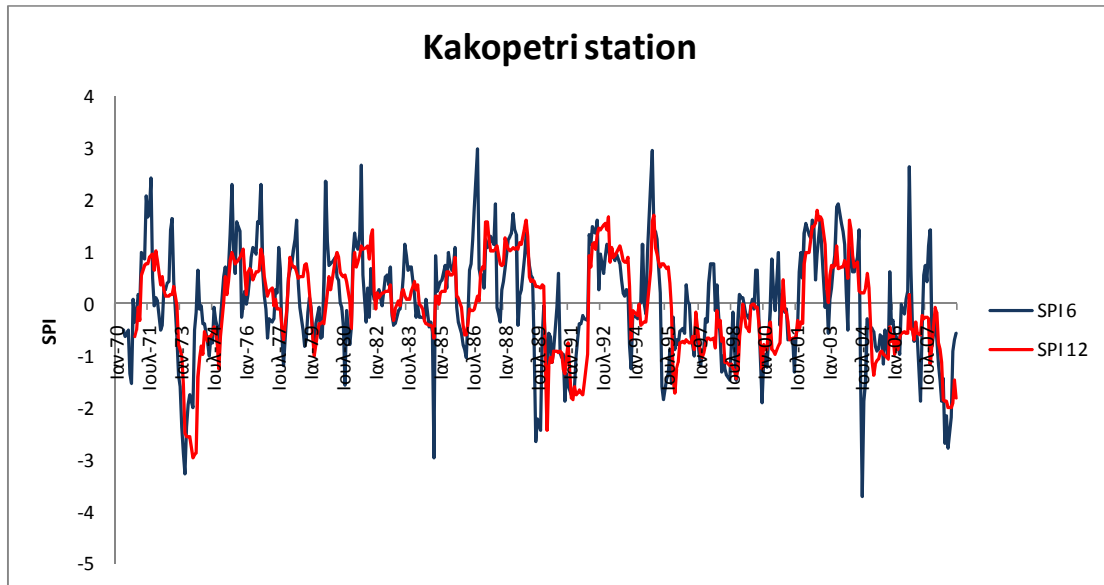
Διάγραμμα ΙΙ.30. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Διπόταμου.



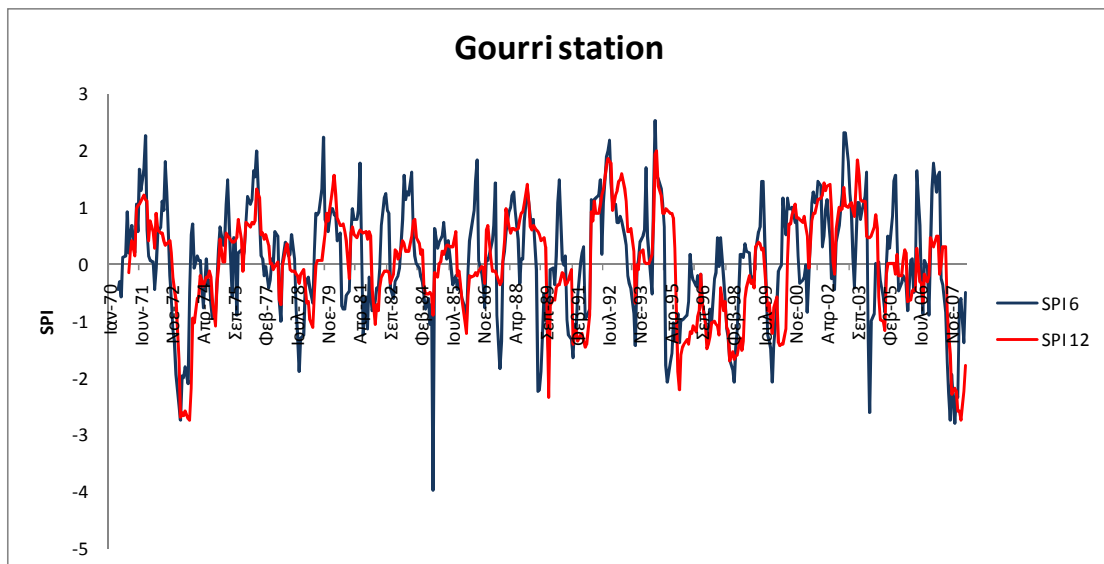
Διάγραμμα II.31. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Καλοπαναγιώτη.



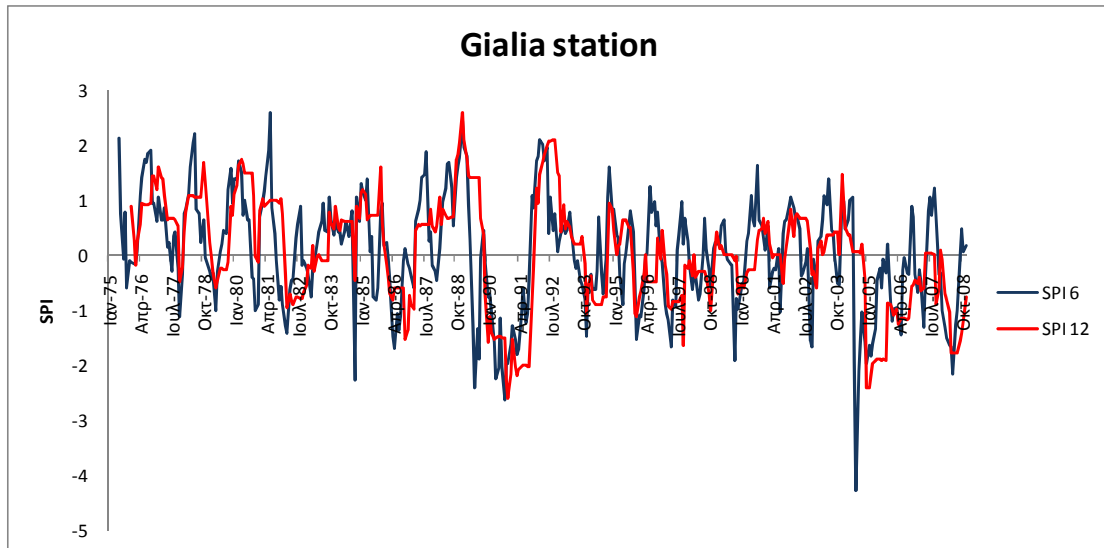
Διάγραμμα II.32. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Καλάβασου.



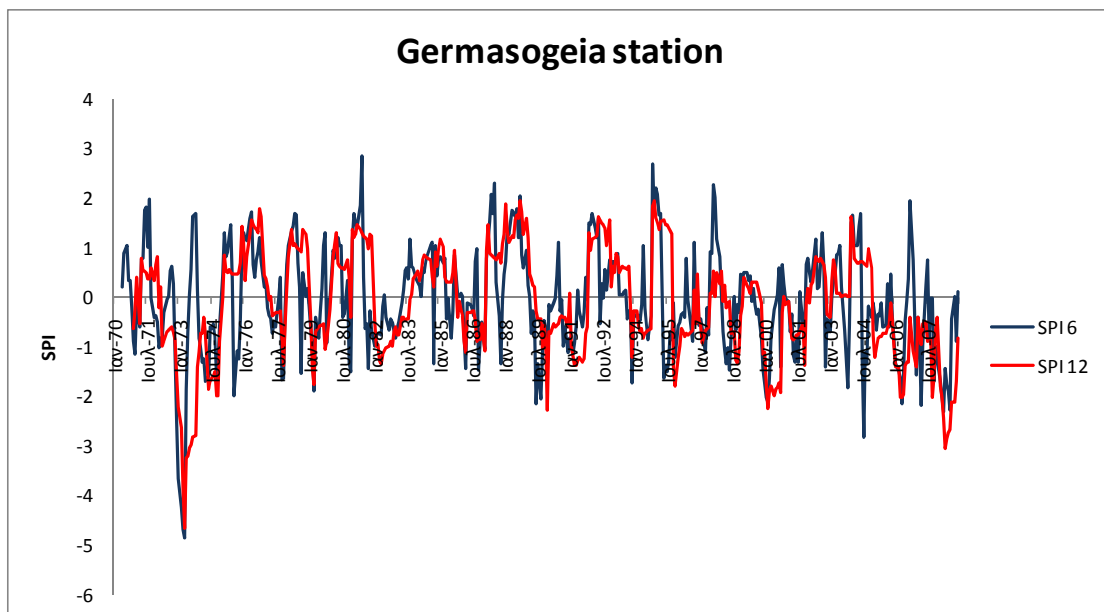
Διάγραμμα II.33. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Κακοπέτρι.



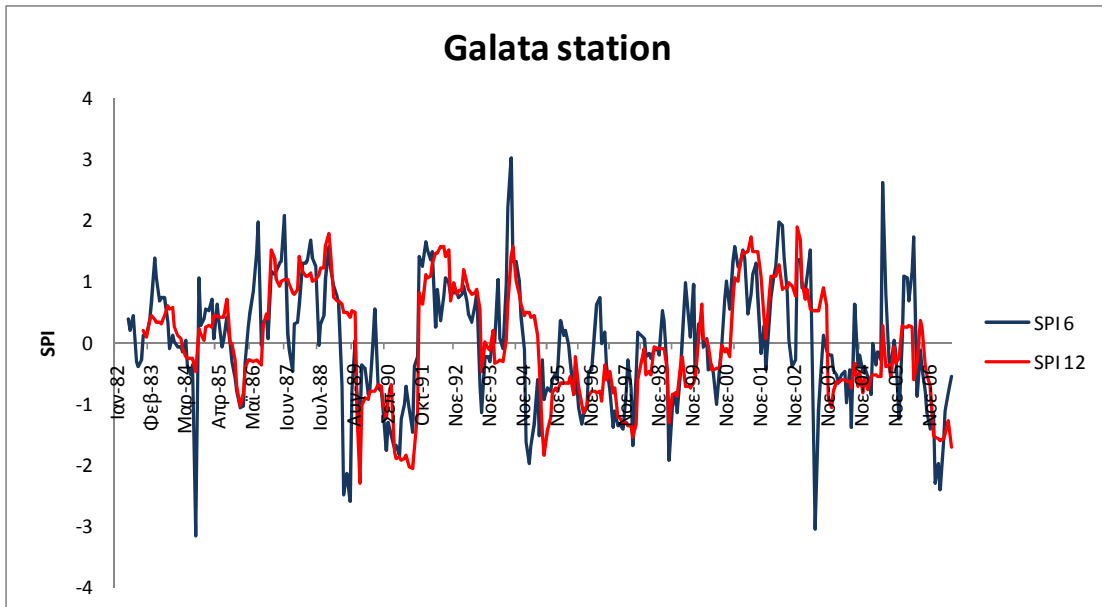
Διάγραμμα II.34. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Γούρρι.



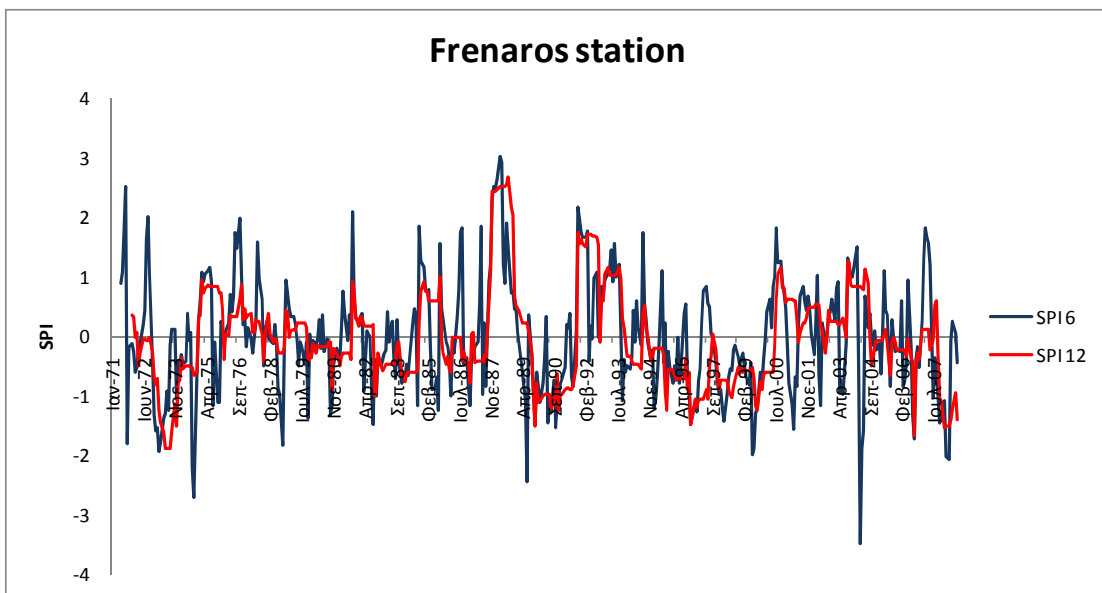
Διάγραμμα II.35. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Γιάλια.



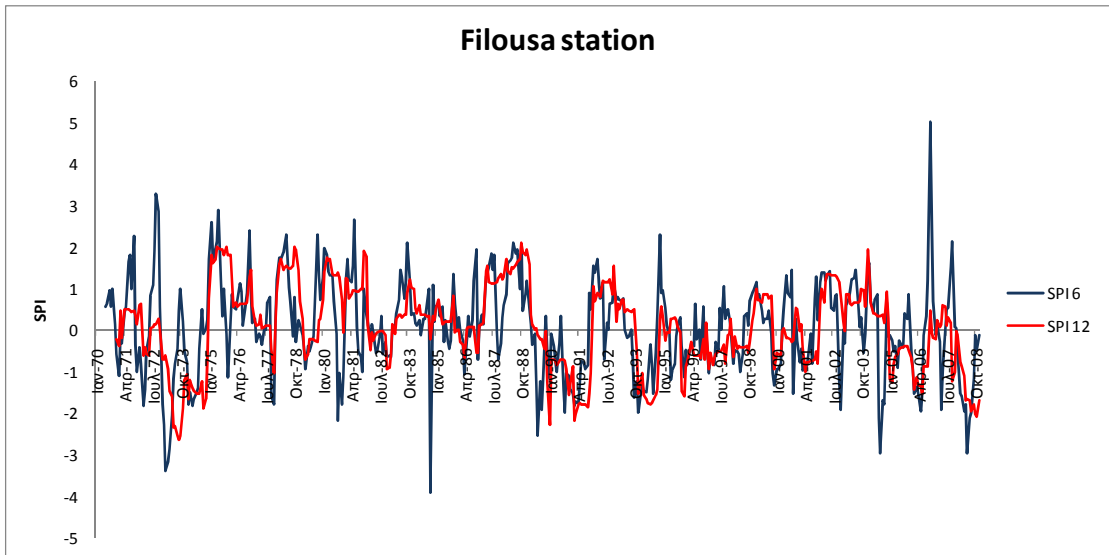
Διάγραμμα II.36. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Γερμασόγεια.



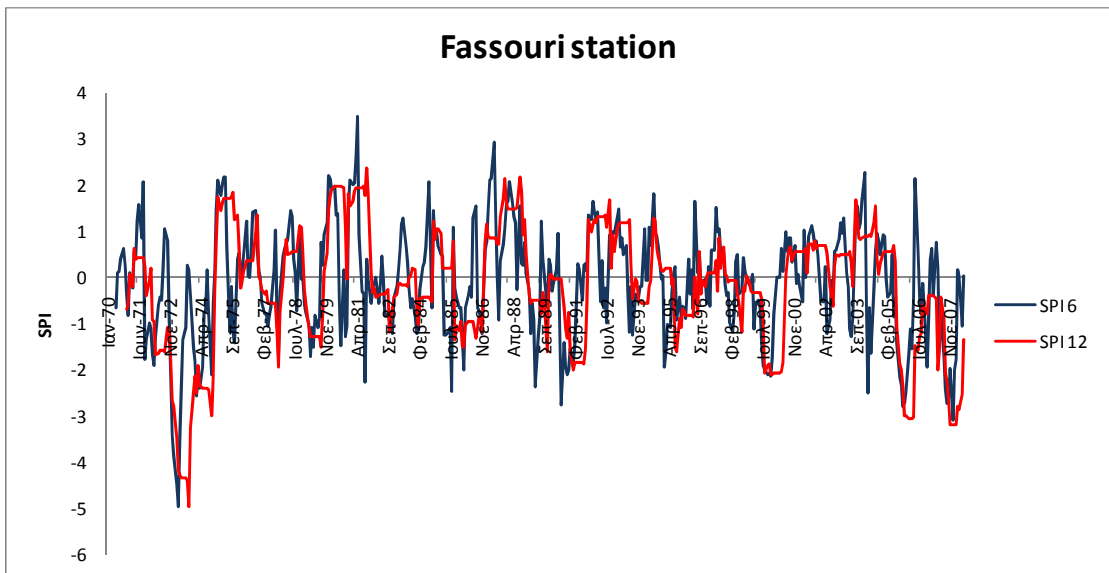
Διάγραμμα II.37. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Γαλατά.



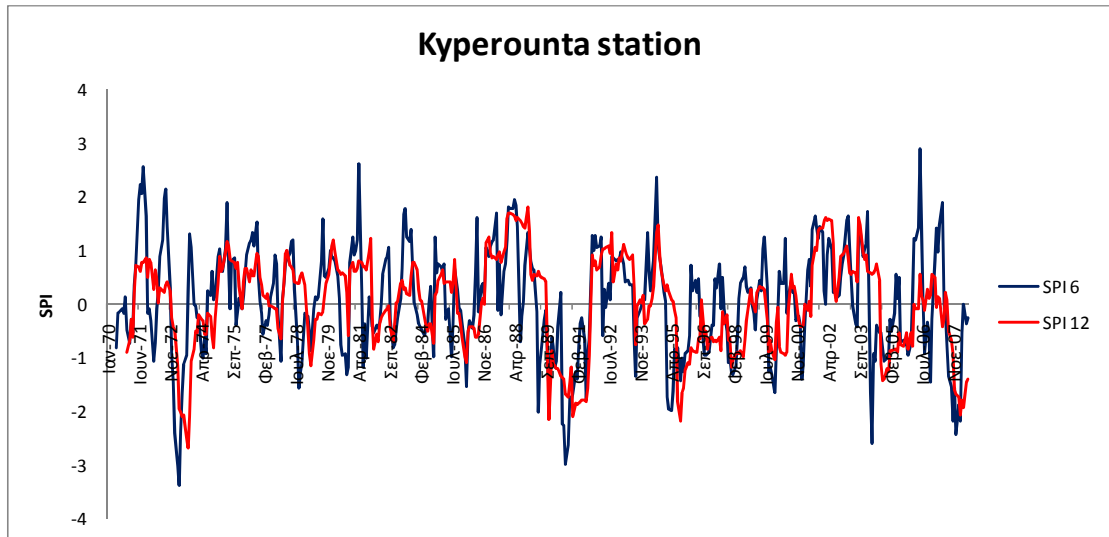
Διάγραμμα II.38. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Φρέναρου.



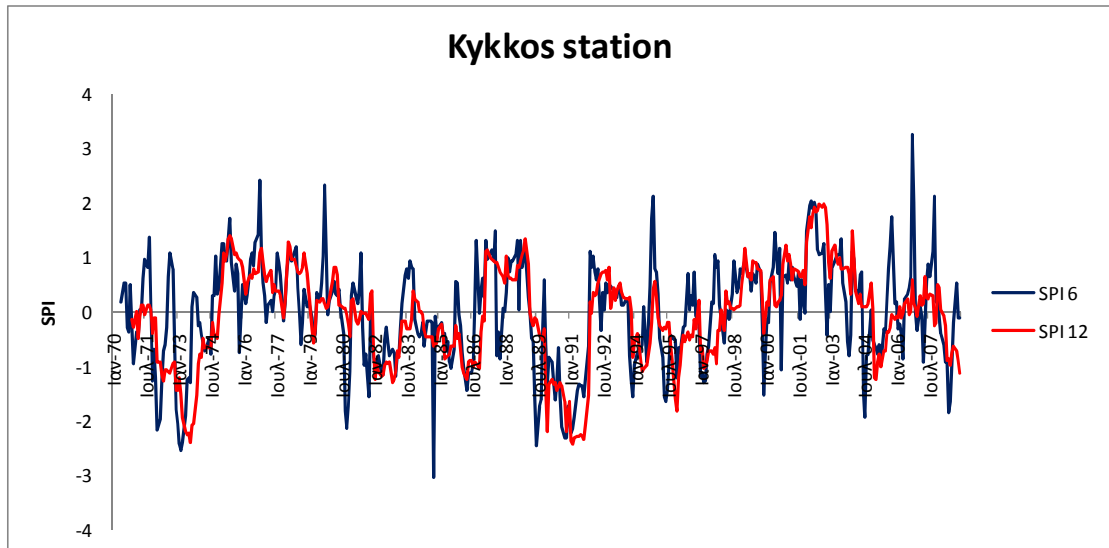
Διάγραμμα II.39. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Φιλούσα.



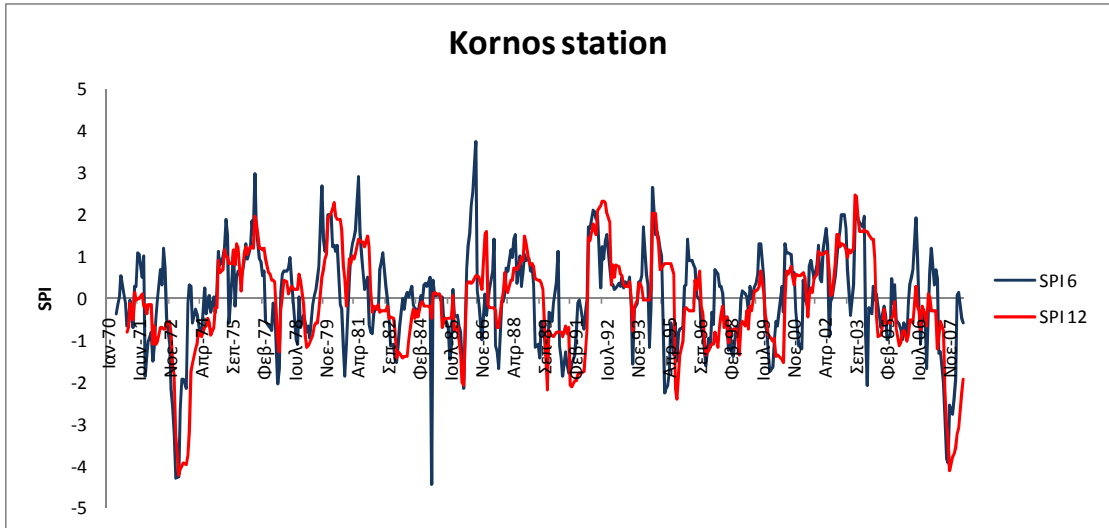
Διάγραμμα II.40. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Φασσούρι.



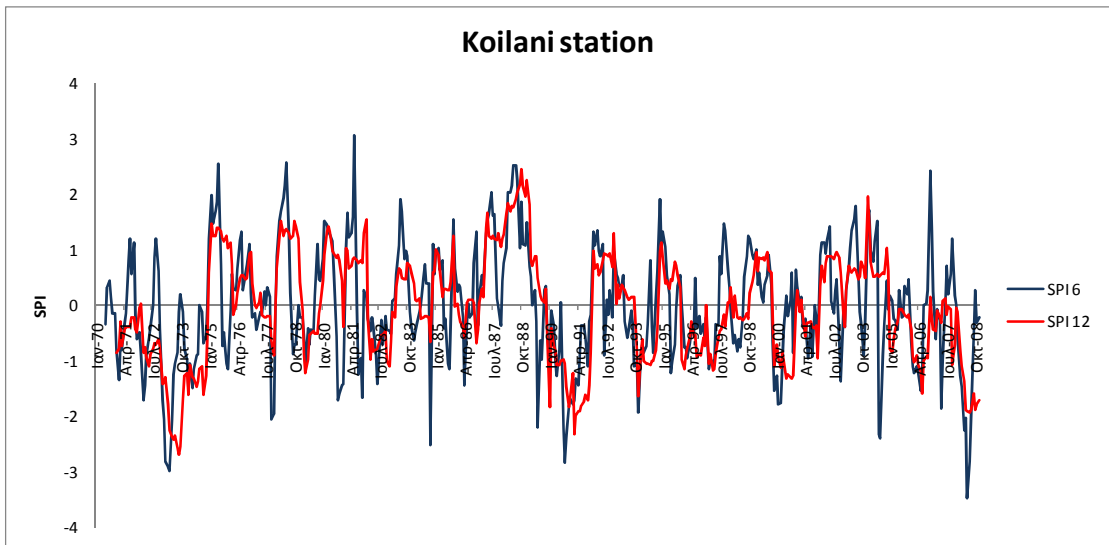
Διάγραμμα II.41. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Κυπερούντα.



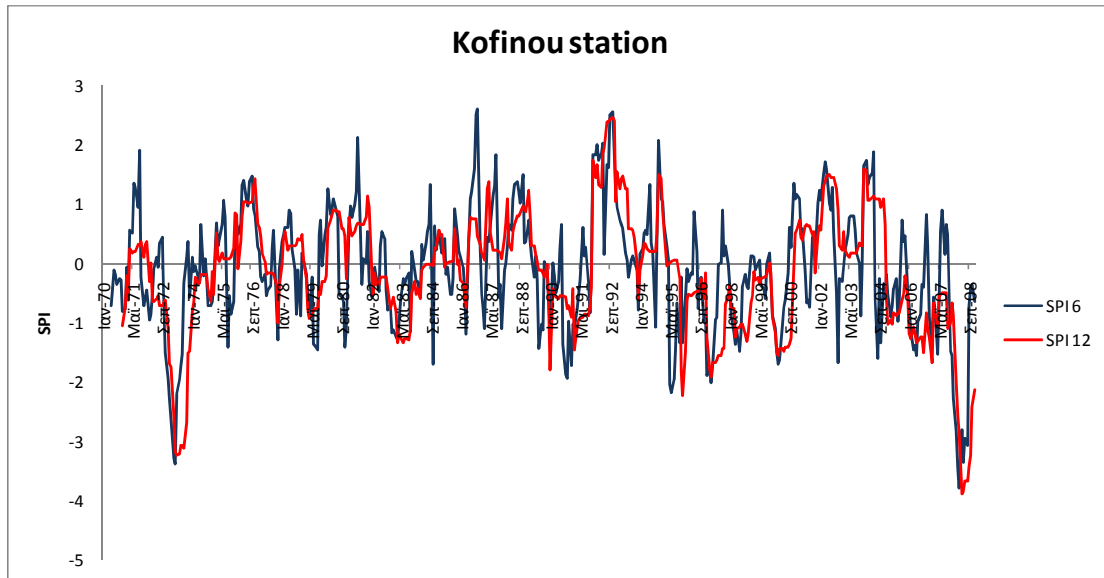
Διάγραμμα II.42. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Κύκκου.



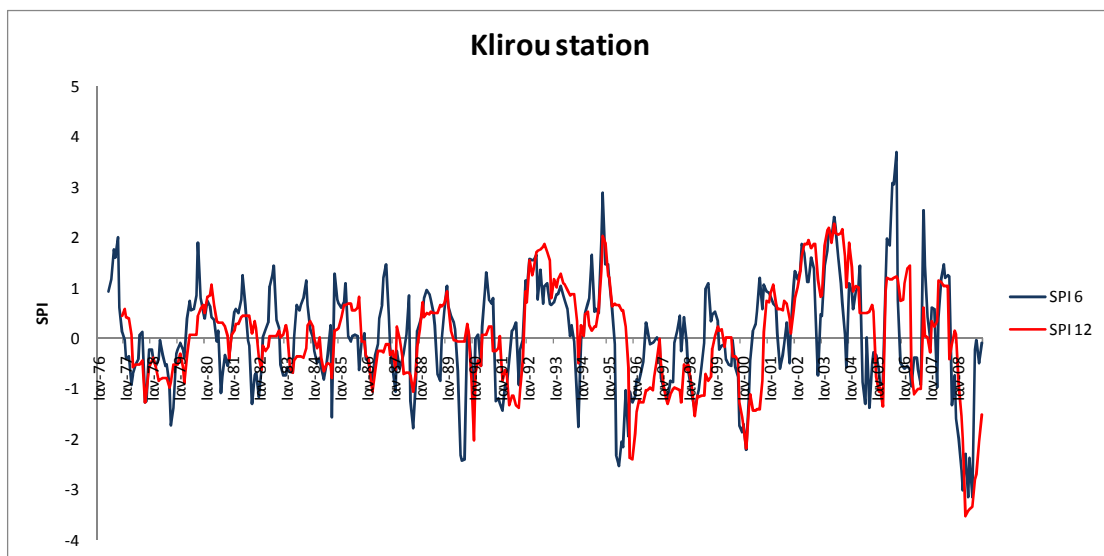
Διάγραμμα II.43. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Κορνού.



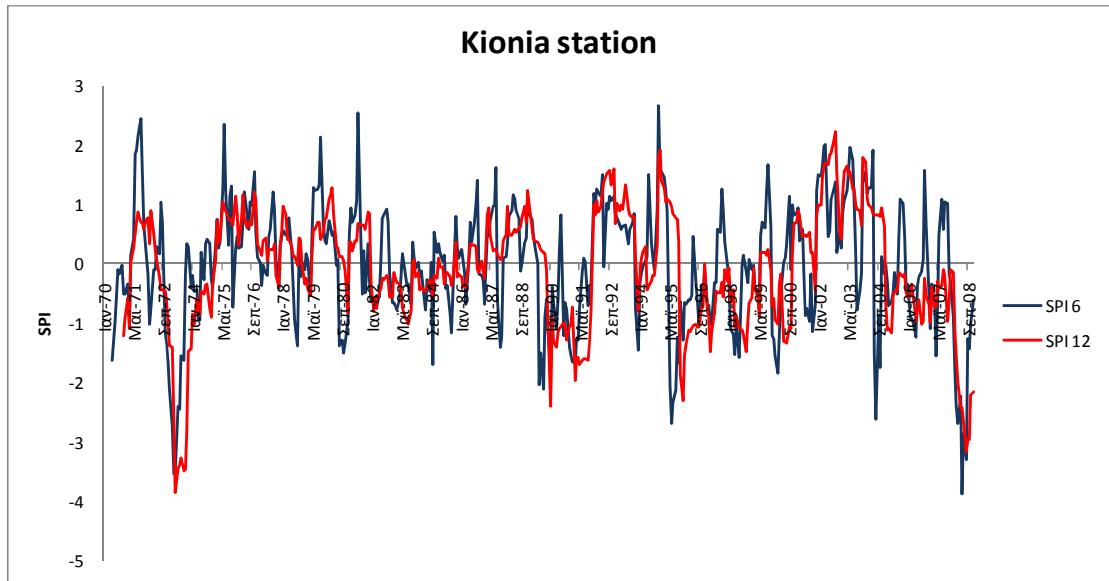
Διάγραμμα II.44. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Κοιλάνι.



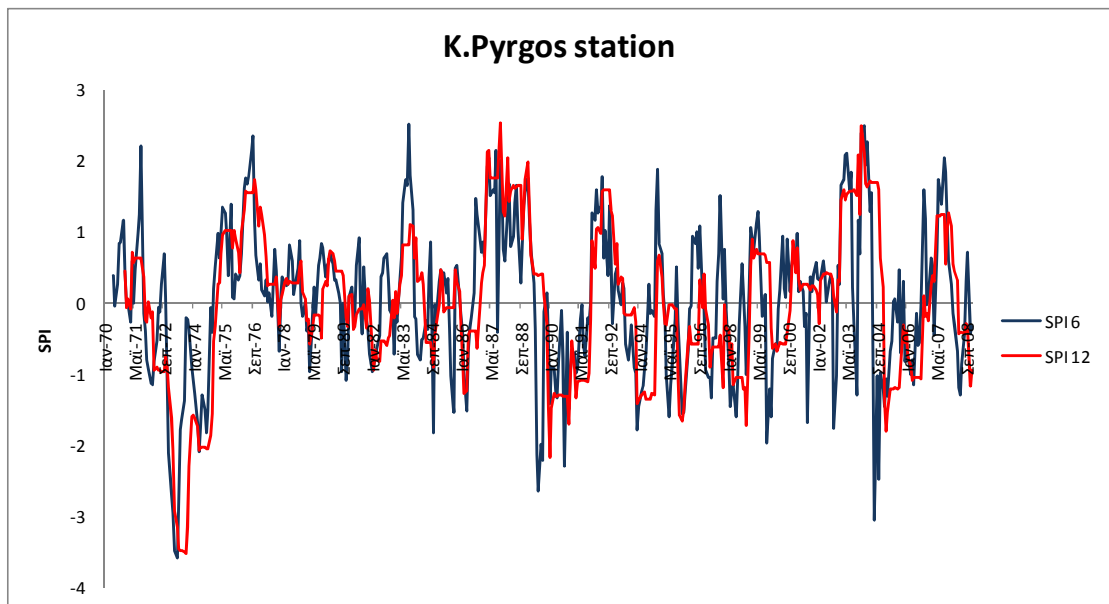
Διάγραμμα II.45. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Κοφίνου.



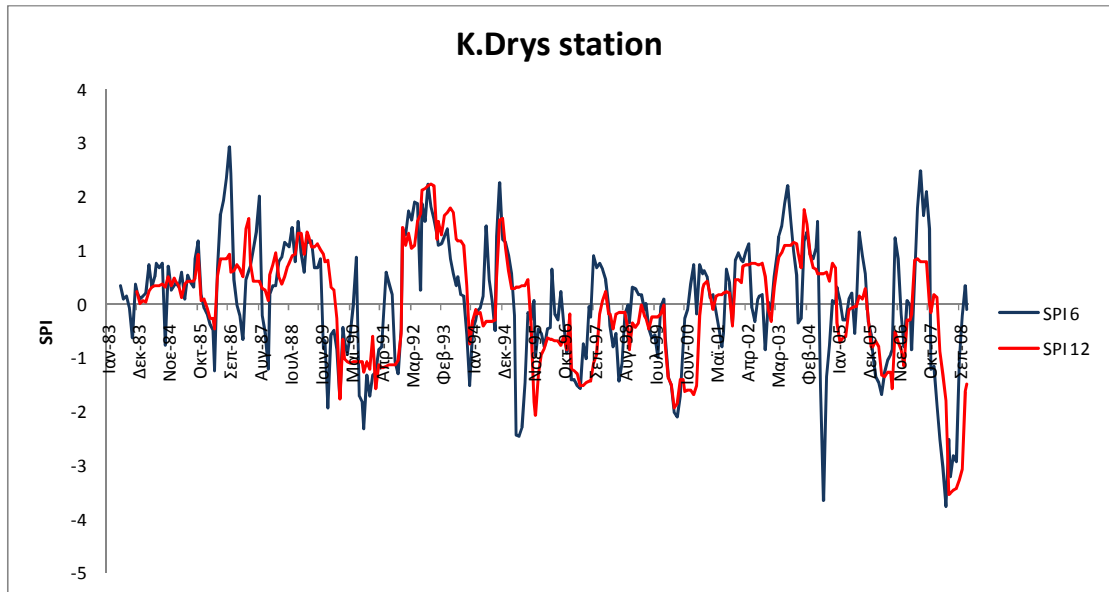
Διάγραμμα II.46. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Κλήρου.



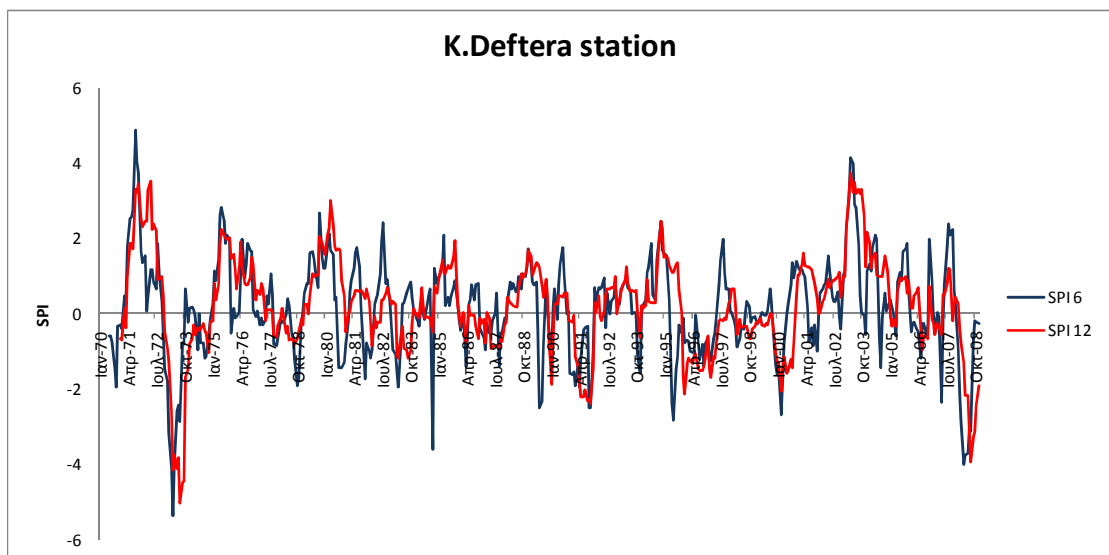
Διάγραμμα II.47. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Κίονια.



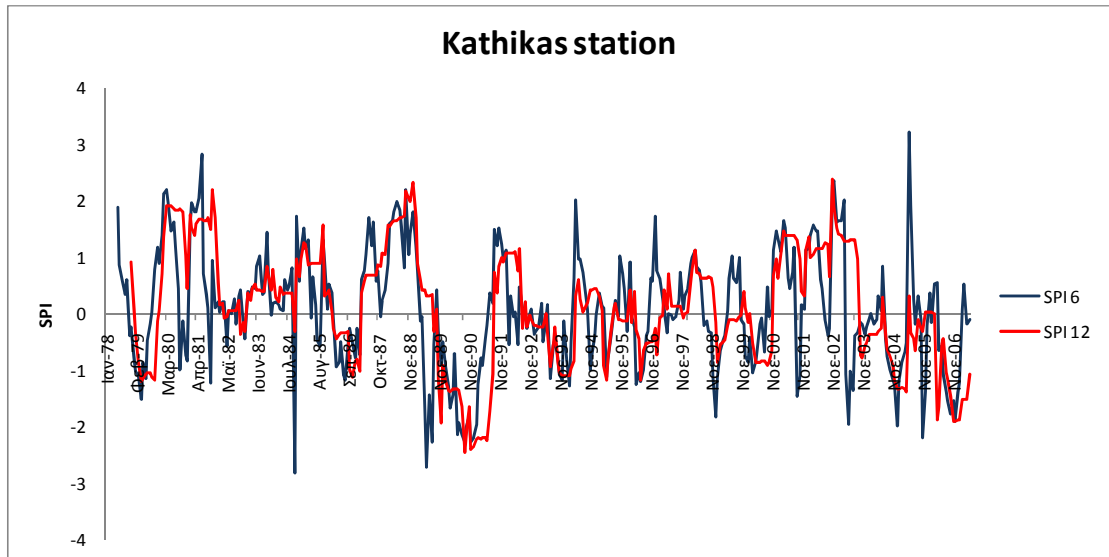
Διάγραμμα II.48. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Κ. Πύργου.



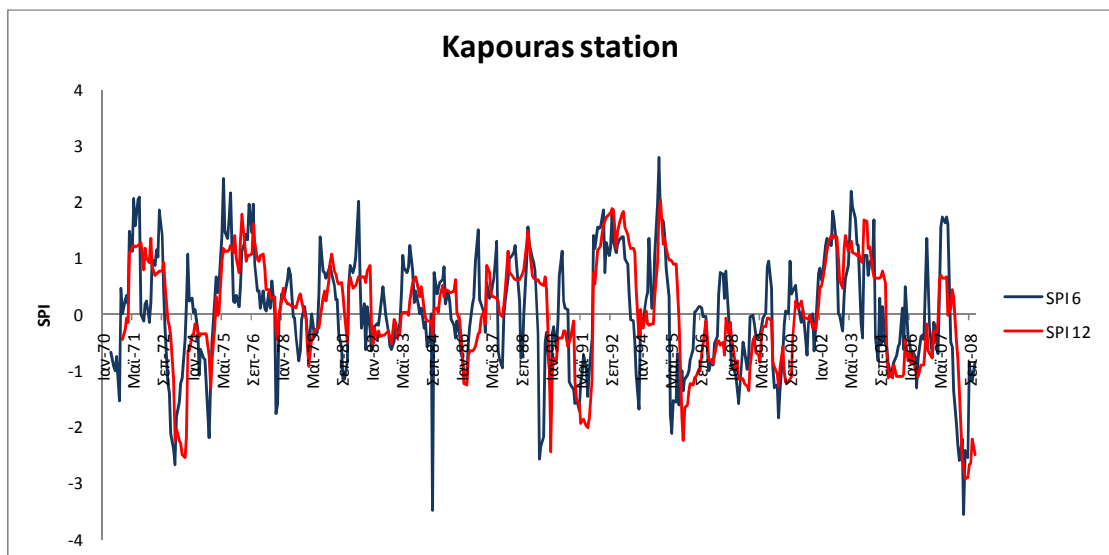
Διάγραμμα II.49. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Κ. Δρυ.



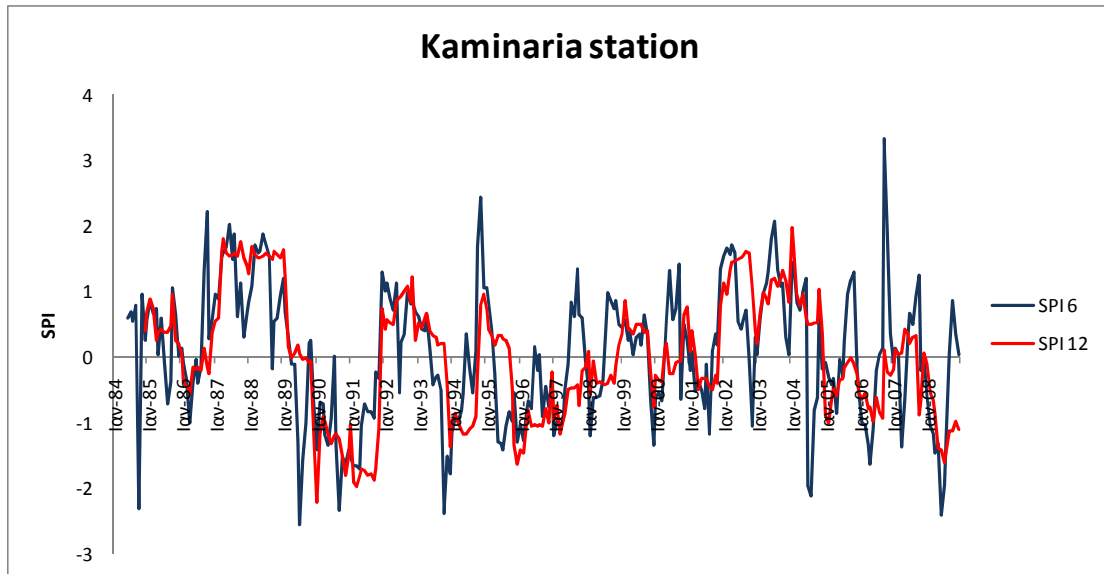
Διάγραμμα II.50. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Κ. Δευτέρας.



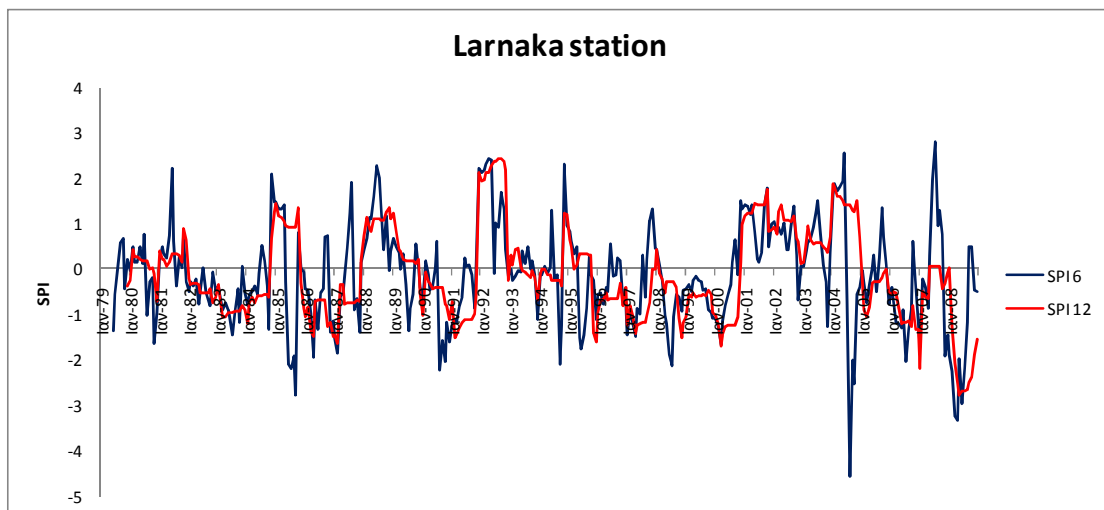
Διάγραμμα II.51. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Κάθικα.



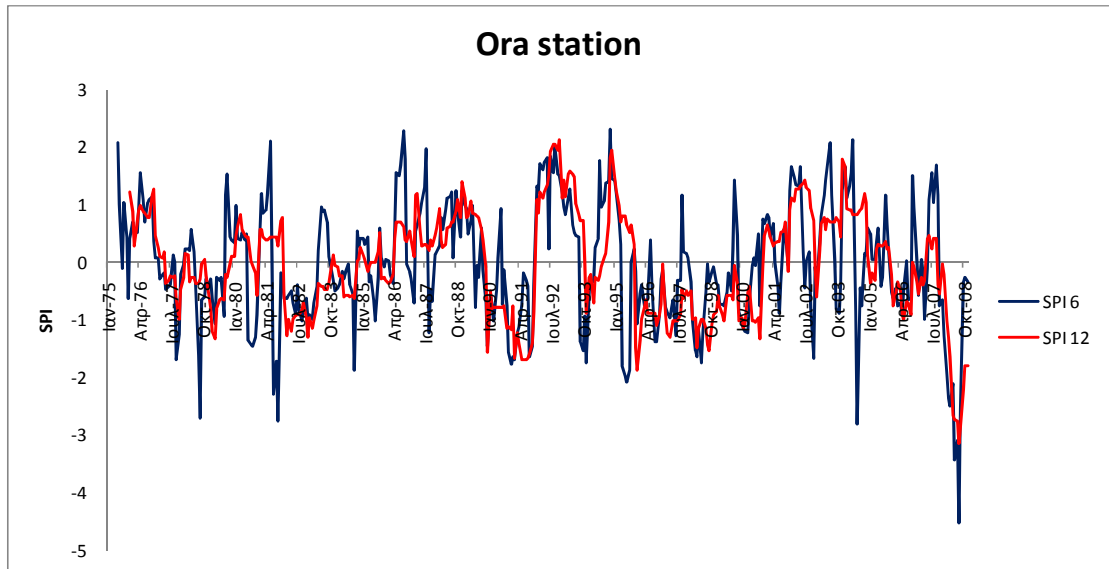
Διάγραμμα II.52. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Κάπουρα.



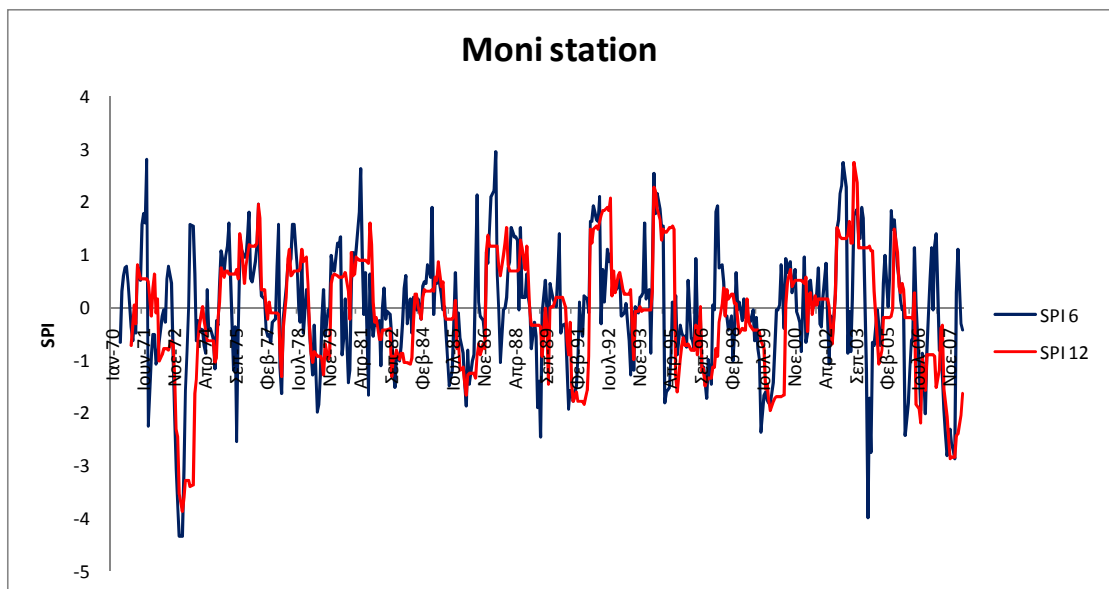
Διάγραμμα II.53. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Καμινάρια.



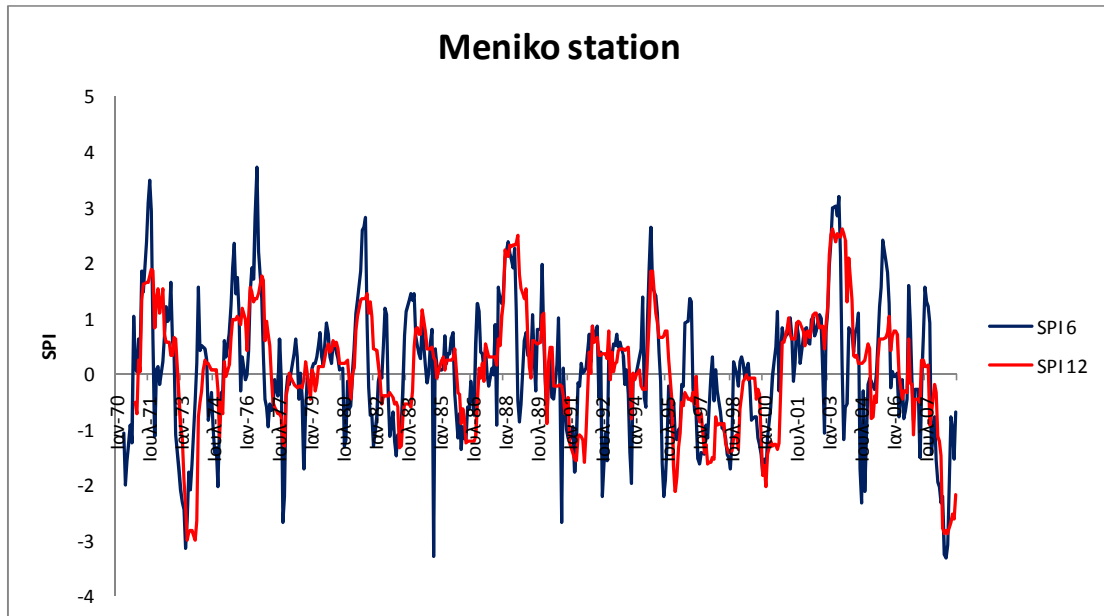
Διάγραμμα II.54. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Λάρνακας.



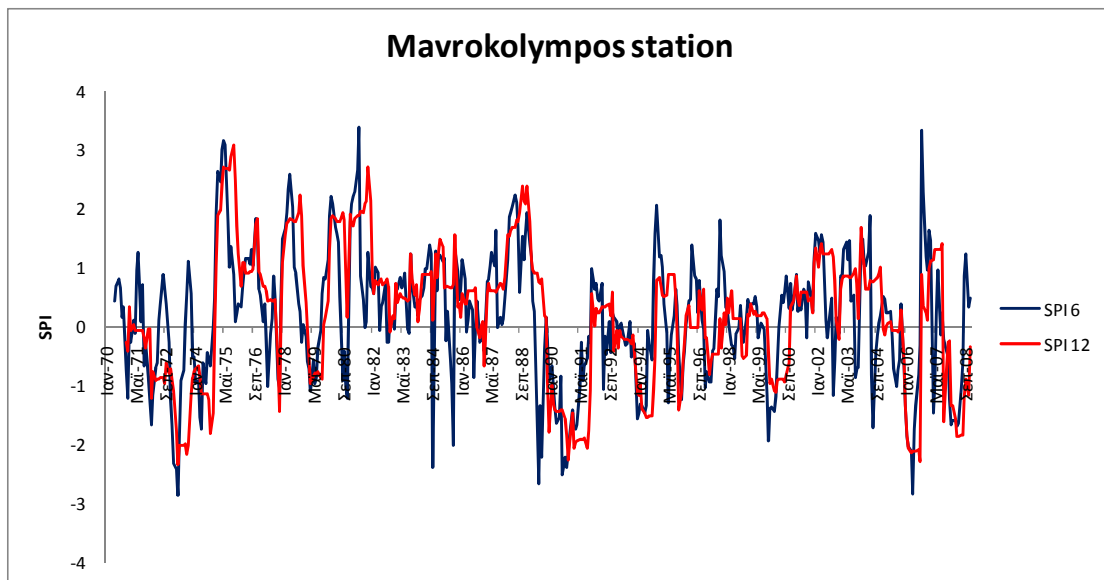
Διάγραμμα II.55. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Όρα.



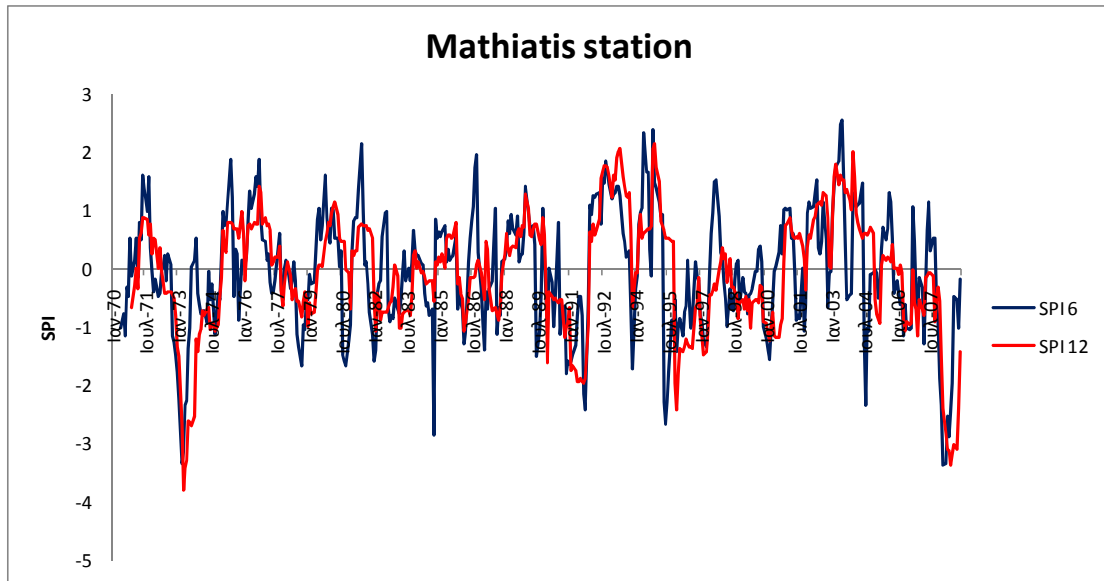
Διάγραμμα II.56. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Μονή.



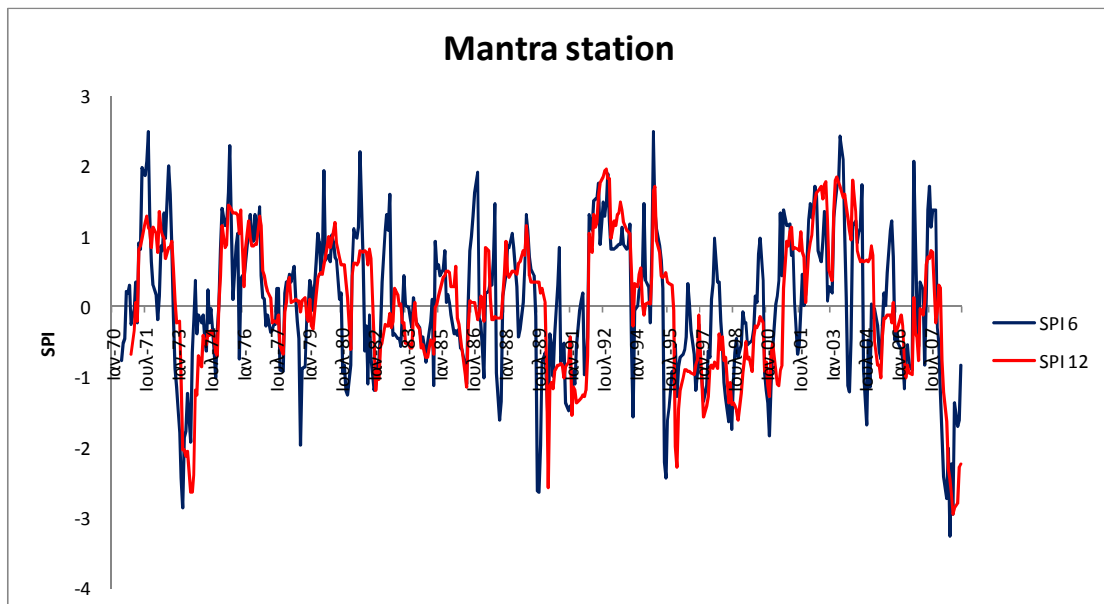
Διάγραμμα II.57. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Μένικο.



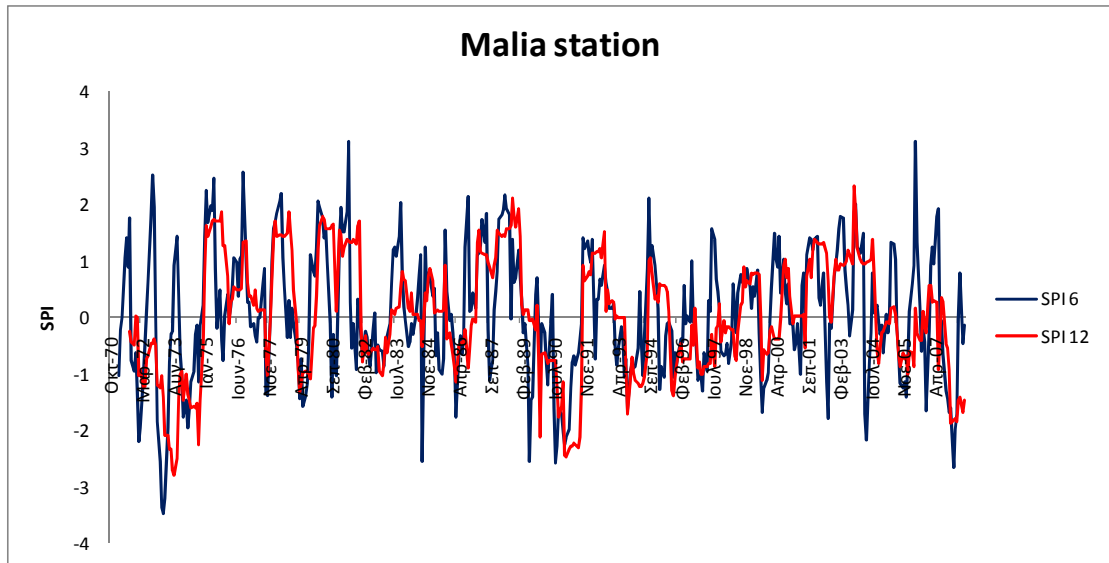
Διάγραμμα II.58. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Μαυροκόλυμψου.



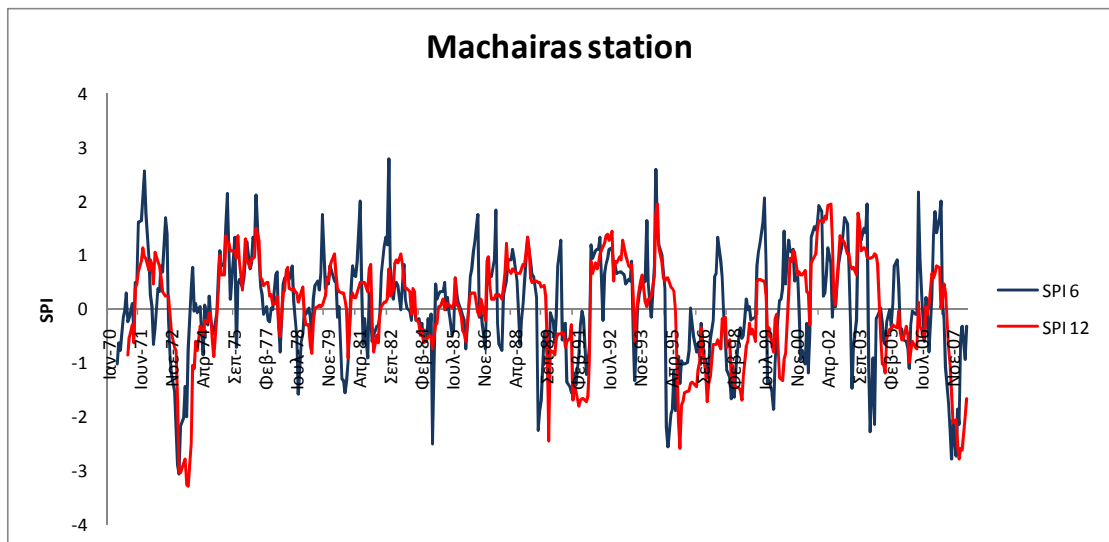
Διάγραμμα II.59. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Μαθιάτη.



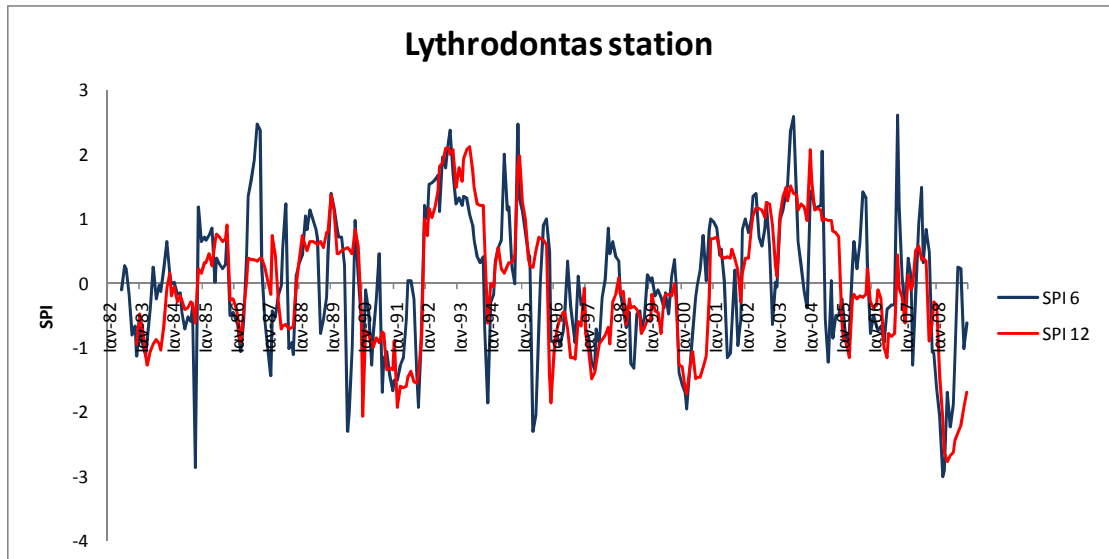
Διάγραμμα II.60. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Μάντρα.



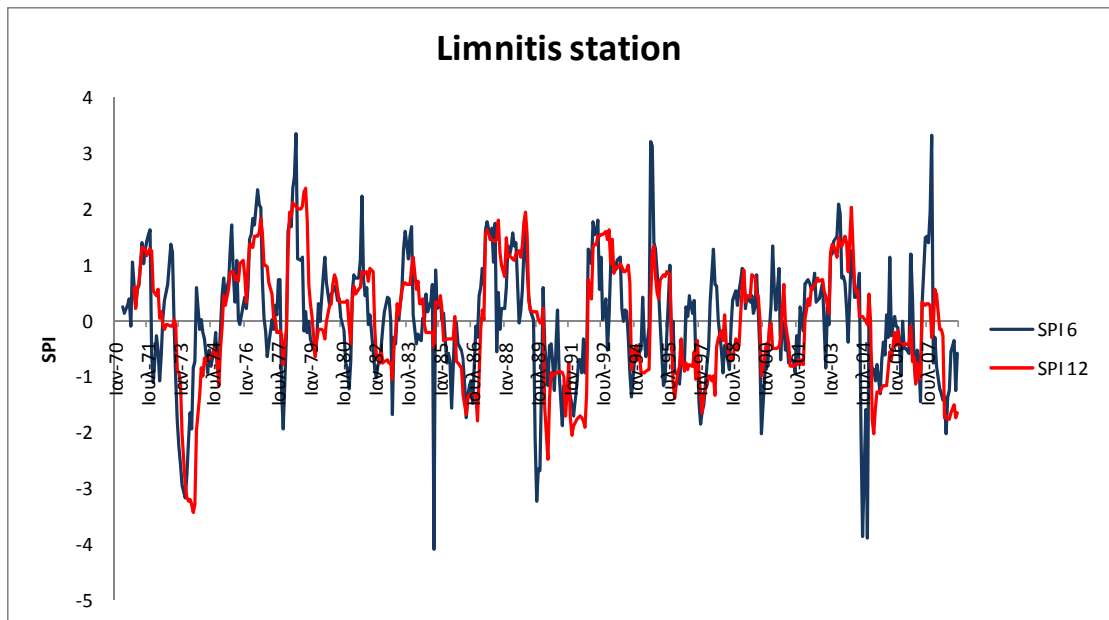
Διάγραμμα II.61. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Μάλια.



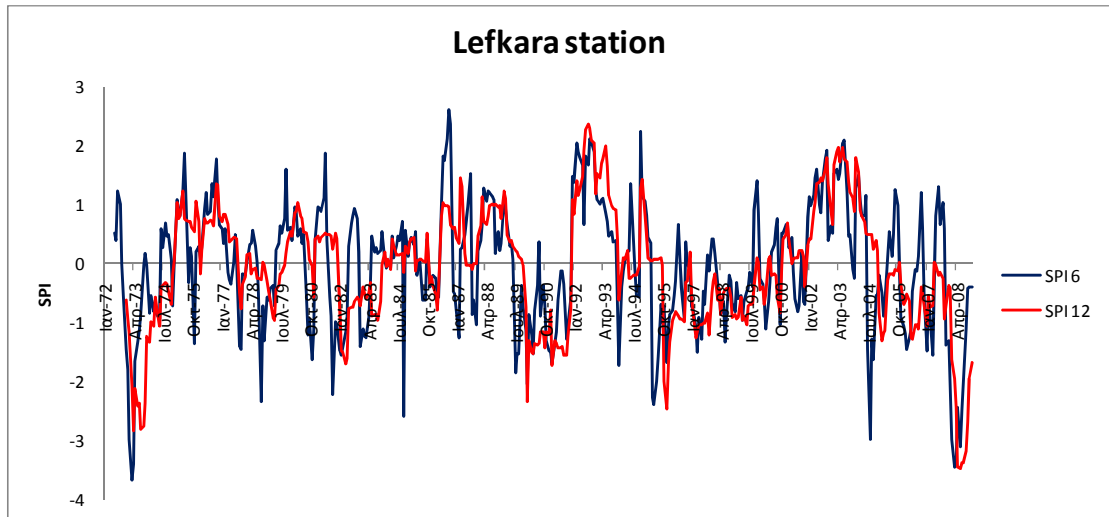
Διάγραμμα II.62. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Μάχαιρα.



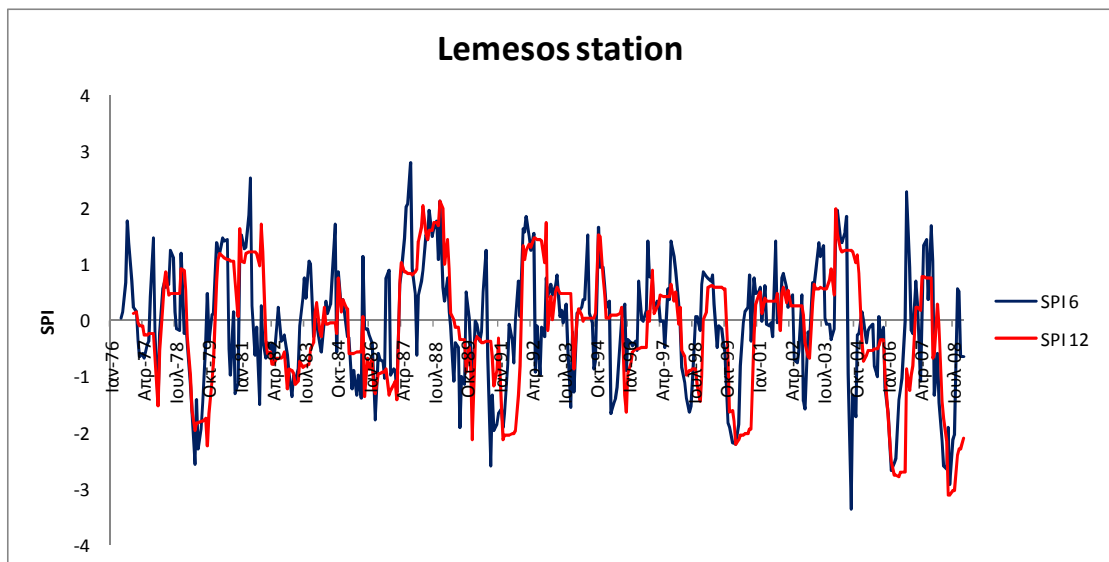
Διάγραμμα II.63. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Λυθρόδοντα.



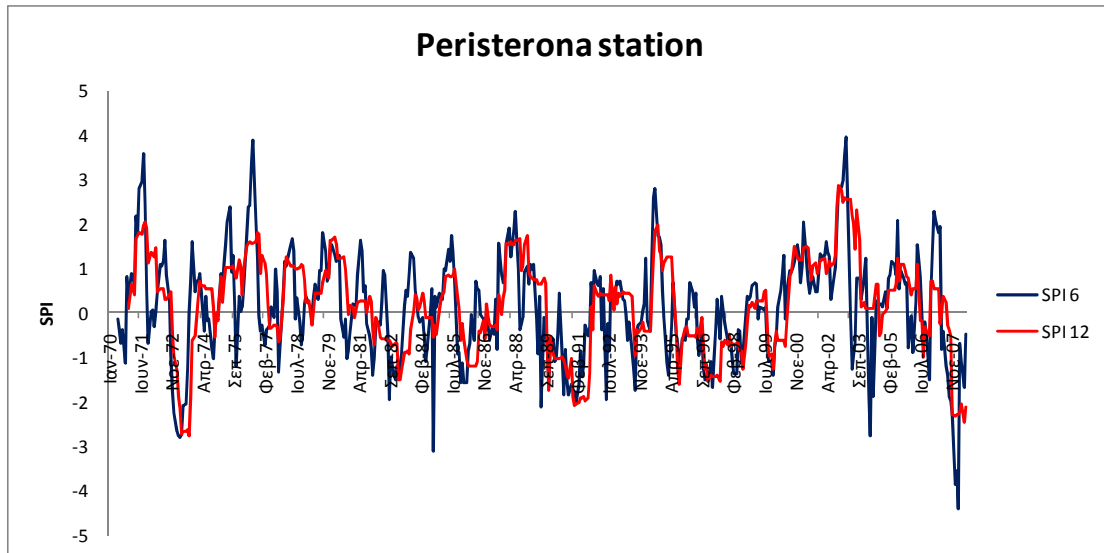
Διάγραμμα II.64. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Λιμνίτη.



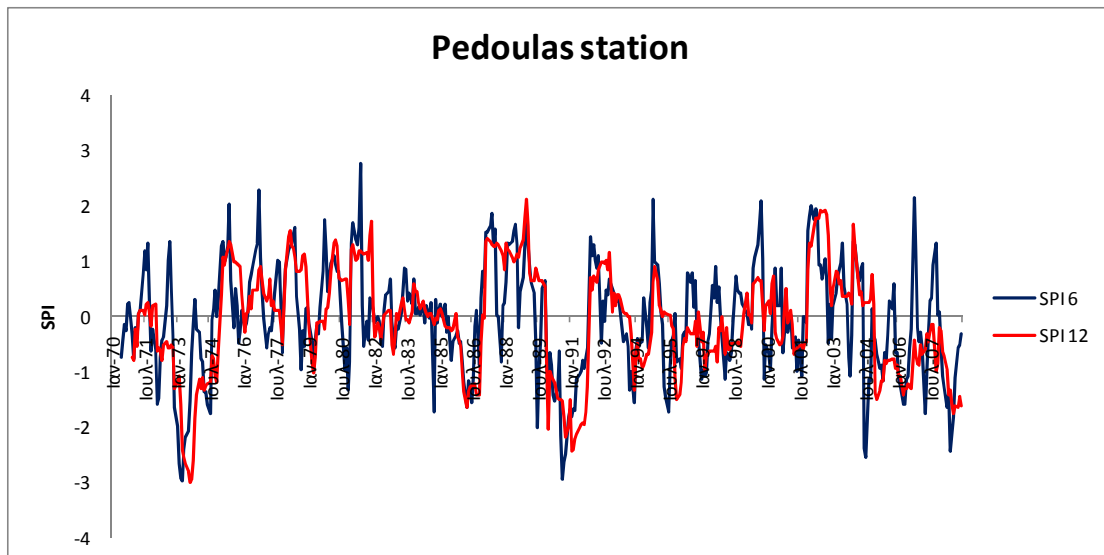
Διάγραμμα II.65. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Λευκαρά.



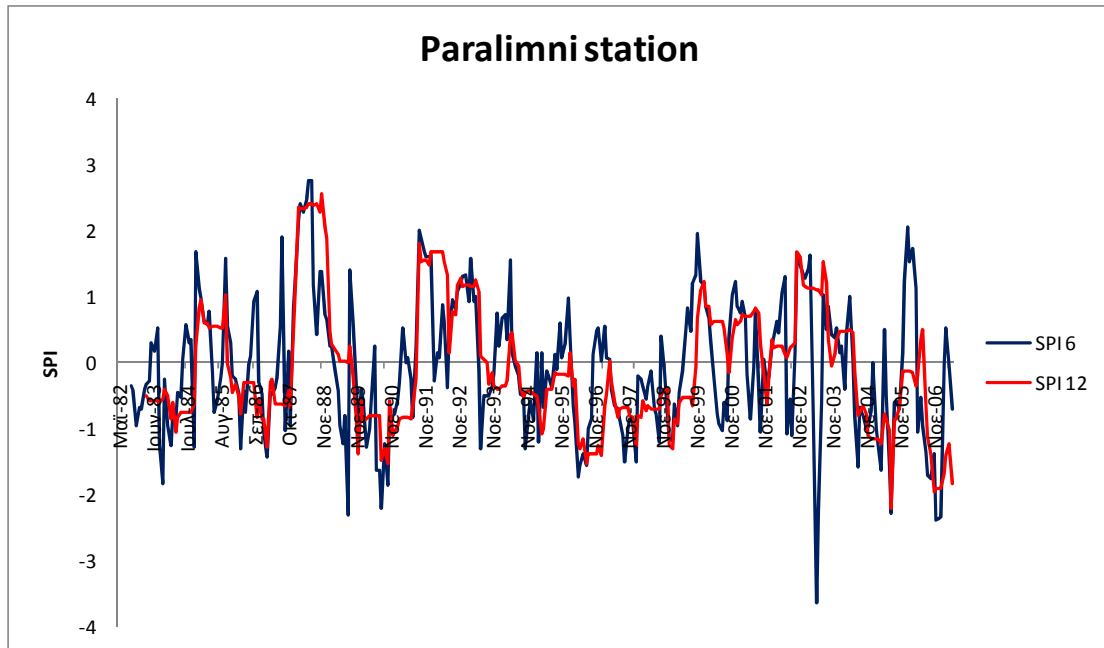
Διάγραμμα II.66. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό της Λεμεσού.



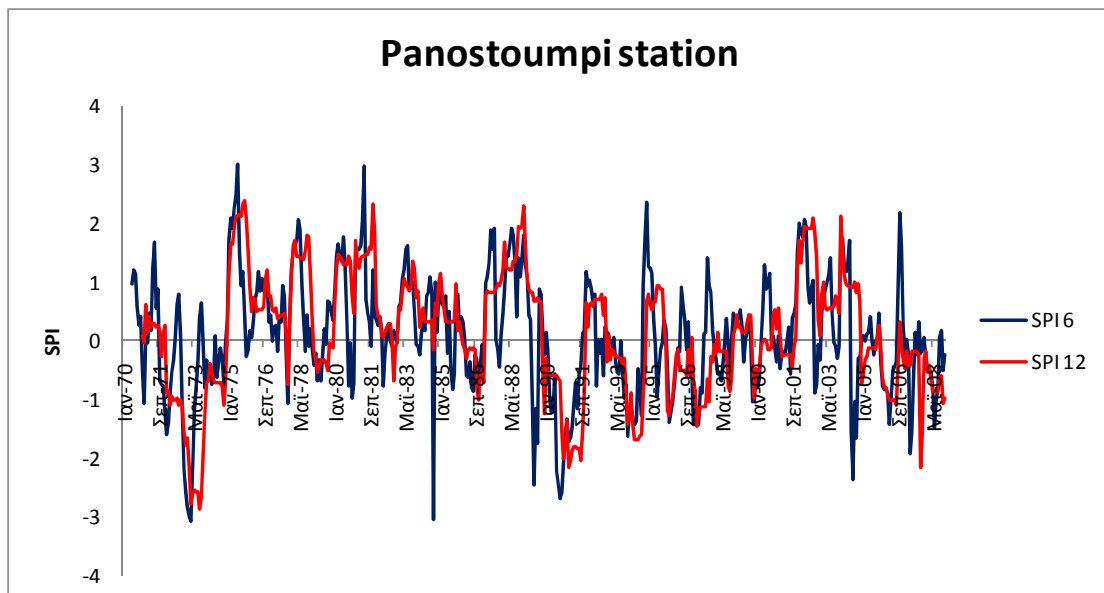
Διάγραμμα II.67. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Περιστερόνα.



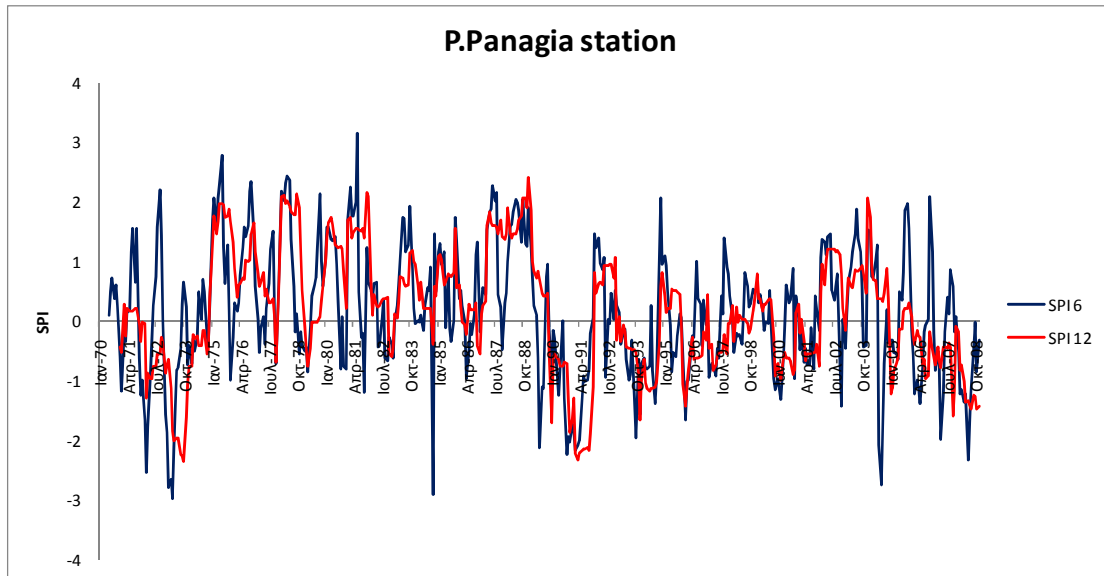
Διάγραμμα II.68. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Πέδουλα.



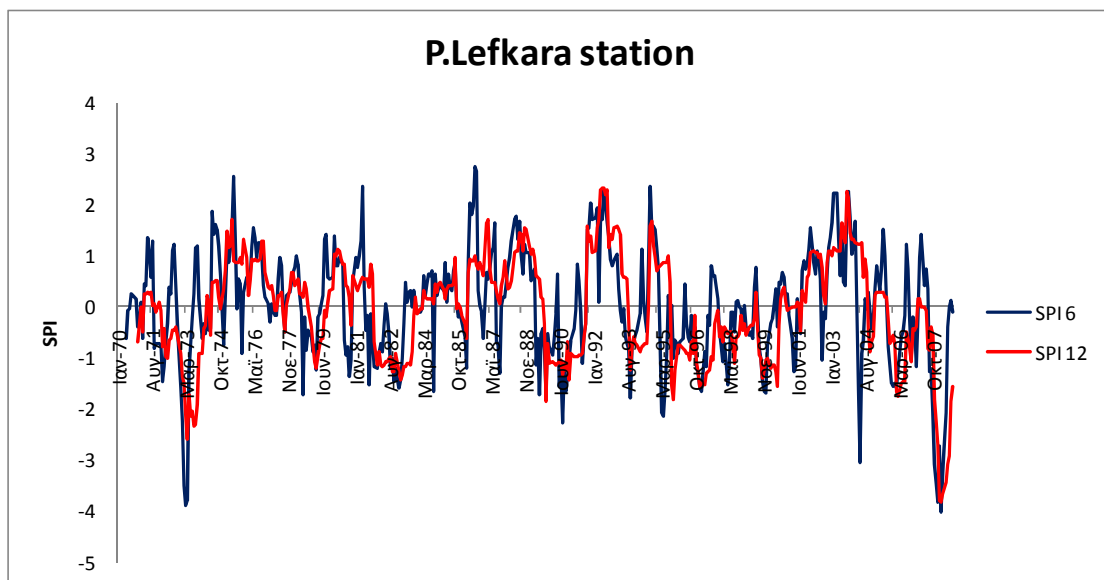
Διάγραμμα II.69. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Παραλιμνίου.



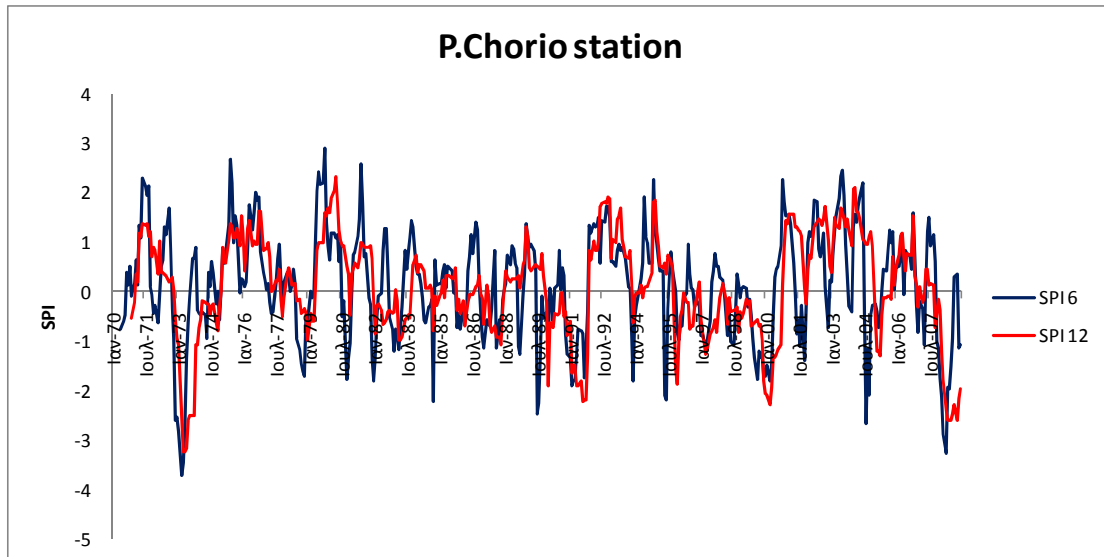
Διάγραμμα II.70. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Πανοστούμπι.



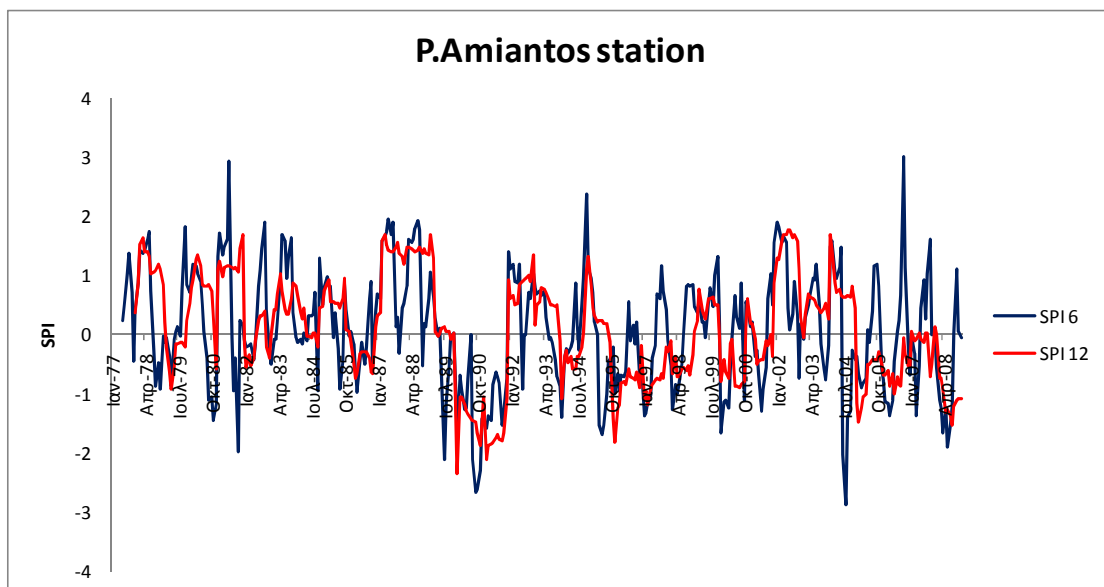
Διάγραμμα II.71. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Π. Παναγιά.



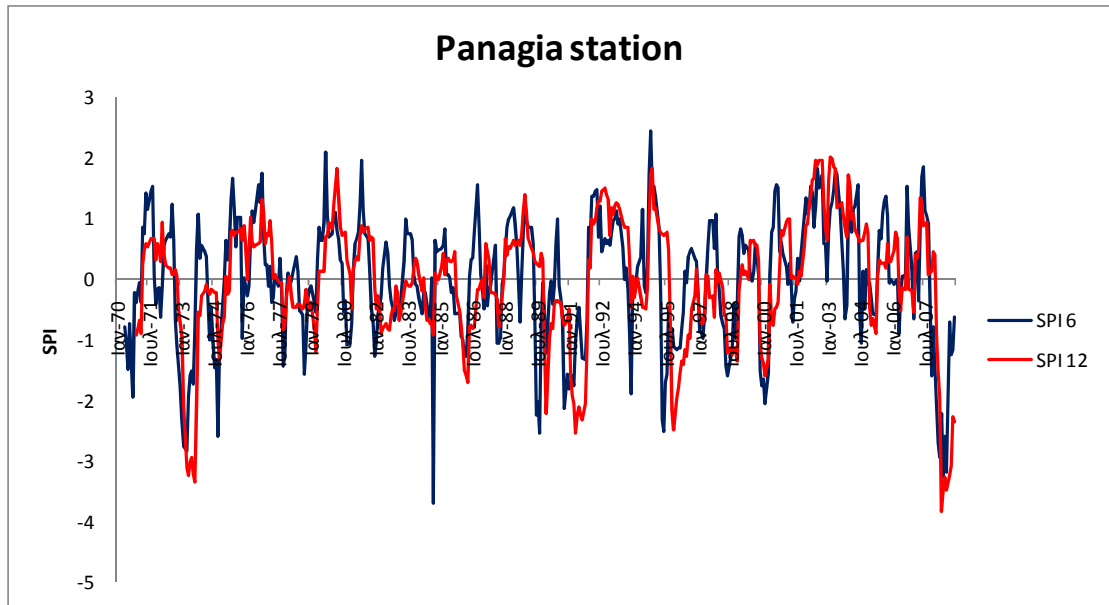
Διάγραμμα II.72. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Π. Λευκαρά.



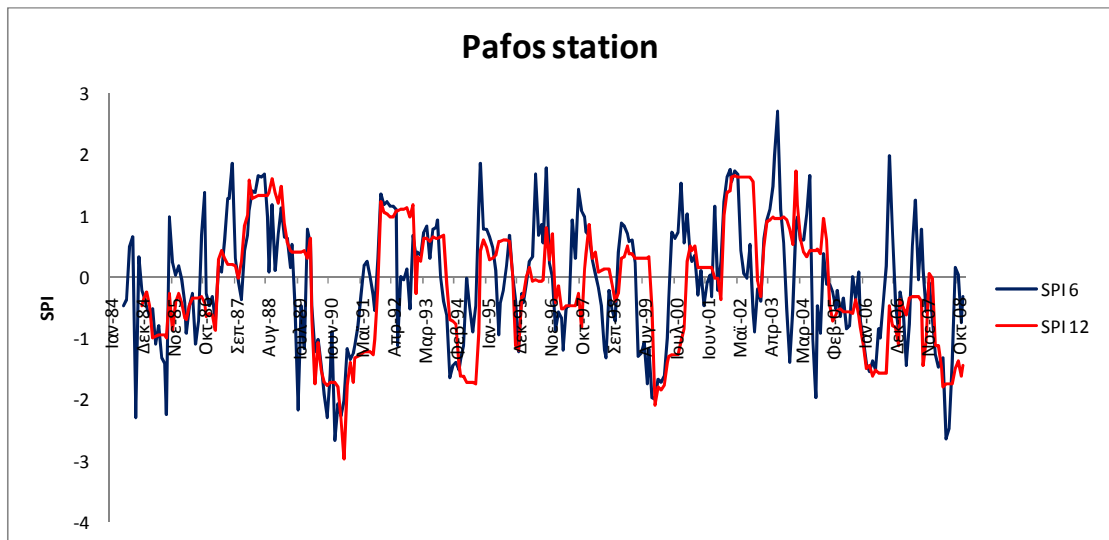
Διάγραμμα II.73. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Π. Χωριού.



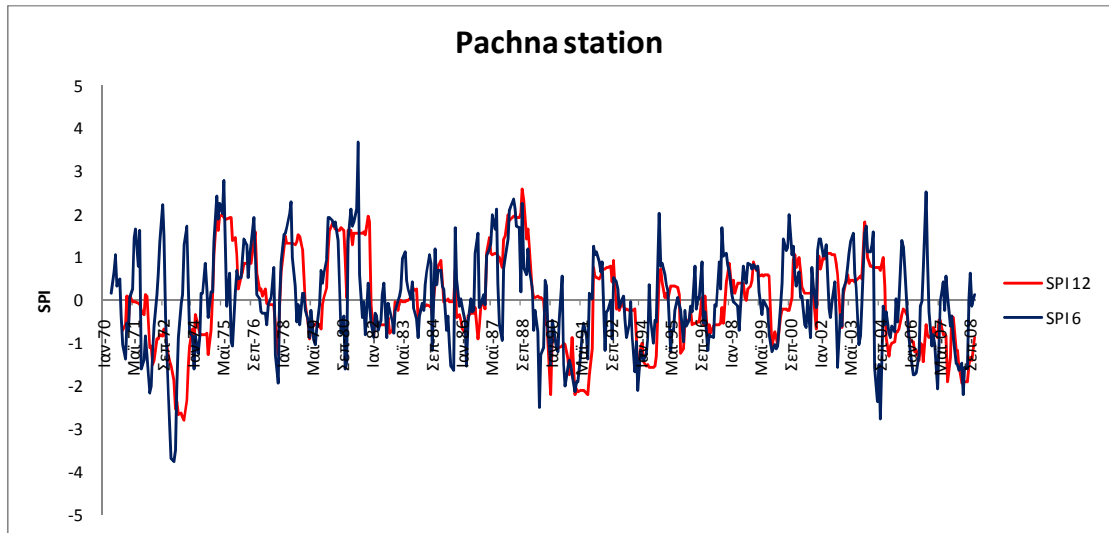
Διάγραμμα II.74. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Αμιάντου.



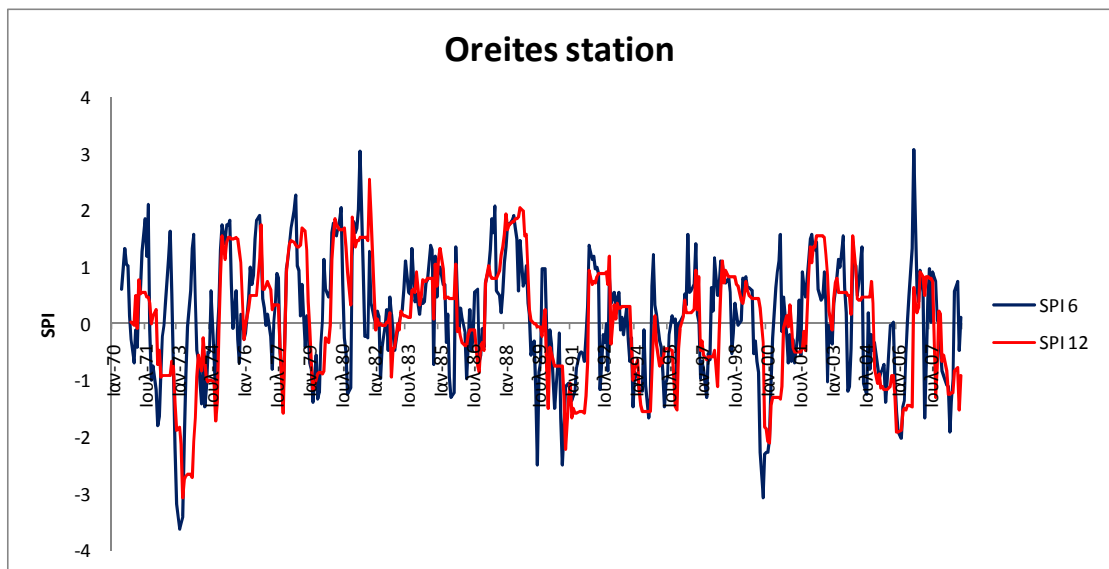
Διάγραμμα II.75. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Παναγιά.



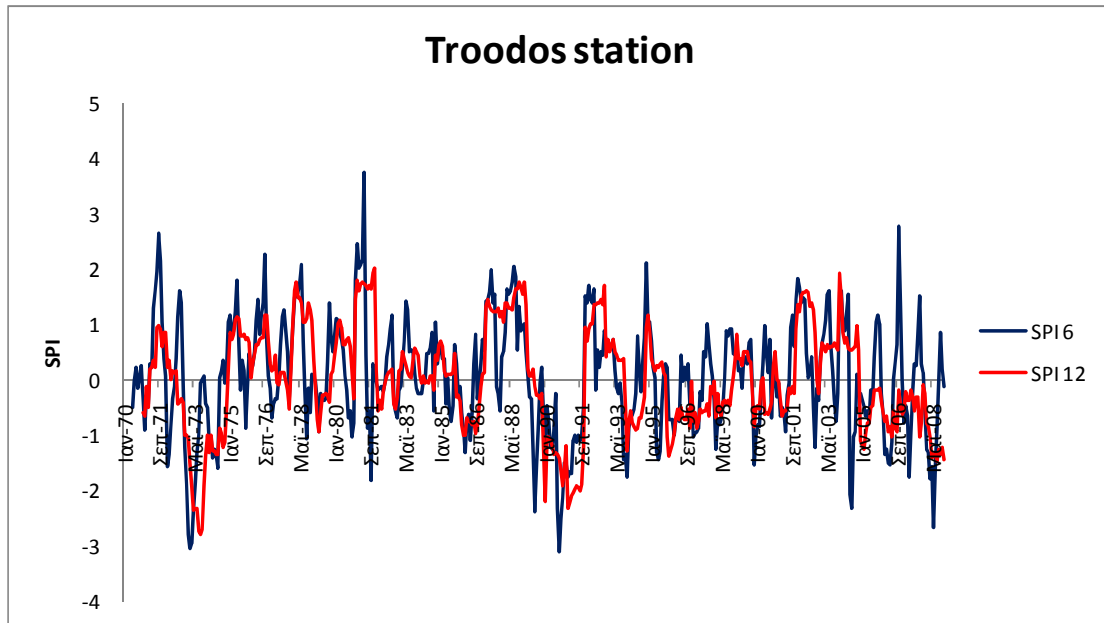
Διάγραμμα II.76. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Πάφου.



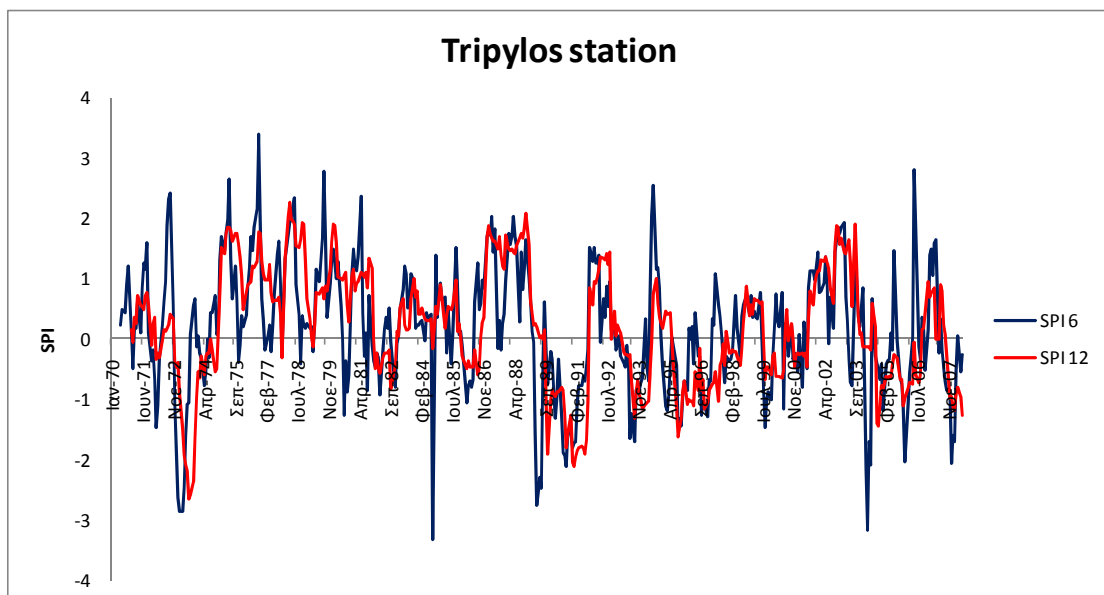
Διάγραμμα II.77. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Παχνά.



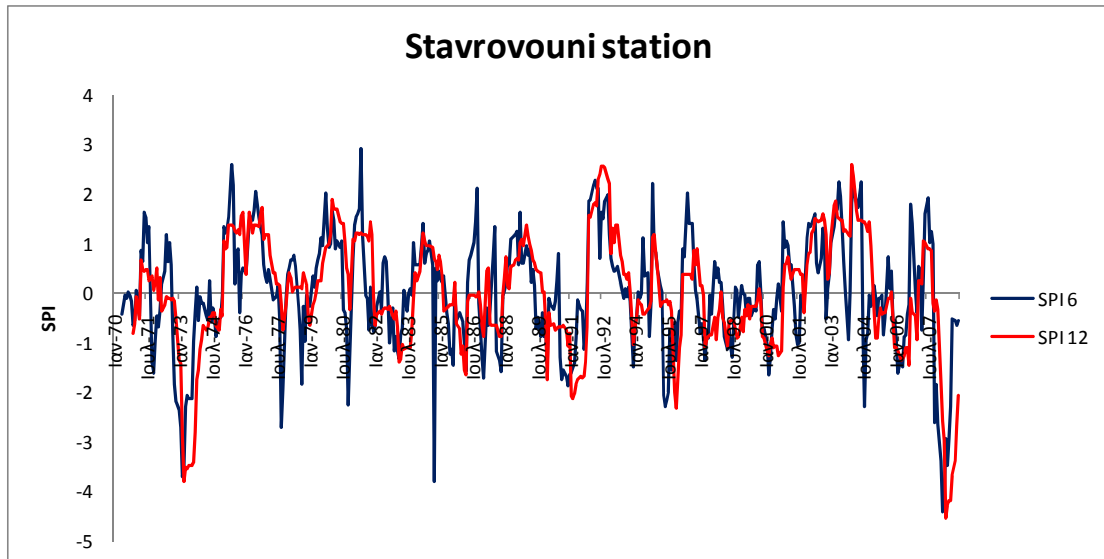
Διάγραμμα II.78. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Ορείτες.



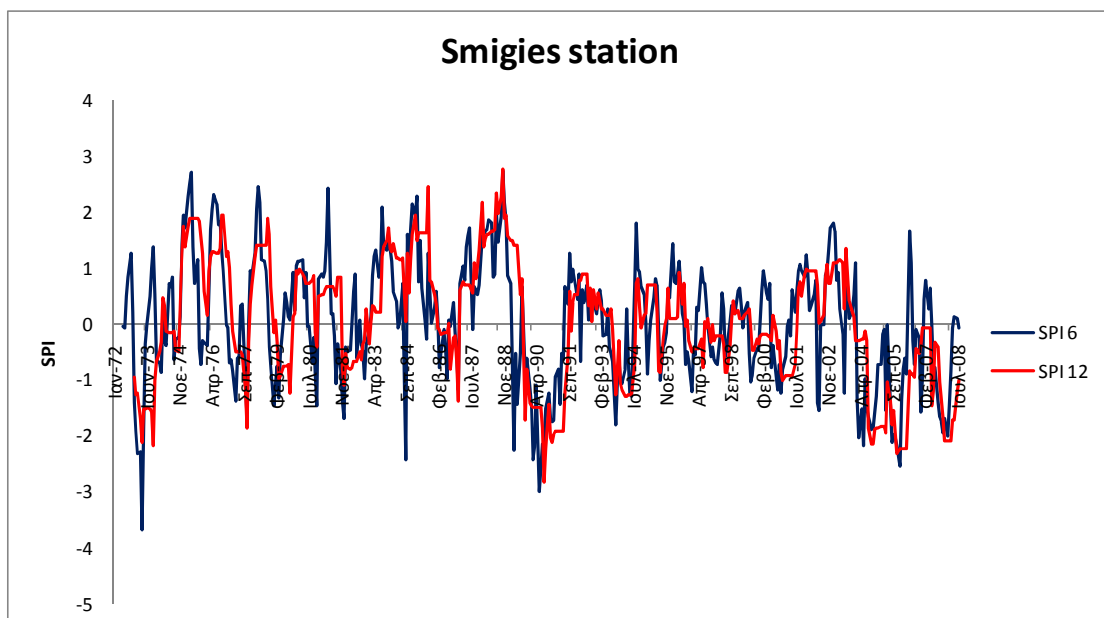
Διάγραμμα II.79. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Τρόδος.



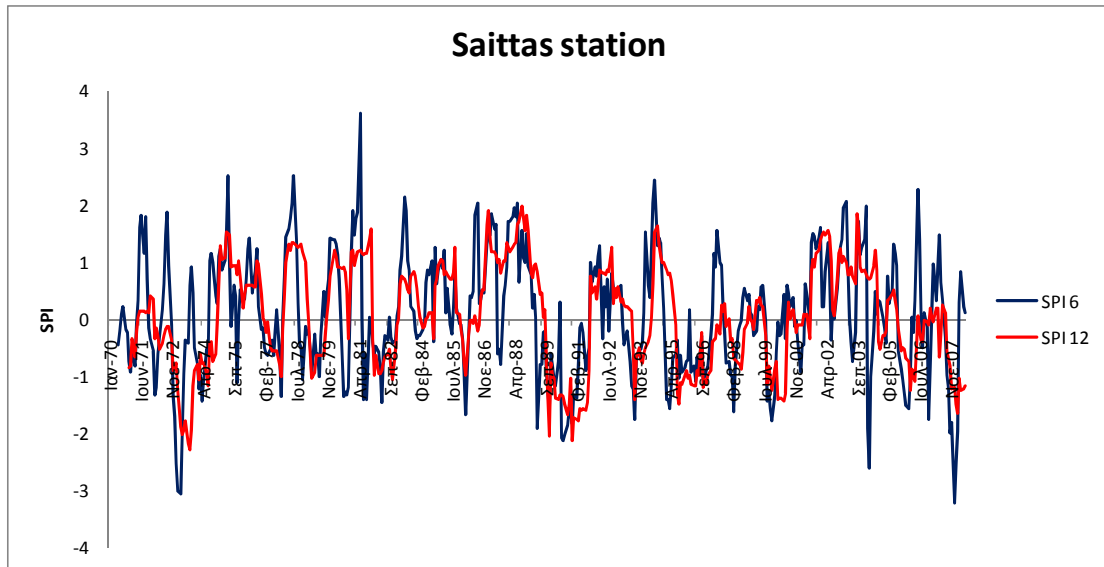
Διάγραμμα II.80. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Τρίφυλλος.



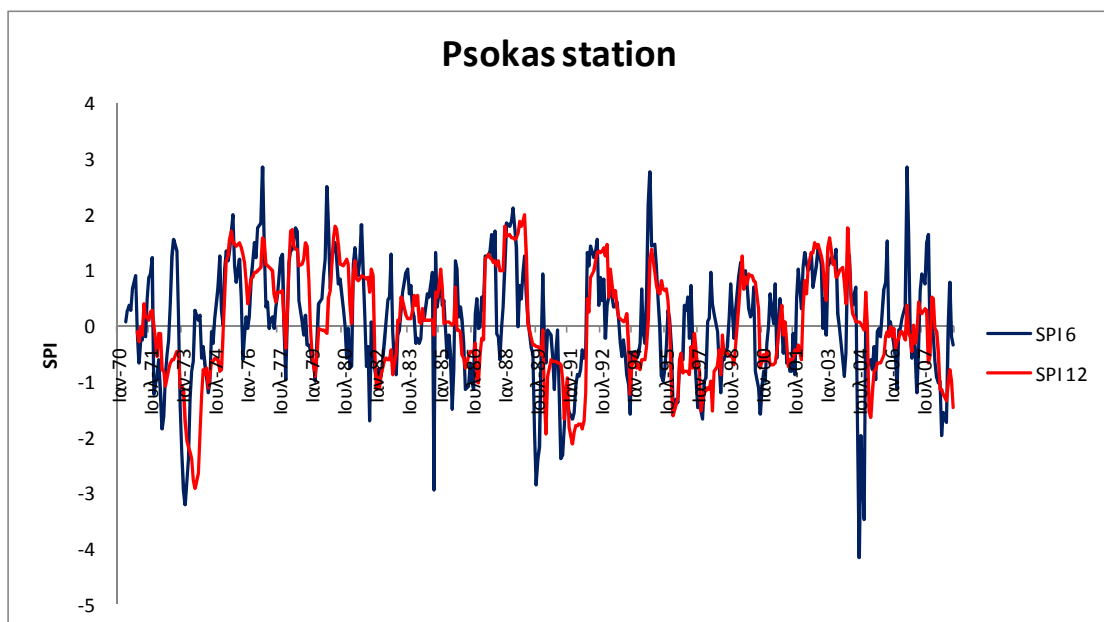
Διάγραμμα II.81. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Σταυροβούνι.



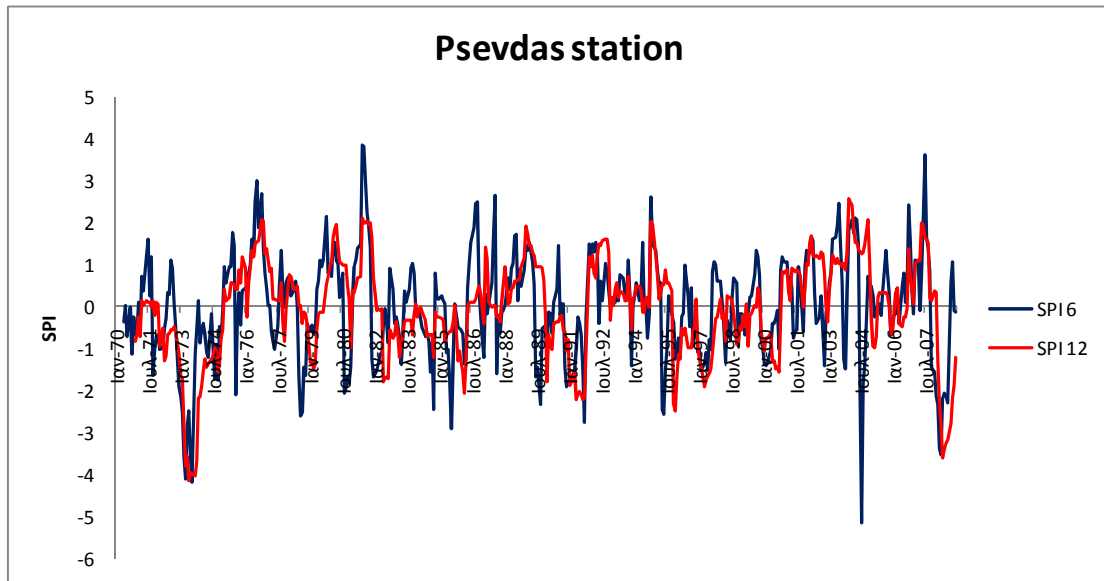
Διάγραμμα II.82. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Σμιγιές.



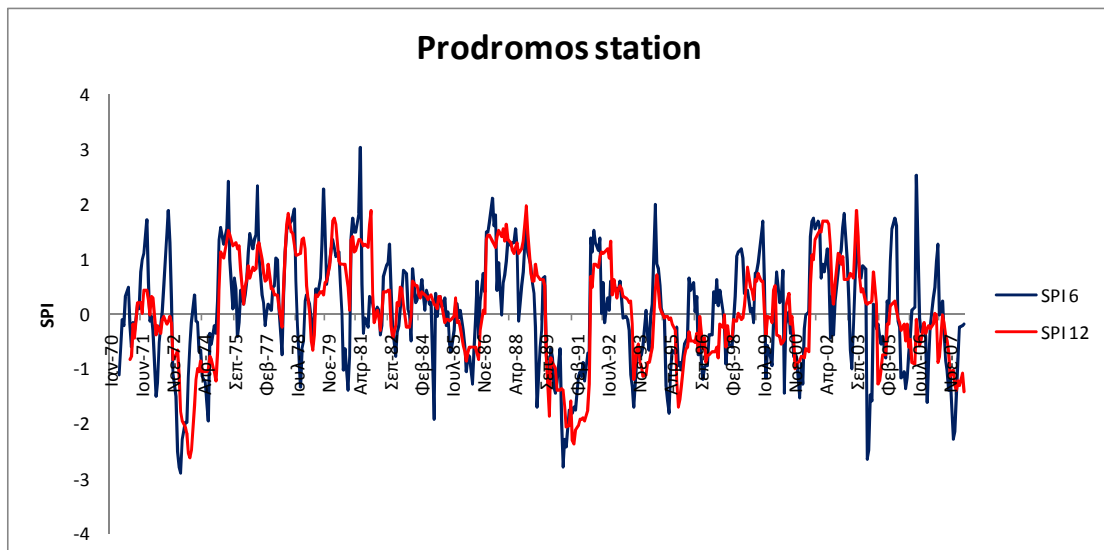
Διάγραμμα II.83. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Σαίτα.



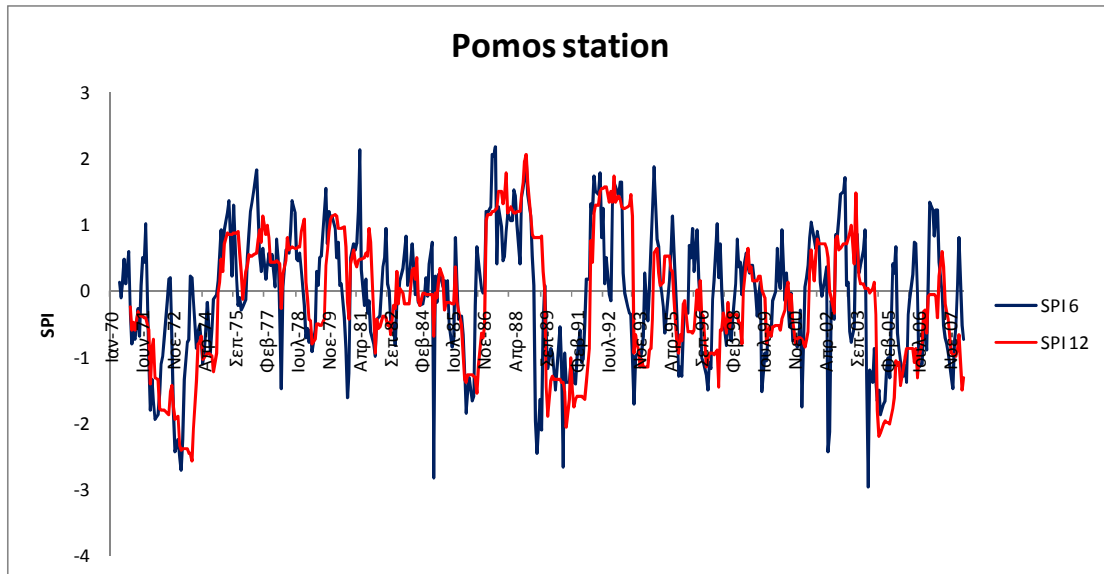
Διάγραμμα II.84. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Ψόκα.



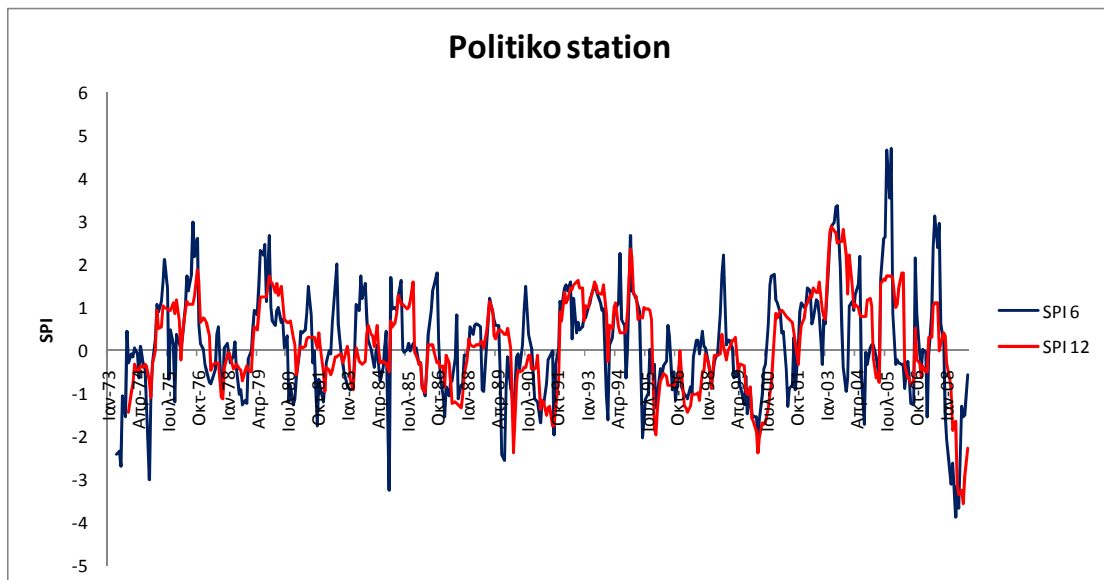
Διάγραμμα II.85. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Ψευδά.



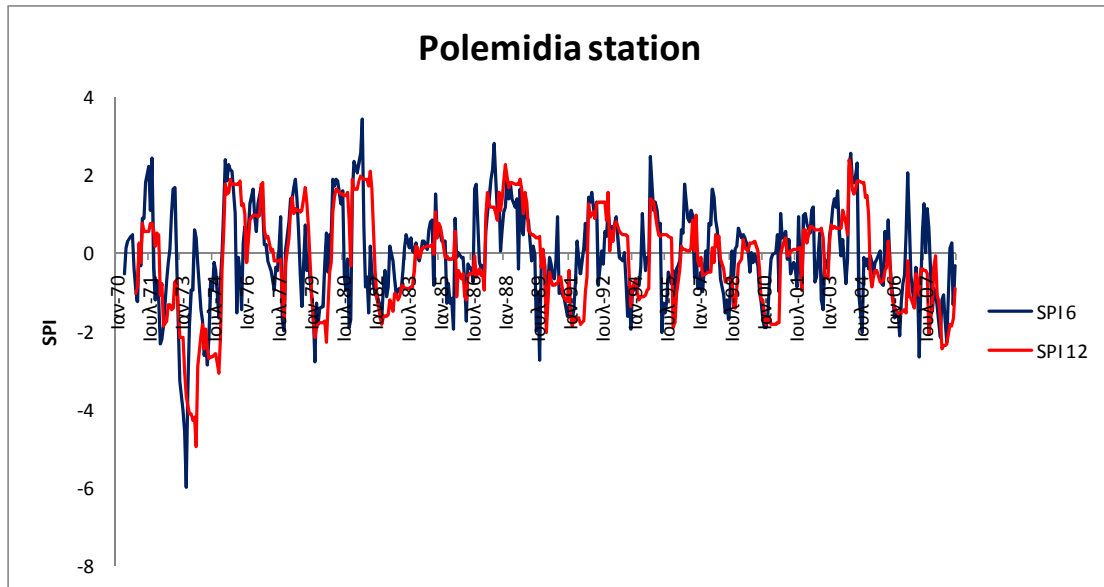
Διάγραμμα II.86. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Προδρόμου.



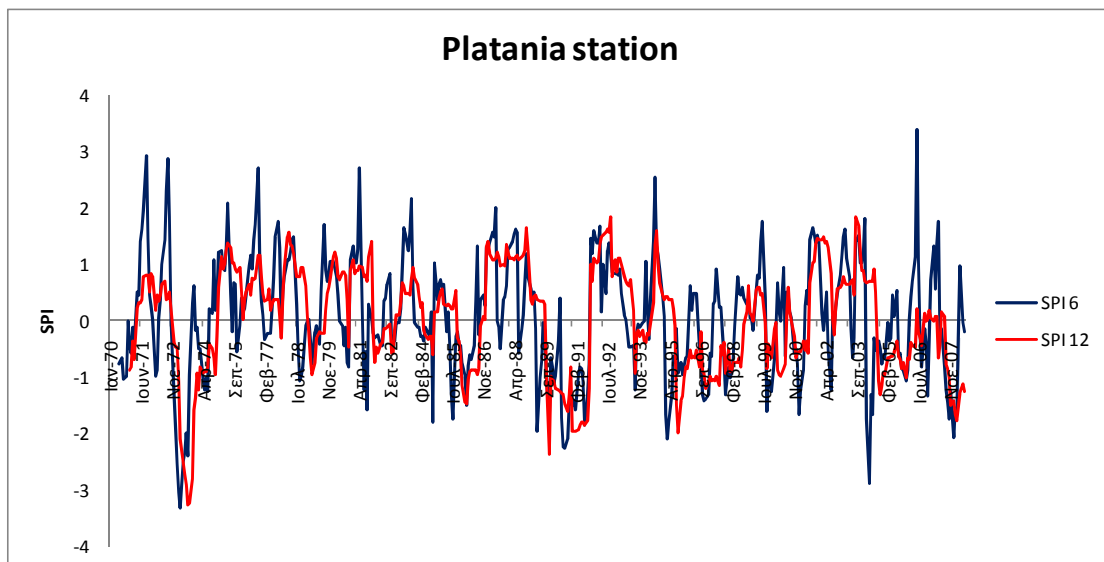
Διάγραμμα II.87. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Πομού.



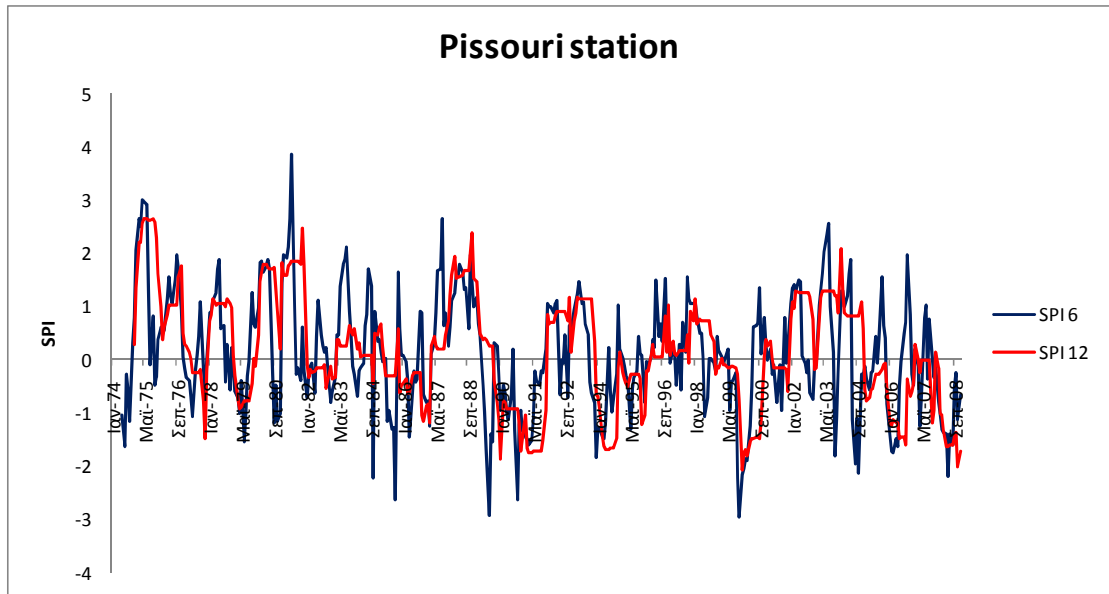
Διάγραμμα II.88. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Πολίτικου.



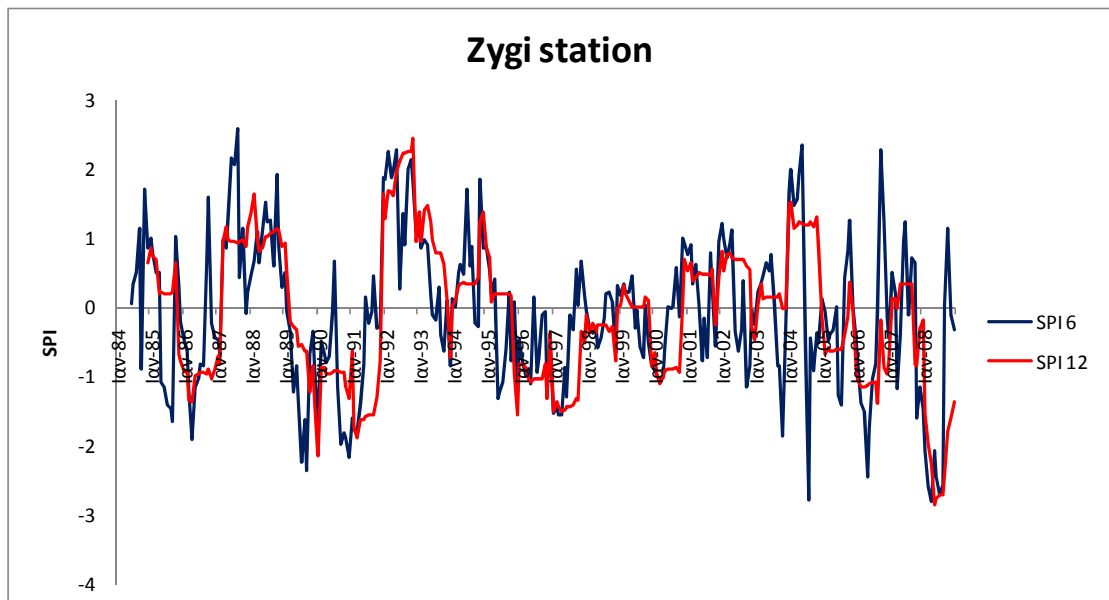
Διάγραμμα II.89. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Πολεμίδα.



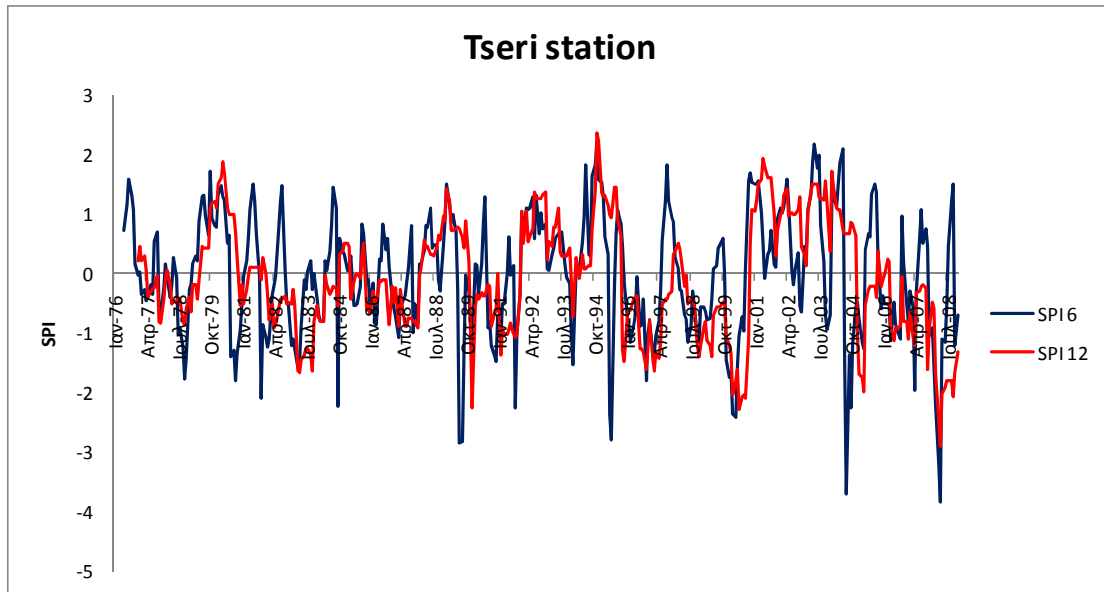
Διάγραμμα II.90. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό του Πλατανιά.



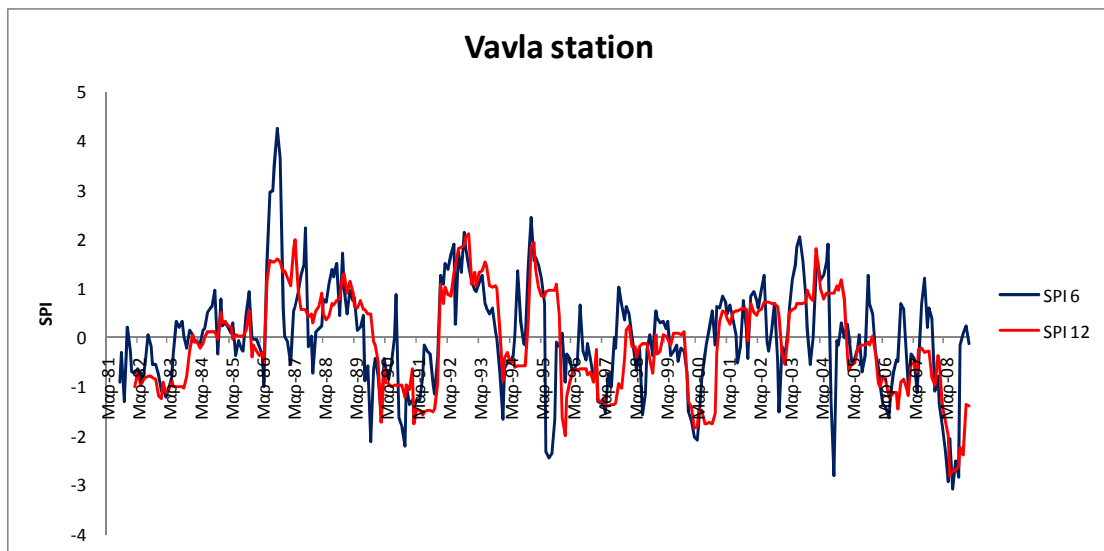
Διάγραμμα II.91. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Πισσούρι.



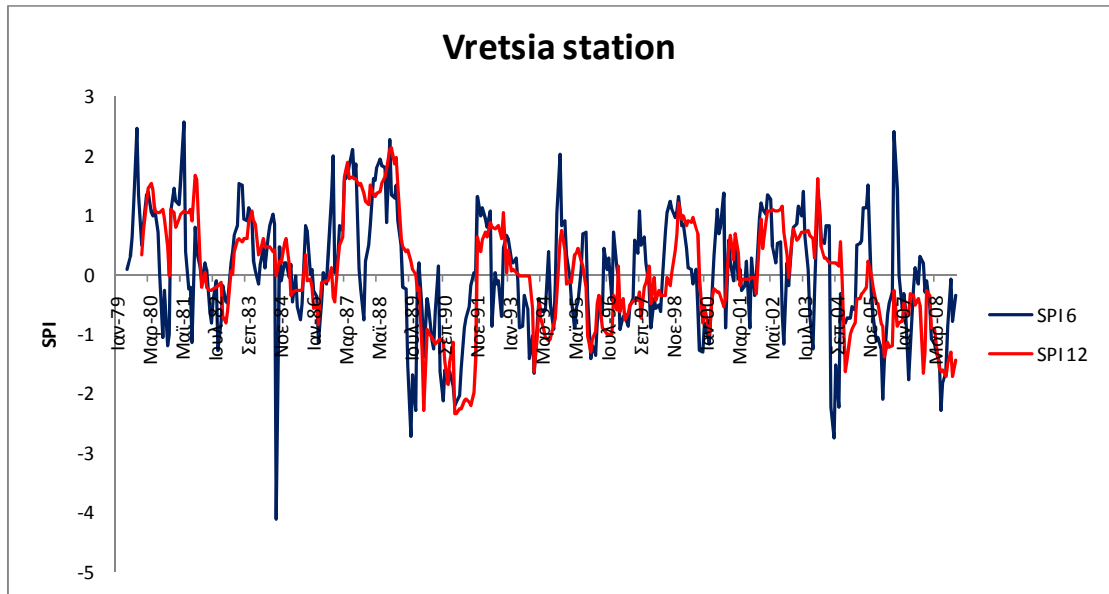
Διάγραμμα II.92. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Ζύγι.



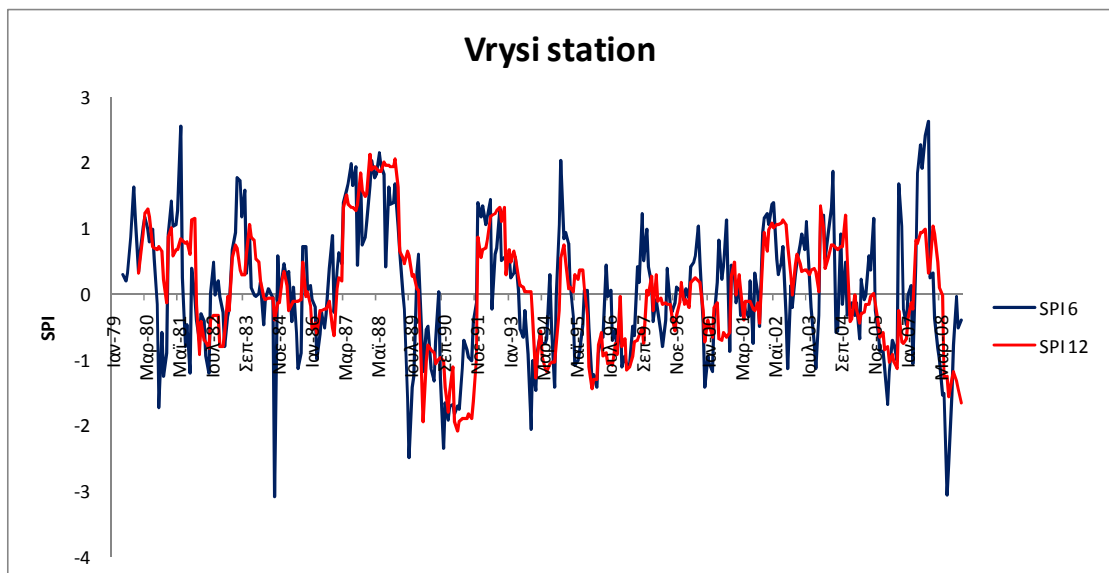
Διάγραμμα II.97. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Τσέρι.



Διάγραμμα II.98. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Βάβλα.



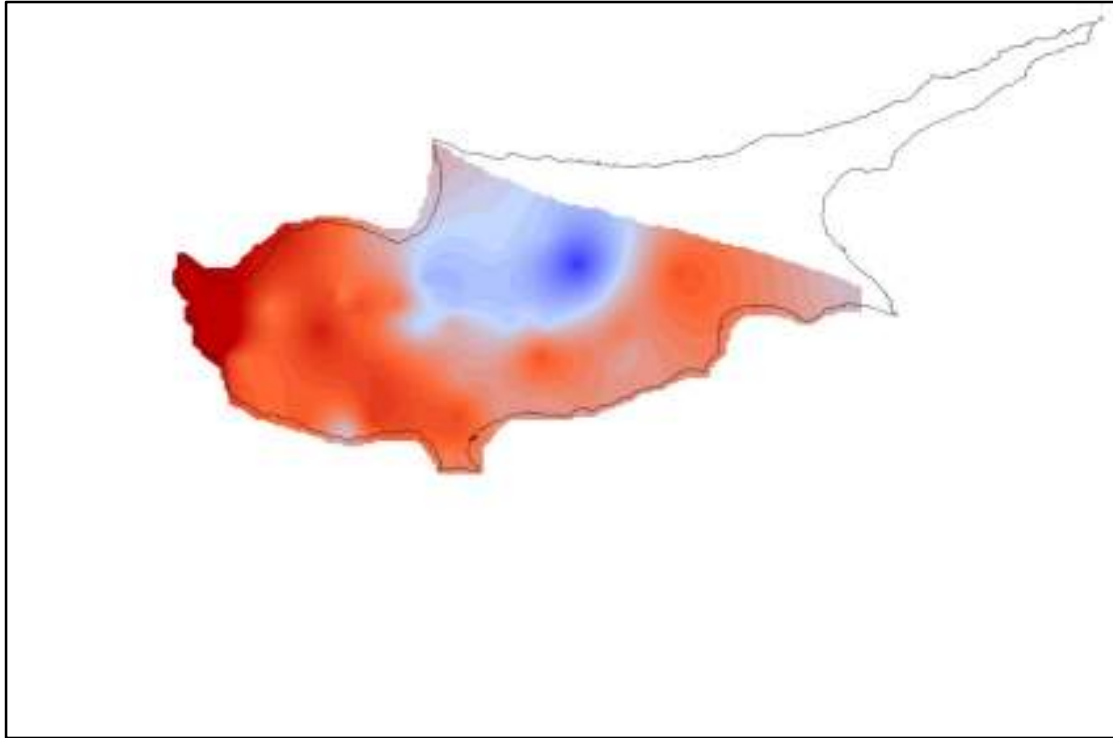
Διάγραμμα II.99. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Βρέτσια.



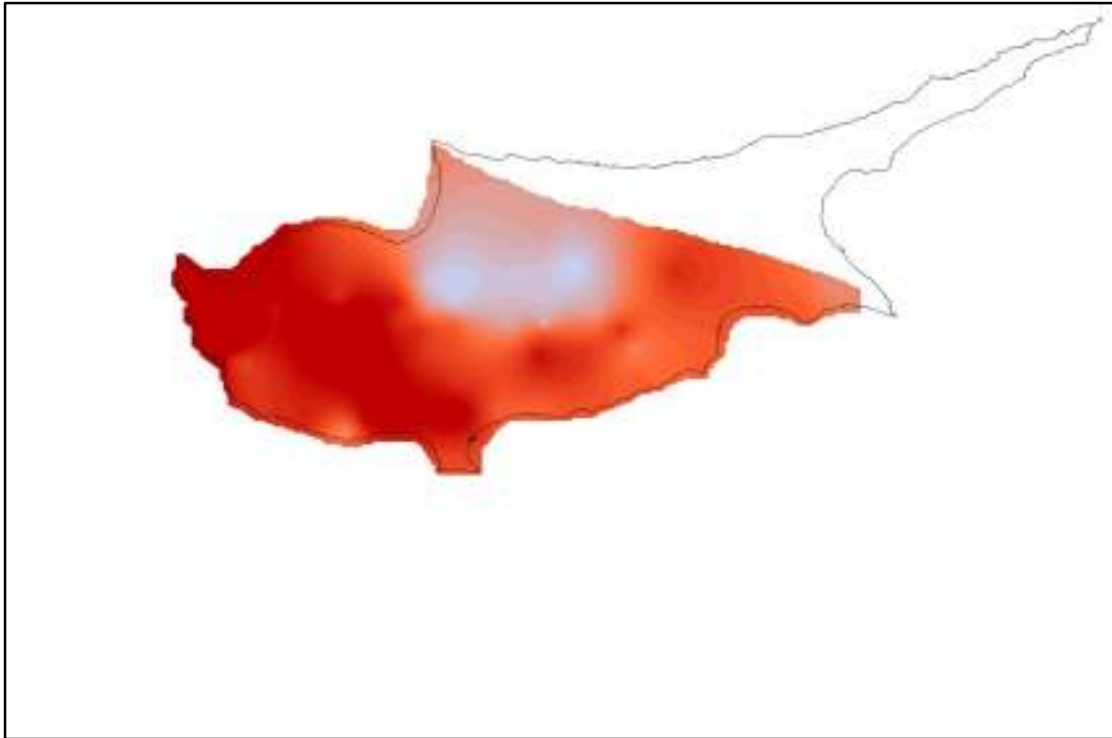
Διάγραμμα II.100. Ο δείκτης SPI με χρονική κλίμακα έξι και δώδεκα μηνών για τον σταθμό Βρύση.

Παράρτημα ΙΙΙ

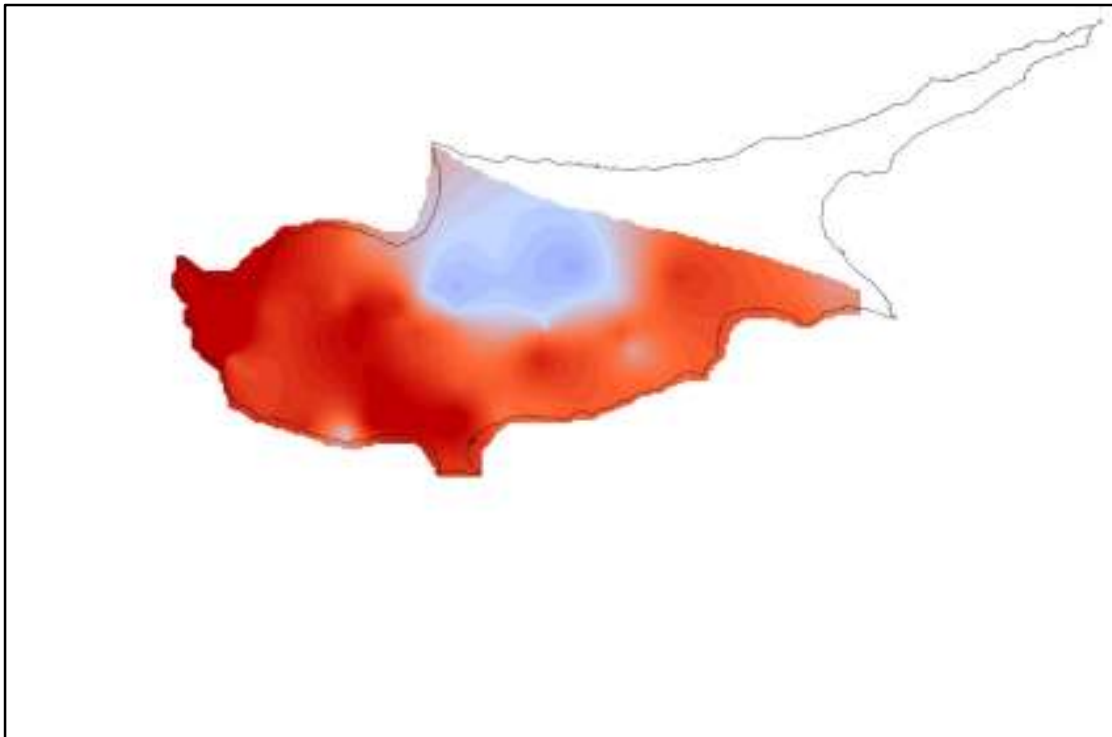
Γεωστατιστικοί Χάρτες κατανομής SPI



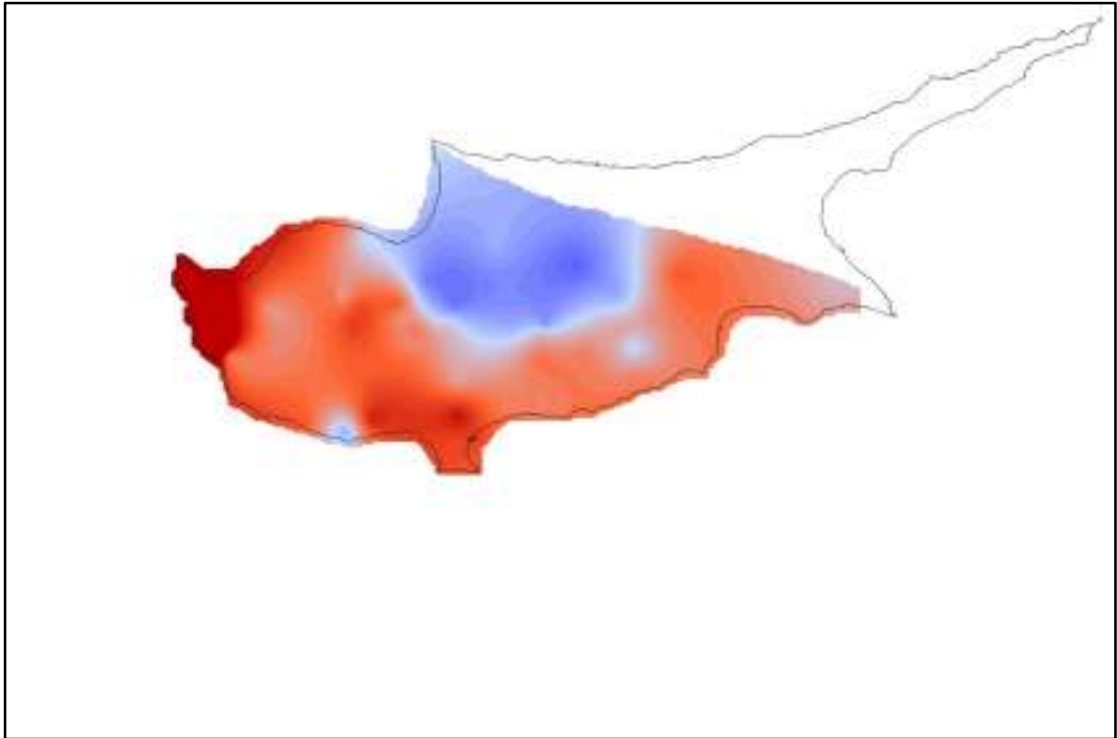
Εικόνα ΙΙΙ.1. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιανουάριο του 1972 (kriging)



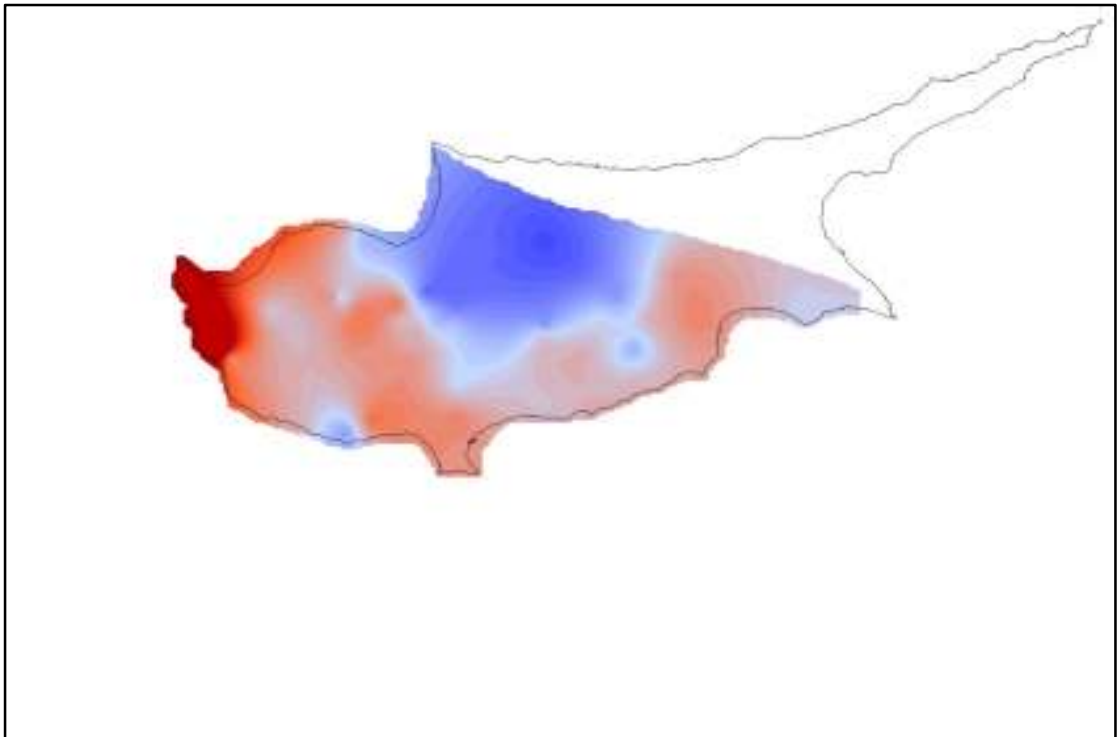
Εικόνα III.2. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Φεβρουάριο του 1972 (kriging)



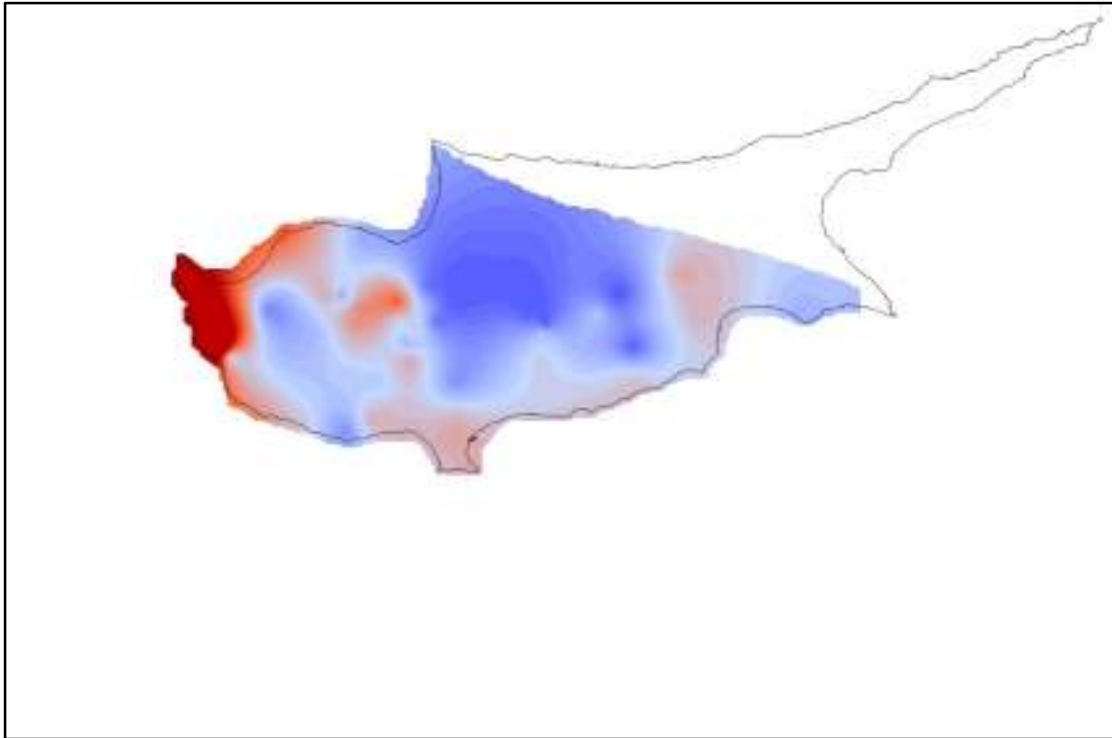
Εικόνα III.3. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Μάρτιο του 1972 (kriging)



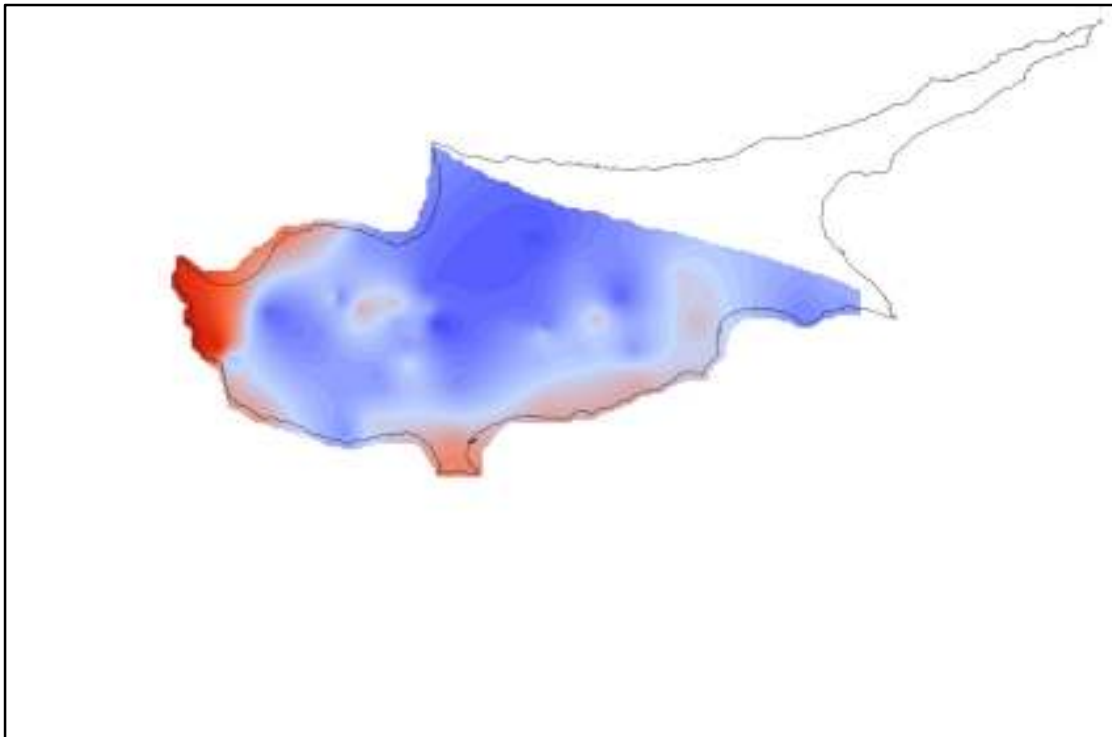
Εικόνα III.4. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Απρίλιο του 1972 (kriging)



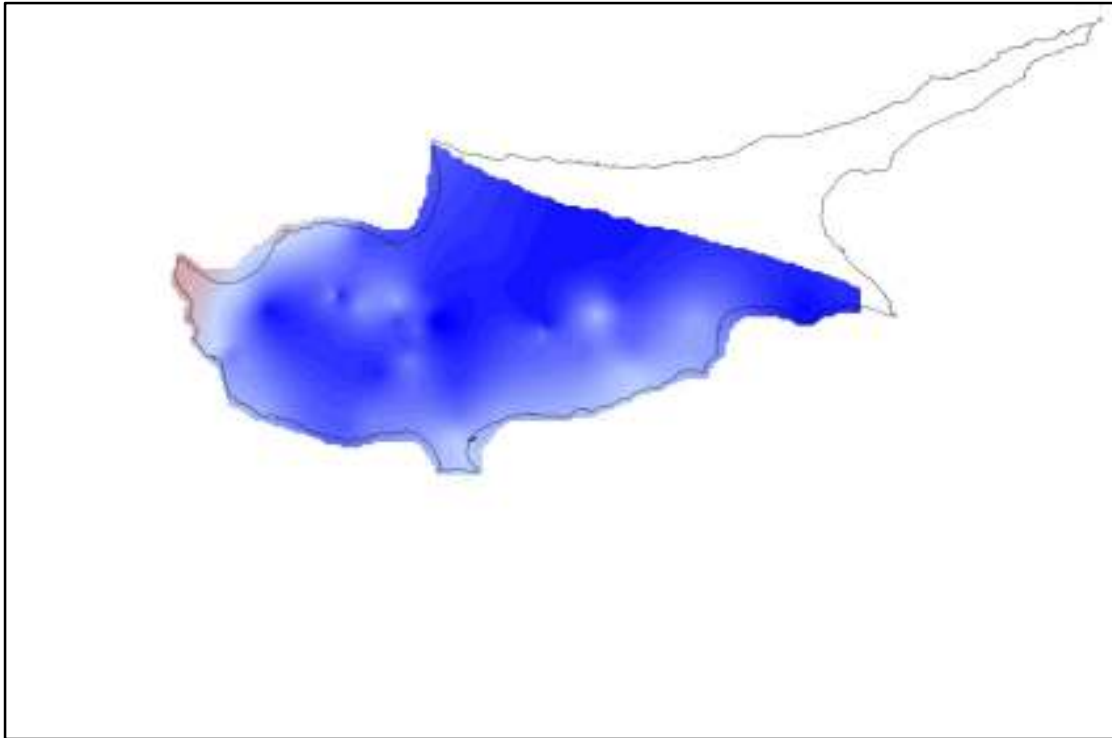
Εικόνα III.5. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Μάιο του 1972 (kriging)



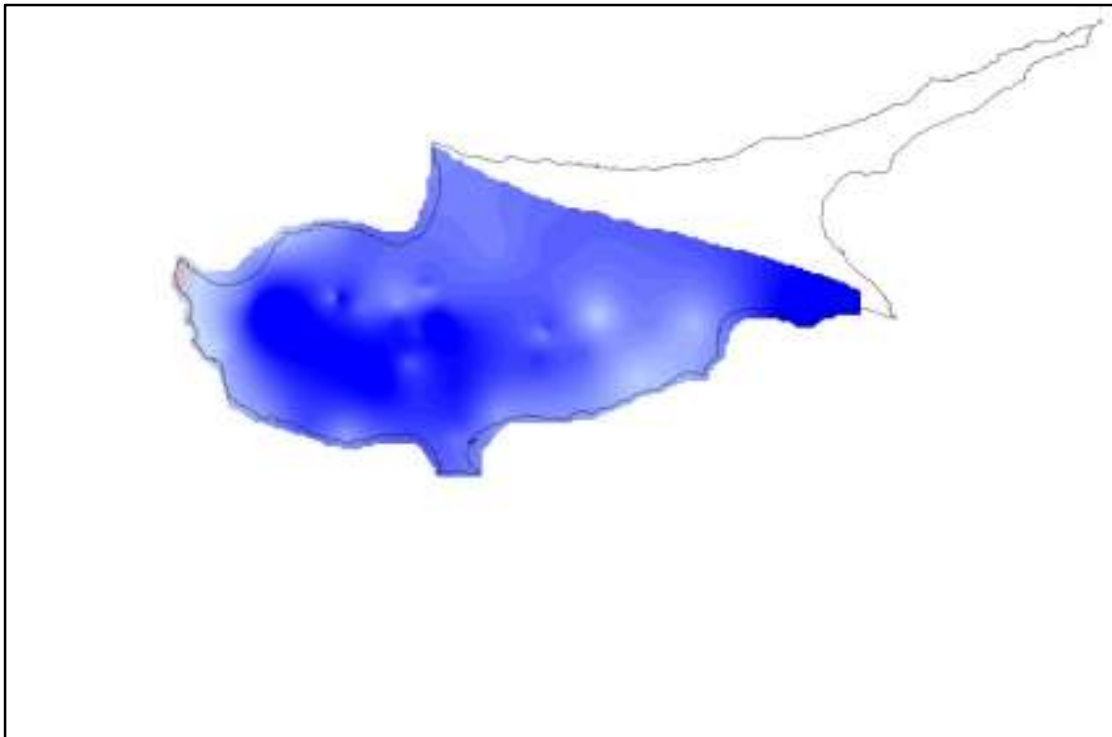
Εικόνα III.6. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιούνιο του 1972 (kriging)



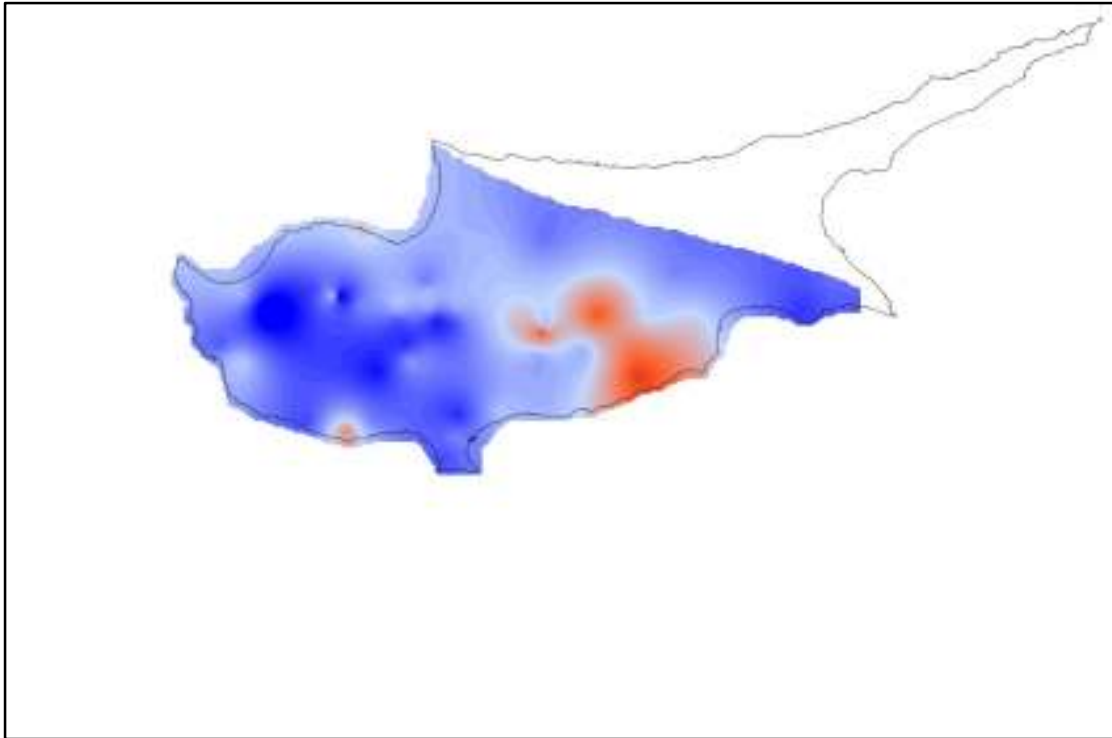
Εικόνα III.7. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιούλιο του 1972 (kriging)



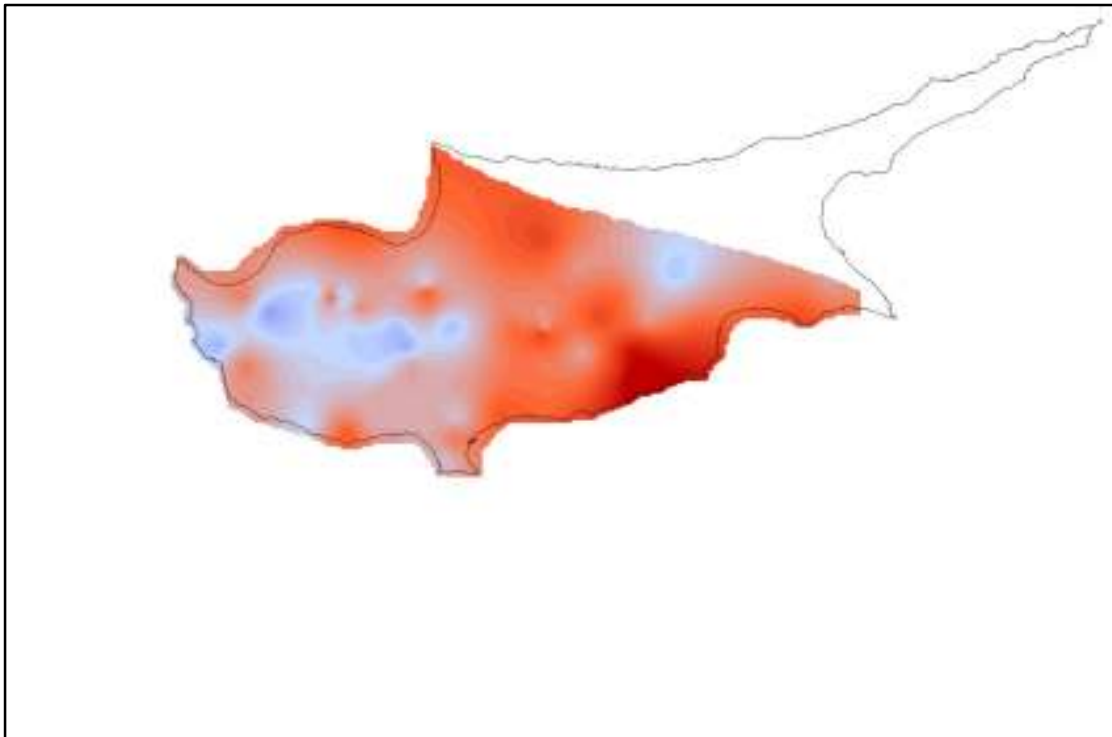
Εικόνα III.8. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Αύγουστο του 1972 (kriging)



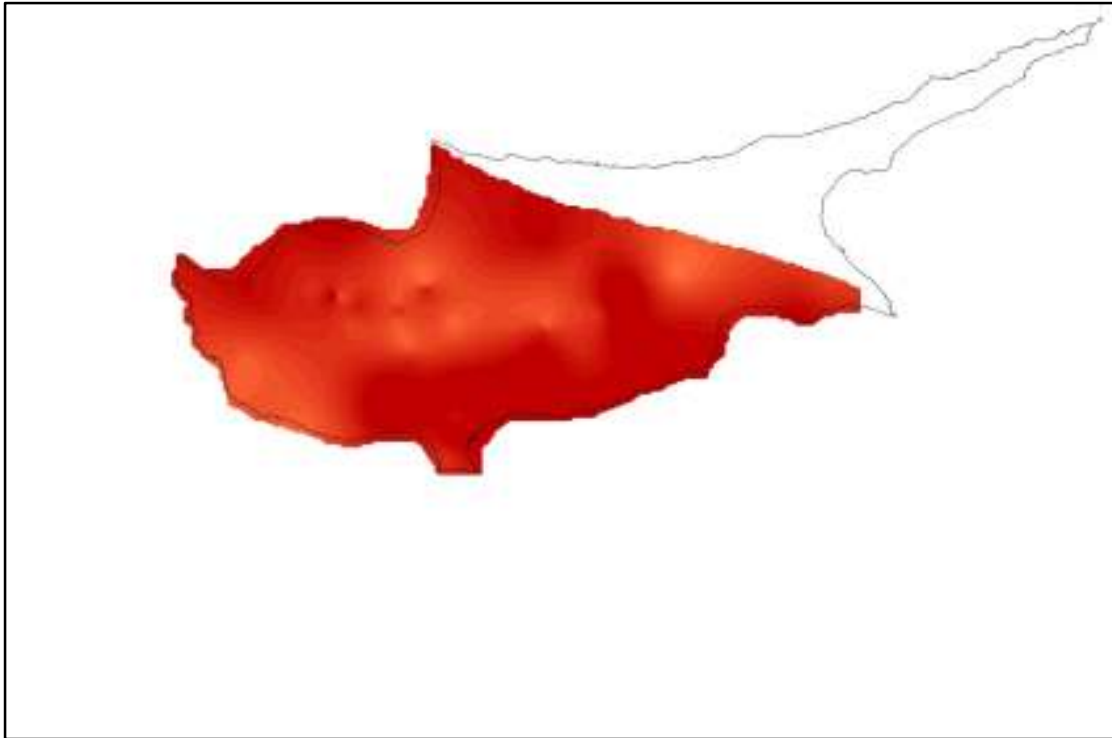
Εικόνα III.9. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Σεπτέμβριο του 1972 (kriging)



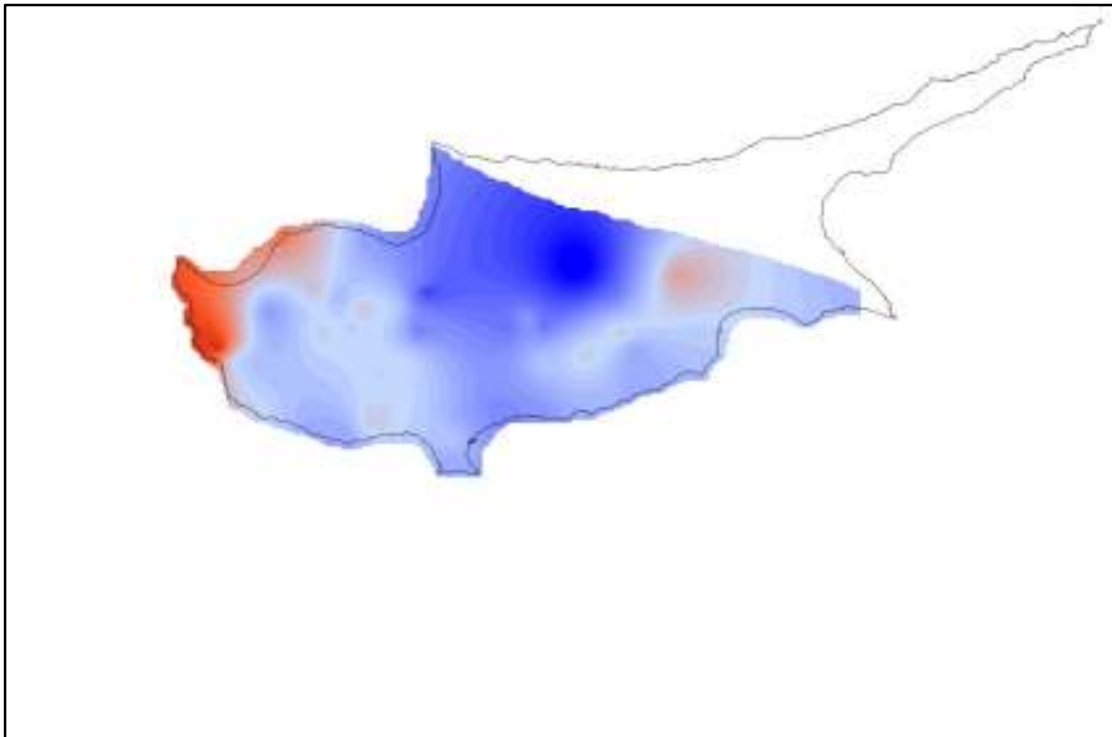
Εικόνα III.10. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Οκτώβριο του 1972 (kriging)



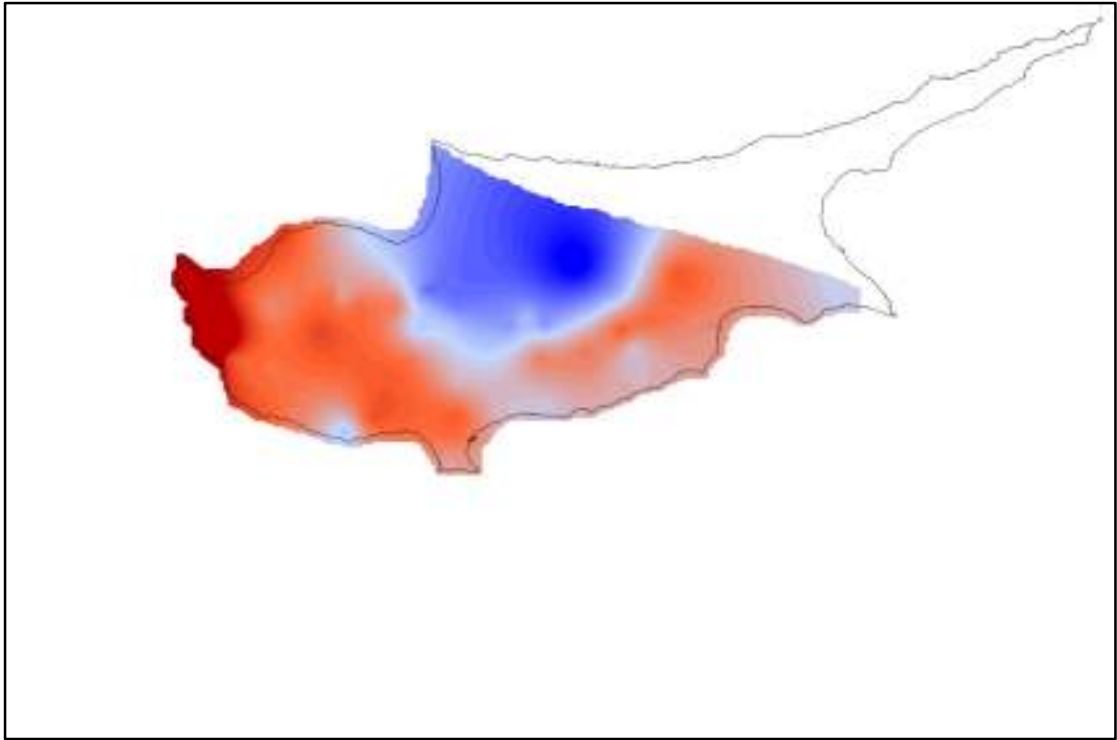
Εικόνα III.11. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Νοέμβριο του 1972 (kriging)



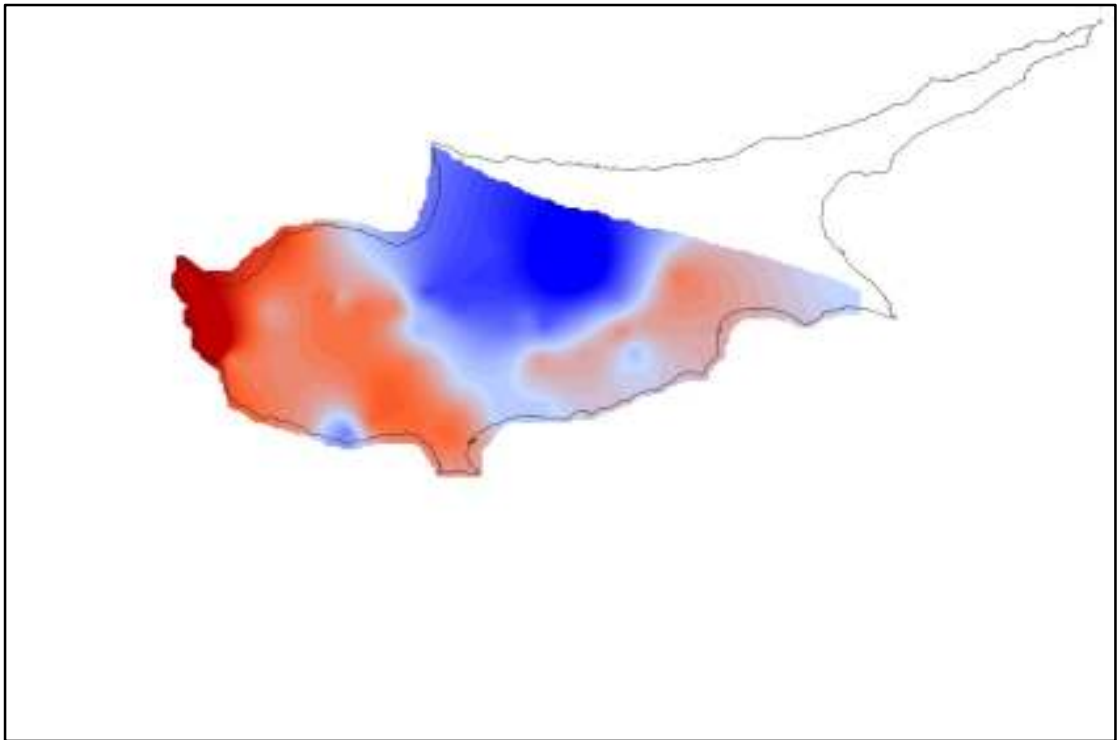
Εικόνα III.12. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Δεκέμβριο του 1972 (kriging)



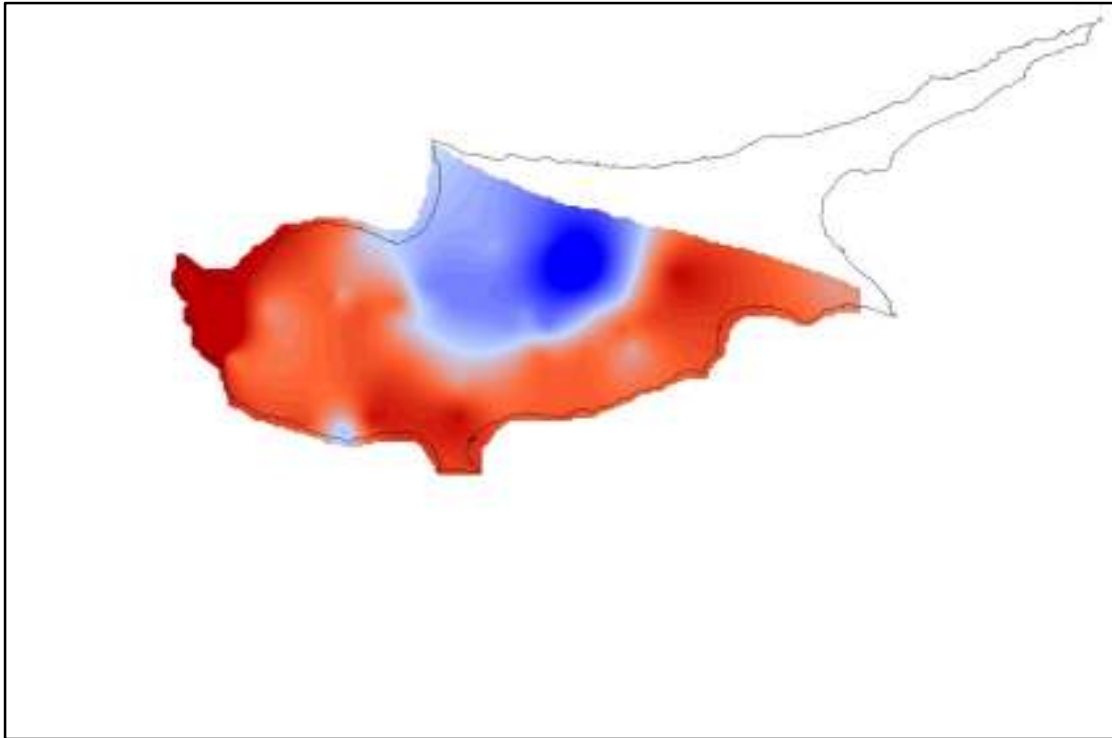
Εικόνα III.13. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιανουάριο του 1972 (kriging)



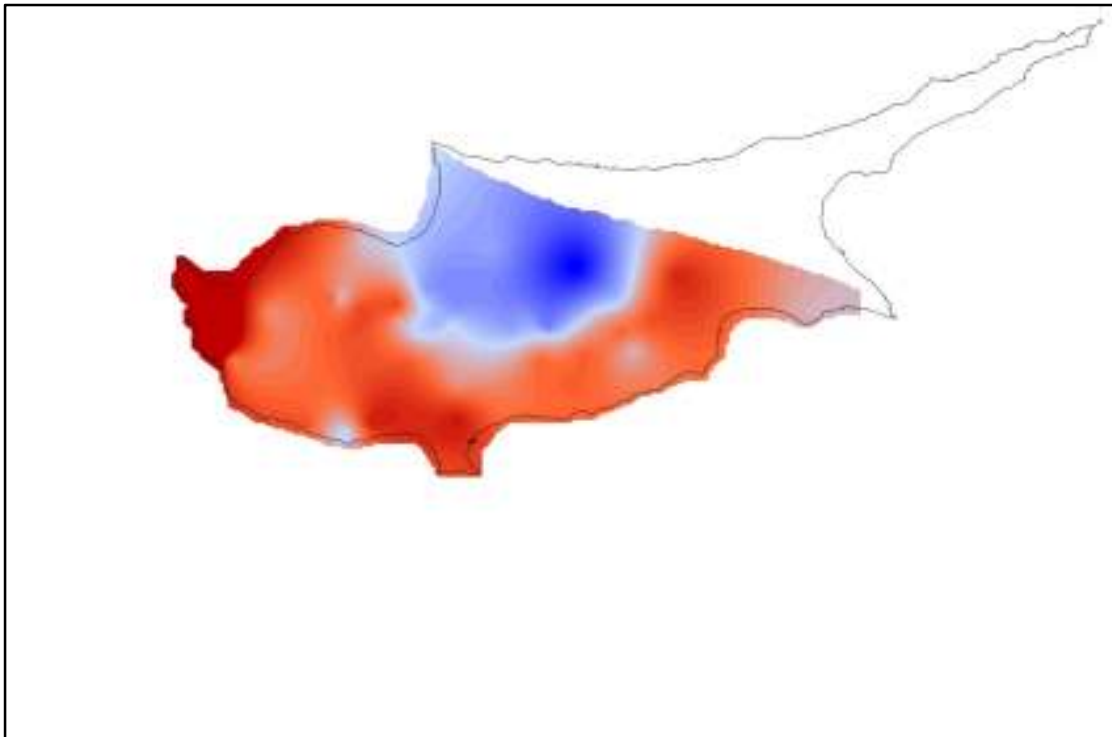
Εικόνα III.14. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Φεβρουάριο του 1972 (kriging)



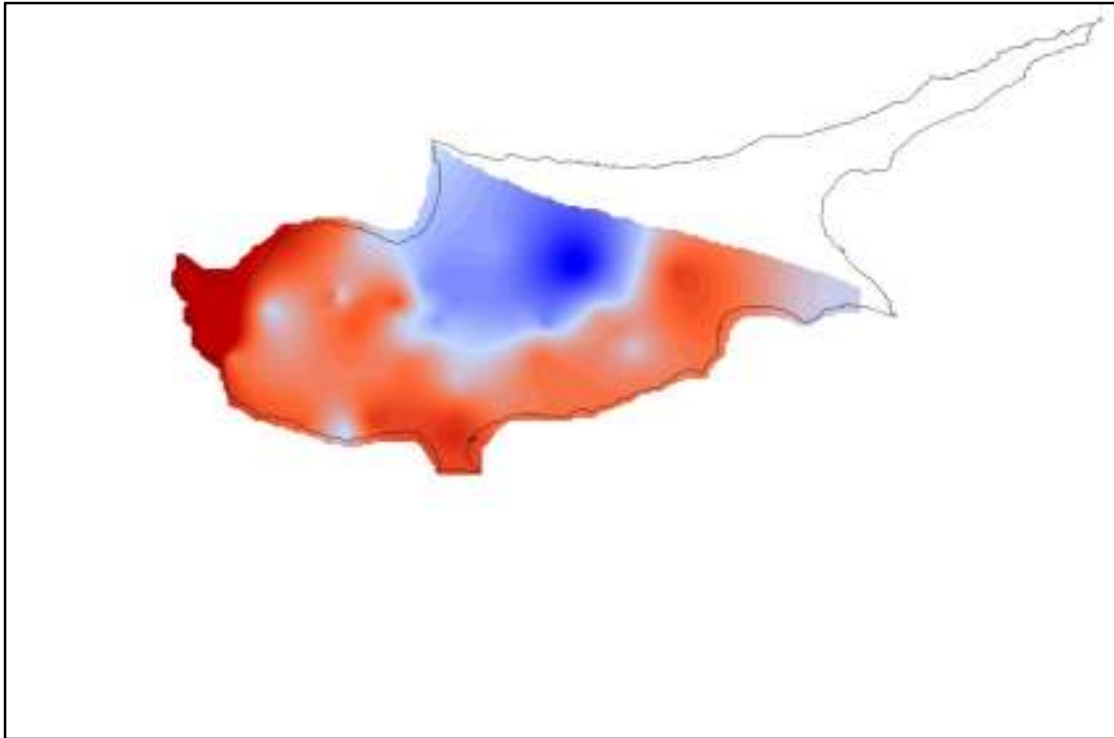
Εικόνα III.15. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Μάρτιο του 1972 (kriging)



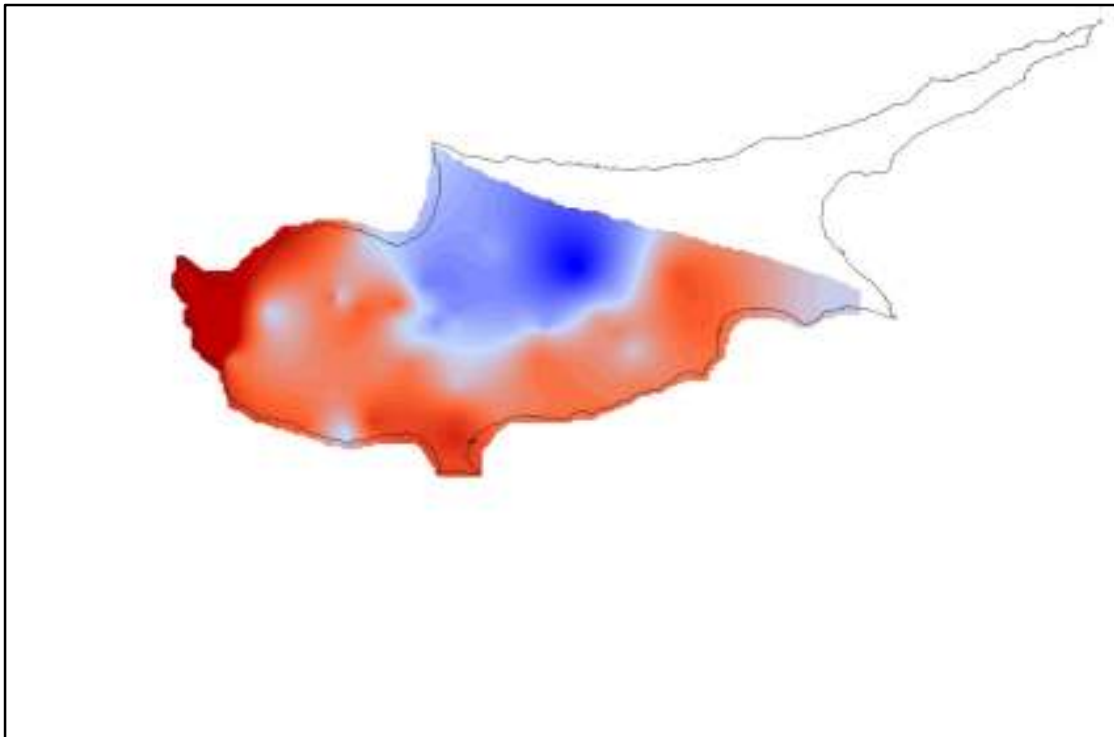
Εικόνα III.16. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Απρίλιο του 1972 (kriging)



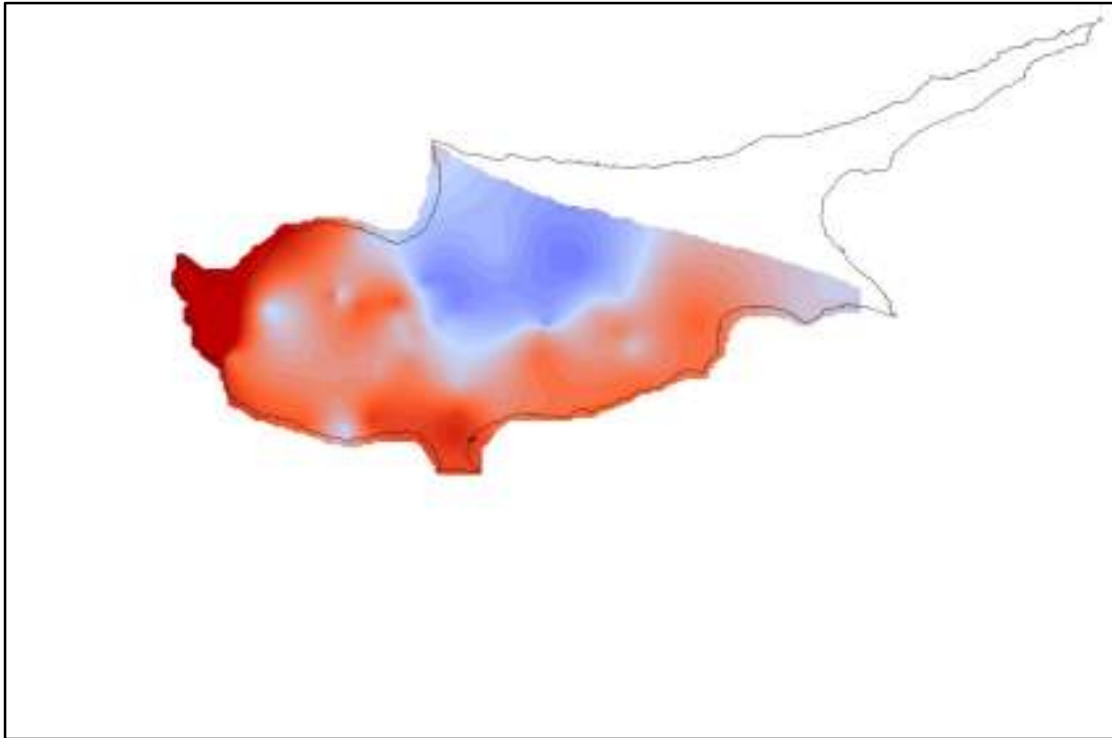
Εικόνα III.17. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Μάιο του 1972 (kriging)



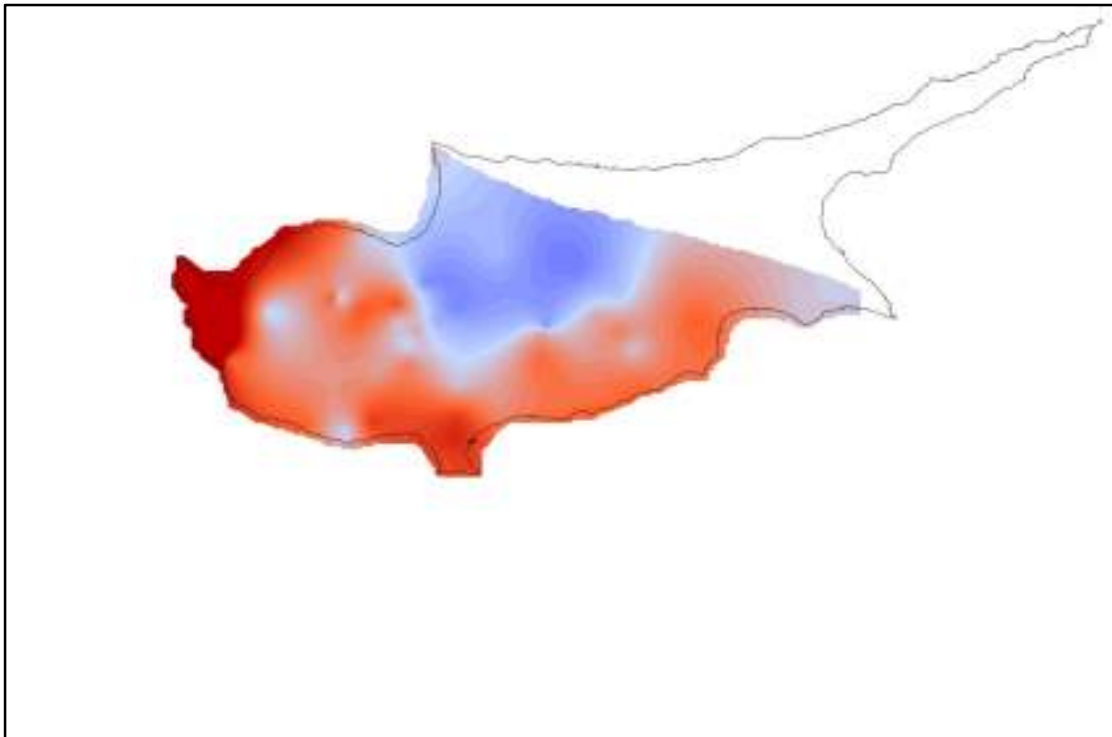
Εικόνα III.18. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιούνιο του 1972 (kriging)



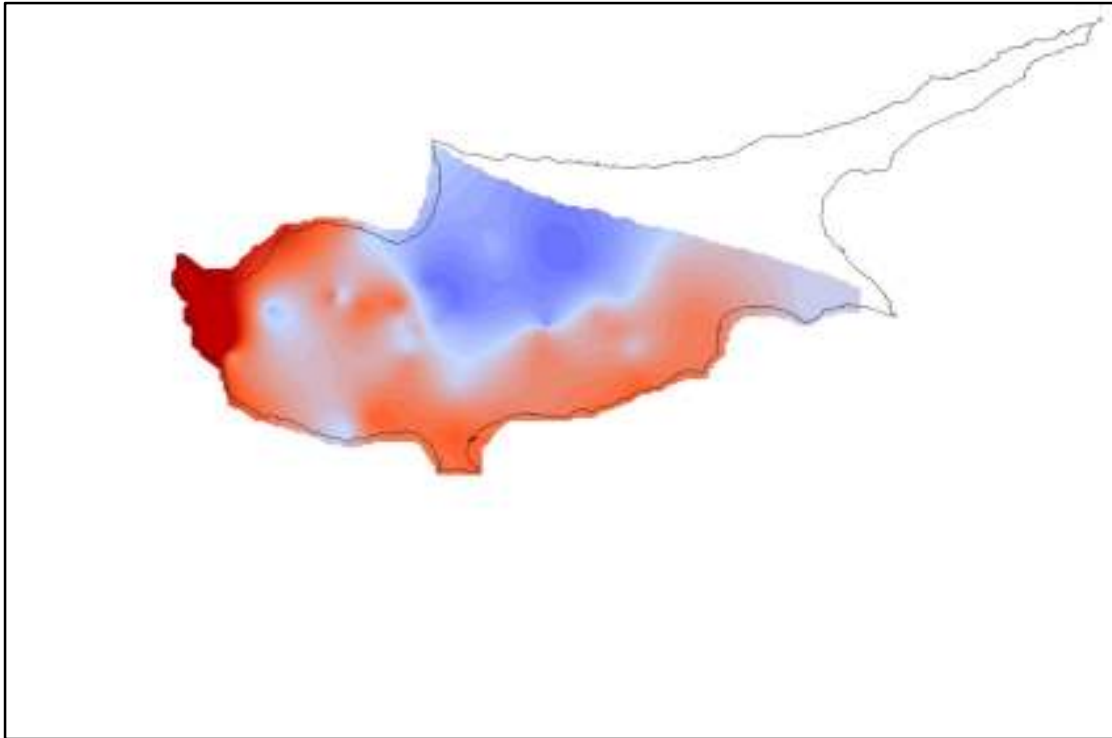
Εικόνα III.19. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιούλιο του 1972 (kriging)



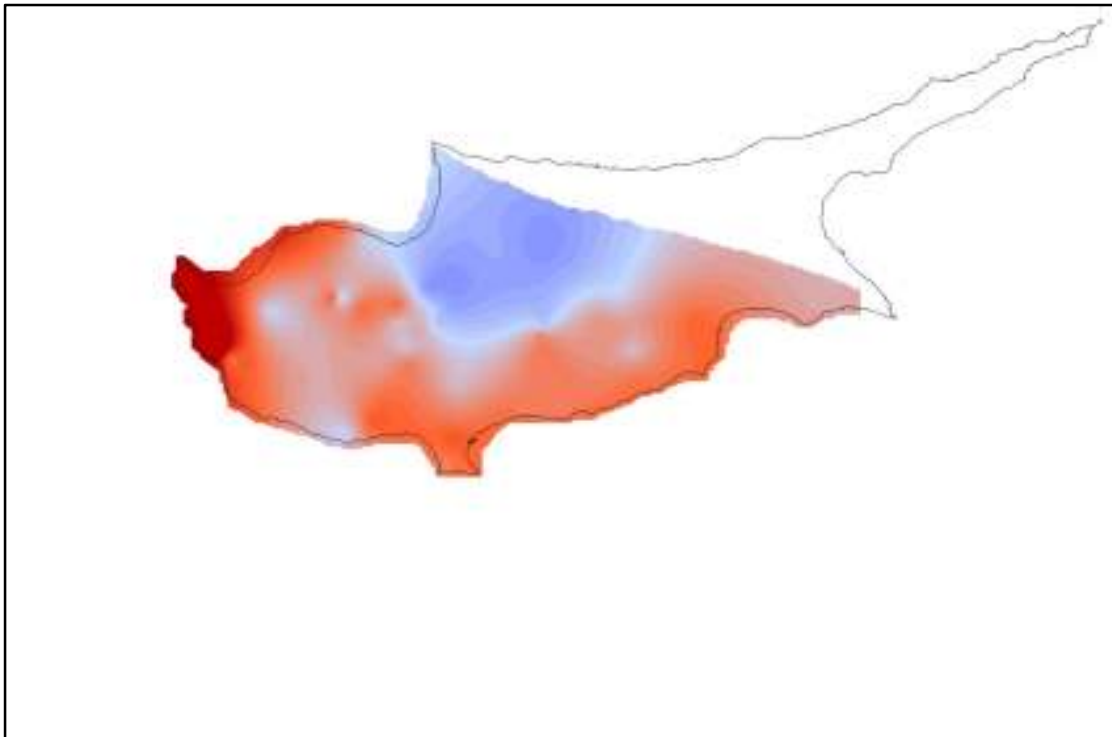
Εικόνα III.20. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Αύγουστο του 1972 (kriging)



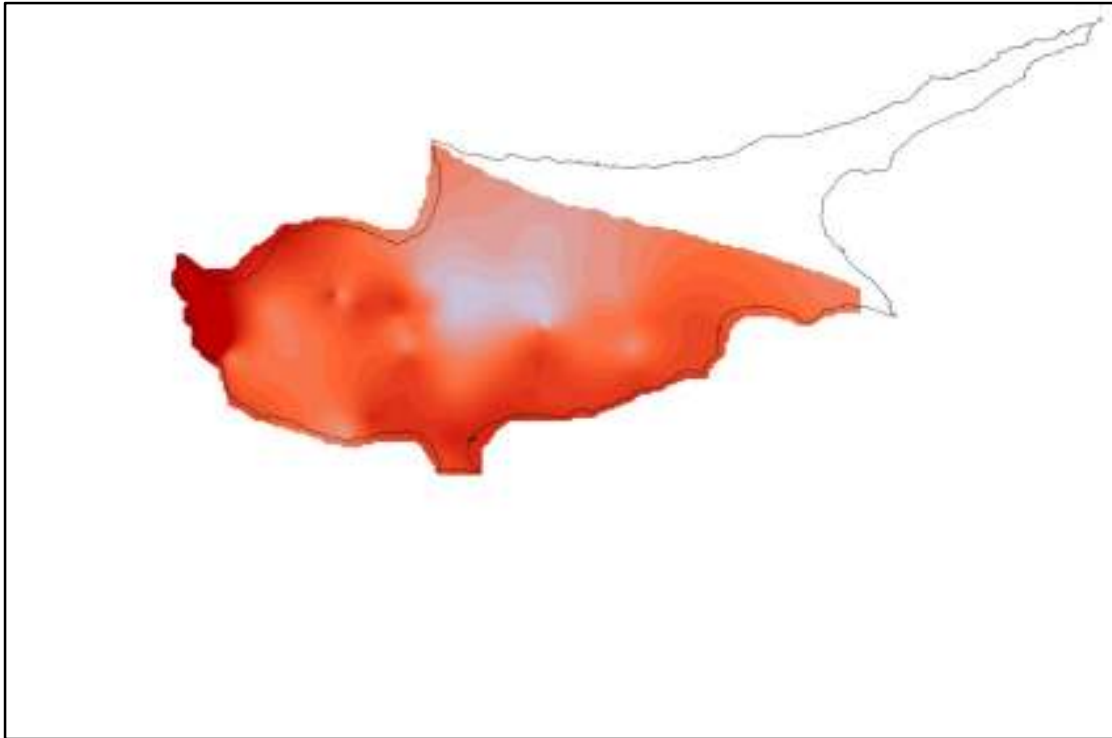
Εικόνα III.21. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Σεπτέμβριο του 1972 (kriging)



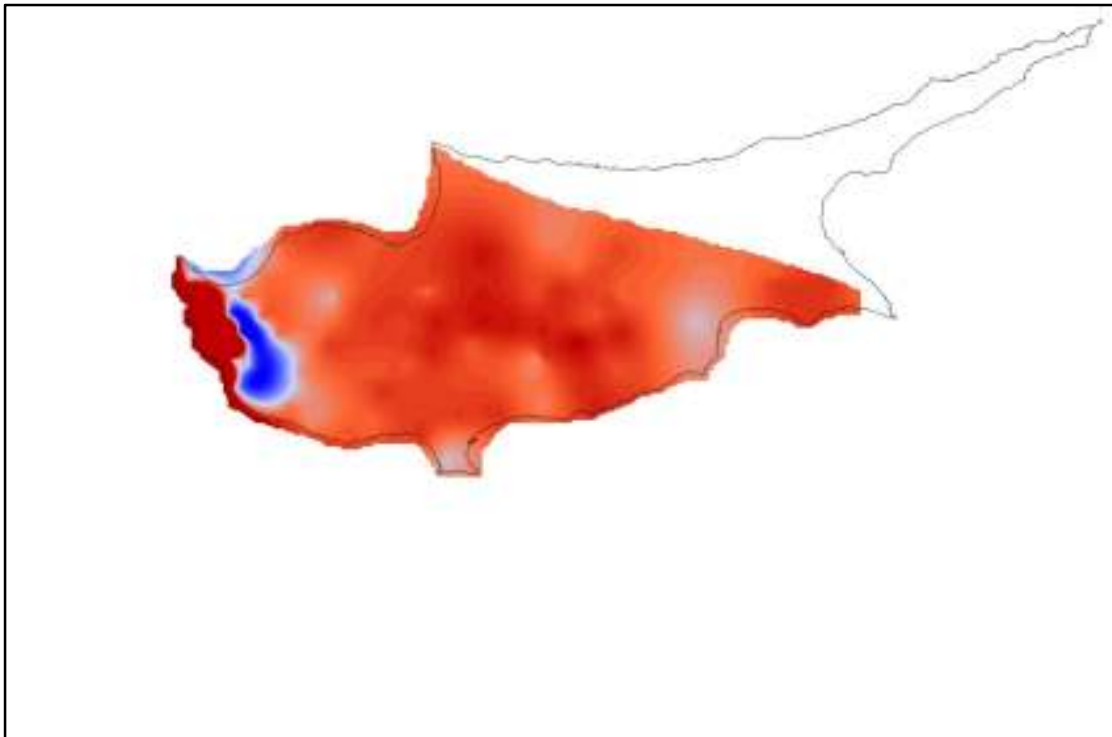
Εικόνα III.22. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Οκτώβριο του 1972 (kriging)



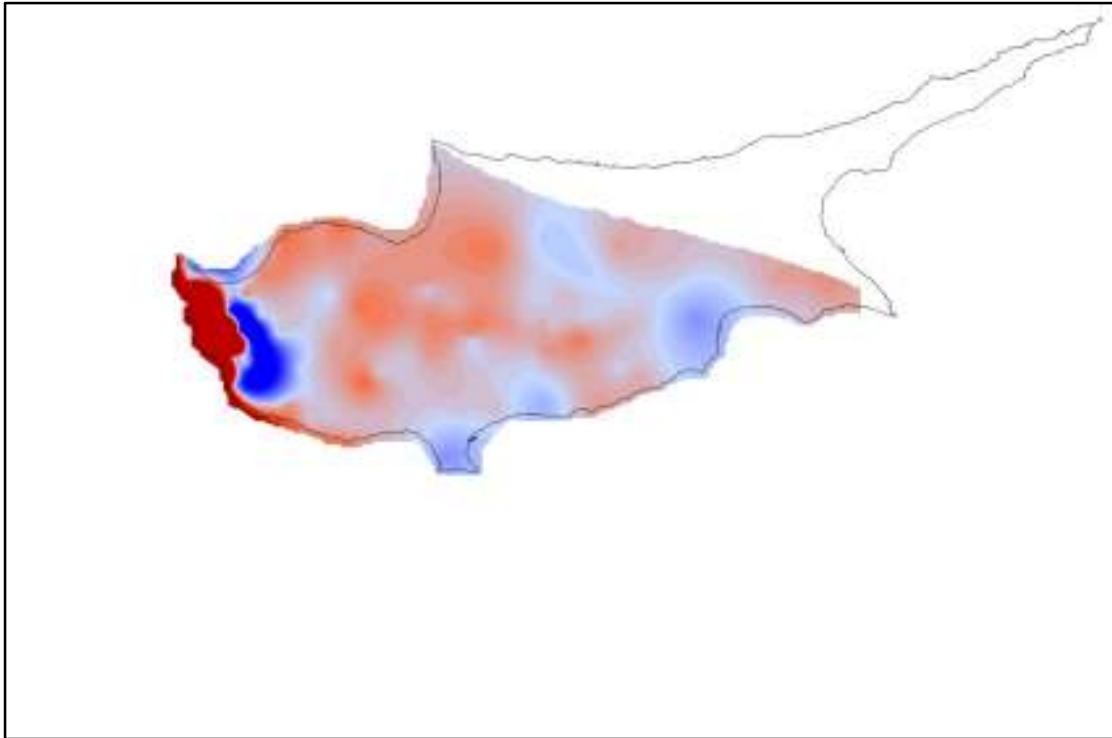
Εικόνα III.23. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Νοέμβριο του 1972 (kriging)



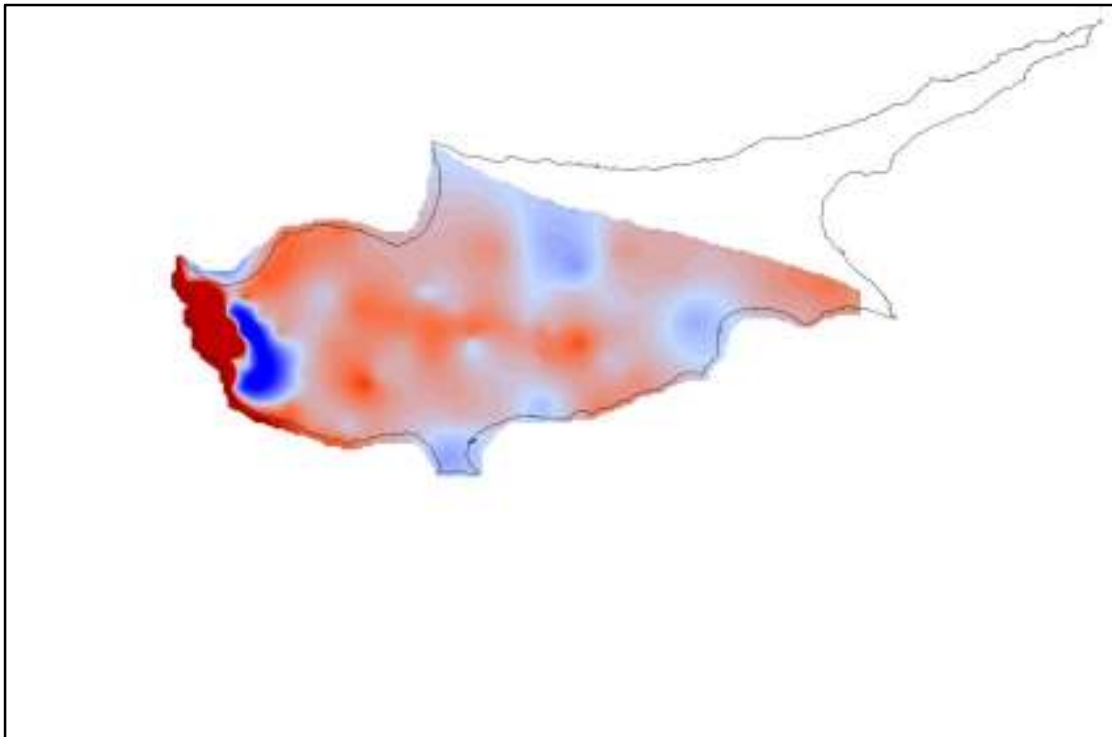
Εικόνα III.24. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Δεκέμβριο του 1972 (kriging)



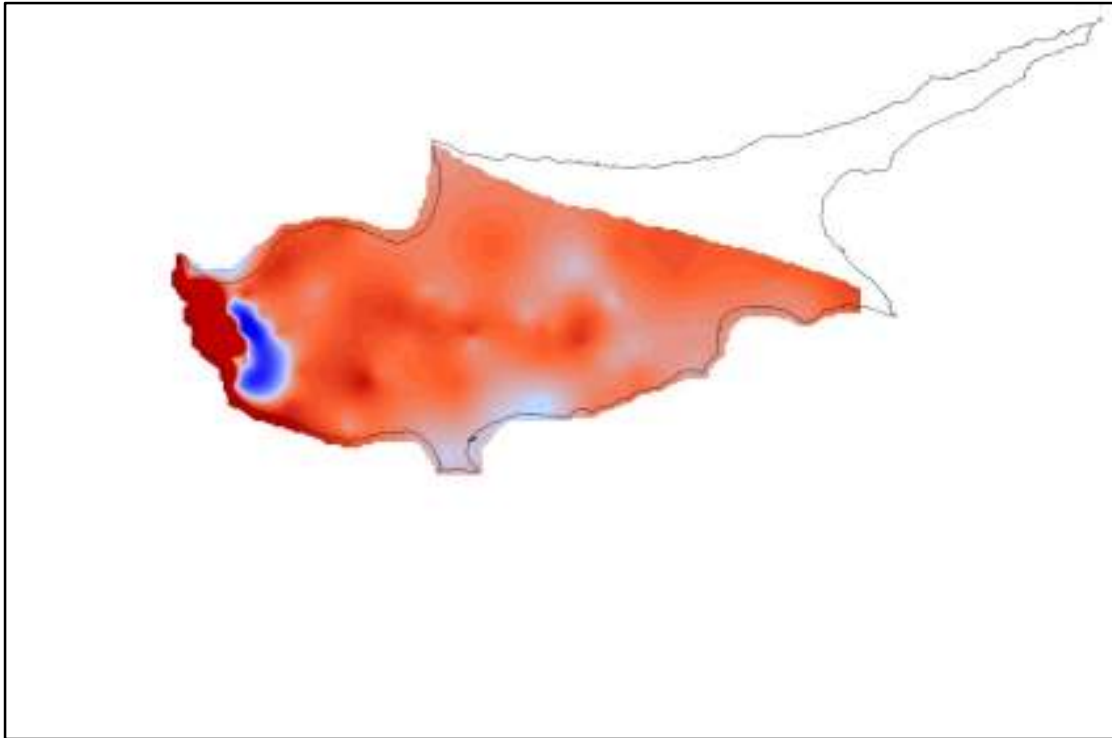
Εικόνα III.25. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιανουάριο του 1990 (kriging)



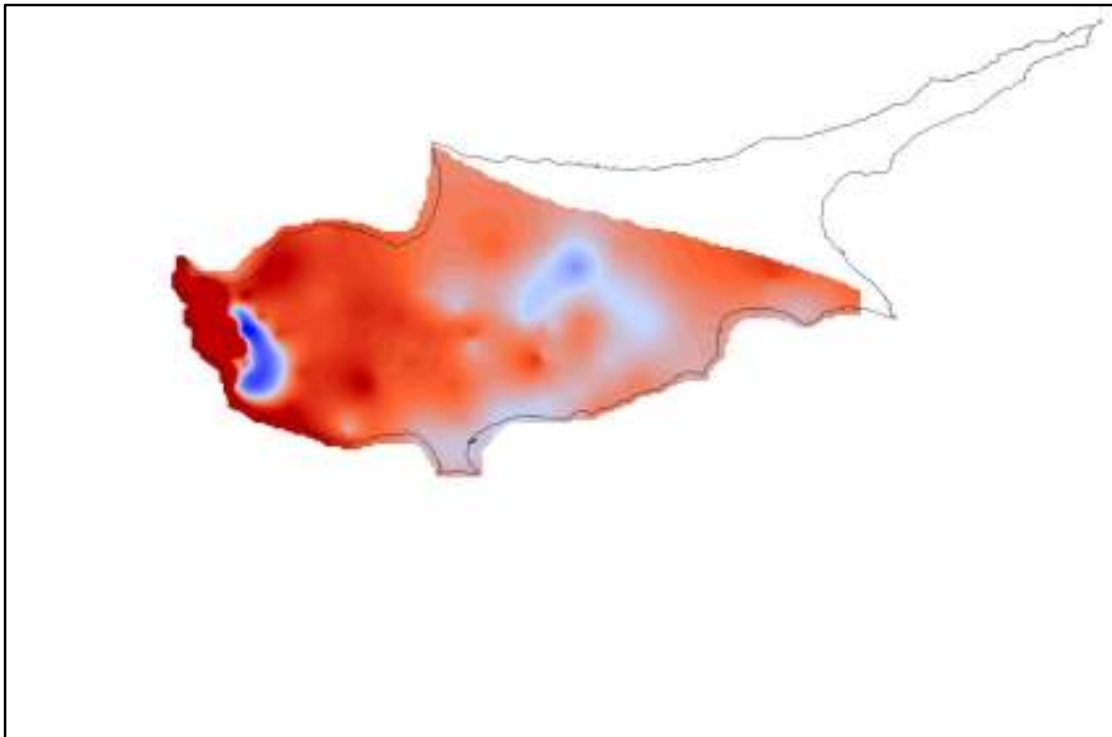
Εικόνα III.26. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Φεβρουάριο του 1990 (kriging)



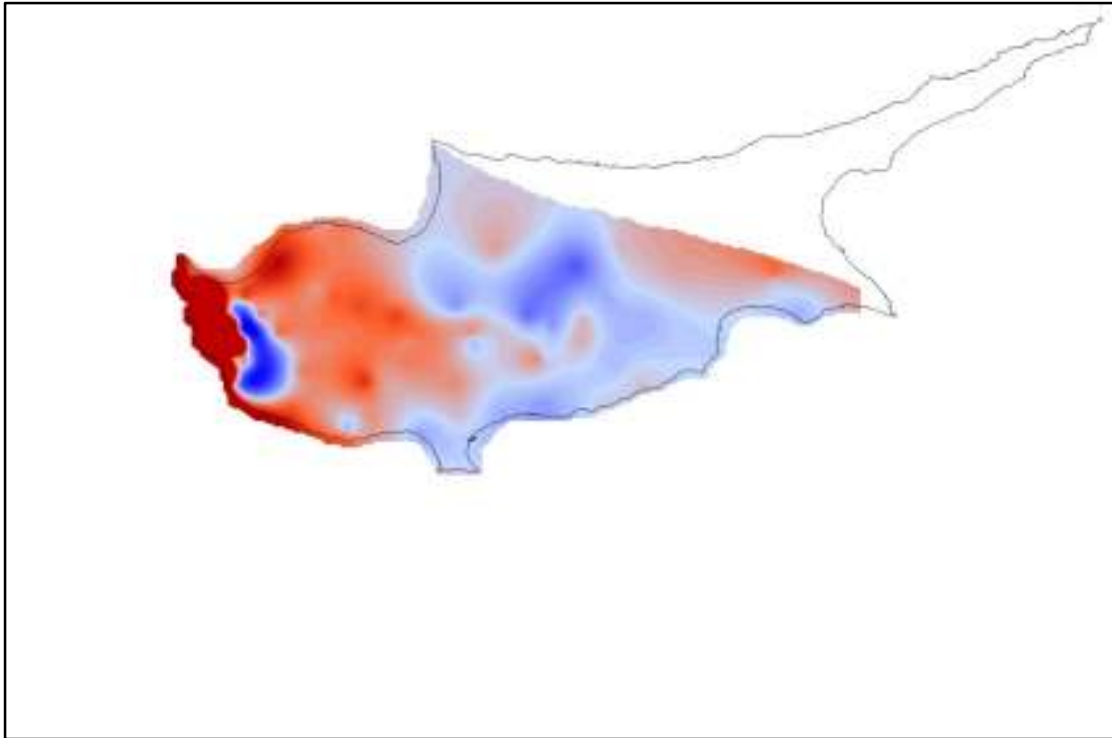
Εικόνα III.27. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Μάρτιο του 1990 (kriging)



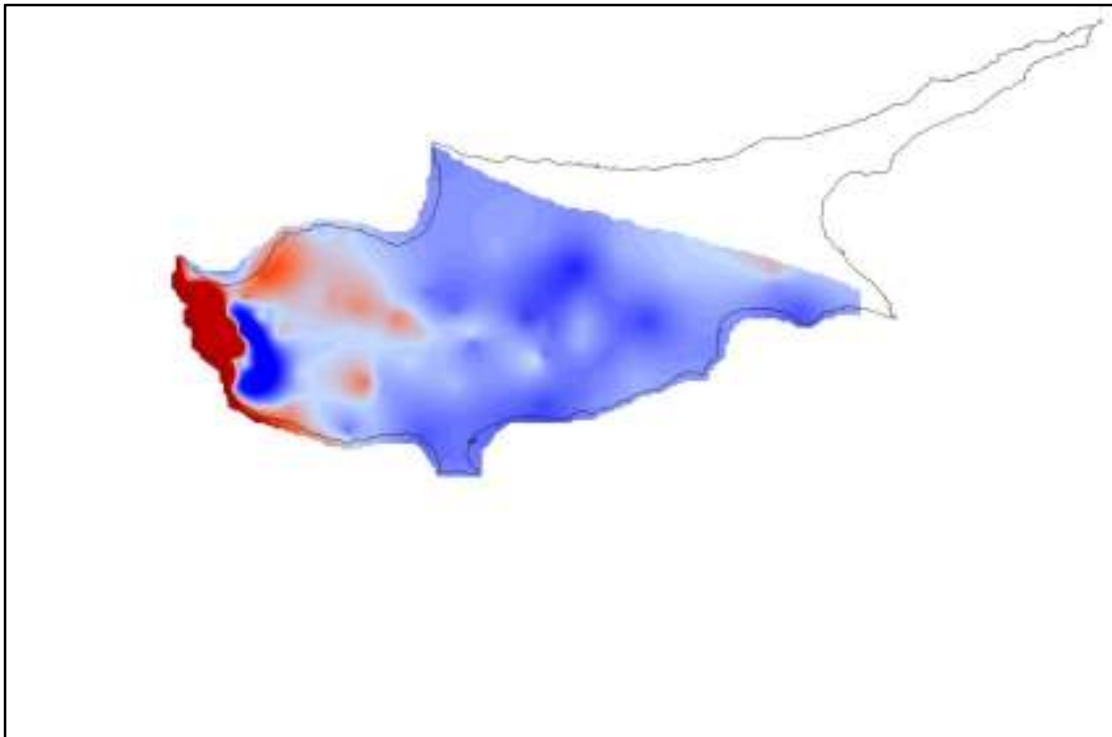
Εικόνα III.28. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Απρίλιο του 1990 (kriging)



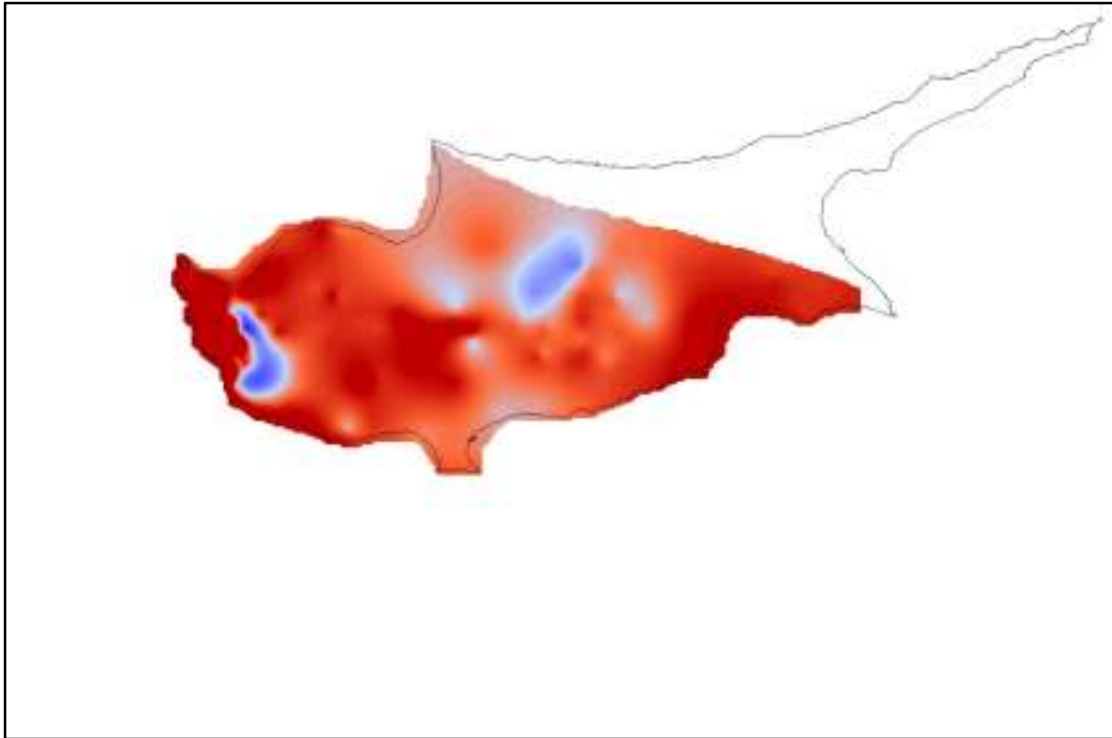
Εικόνα III.29. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Μάιο του 1990 (kriging)



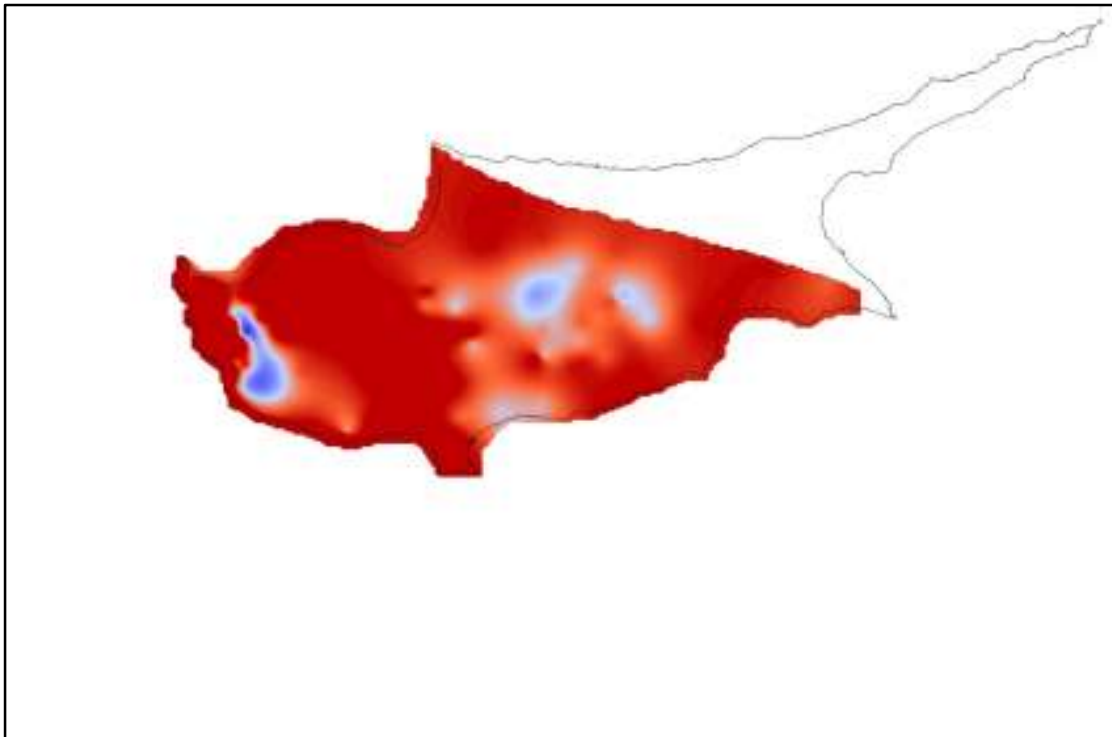
Εικόνα III.30. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιούνιο του 1990 (kriging)



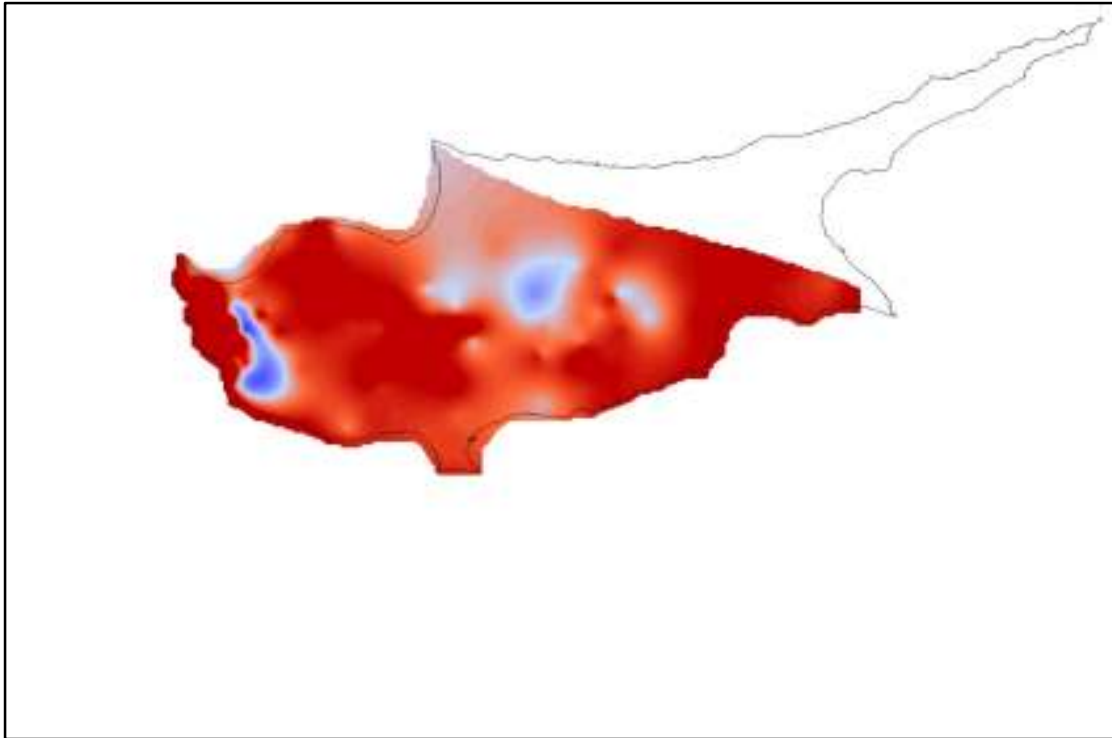
Εικόνα III.31. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιούλιο του 1990 (kriging)



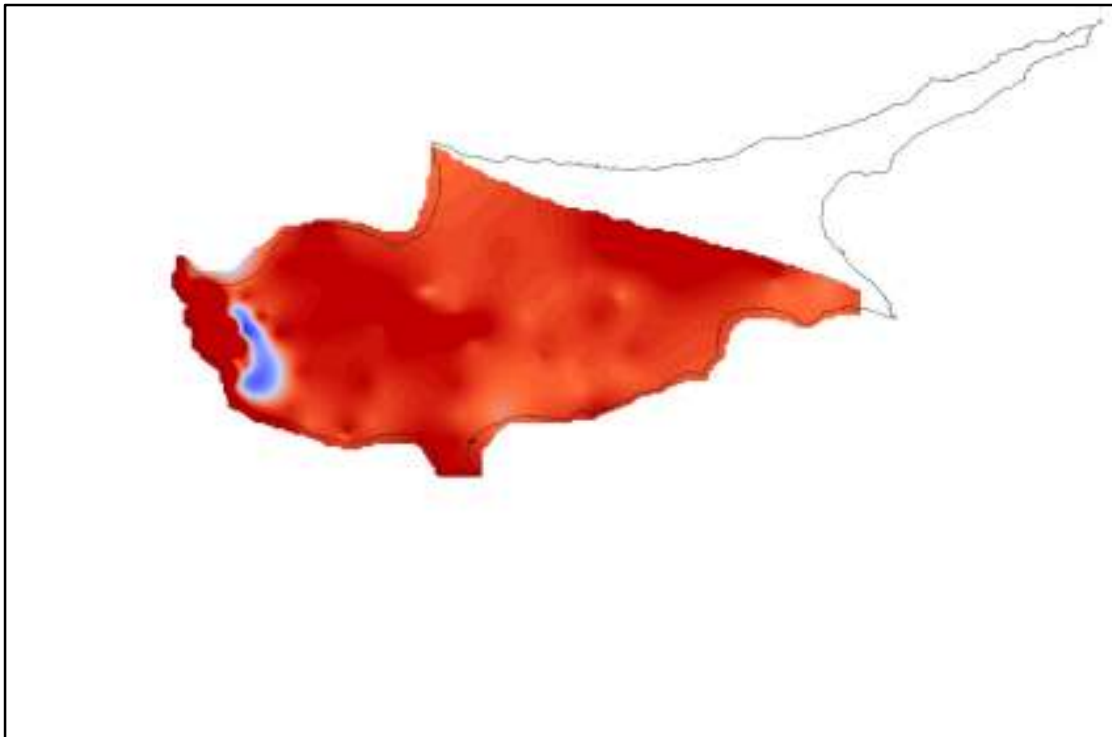
Εικόνα III.32. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Αύγουστο του 1990 (kriging)



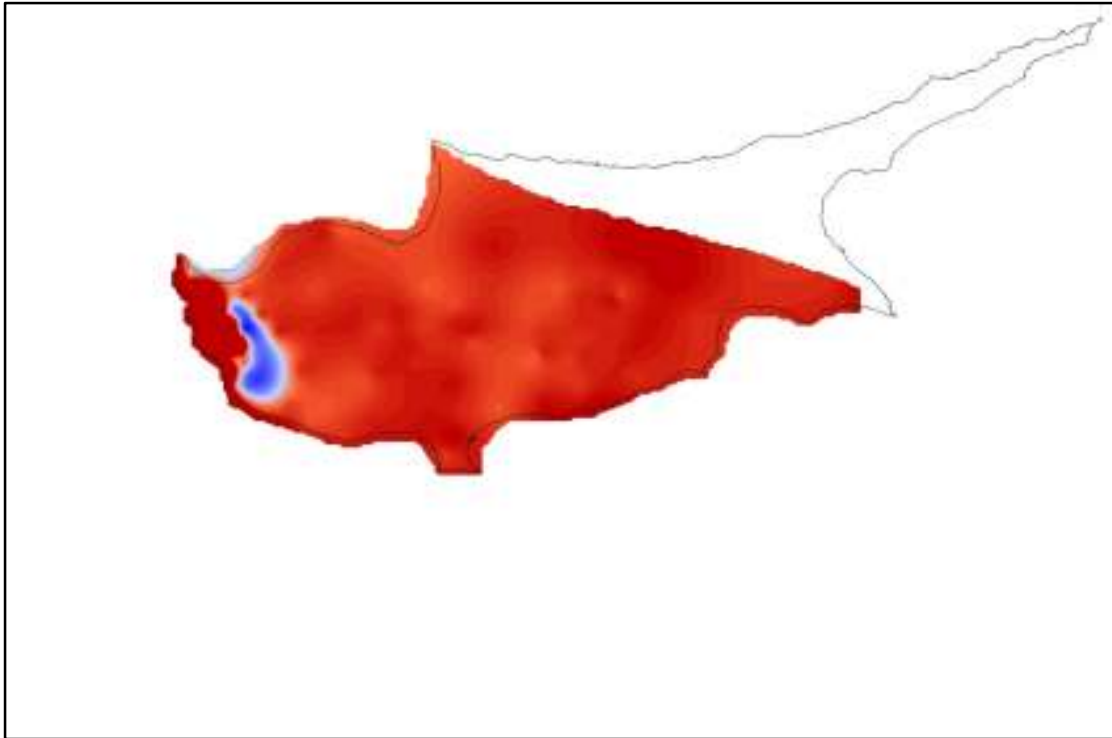
Εικόνα III.33. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Σεπτέμβριο του 1990 (kriging)



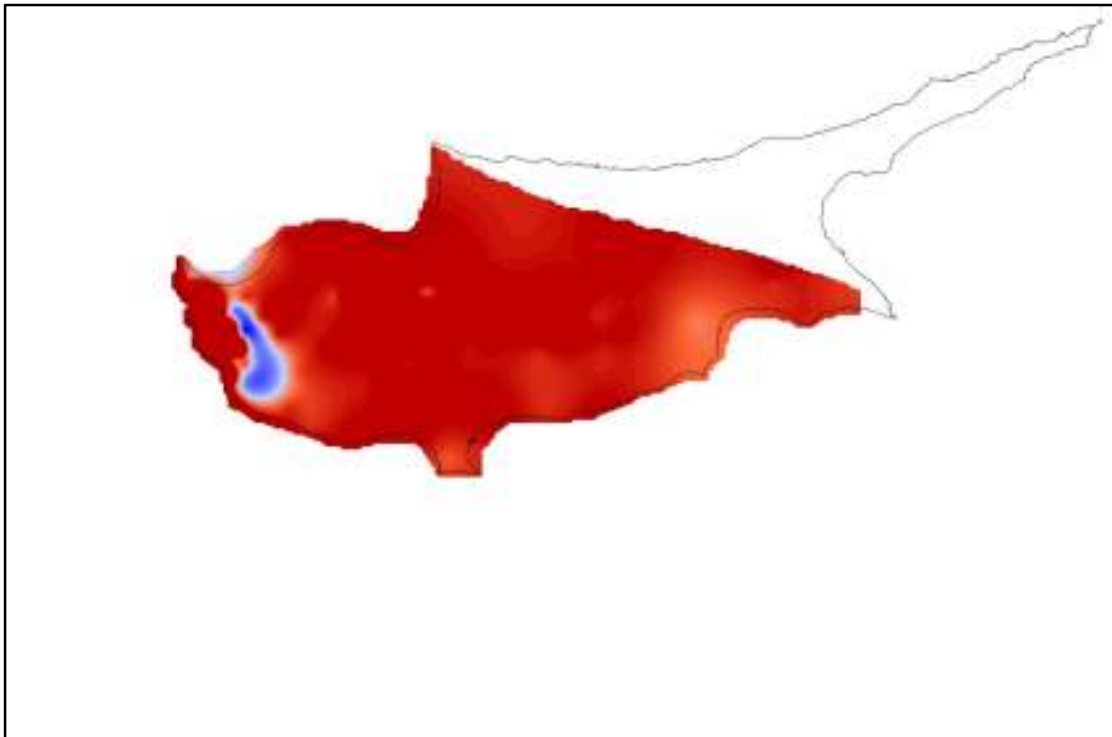
Εικόνα III.34. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Οκτώβριο του 1990 (kriging)



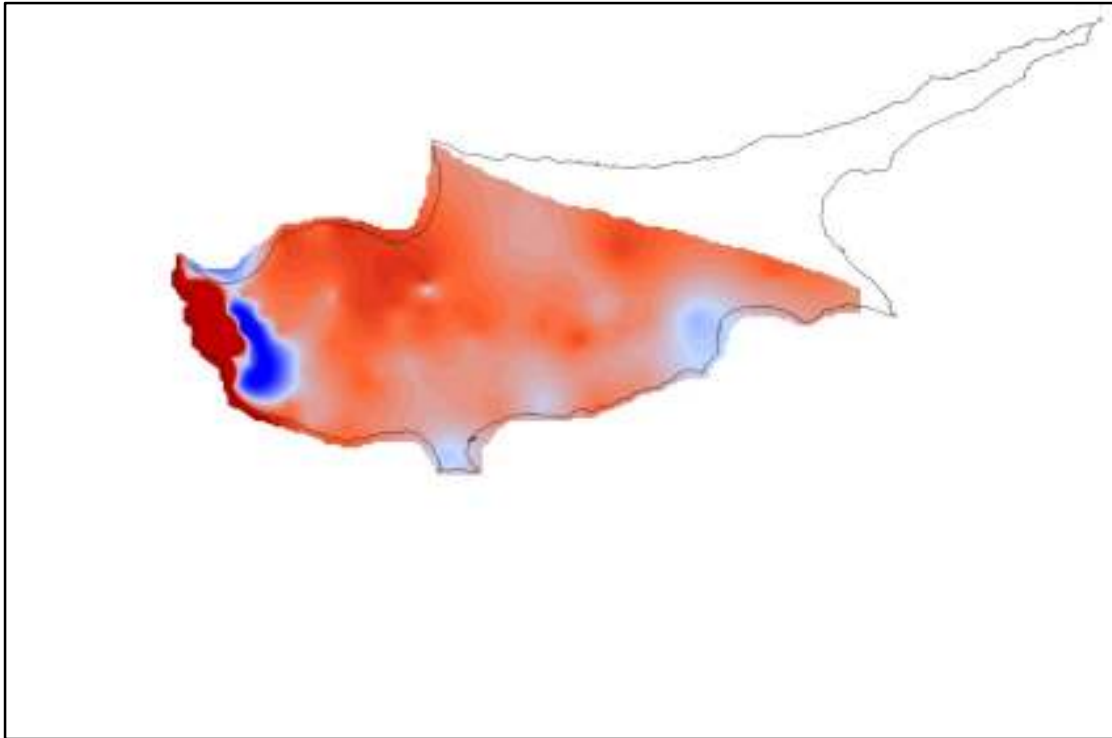
Εικόνα III.35. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Νοέμβριο του 1990 (kriging)



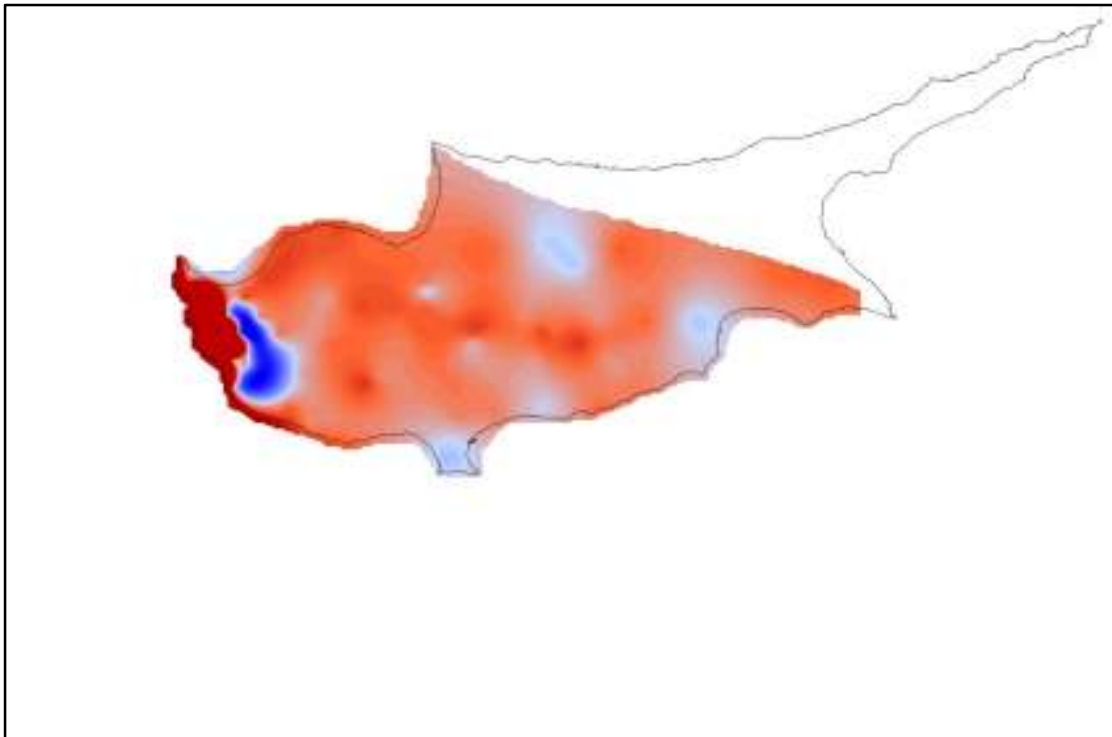
Εικόνα III.36. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Δεκέμβριο του 1990 (kriging)



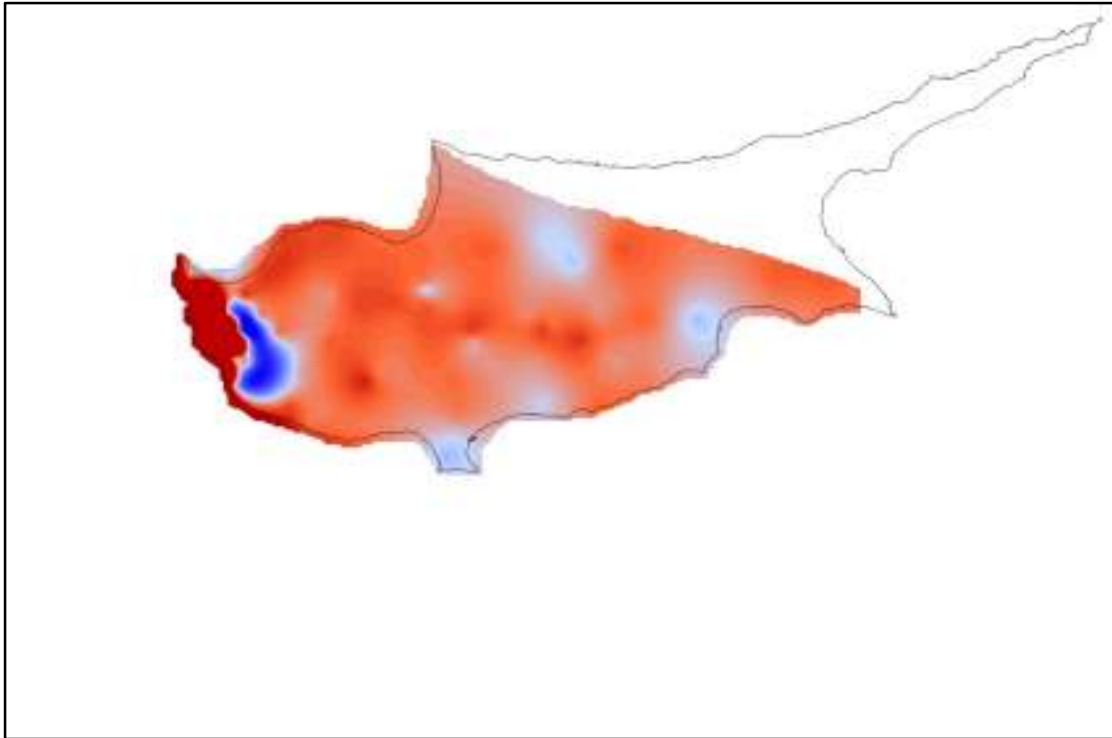
Εικόνα III.37. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιανουάριο του 1990 (kriging)



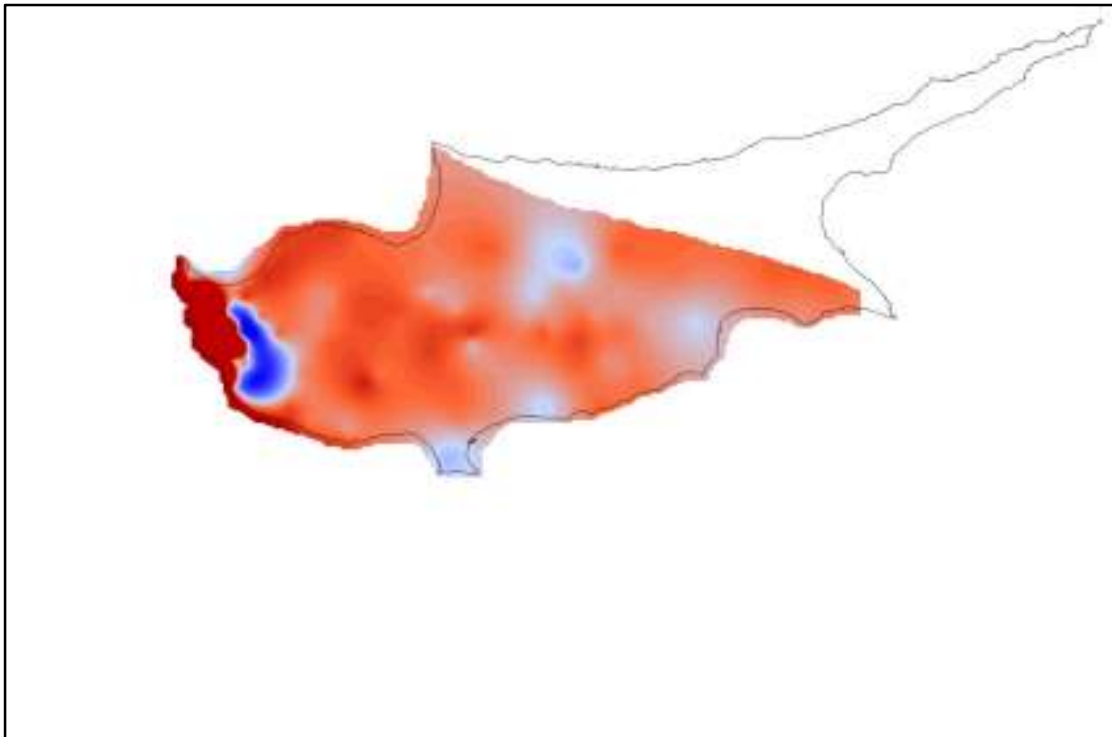
Εικόνα III.38. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Φεβρουάριο του 1990 (kriging)



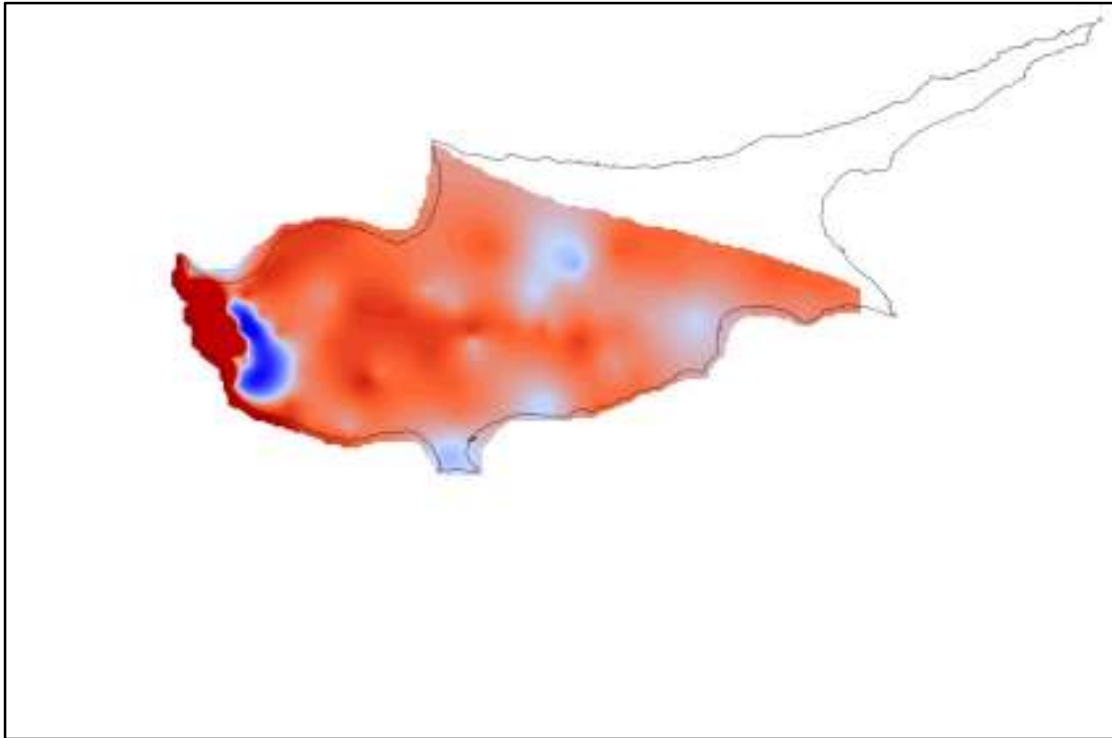
Εικόνα III.39. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Μάρτιο του 1990 (kriging)



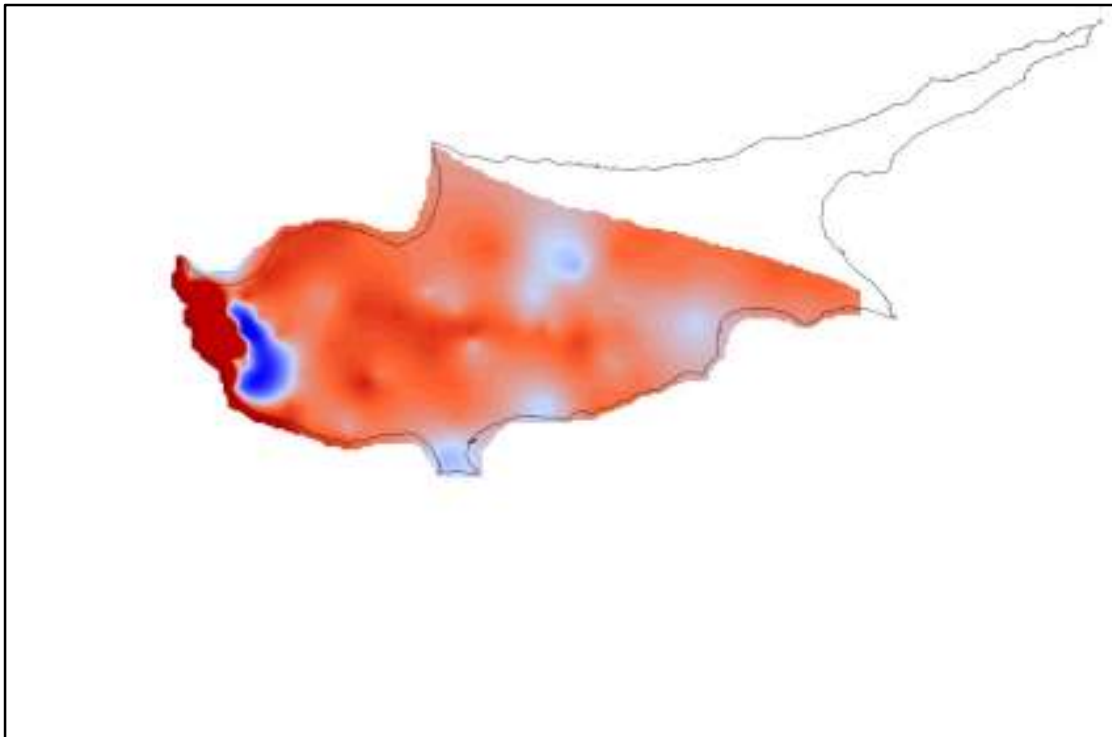
Εικόνα III.40. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Απρίλιο του 1990 (kriging)



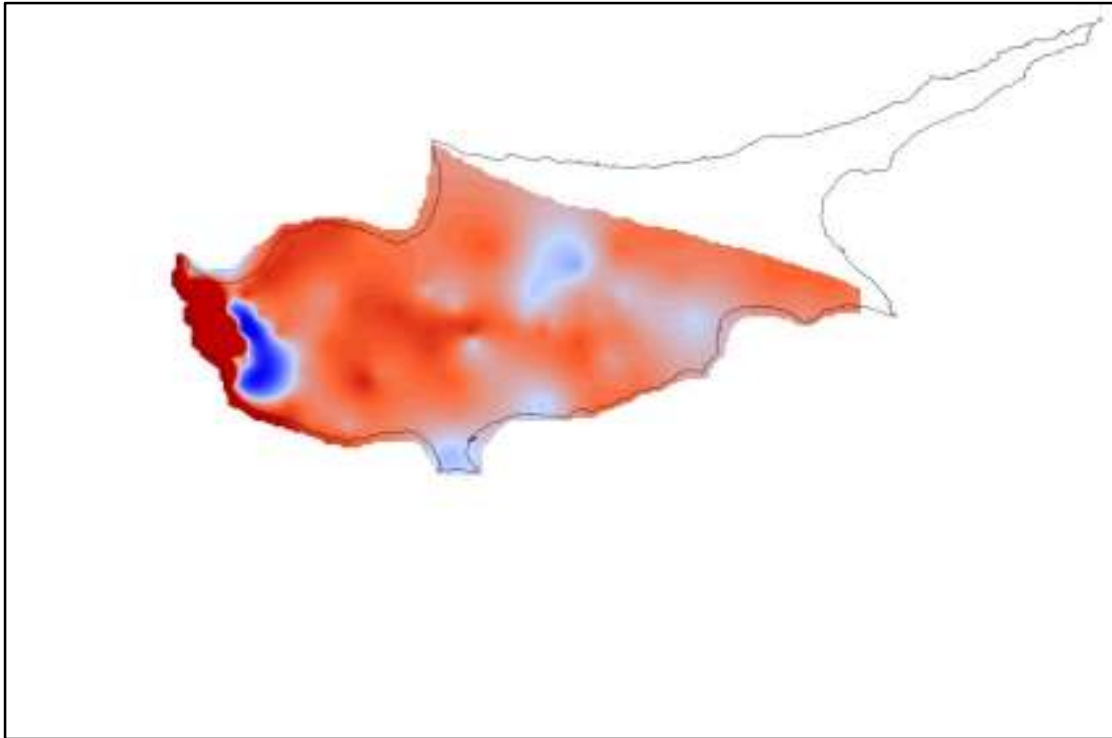
Εικόνα III.41. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Μάιο του 1990 (kriging)



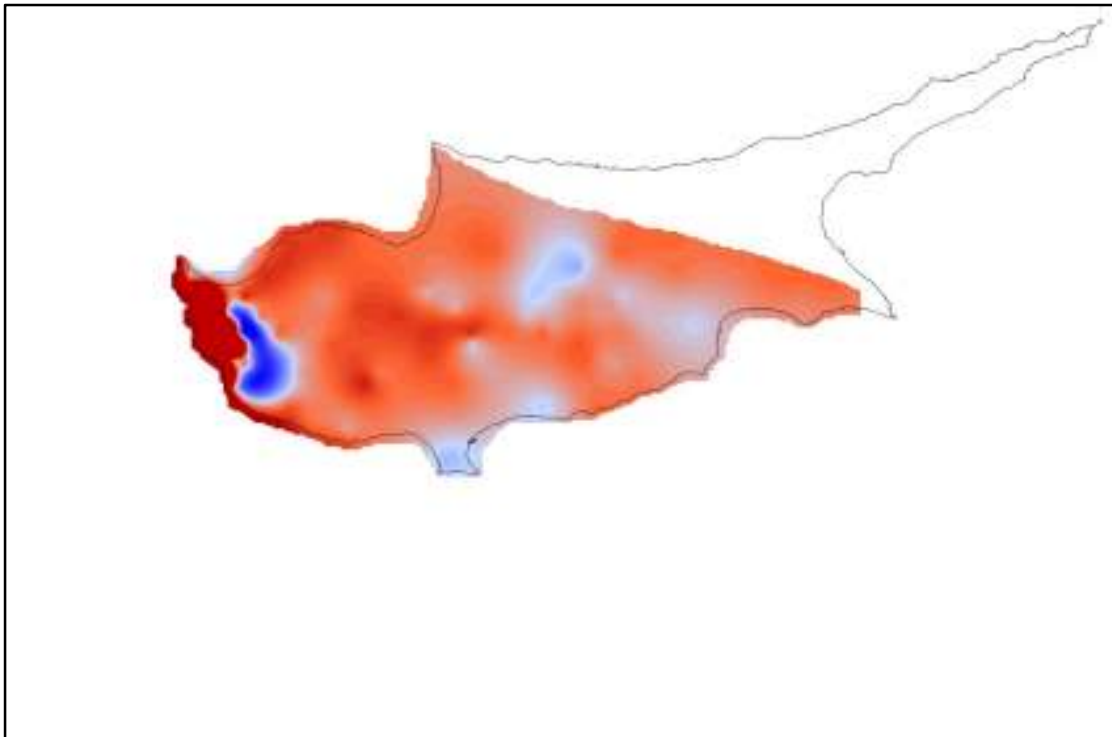
Εικόνα III.42. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιούνιο του 1990 (kriging)



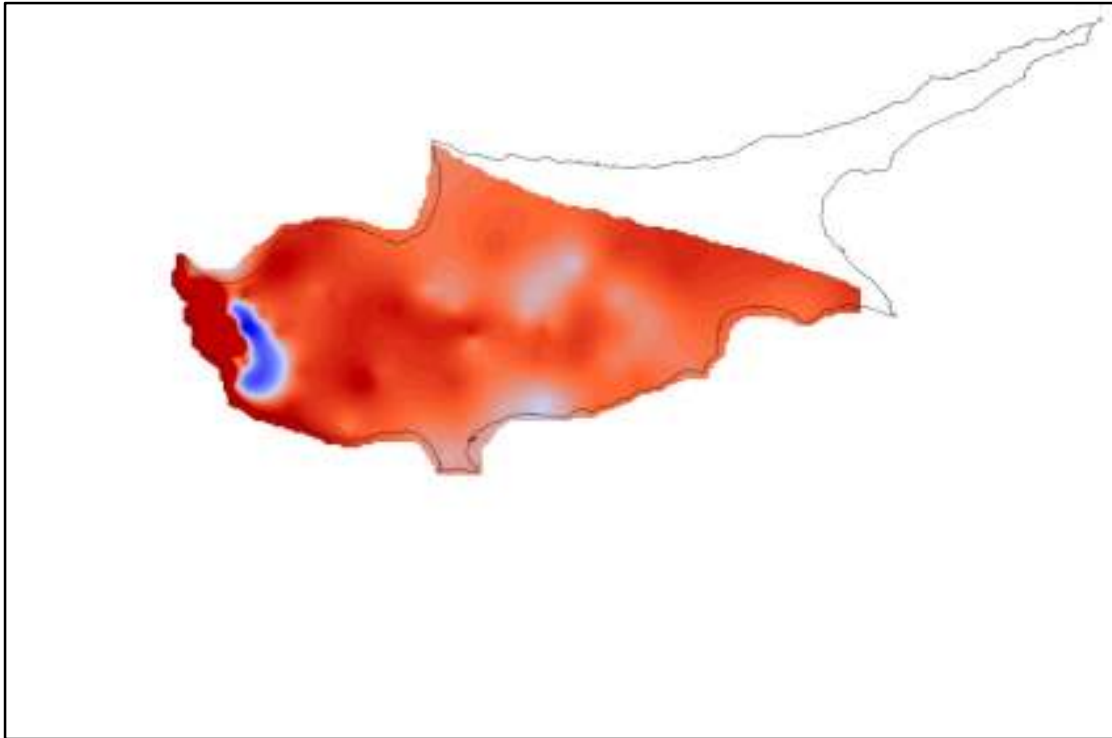
Εικόνα III.43. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιούλιο του 1990 (kriging)



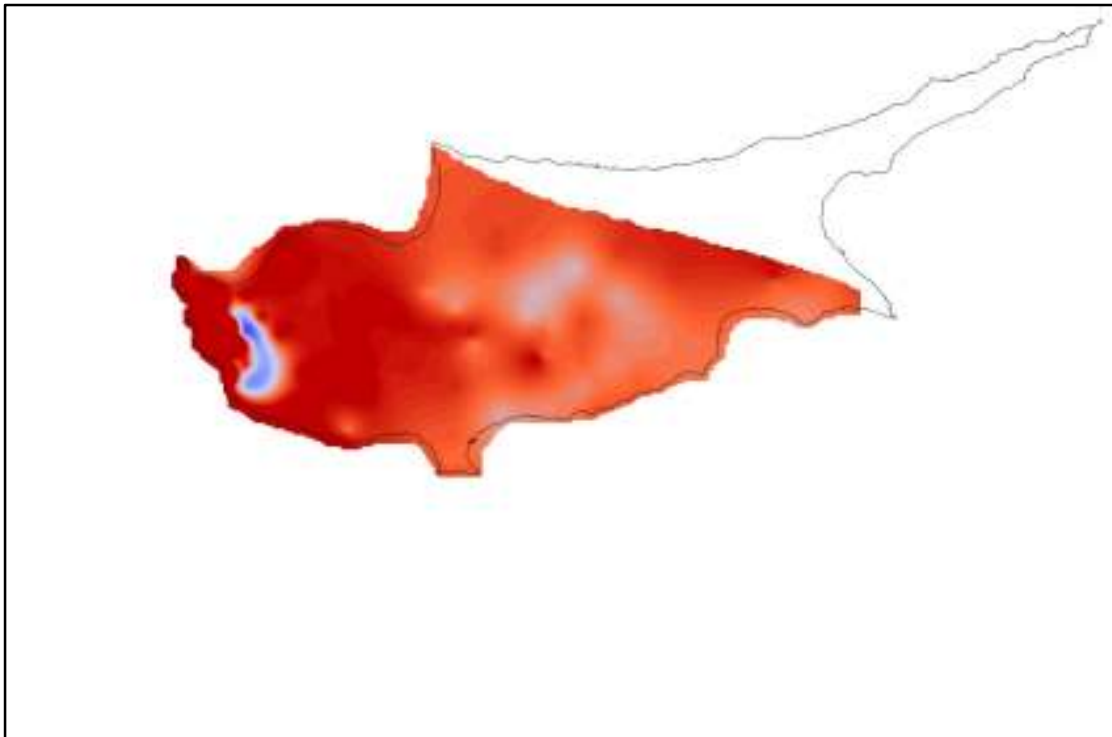
Εικόνα III.44. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Αύγουστο του 1990 (kriging)



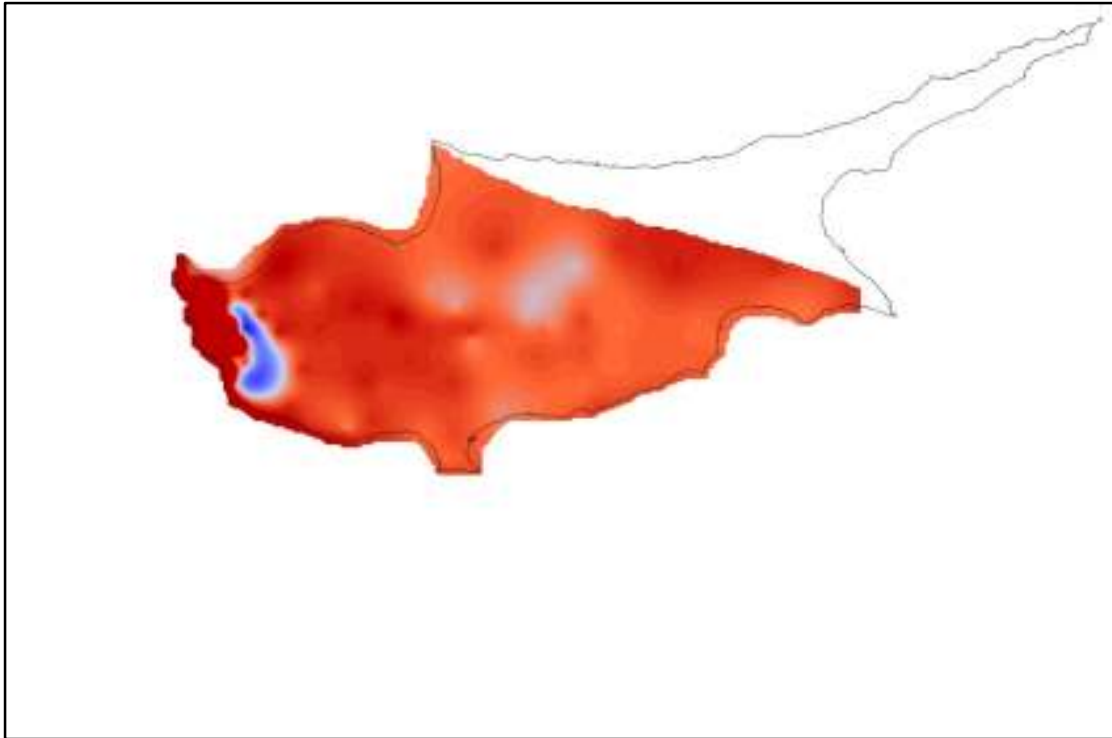
Εικόνα III.45. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Σεπτέμβριο του 1990 (kriging)



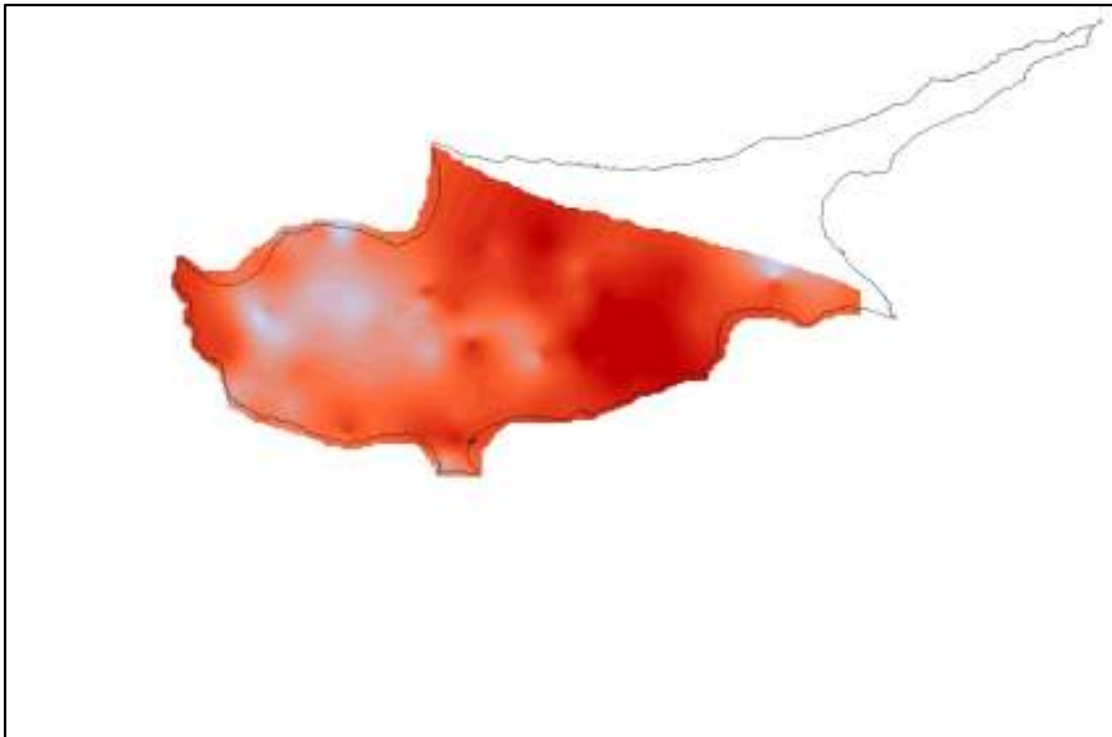
Εικόνα III.46. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Οκτώβριο του 1990 (kriging)



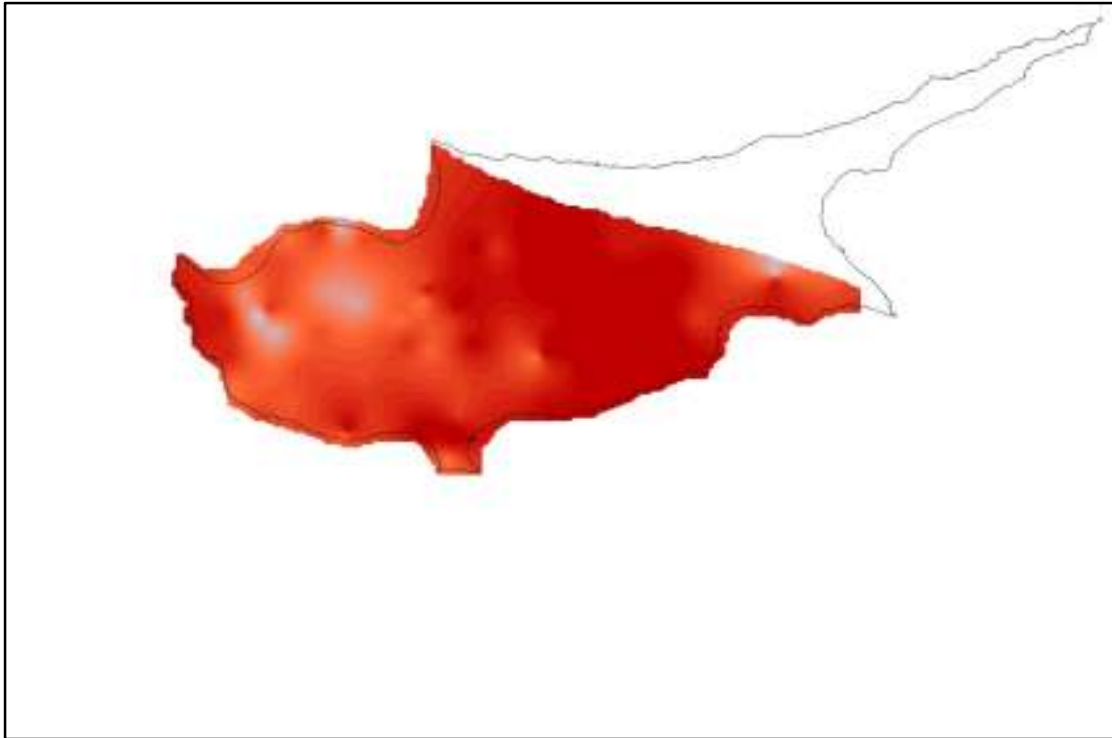
Εικόνα III.47. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Νοέμβριο του 1990 (kriging)



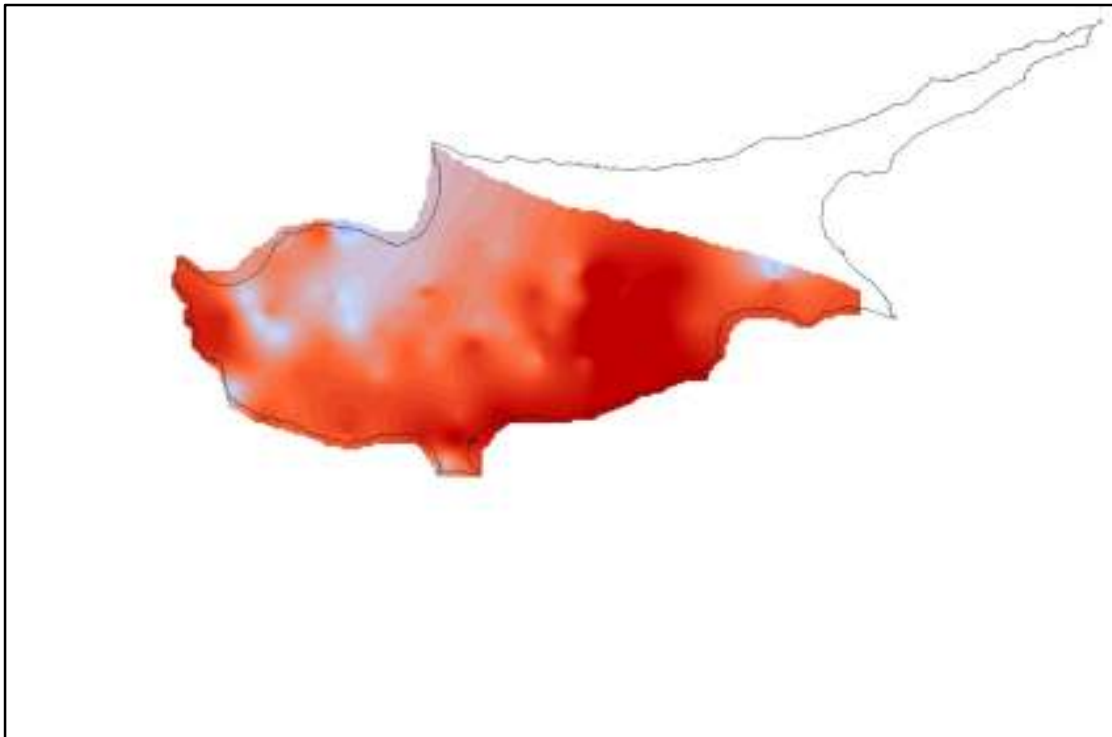
Εικόνα III.48. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Δεκέμβριο του 1990 (kriging)



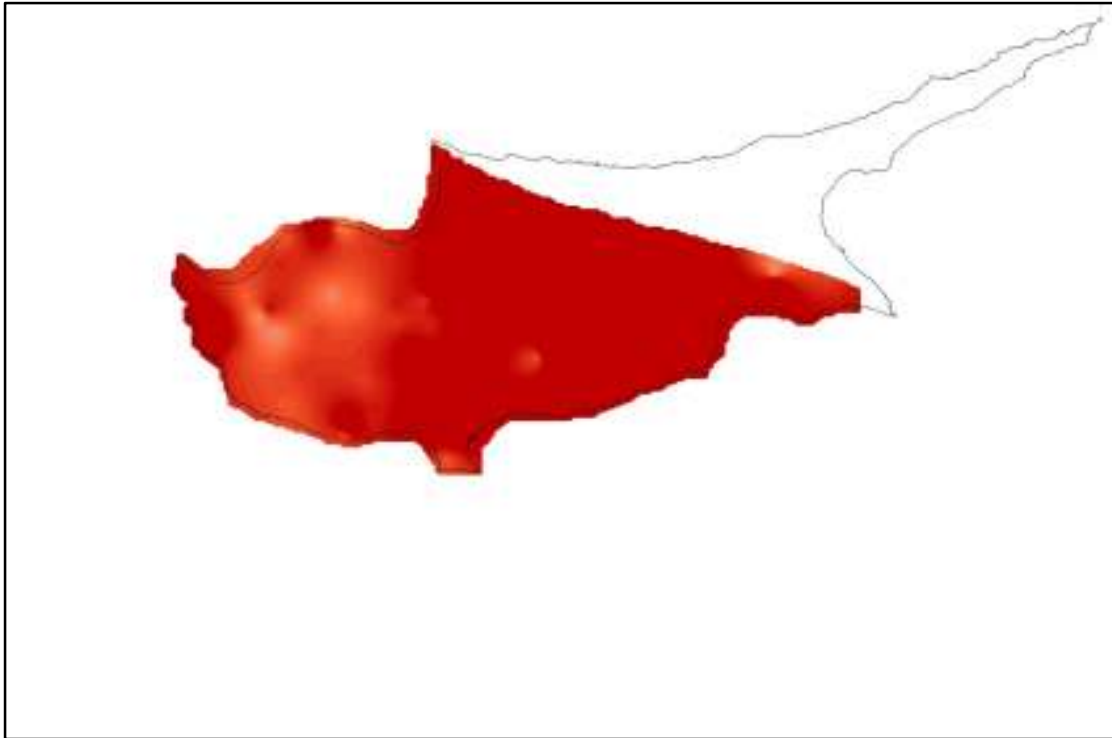
Εικόνα III.49. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιανουάριο του 2007 (kriging)



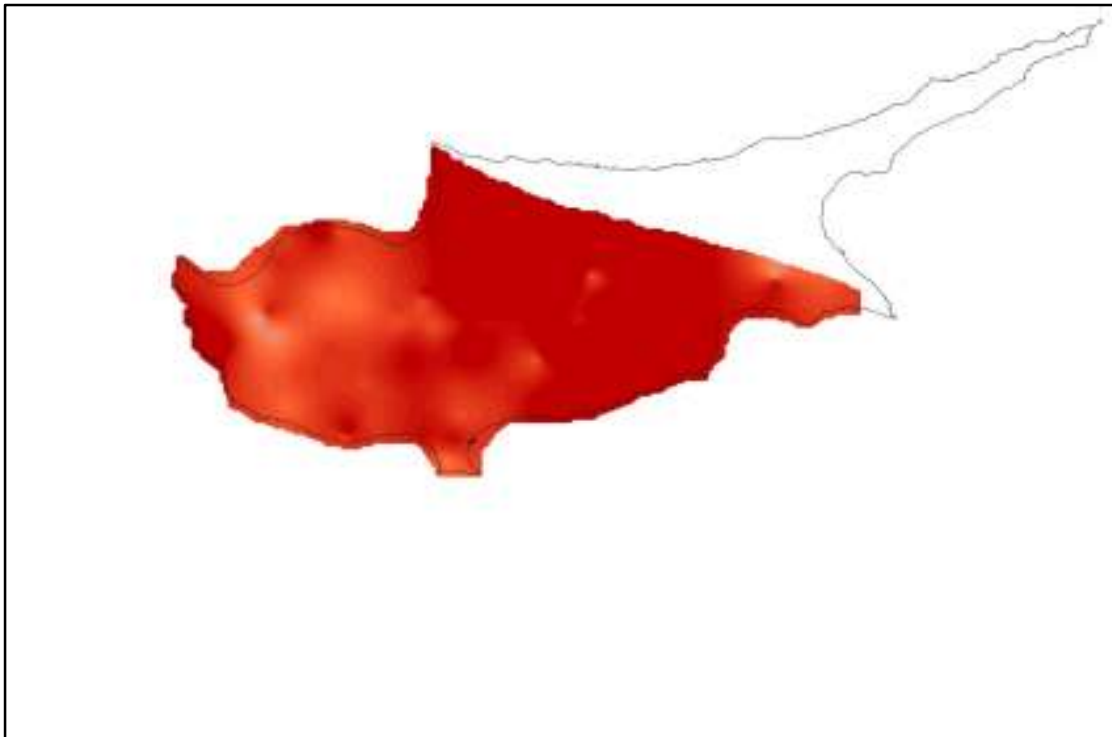
Εικόνα III.50. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Φεβρουάριο του 2007 (kriging)



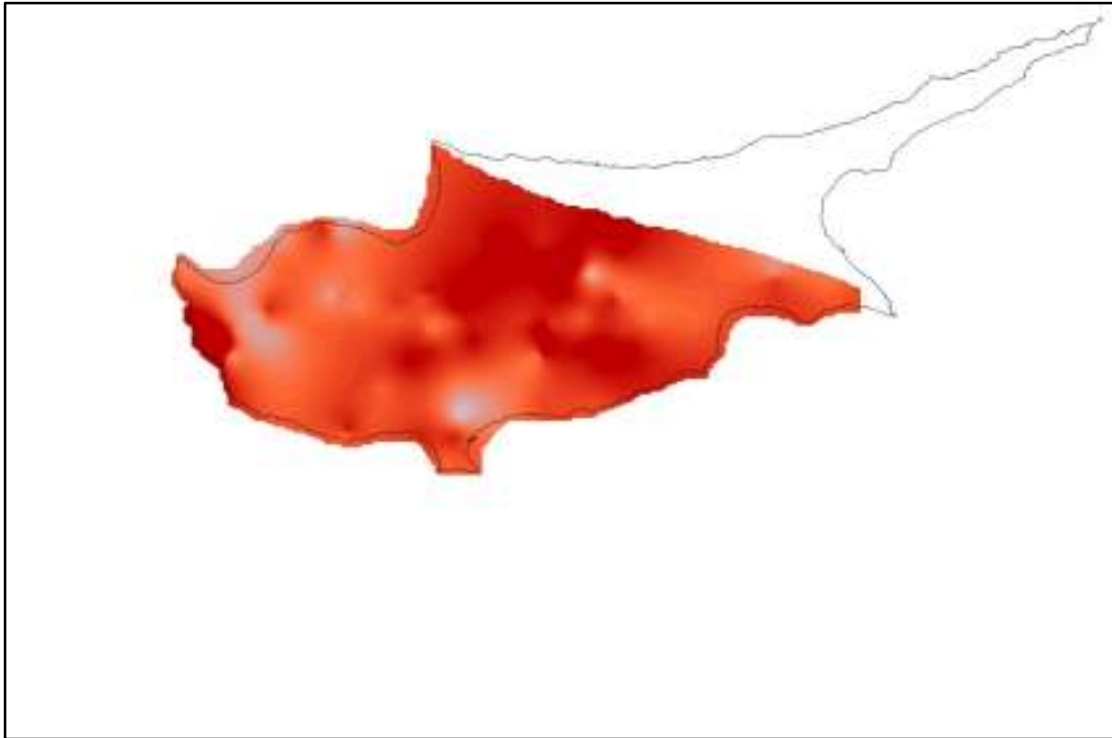
Εικόνα III.51. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Μάρτιο του 2007 (kriging)



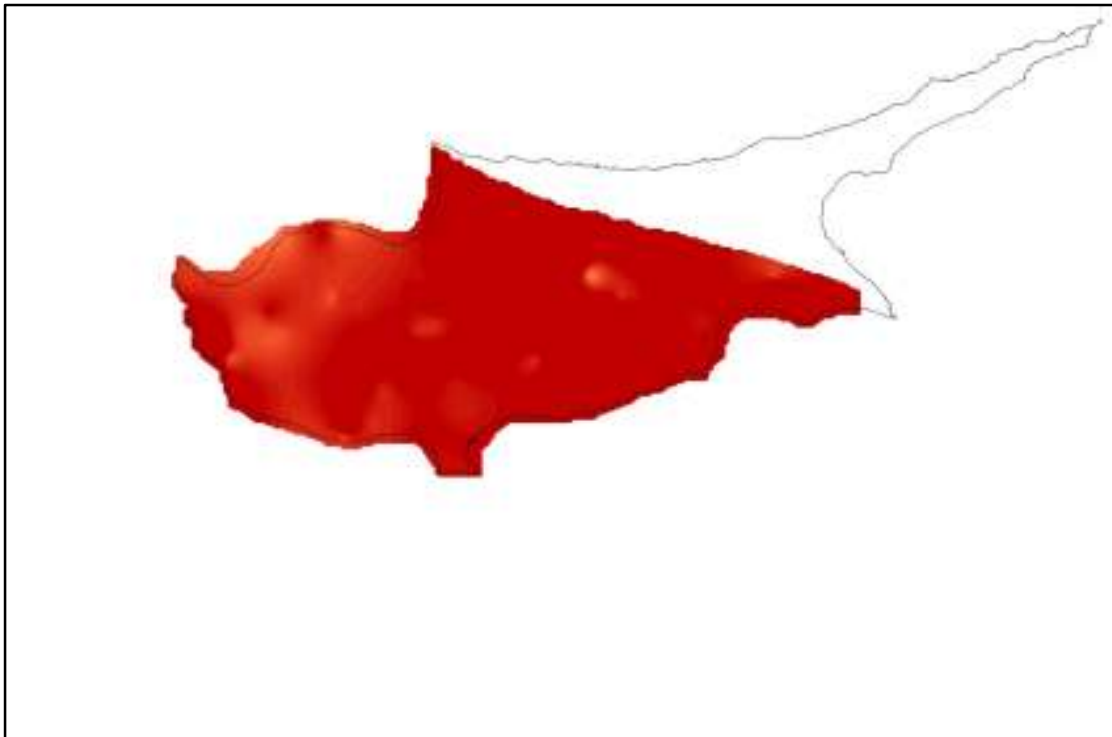
Εικόνα III.52. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Απρίλιο του 2007 (kriging)



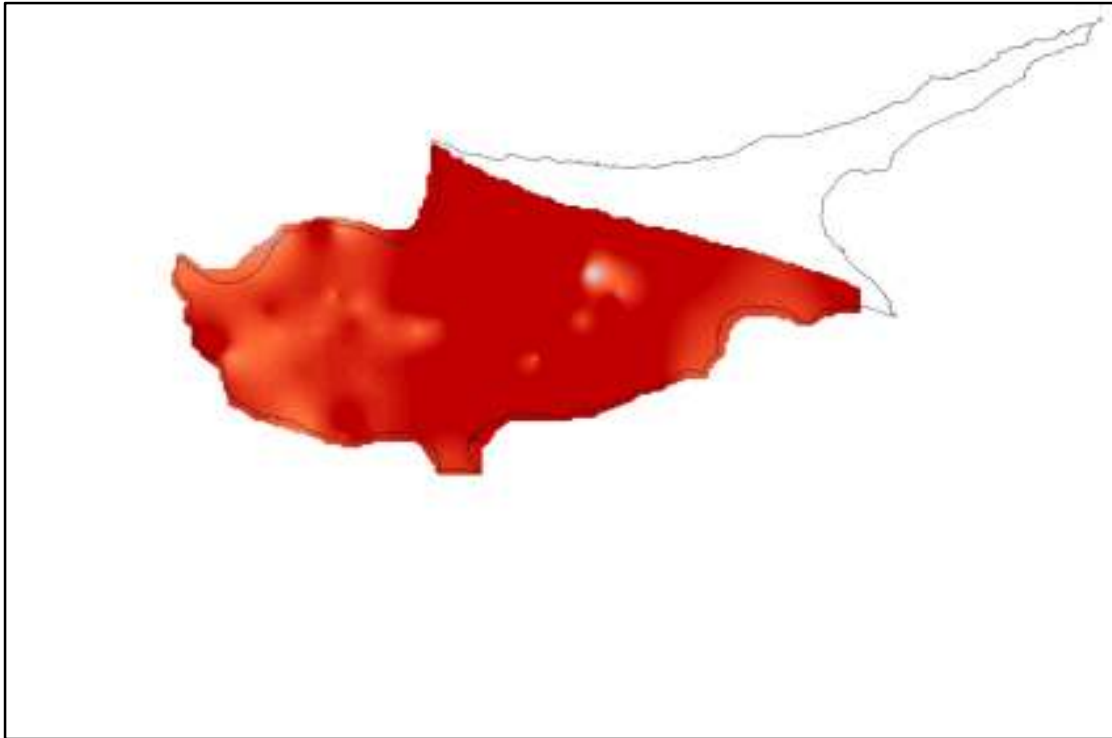
Εικόνα III.53. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Μάιο του 2007 (kriging)



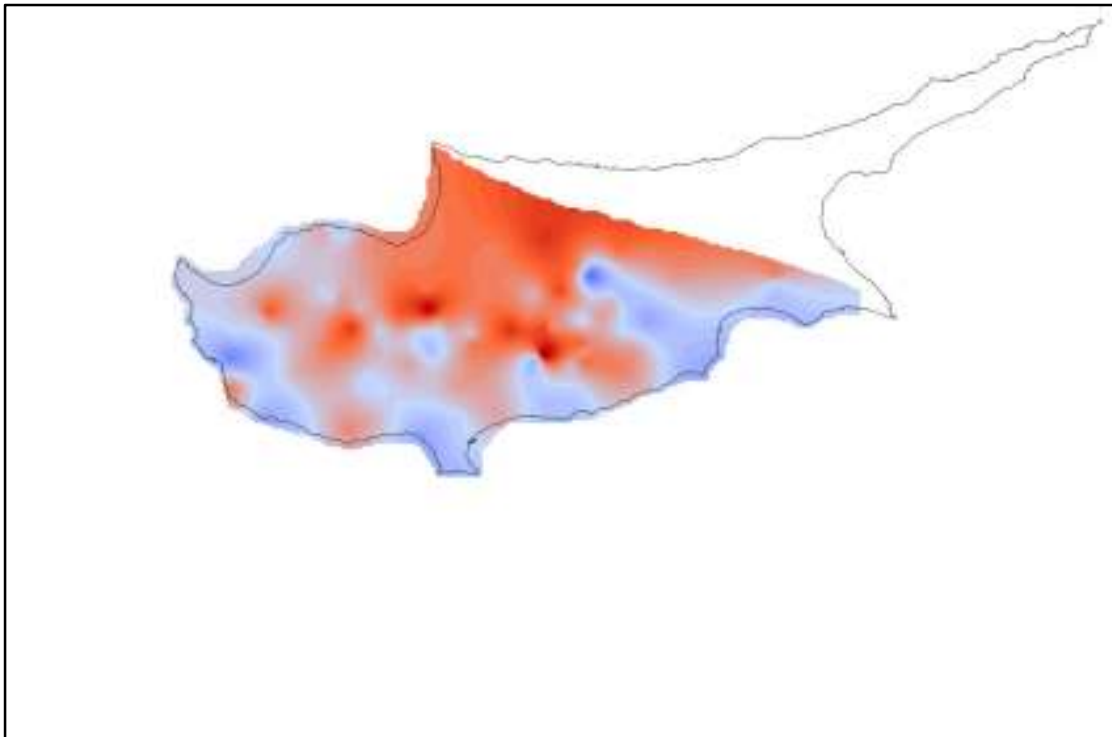
Εικόνα III.54. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιούνιο του 2007 (kriging)



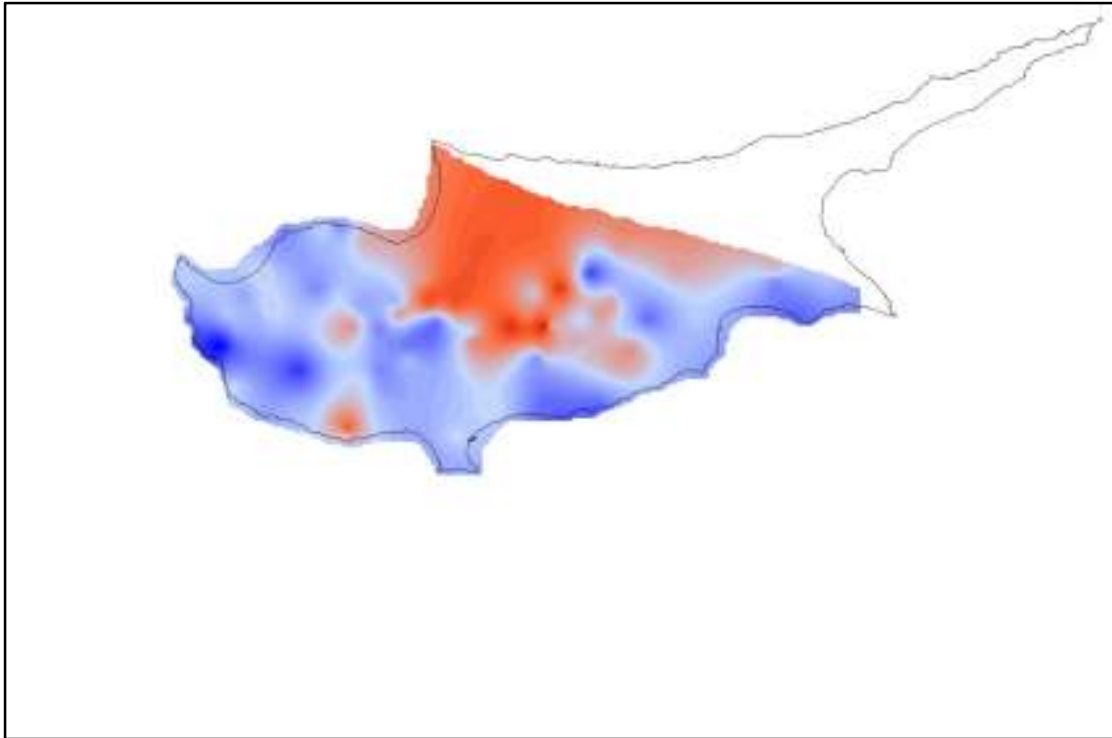
Εικόνα III.55. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιούλιο του 2007 (kriging)



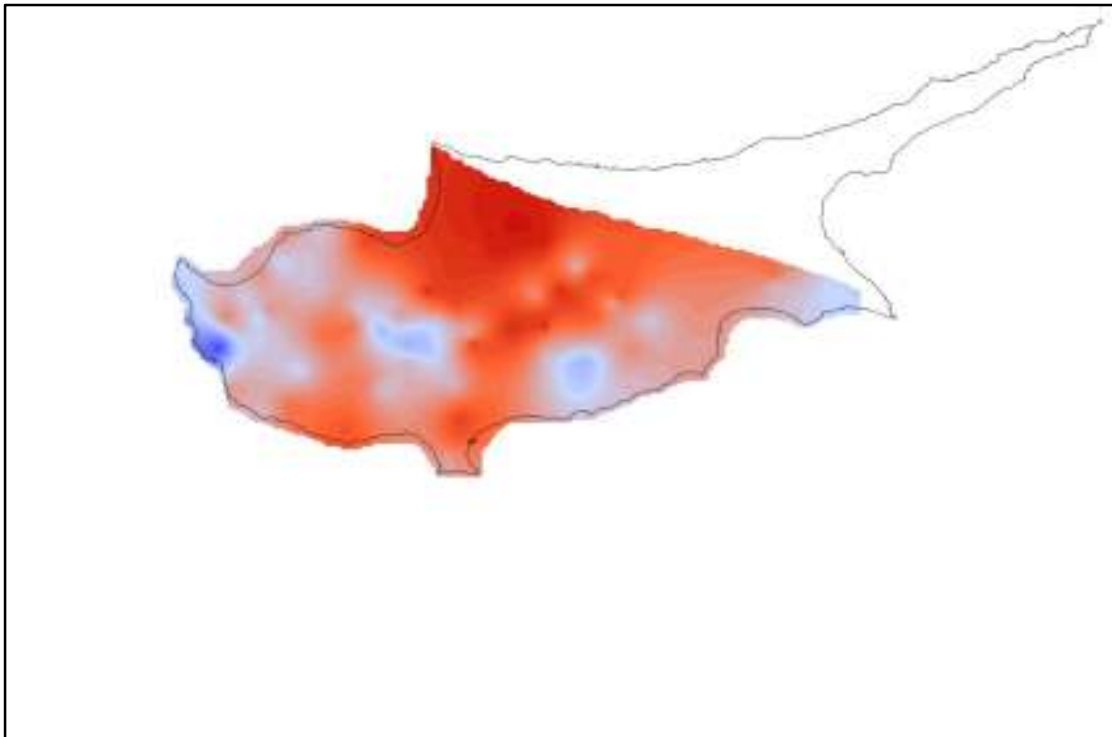
Εικόνα III.56. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Αύγουστο του 2007 (kriging)



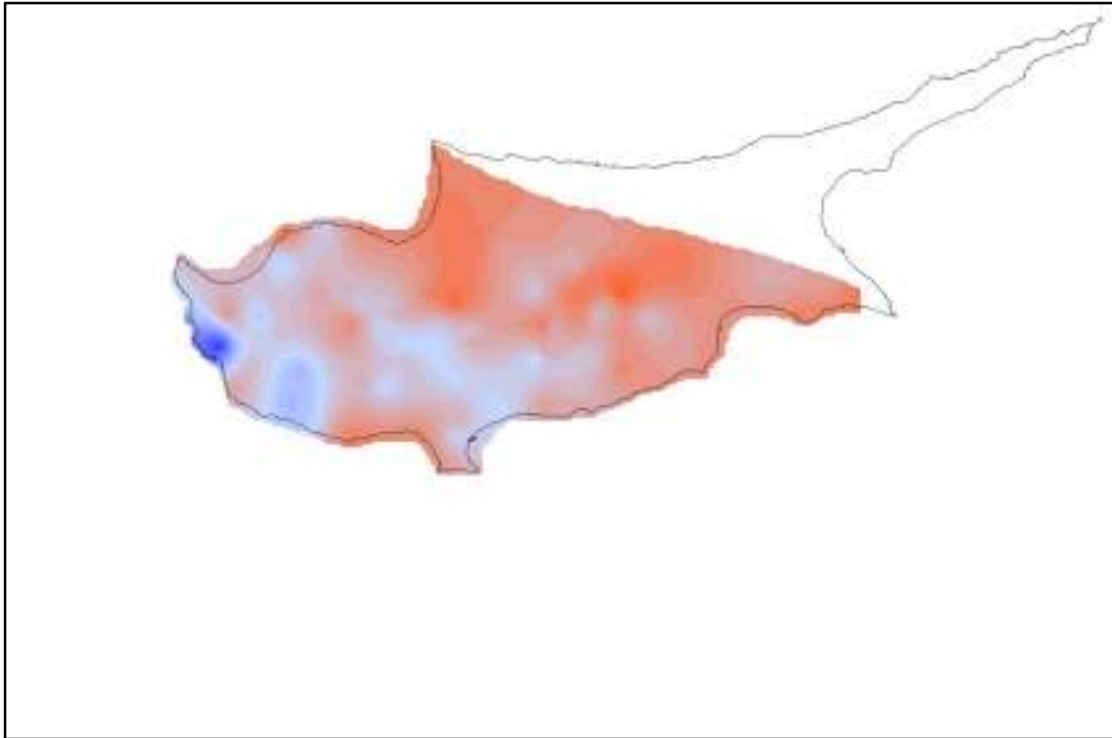
Εικόνα III.57. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Σεπτέμβριο του 2007 (kriging)



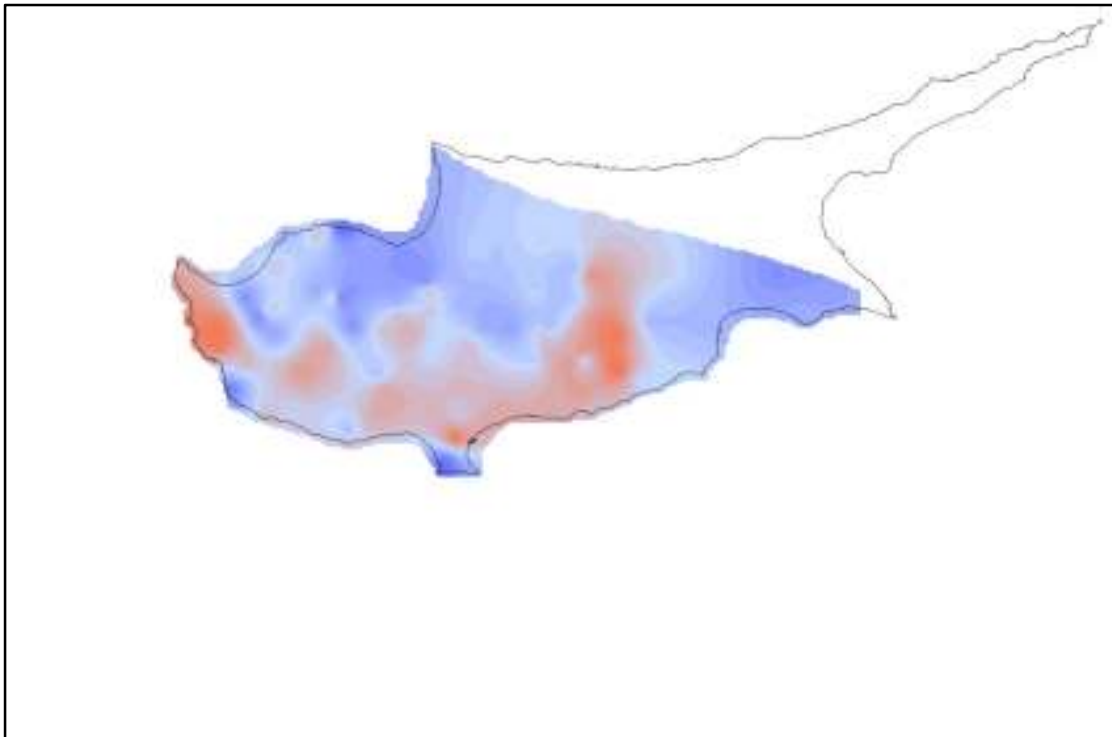
Εικόνα III.58. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Οκτώβριο του 2007 (kriging)



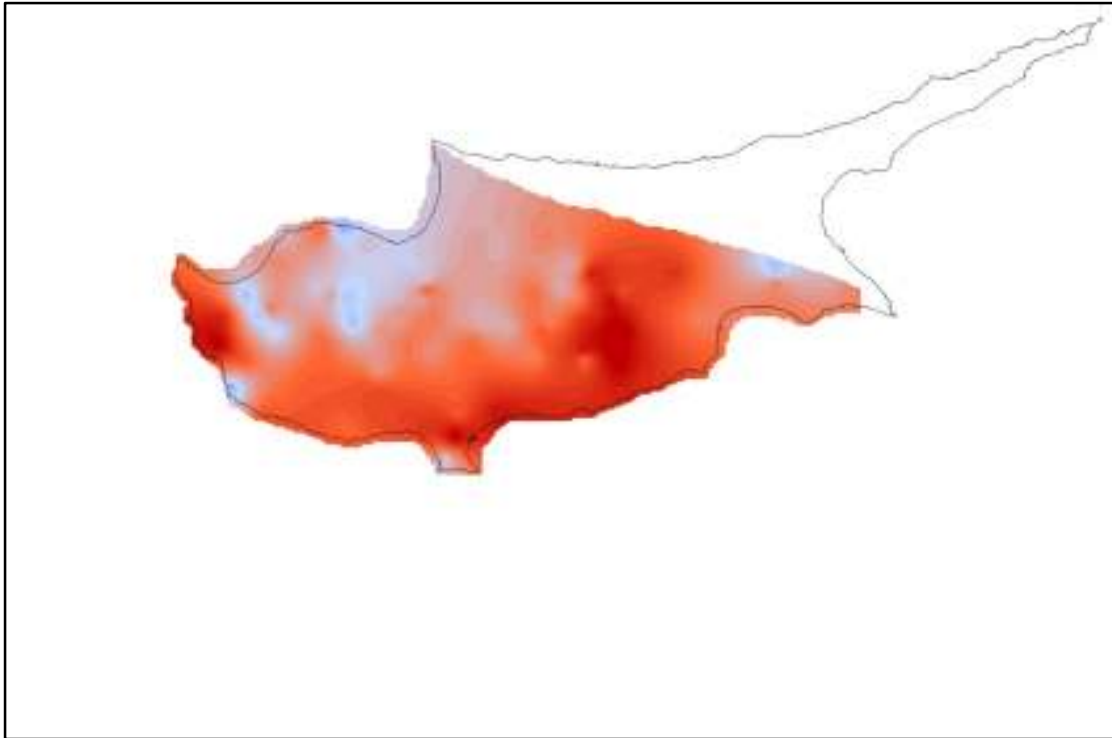
Εικόνα III.59. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Νοέμβριο του 2007 (kriging)



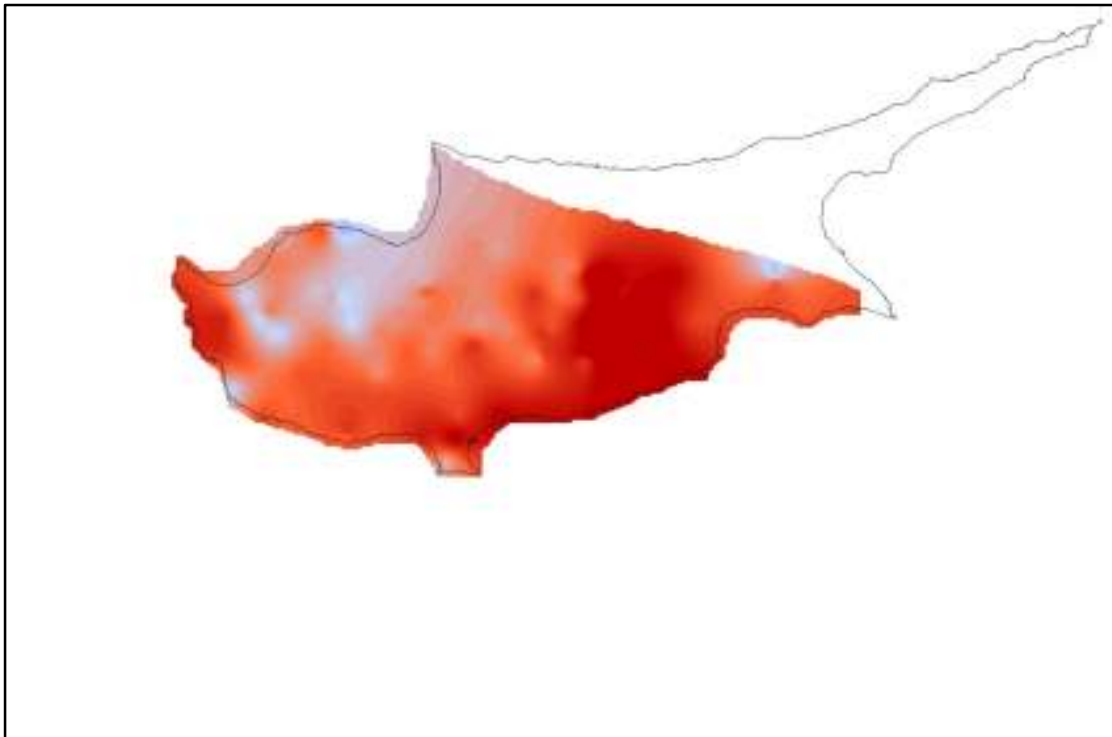
Εικόνα III.60. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Δεκέμβριο του 2007 (kriging)



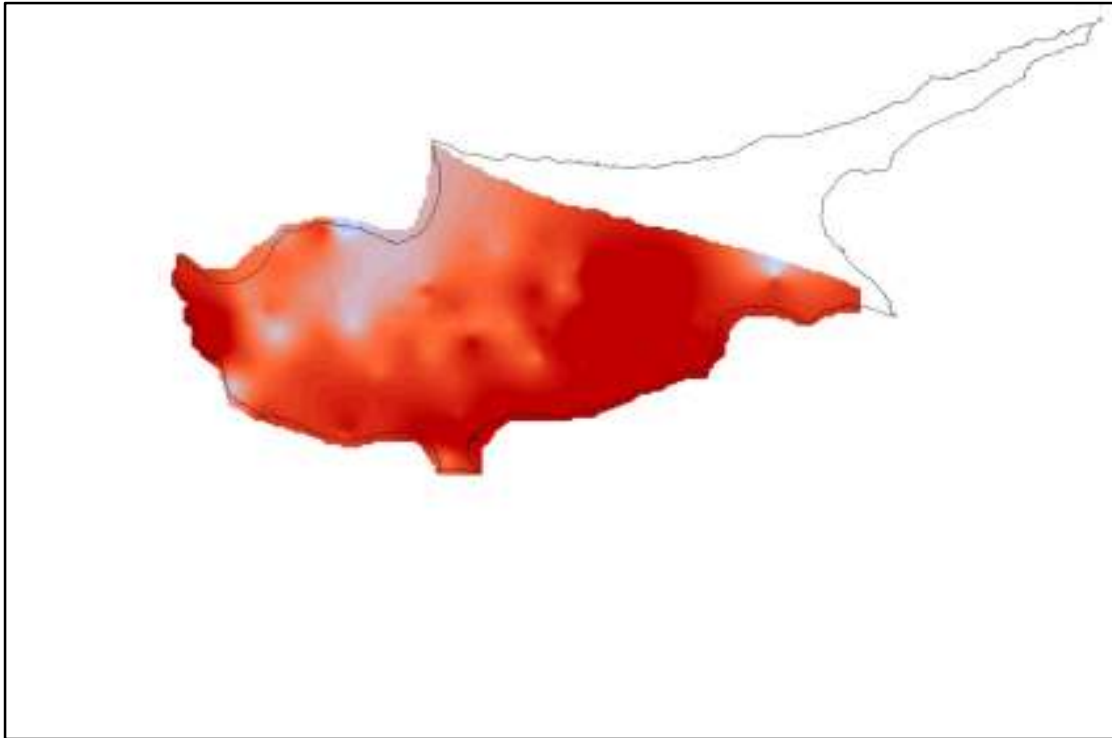
Εικόνα III.61. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιανουάριο του 2007 (kriging)



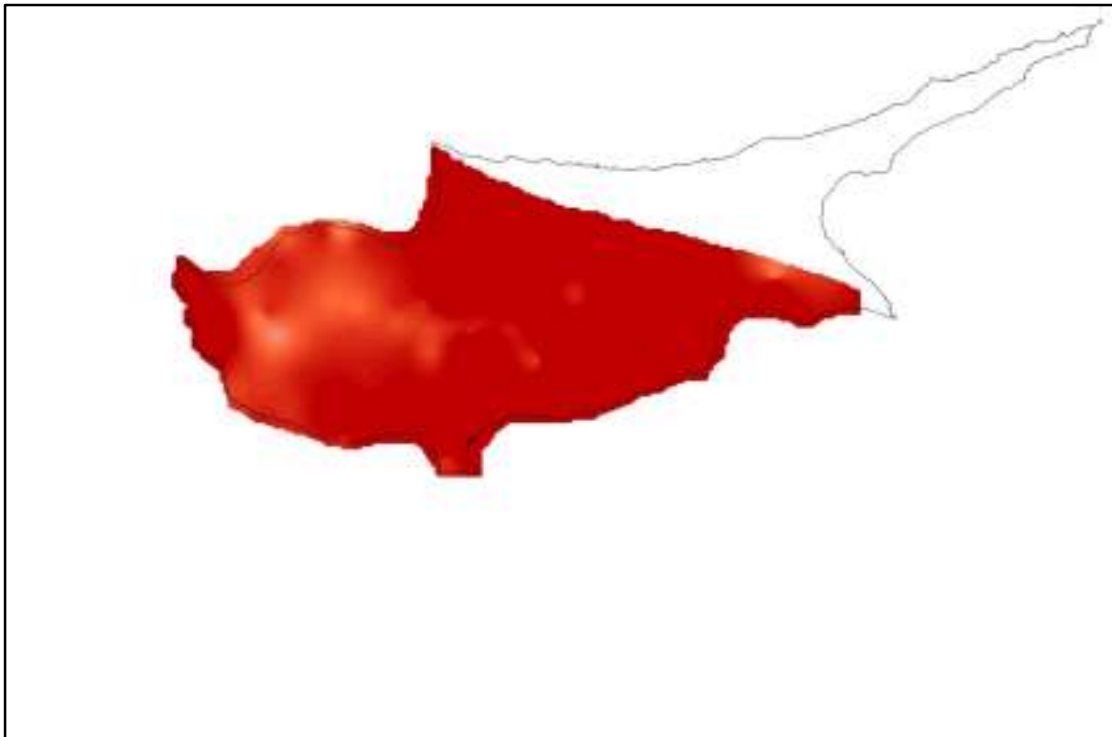
Εικόνα III.62. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Φεβρουάριο του 2007 (kriging)



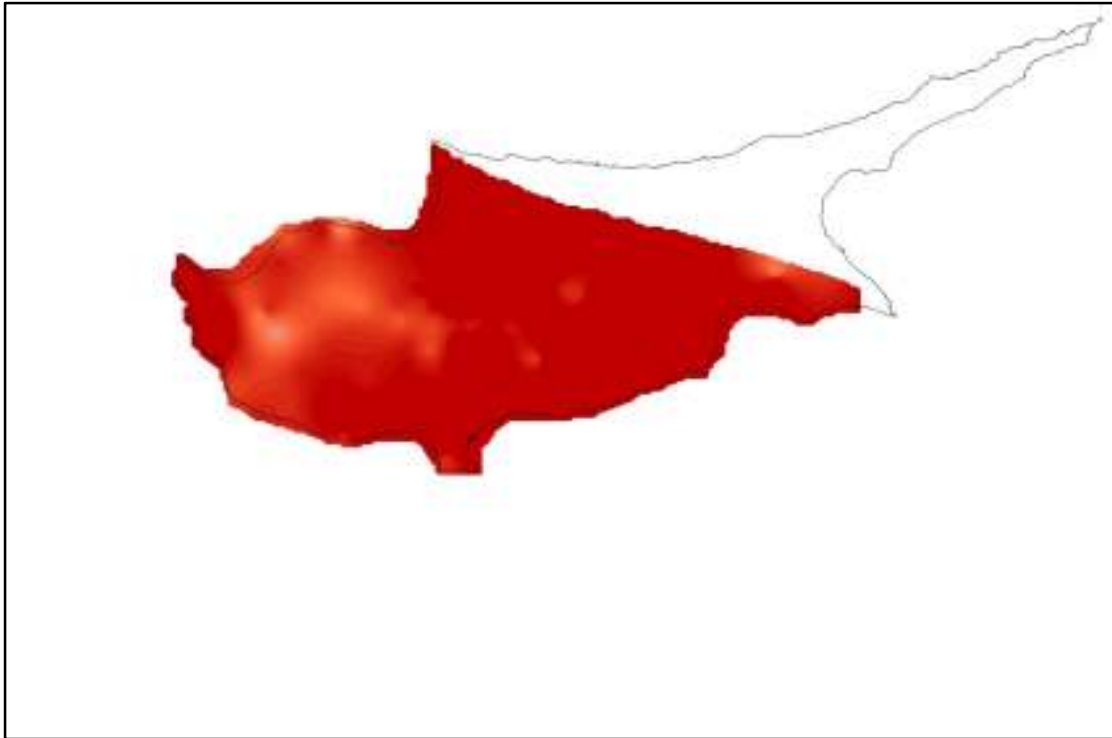
Εικόνα III.63. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Μάρτιο του 2007 (kriging)



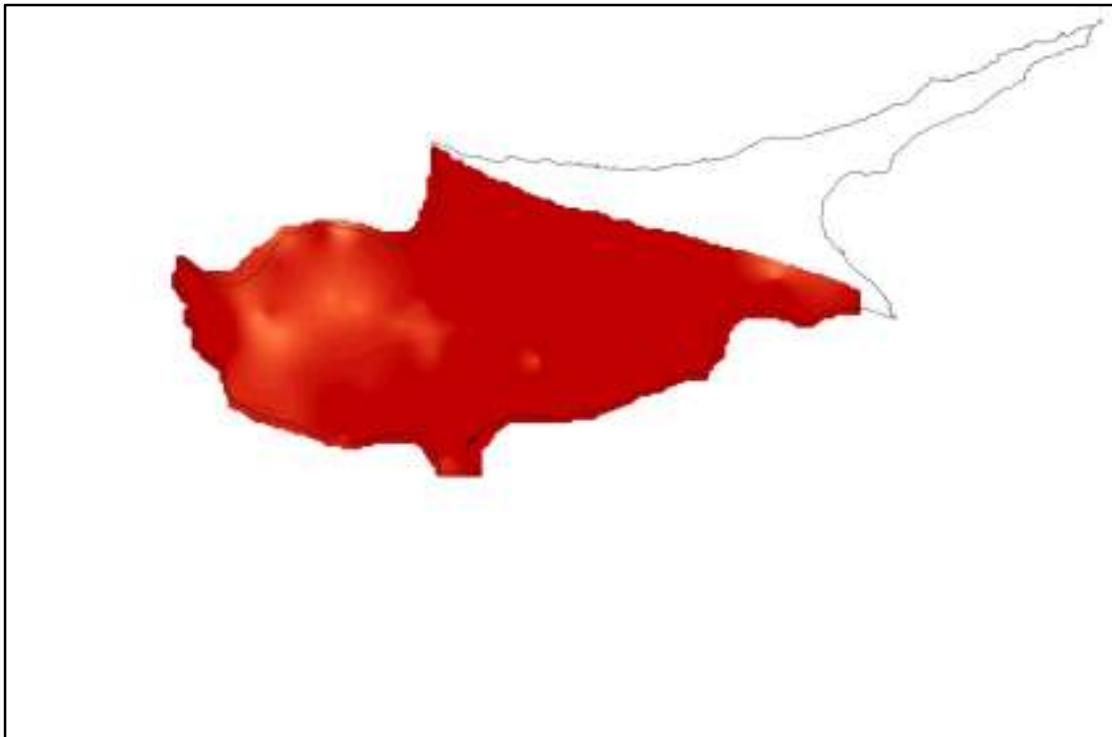
Εικόνα III.64. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Απρίλιο του 2007 (kriging)



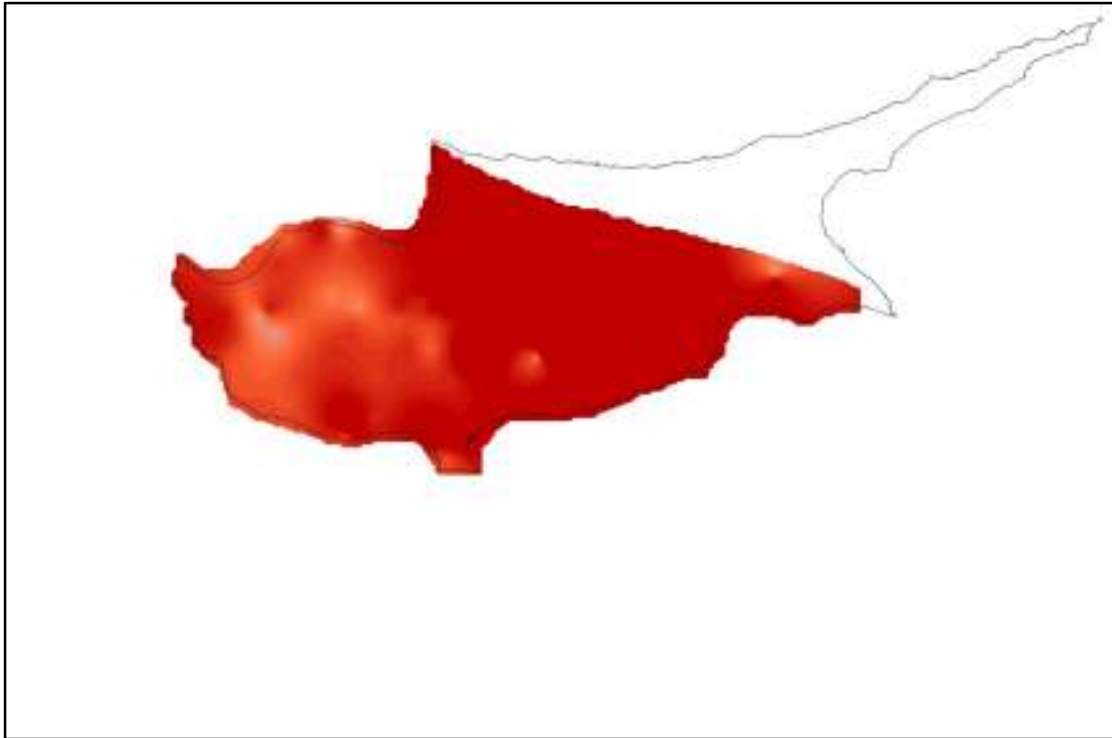
Εικόνα III.65. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Μάιο του 2007 (kriging)



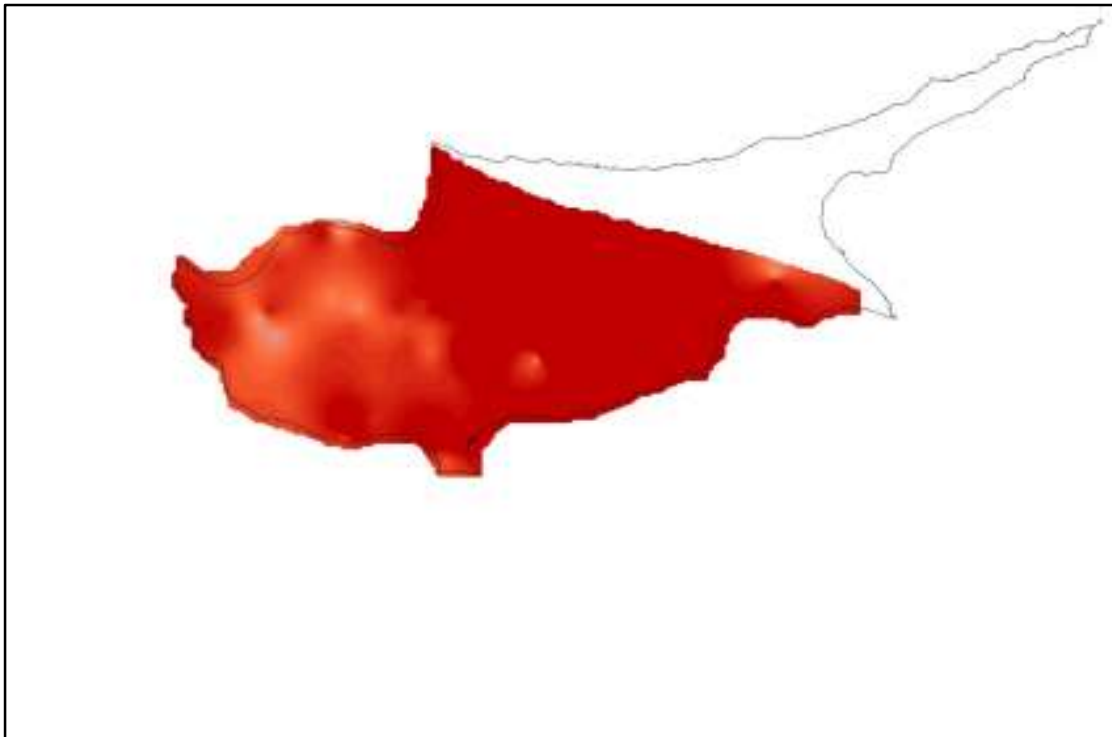
Εικόνα III.66. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιούνιο του 2007 (kriging)



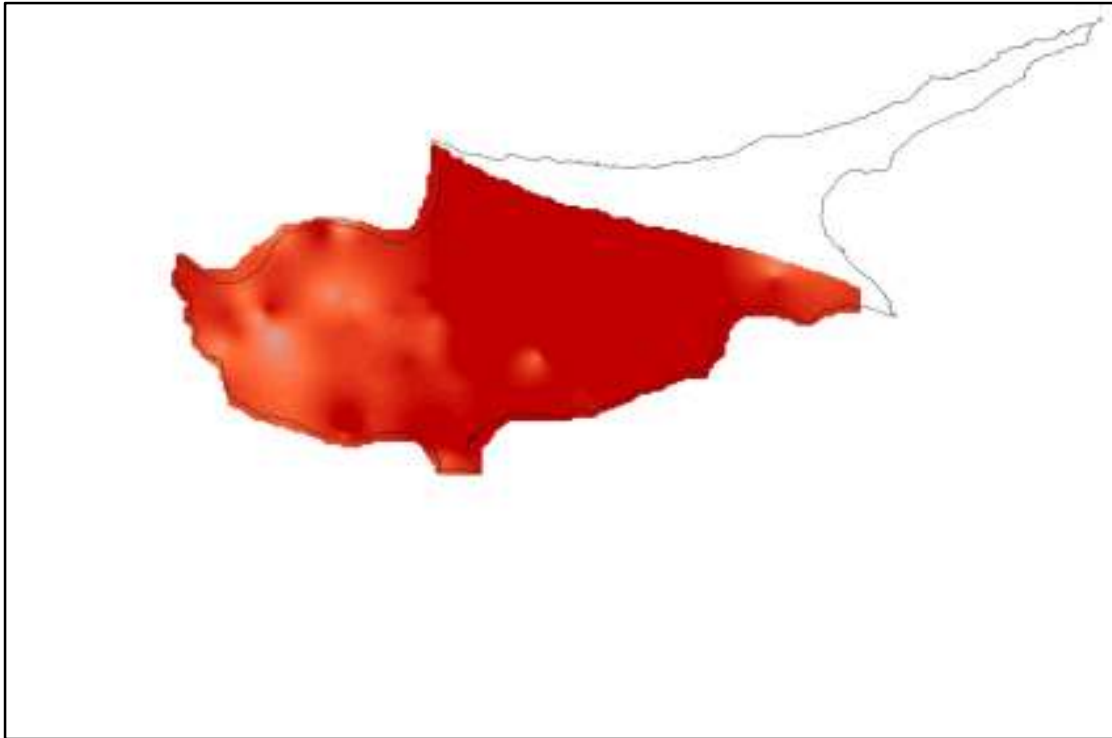
Εικόνα III.67. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιούλιο του 2007 (kriging)



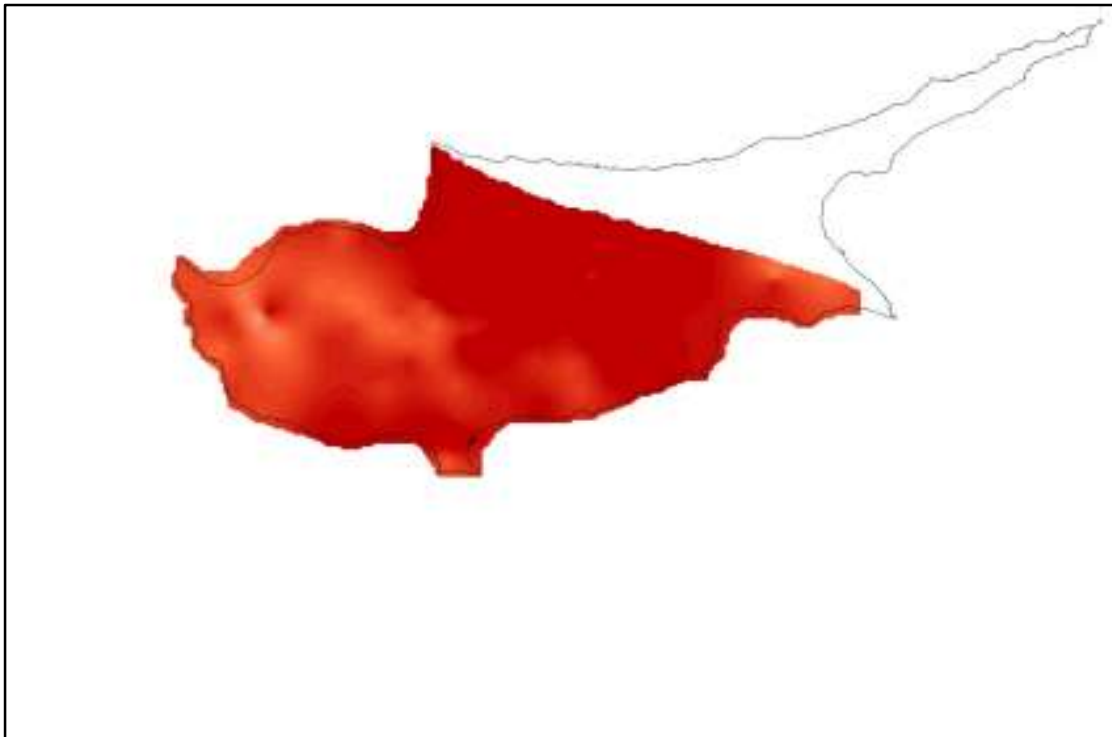
Εικόνα III.68. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Αύγουστο του 2007 (kriging)



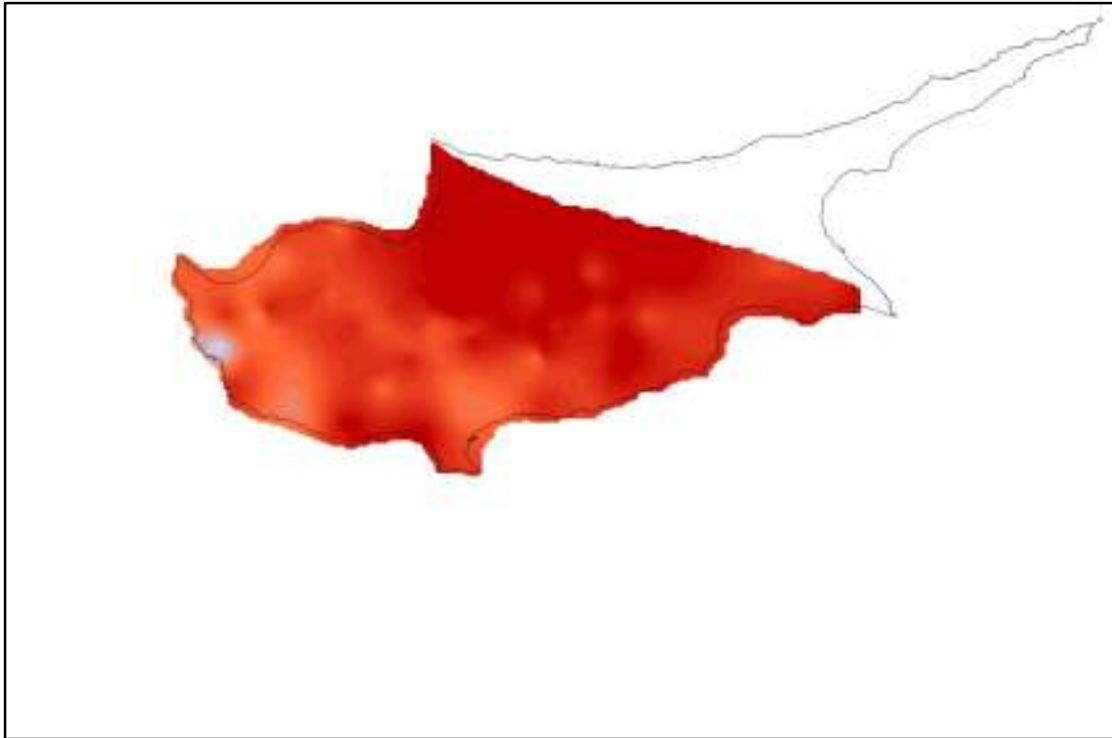
Εικόνα III.69. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Σεπτέμβριο του 2007 (kriging)



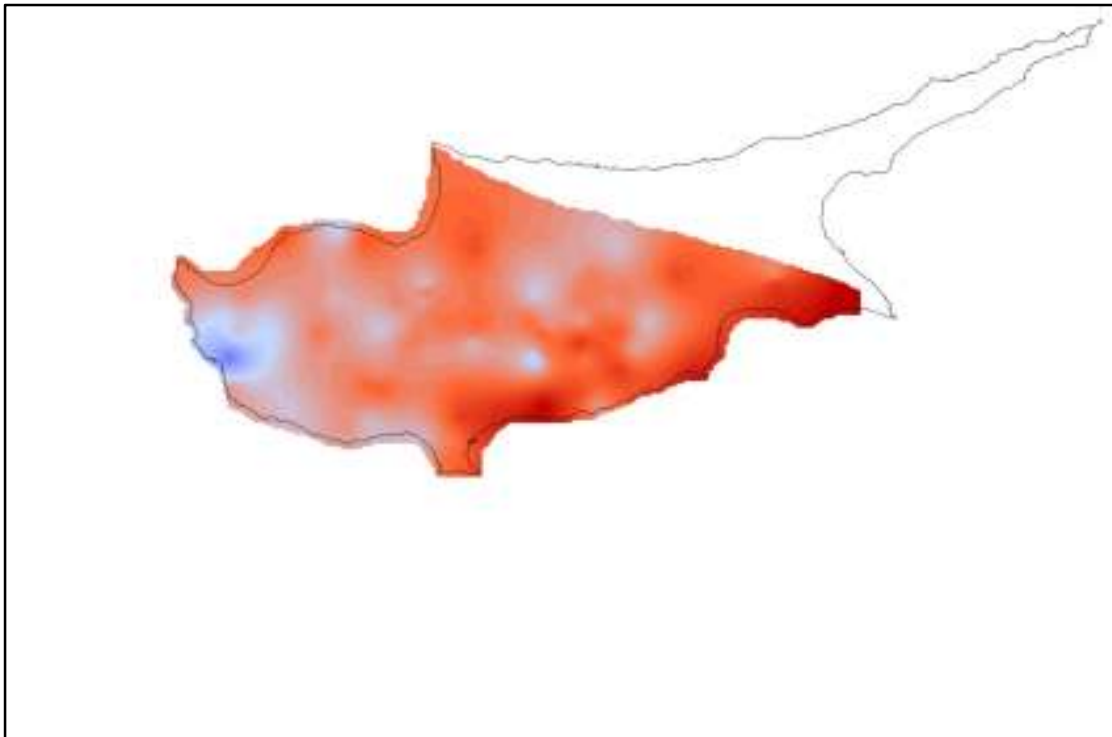
Εικόνα III.70. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Οκτώβριο του 2007 (kriging)



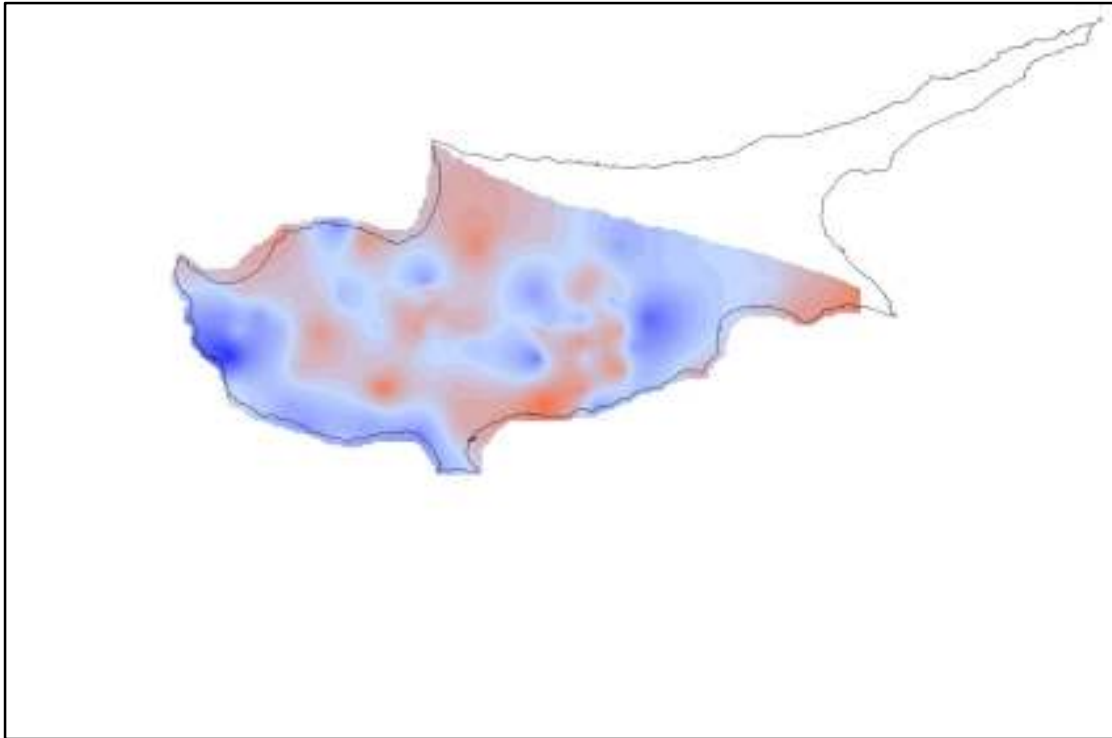
Εικόνα III.71. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Νοέμβριο του 2007 (kriging)



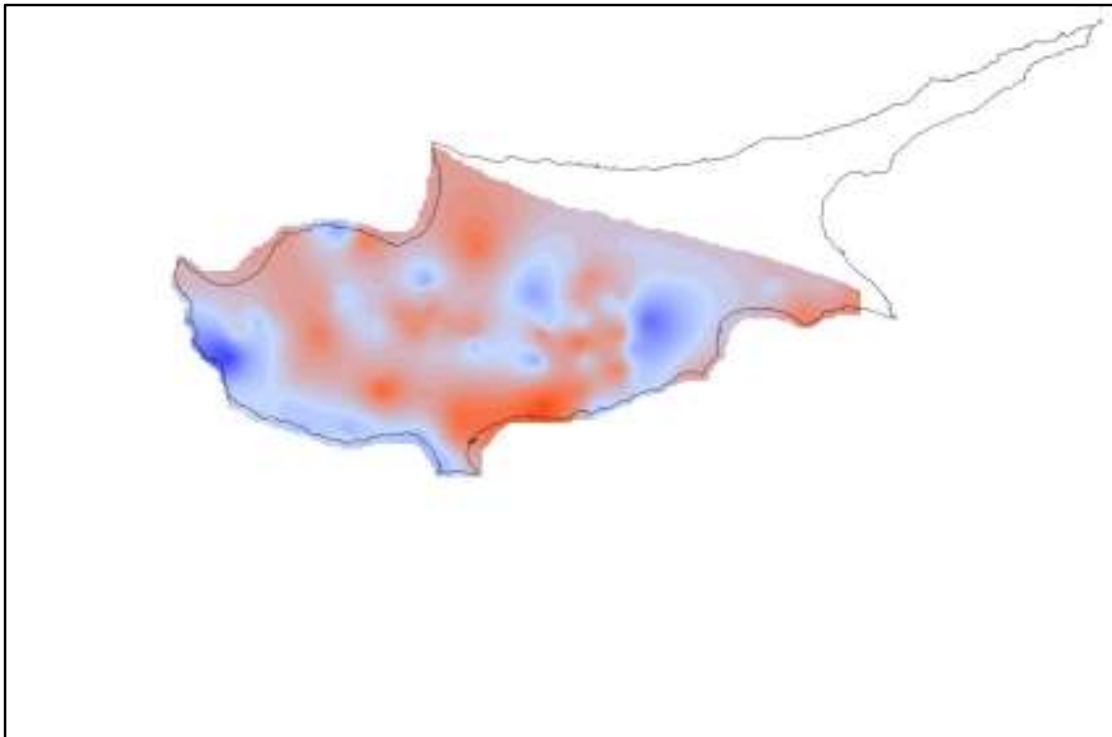
Εικόνα III.72. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Δεκέμβριο του 2007 (kriging)



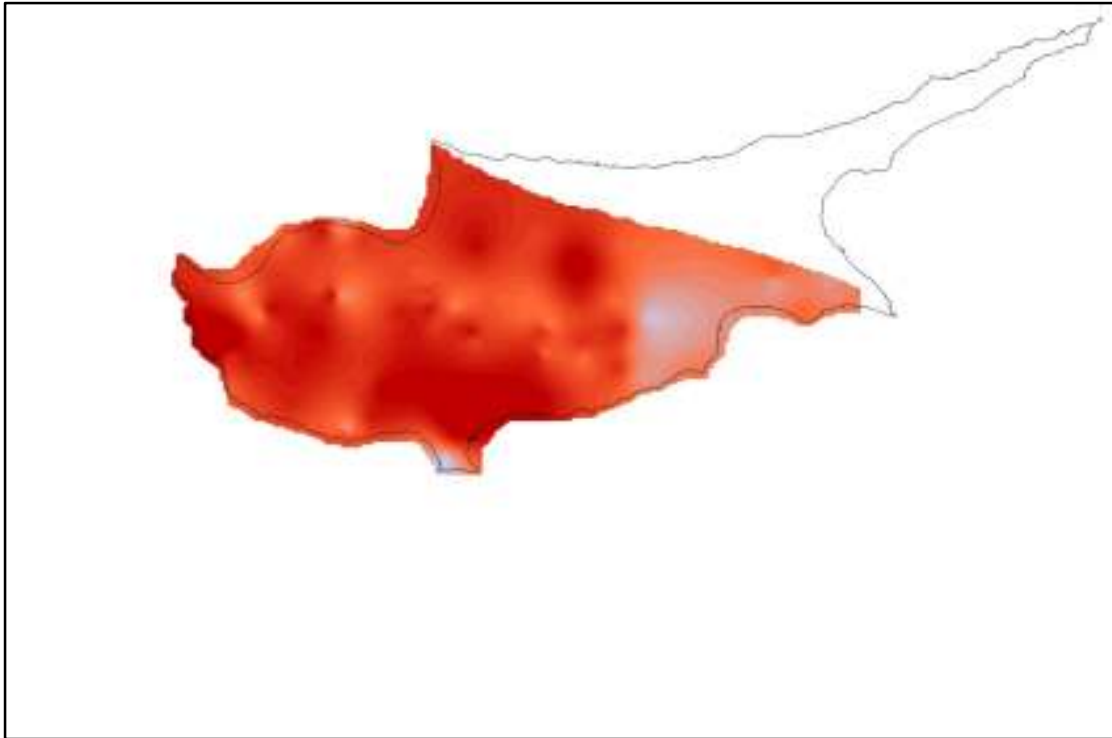
Εικόνα III.73. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιανουάριο του 2008 (kriging)



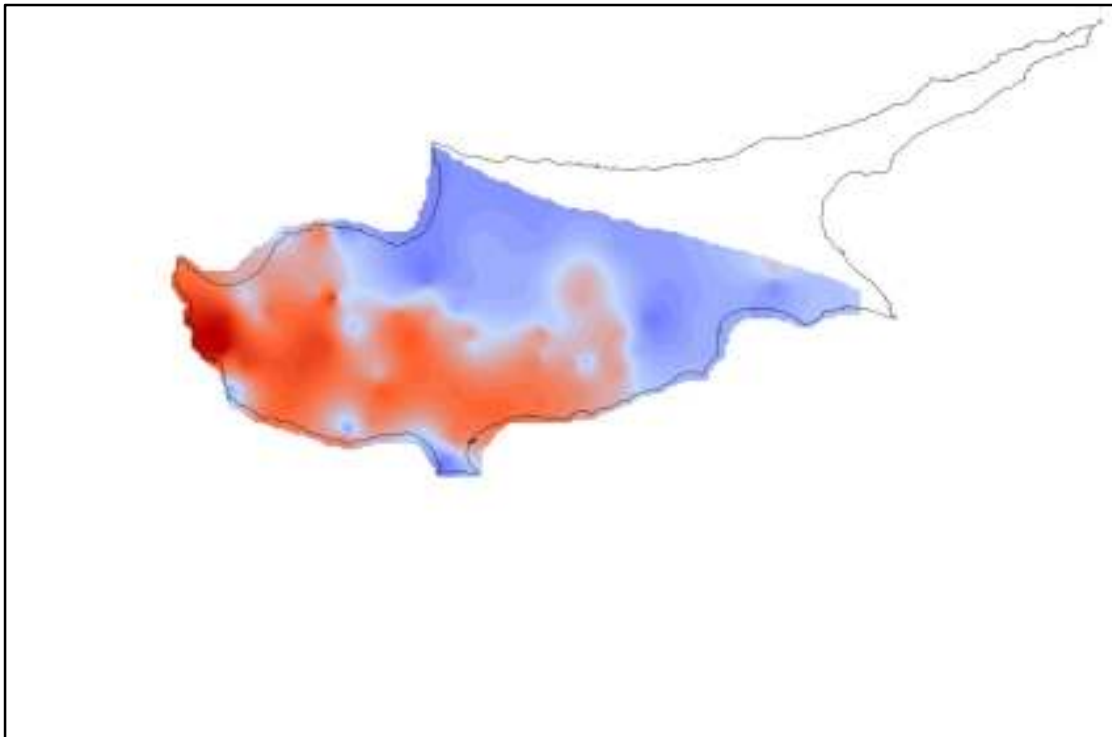
Εικόνα III.74. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Φεβρουάριο του 2008 (kriging)



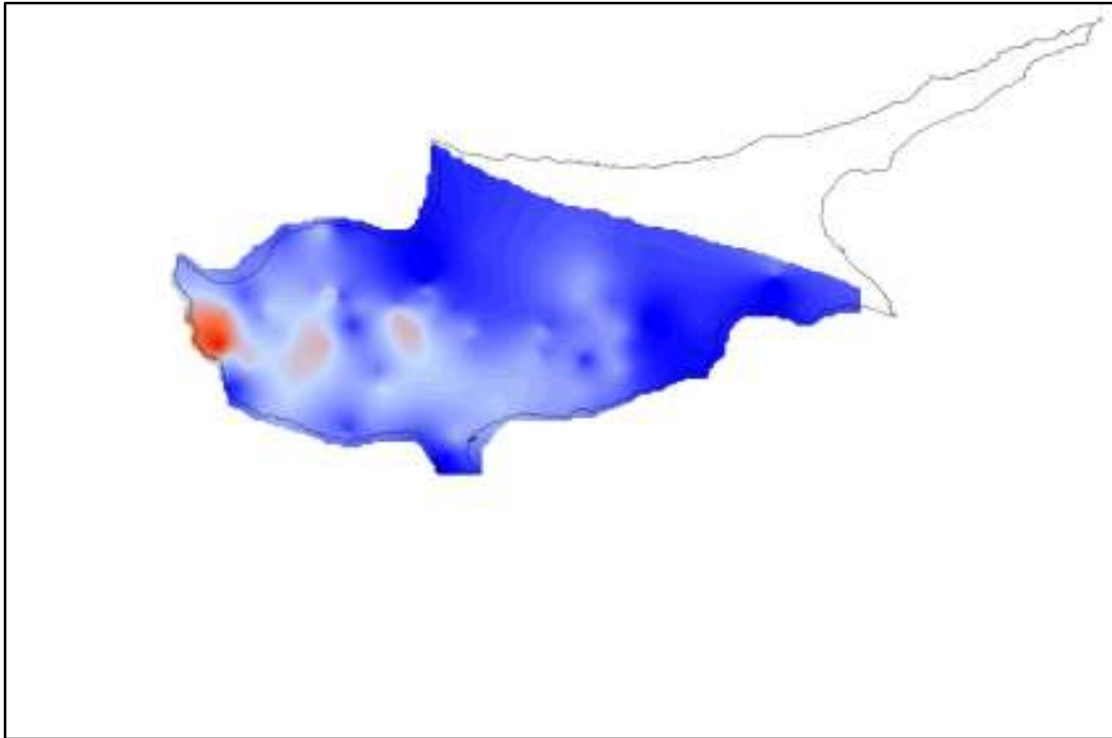
Εικόνα III.75. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Μάρτιο του 2008 (kriging)



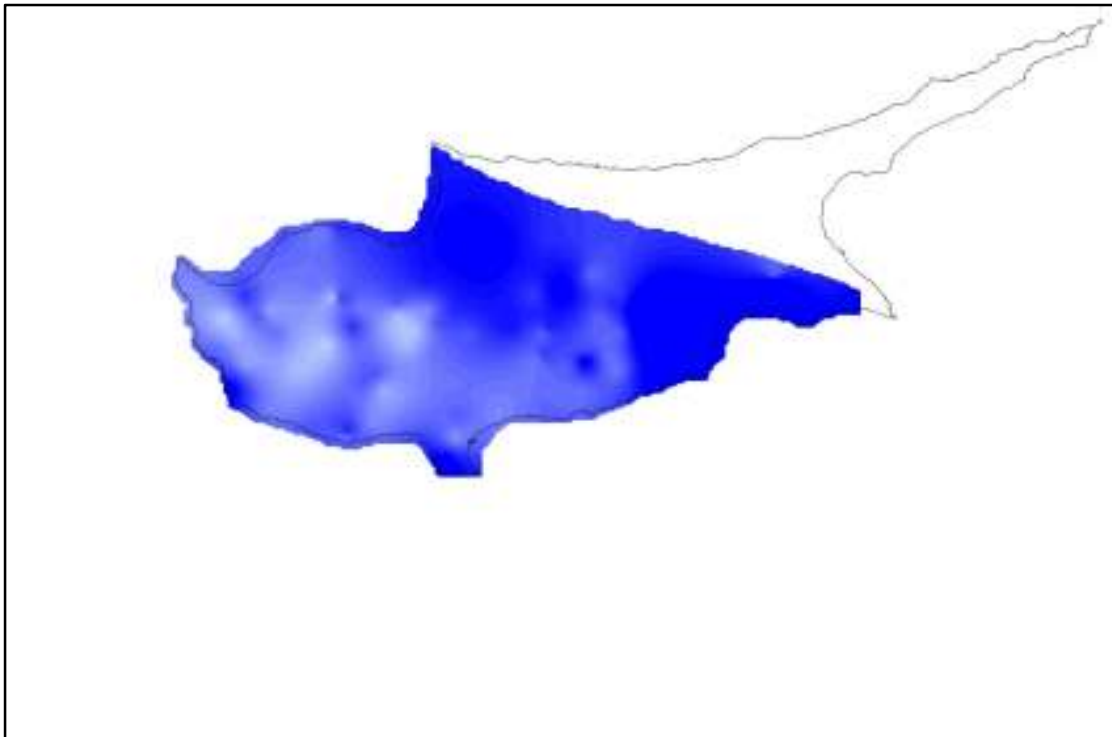
Εικόνα III.76. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Απρίλιο του 2008 (kriging)



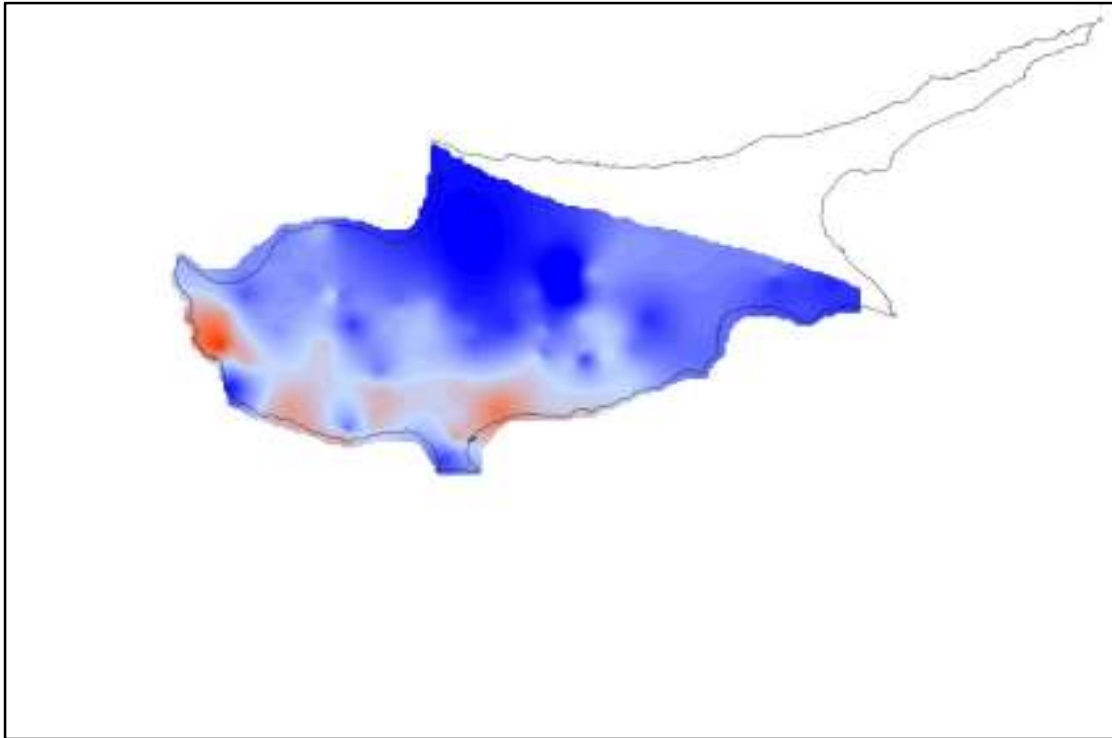
Εικόνα III.77. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Μάιο του 2008 (kriging)



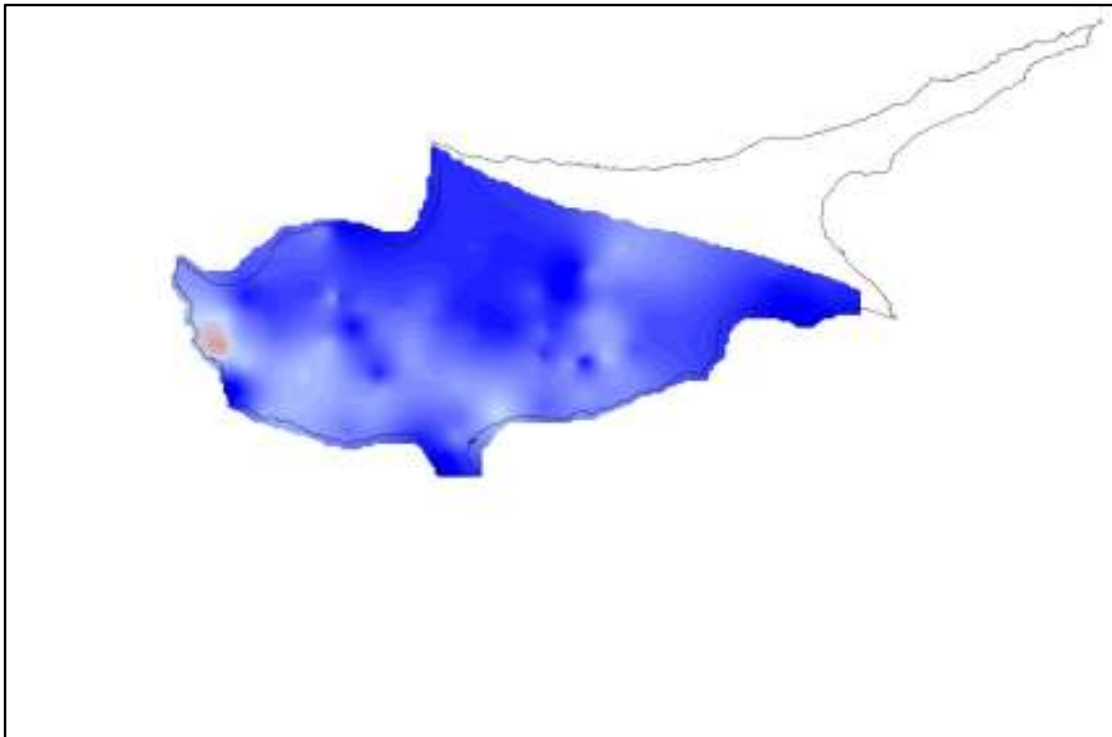
Εικόνα III.78. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιούνιο του 2008 (kriging)



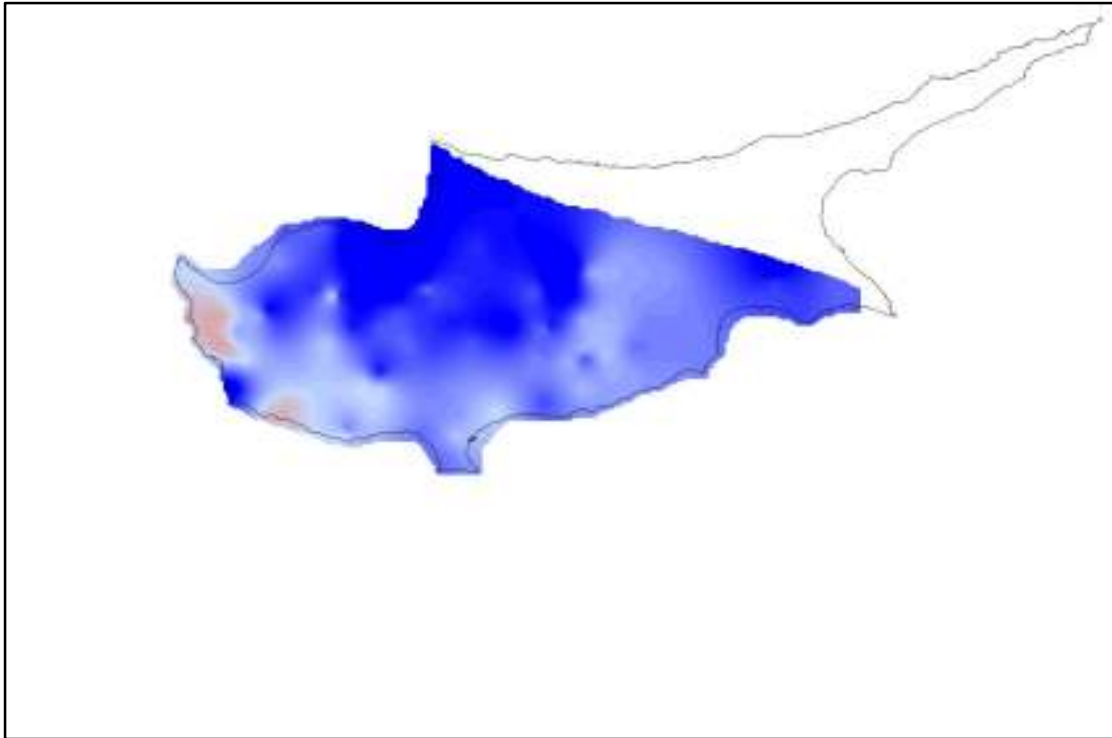
Εικόνα III.79. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Ιούλιο του 2008 (kriging)



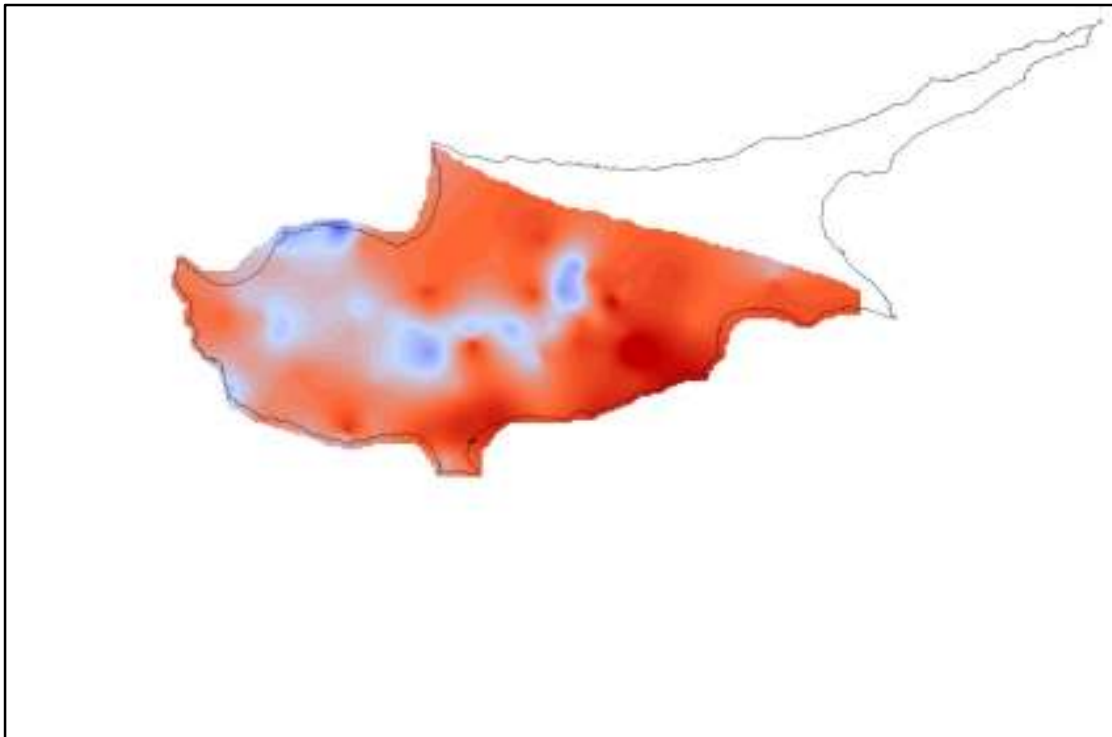
Εικόνα III.80. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Αύγουστο του 2008 (kriging)



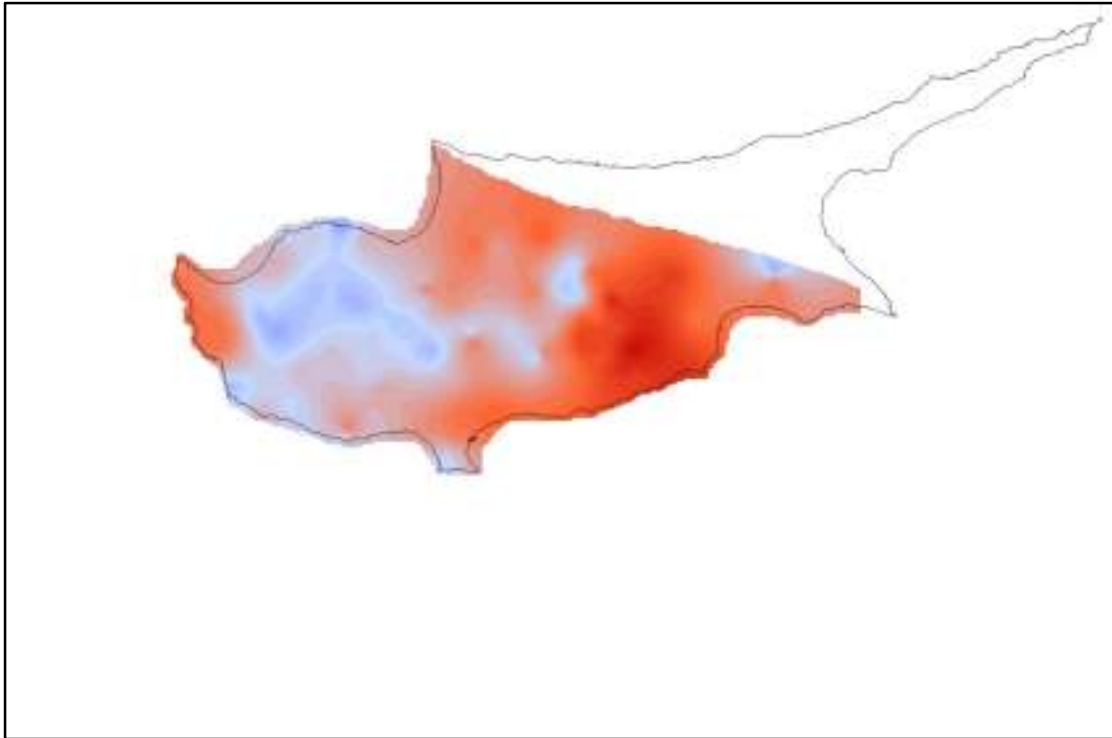
Εικόνα III.81. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Σεπτέμβριο του 2008 (kriging)



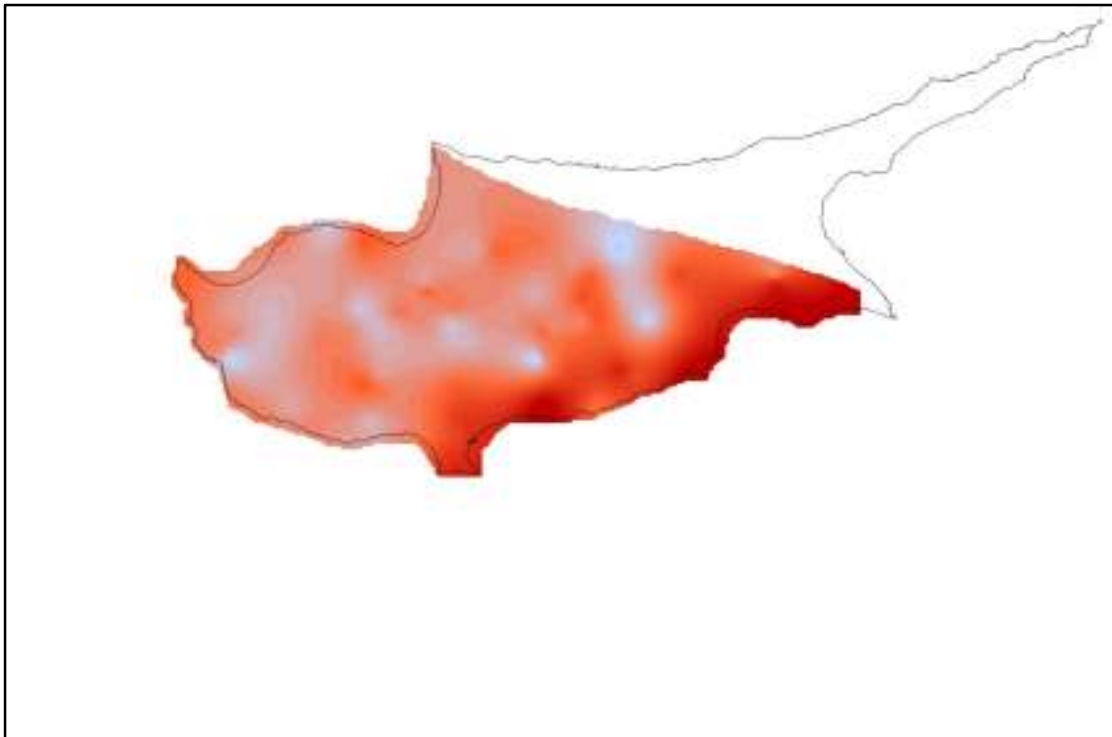
Εικόνα III.82. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Οκτώβριο του 2008 (kriging)



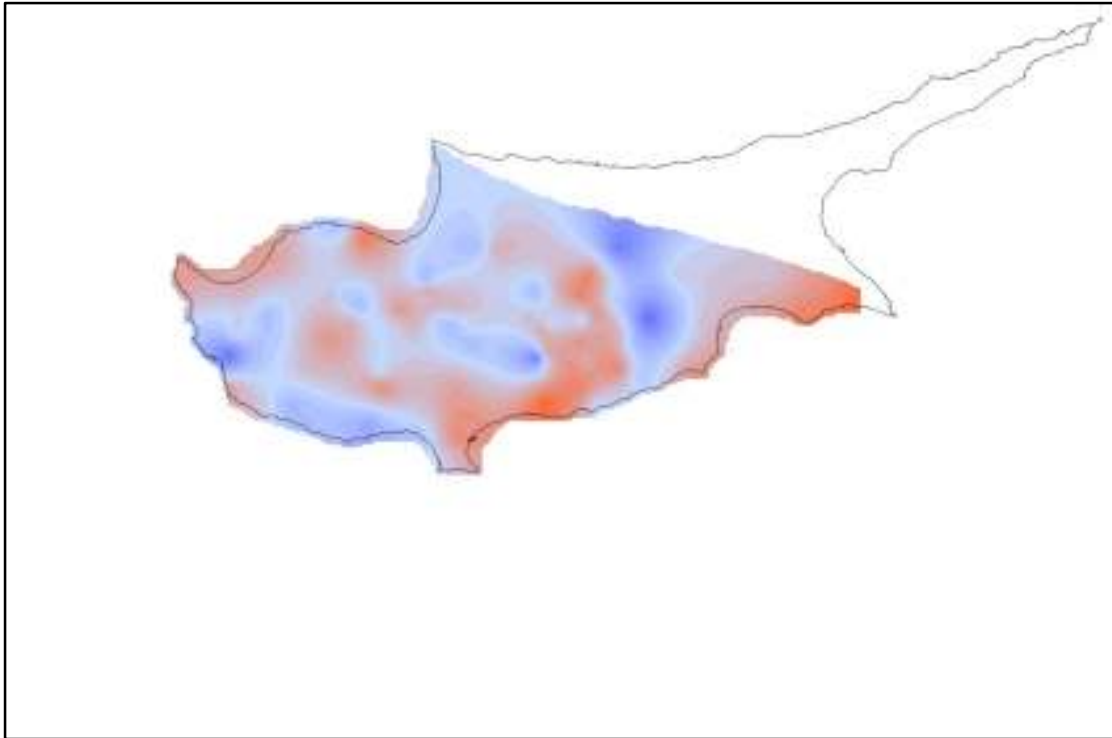
Εικόνα III.83. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Νοέμβριο του 2008 (kriging)



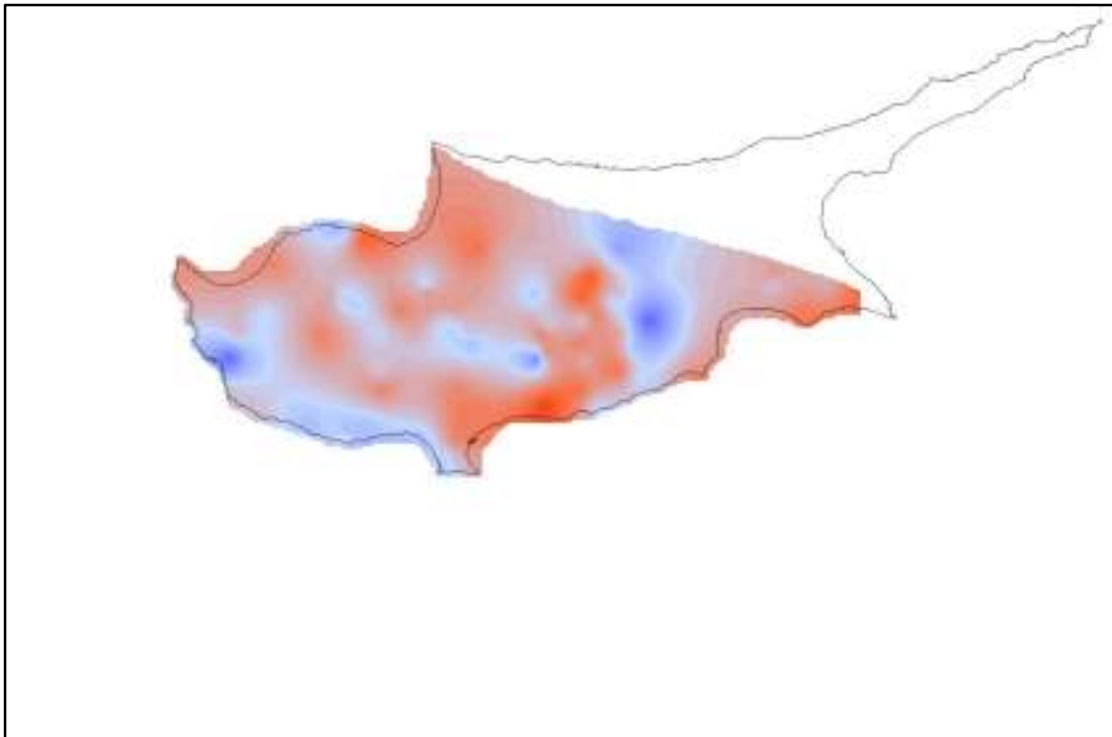
Εικόνα III.84. Χάρτης SPI 6 για τον μήνα Δεκέμβριο του 2008 (kriging)



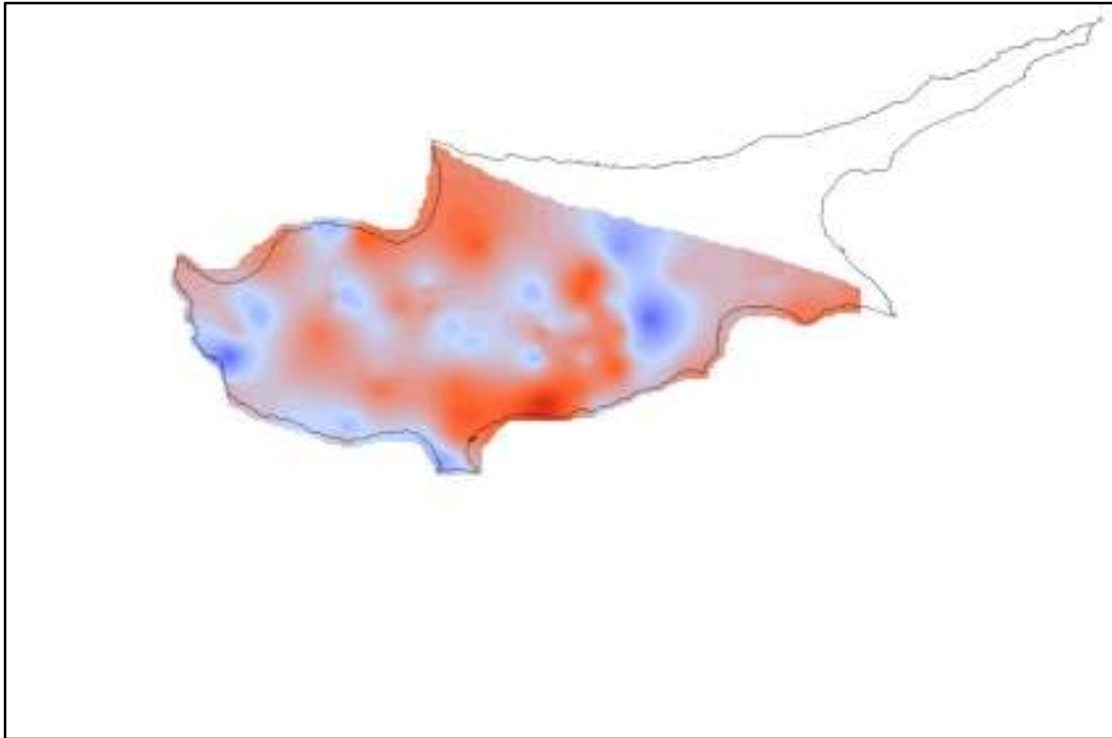
Εικόνα III.85. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιανουάριο του 2008 (kriging)



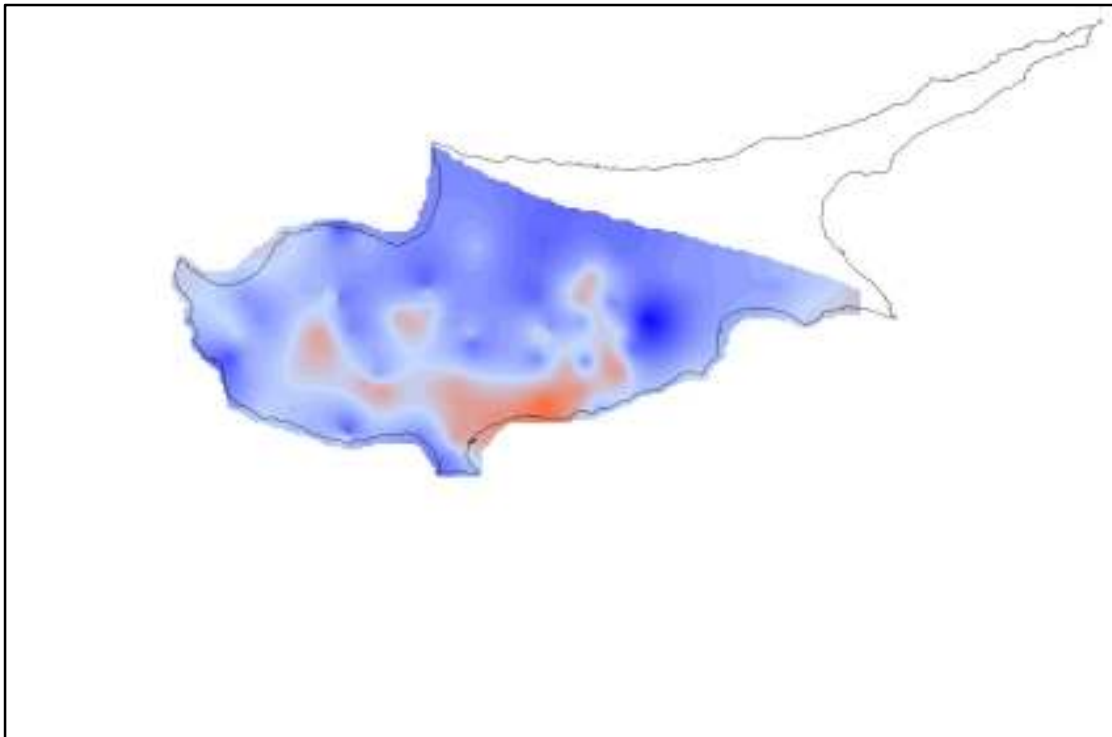
Εικόνα III.86. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Φεβρουάριο του 2008 (kriging)



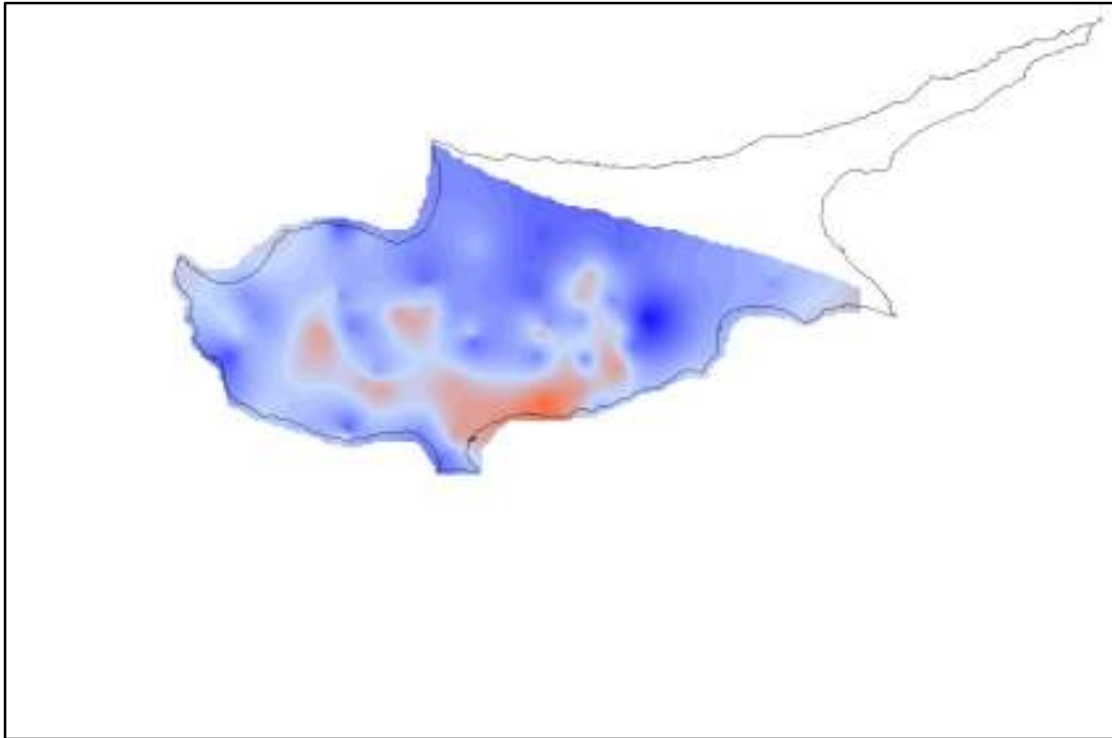
Εικόνα III.87. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Μάρτιο του 2008 (kriging)



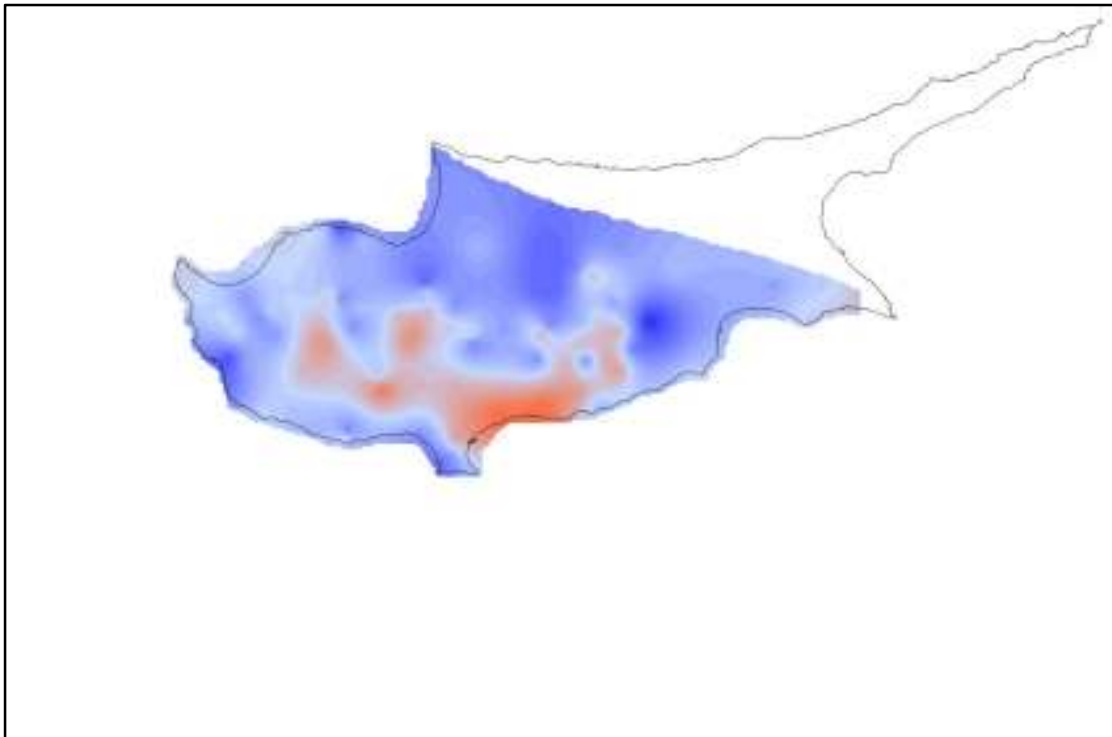
Εικόνα III.88. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Απρίλιο του 2008 (kriging)



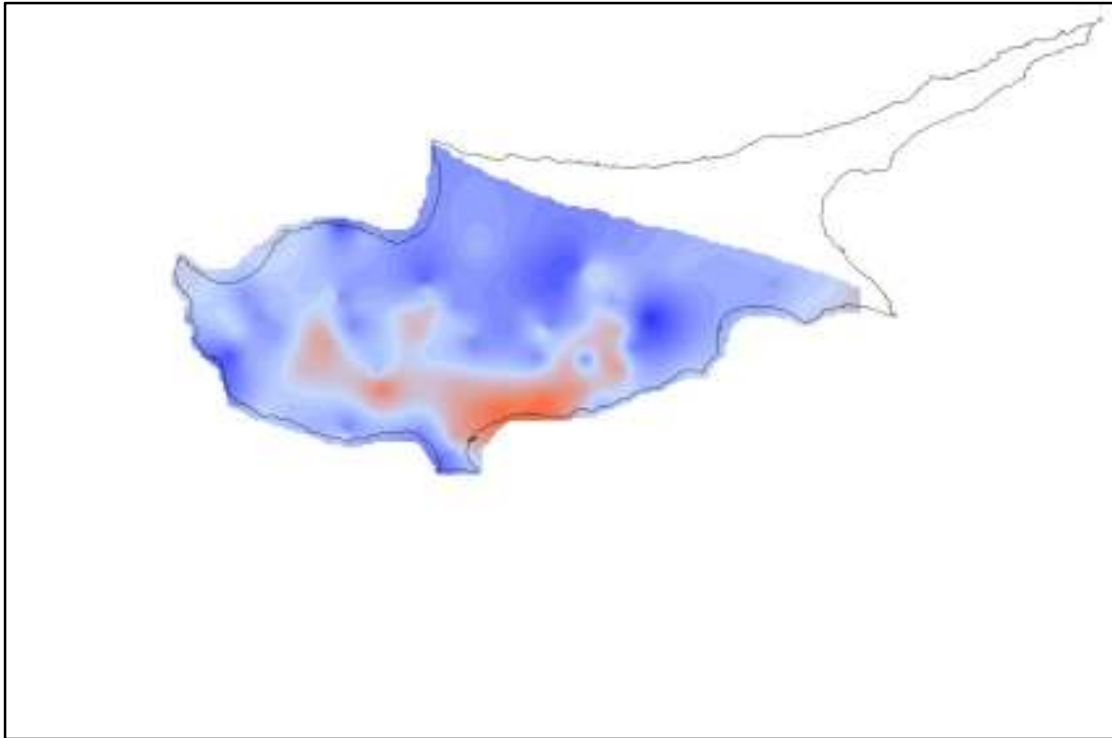
Εικόνα III.89. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Μάιο του 2008 (kriging)



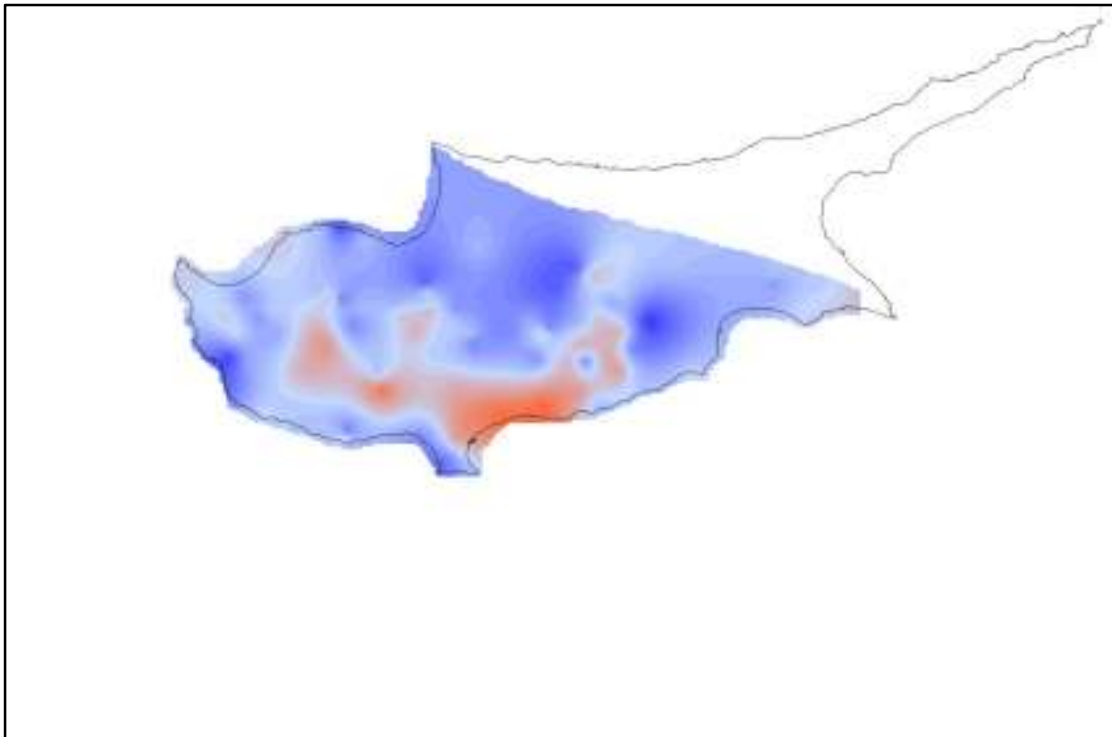
Εικόνα III.90. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιούνιο του 2008 (kriging)



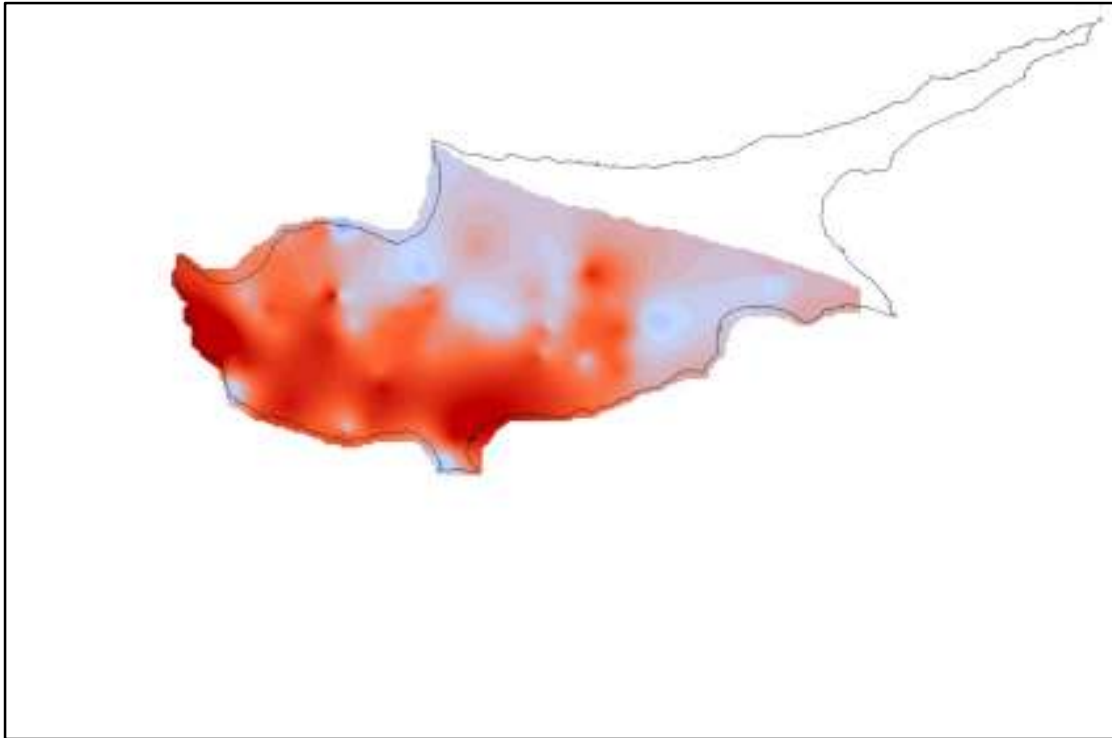
Εικόνα III.91. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Ιούλιο του 2008 (kriging)



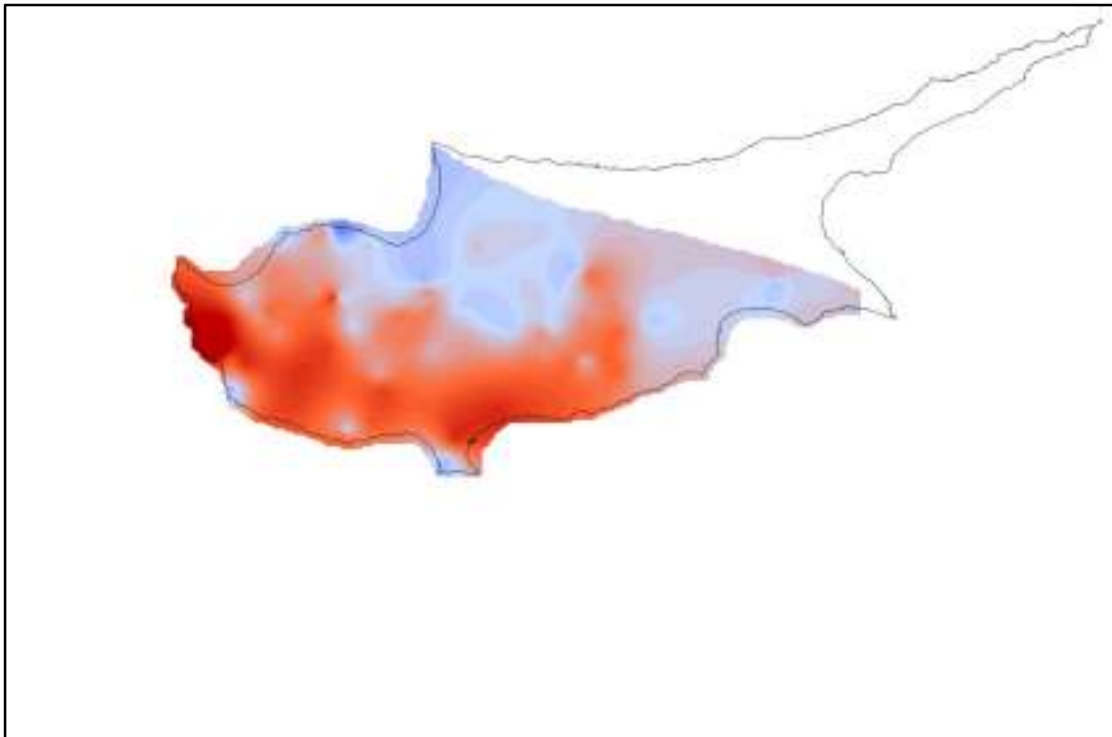
Εικόνα III.92. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Αύγουστο του 2008 (kriging)



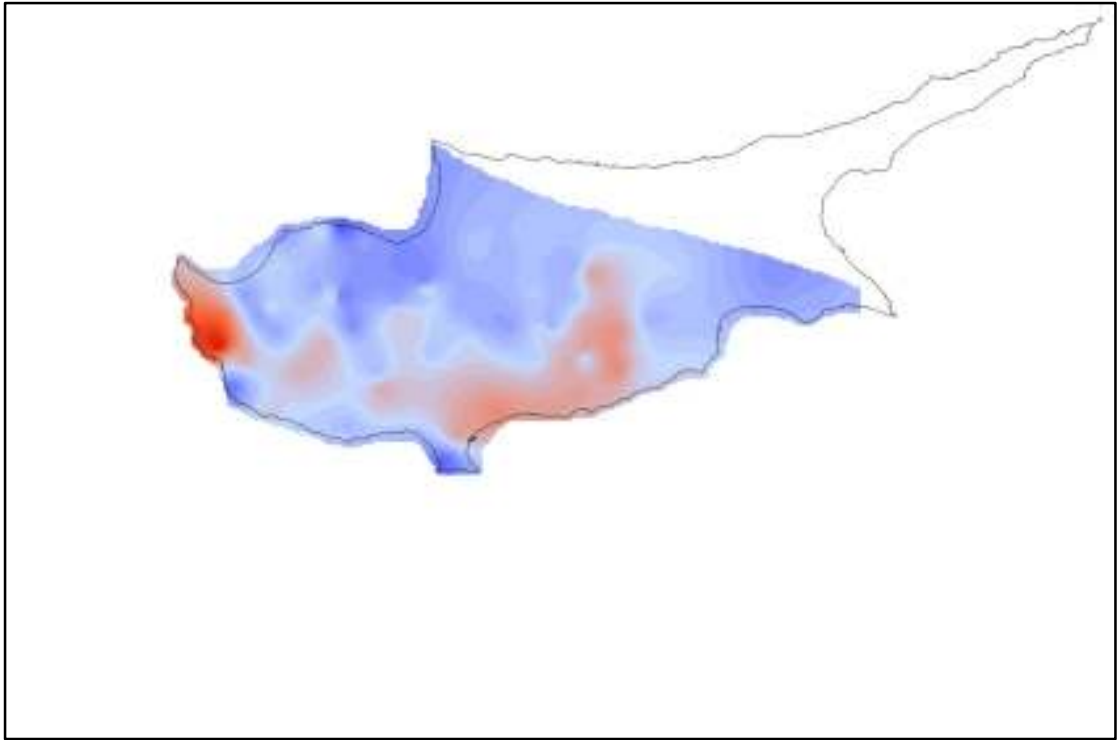
Εικόνα III.93. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Σεπτέμβριο του 2008 (kriging)



Εικόνα III.94. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Οκτώβριο του 2008 (kriging)



Εικόνα III.95. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Νοέμβριο του 2008 (kriging)



Εικόνα III.96. Χάρτης SPI 12 για τον μήνα Δεκέμβριο του 2008 (kriging)