

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΠΜΣ : ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

**"Ανάπτυξη εργαλείων για τη διαχείριση
ξηρασιών με την εφαρμογή του δείκτη
κανονικοποιημένων κατακρημνισμάτων (SPI)
στην περιοχή της Μακεδονίας"**

Αργυρή Σ. Μαντέλα

**Επιβλέπων: Χρίστος Καραβίτης Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ
Αθήνα 2015**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

"Ανάπτυξη εργαλείων για τη διαχείριση ξηρασιών με την εφαρμογή του δείκτη κανονικοποιημένων κατακρημνισμάτων (SPI) στην περιοχή της Μακεδονίας"

Αργυρή Σ. Μαντέλα

Επιβλέπων: Χρίστος Καραβίτης Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Τριμελής Επιτροπή

Επιβλέπων: Χρίστος Καραβίτης, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Διονύσιος Καλύβας, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Σταύρος Αλεξανδρής, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

Περίληψη

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αναλύεται το φαινόμενο της ξηρασίας μέσω ανάπτυξης του δείκτη ξηρασίας κανονικοποιημένων κατακρημνισμάτων (SPI) για την περιοχή της Μακεδονίας ,τα τελευταία είκοσι δύο χρόνια(1989-2011).Κύριος στόχος είναι η ανίχνευση επεισοδίων ξηρασίας και η αναγνώριση κύριων χαρακτηριστικών της συμβάλλοντας έτσι στη διαχείριση των ξηρασιών και στην ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων. Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της ξηρασίας είναι ο δείκτης SPI διότι είναι ευρύτατα αποδεκτός και ίσως ο πλέον αξιόπιστος ανάμεσα σε ένα μεγάλο φάσμα δεικτών ξηρασίας που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως. Με την ανάπτυξη του δείκτη SPI παρουσιάστηκαν τα έτη με τις μεγαλύτερες λειψυδρίες σαράντα υδρομετεωρολογικών σταθμών στην Μακεδονία. Έπειτα δημιουργήθηκαν οι χάρτες της λειψυδρίας για τα έτη 1989,1990, 1992,1993, 2000,2001 και 2008 με την γεωστατιστική μέθοδο kriging για όλους τους 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.Επιστημονική Περιοχή :Λειψυδρίες

Λέξεις κλειδιά: Ξηρασία, Λειψυδρία ,SPI ,Μακεδονία

Development tools for drought management by applying the Standardized Precipitation Index (SPI) in Macedonia "

Abstract

In the current work, the drought phenomenon is analyzed through the development of the drought Standardized Precipitation Index - SPI for the region of Macedonia, Greece using data from 1989 to 2011. The main objectives are the reconnaissance of drought episodes and the identification of the resulting principal features contributing to drought management and by extension to integrated water resources management. The tool used for the drought analysis is the SPI index, since it is widely accepted and probably, it is one of the most reliable indices that are globally used. By developing the SPI the years with the most extreme drought conditions were identified from the forty (40) hydrological- meteorological stations used in the region of Macedonia. Then, drought maps were created for the years 1989, 1990, 1992, 1993, 2000, 2001 and 2008 with the geostatistical method of kriging. The time step was visualized for six months (SPI6) and for twelve months (SPI12). Finally, the results were analyzed and proposed management measures to confront drought were delineated.

Scientific area : Droughts

Keywords: Drought, SPI, Macedonia

Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία με τίτλο «Ανάπτυξη εργαλείων για τη διαχείριση ξηρασιών με την εφαρμογή του δείκτη κανονικοποιημένων κατακρημνισμάτων (SPI) στην περιοχή της Μακεδονίας» ανατέθηκε από τον κ. Χρίστο Καραβίτη Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής και πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος με τίτλο :Διαχείριση Περιβάλλοντος ,του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Αντικείμενο της μελέτης αποτέλεσε η ανάλυση της ξηρασίας τα τελευταία χρόνια στην περιοχή της Μακεδονίας με τη χρήση του δείκτη “Standardized Precipitation Index”SPI που είναι ένας αρκετά αξιόπιστος και διαδεδомένος δείκτης .

Ευχαριστίες

Για την πολύτιμη συνεισφορά του στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας, το ενδιαφέρον, τις υποδείξεις και τη συνεχή καθοδήγηση του με τα οποία κατέστη δυνατή η εκπόνηση αυτής της εργασίας οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Χρίστο Καραβίτη Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής . Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον κ. Σταύρο Αλεξανδρή Επίκουρο Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής και τον κ. Διονύσιο Καλύβα, Αναπληρωτή Καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής που συντέλεσαν στην άριστη διεξαγωγή της παρούσας μελέτης. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους υποψήφιους διδάκτορες , Τσεσμελή Δημήτρη και Σταματάκο Δημήτρη για την πολύτιμη συνεισφορά τους στην κατανόηση βασικών εννοιών και την εφαρμογή του δείκτη. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Γκίνη Μαρία από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων για τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα που μου διέθεσαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια 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.

Στην αγαπημένη μου κόρη

Δανάη,

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Development tools for drought management by applying the Standardized Precipitation Index (SPI) in Macedonia "	4
Abstract	4
Πρόλογος.....	5
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	10
2.1 Υδρολογικός Κύκλος.....	11
2.2 Κατακρημνίσματα	13
2.2.1 Βροχόπτωση	13
2.2.2 Χιόνι.....	15
2.2.3 Χαλάζι	18
2.3 Η Κατανομή των Κατακρημνισμάτων στον Ελλαδικό χώρο.....	19
2.4 Όργανα μέτρησης των κατακρημνισμάτων	20
2.4.1 Βροχόμετρα – Βροχογράφοι	20
2.4.2 Χιονοτράπεζες	22
2.5 Λειψυδρία	23
2.5.1 Ορισμός της Λειψυδρίας.....	24
2.5.2 Βασικές έννοιες ξηρασίας	25
2.5.3 Τύποι ξηρασίας	26
2.5.4 Χαρακτηριστικά της λειψυδρίας	28
2.6 Αίτια της λειψυδρίας.....	29
2.6.1 Αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας	30
2.6.2 Αεροχείμαρροι	30
2.6.3. Φαινόμενο El – Niño.....	31
2.6.4 Φαινόμενο La Nina	32
2.6.5 Αστρονομικοί Παράγοντες	33
2.6.6 Η αστρονομική θεωρία του Milankovitch (ή ο κανόνας της ηλιακής ακτινοβολίας). 34	
2.6.7 Ανθρωπογενείς παράγοντες	37
2.7 Επιπτώσεις της λειψυδρίας.....	37
2.8 Δείκτες Λειψυδρίας.....	39
2.8.1 Percent of Normal Το ποσοστό της μέσης τιμής βροχόπτωσης	43

2.8.2 Standardized Precipitation Index (SPI) Δείκτης τυποποιημένων κατακρημνισμάτων..	44
2.8.3 Δείκτης Palmer Drought Severity (PDSI) Δείκτης σοβαρότητας λειψυδρίας.....	46
2.8.4 Crop Moisture Index (CMI) Δείκτης Υγρασίας Σοδειάς	49
2.8.5 Surface Water Supply (Δείκτης παροχής επιφανειακού νερού).....	50
2.8.6 Reclamation Drought Index Δείκτης Επανόρθωσης Λειψυδρίας	52
2.8.7 Deciles Δείκτης των Δεκατημορίων.....	53
2.9 Ιστορικό Λειψυδριών στην Ελλάδα.....	55
2.10 Διαχείριση της λειψυδρίας	58
Κεφάλαιο 3 Μεθοδολογία Μελέτης	63
3.1. Μεθοδολογία	63
Κεφάλαιο 4 Ανάπτυξη του SPI & Γεωστατιστική.....	67
4.1 Δείκτης λειψυδρίας (SPI).....	67
4.2 Γεωστατιστική Μέθοδος (Kriging).....	74
Κεφάλαιο 5 Εφαρμογή του δείκτη SPI	80
5.1 Περιοχή Μελέτης.....	80
5.1.1 Το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας	81
5.1.2 Το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας	83
5.1.3 Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας	85
5.2 Επεξεργασία Δεδομένων.....	87
5.3 Δημιουργία Χαρτών με την Βοήθεια Λογισμικού	93
Κεφαλαίο 6 Αποτελέσματα –Αξιολόγηση	96
Κεφαλαίο 7 Συμπεράσματα	111
Παράρτημα 1 Βροχοπτώσεις.....	122
Παράρτημα 2 SPI 1, SPI 3, SPI 6, SPI 12 & SPI 24.....	135
Παράρτημα 3 Χάρτες.....	198
Βιβλιογραφία	282

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται περιληπτικά το αντικείμενο της κάθε ενότητας. Η παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη περιλαμβάνει επτά ενότητες και τρία παραρτήματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση της λειψυδρίας η οποία περιλαμβάνει τον υδρολογικό κύκλο, τα κατακρημνίσματα και την κατανομή τους στον Ελλαδικό χώρο, διάφορα όργανα μέτρησης των κατακρημνισμάτων, τον ορισμό της λειψυδρίας και κάποιες βασικές έννοιες που την περιγράφουν, τους τύπους τα χαρακτηριστικά, τα αίτια, τις επιπτώσεις και τους δείκτες λειψυδρίας. Τέλος γίνεται αναφορά στο ιστορικό των λειψυδριών στην Ελλάδα και στη Διαχείριση της λειψυδρίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία σχεδιασμού της παρούσας μελέτης, δηλαδή η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, καθώς επίσης και τα στάδια εκπόνησης της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του δείκτη λειψυδρίας που εφαρμόστηκε καθώς επίσης και της γεωστατιστικής μεθόδου kriging που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία των χαρτών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης. Αρχικά, δίνονται μερικά γενικά χαρακτηριστικά που αφορούν τη γεωγραφική θέση, τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, τη θέση των μετεωρολογικών σταθμών που μελετήθηκαν, καθώς επίσης και το κλίμα και τους υδατικούς πόρους του κάθε διαμερίσματος. Επίσης αναλύεται η διαδικασία υπολογισμού του δείκτη και της δημιουργίας χαρτών.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης με συγκεντρωτικούς χάρτες κάθε έτους και γίνεται αναλυτική περιγραφή των χαρακτηριστικών της λειψυδρίας.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται συμπεράσματα σχετικά με την λειψυδρία στο υδατικό διαμέρισμα της Μακεδονίας και την συμπεριφορά του δείκτη.

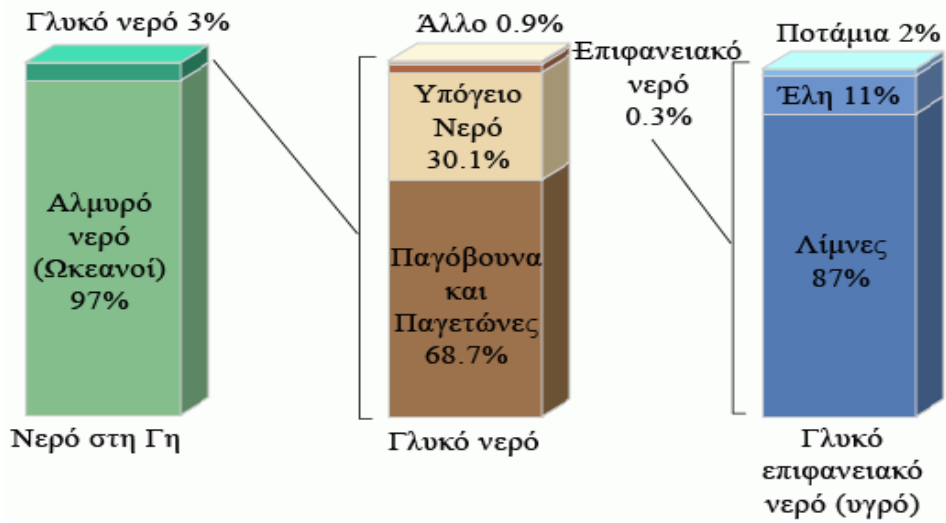
Κεφάλαιο 2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Δεν έχει σημασία ποιοι είμαστε, που ζούμε, τι κάνουμε, όλοι εξαρτόμαστε απ' το νερό. Ο αρχαίος Έλληνας φιλόσοφος Θαλής ο Μιλήσιος (αρχές 6ου αιώνα π.Χ.) υποστήριξε ότι το νερό είναι η αρχή των πάντων, ότι δηλαδή τα πάντα στη φύση είναι σχηματισμένα κυρίως από νερό.

Από τα αρχαία χρόνια το νερό υπήρξε σημείο εκκίνησης και πολιτισμικής αναφοράς. Οι πρώτοι ανθρώπινοι οικισμοί χτίστηκαν κοντά σε ποτάμια και λίμνες ενώ όλοι οι μεγάλοι πολιτισμοί της αρχαιότητας αναπτύχθηκαν σε περιοχές με συνεχείς βροχοπτώσεις που ευνοούσαν τη γεωργία. Οι περισσότερες από τις σημερινές πόλεις βρίσκονται πλησίον ενός σημαντικού υδάτινου σώματος. Η ανάγκη χρησιμοποίησης του νερού (αρχικά για ύδρευση, άρδευση και ποτάμια ναυσιπλοΐα) συνέτεινε στην προτίμηση αυτή. Αργότερα το νερό χρησιμοποιήθηκε και για ευρύτερους αστικούς σκοπούς, στην βιομηχανία ως πηγή ενέργειας και για ψυχαγωγία-αναψυχή.

Ο πλανήτης στον οποίο ζούμε έχει χαρακτηριστεί ως υδάτινος αφού το νερό καλύπτει το 71% της συνολικής έκτασης της γης. Από αυτό το ποσοστό το 97% περίπου του νερού της Γης είναι αλμυρό και βρίσκεται στους ωκεανούς και μόνο το 3% είναι γλυκό, με συνολικό όγκο 35 δισεκατομμυρίων km^3 (εικόνα 2.1). Λιγότερο από 100000 km^3 περίπου 0,3% των συνολικών αποθεμάτων σε γλυκό νερό βρίσκεται στα ποτάμια και τις λίμνες και αποτελεί την κύρια πηγή εφοδιασμού. Το νερό βέβαια στην φύση δεν χάνεται αλλά ανακυκλώνεται και ο υδρολογικός κύκλος περιγράφει αυτήν την ανακύκλωση. Σε ετήσια βάση περίπου 45.000 km^3 νερού κατ' έτος επιστρέφουν στον παγκόσμιο ωκεανό σαν απορροή των ποταμών και των υπόγειων σχηματισμών. Αλλά αυτοί οι υδατικοί πόροι δεν κατανέμονται εξίσου σε όλη τη γήινη επιφάνεια. Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και η απορροή διαφέρουν σημαντικότερα στην κατανομή τους τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο. Για παράδειγμα 20% της μέσης ετήσιας παγκόσμιας απορροής παρατηρείται στην λεκάνη του Αμαζονίου, 7% στην Ευρώπη και 1% στην Αυστραλία (Καραβίτης 2005).

Παγκόσμια κατανομή νερού



Εικόνα 2.1 Παγκόσμια Κατανομή νερού(USGS 2008)

2.1 Υδρολογικός Κύκλος



Εικόνα 2.2 Ο υδρολογικός κύκλος (USGS 2008)

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 (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999). 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 (Καραβίτης, 2008).

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 εξάχνωση, 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 ξαναμπάνει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού "τελειώνει" ... και "ξεκινάει".

Το συνολικό φαινόμενο της κυκλοφορίας και κατανομής του νερού στην ατμόσφαιρα και τη γη μπορεί να εκφρασθεί από τη σχέση: $P=R+E+I$.

Όπου: P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation)

E = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

R = η επιφανειακή απορροή (runoff)

I = η κατείδυση (infiltration)

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να εκφραστούν σε ύψος νερού (mm) ή σε όγκο νερού (m^3) ή σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).

2.2 Κατακρημνίσματα

Ο όρος κατακρημνίσματα χρησιμοποιείται για να περιγράψει μαζικά τις μετρήσιμες ποσότητες νερού που φτάνουν στην επιφάνεια της γης ως συνέπεια της υγροποίησης ατμοσφαιρικών υδρατμών. (Μαμάσης 2006). Στην Ελλάδα συναντούμε κυρίως τρία είδη 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 τέσσερις παράγοντες, οι οποίοι είναι:

1. Η ύπαρξη διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ των γειτονικών στοιχείων του νέφους,
2. η συνύπαρξη των τριών φάσεων του νερού στο νέφος,
3. η ύπαρξη σχετικών αναταρακτικών κινήσεων και
4. η ύπαρξη ανομοιόμορφου 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. Υφειακές 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. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, για τον ελλαδικό χώρο, αποτελεί η οροσειρά της Πίνδου, που στις δυτικές κλιτύς δέχεται μεγάλη ύψη βροχής, γιατί παρεμβάλλεται εγκάρσια στην κίνηση των υγρών δυτικών και ΝΔ ανέμων. Στις ανατολικές κλιτύς της Πίνδου τα ποσά βροχής ελαττώνονται σημαντικά, δηλαδή έχουμε ένα κλασικό παράδειγμα ομβροσκιάς.

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 ή ραγδαιότητα 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 Kgr πάνω σε επιφάνεια 1 m². Επίσης, βροχή ύψους 10 mm, σημαίνει ποσότητα νερού ίση με 10 Kgr, 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, ψιγάλα (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 φάση 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 φτάνει 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 χιονών. Από κλιματικής πλευράς, η γραμμή των αιωνίων χιονών (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 φύτεων 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' ό,τι 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.

Στην ελληνική περιοχή, η κύρια περίοδος, κατά την οποία σημειώνεται χιόνι, είναι η χειμερινή (Δεκέμβριος-Φεβρουάριος). Κατά το θέρος δε σημειώνεται χιονόπτωση, ούτε ακόμη και σ' αυτούς τους ορεινούς όγκους, εκτός ολίγων περιπτώσεων (στην κορυφή Αγίου Αντωνίου του Ολύμπου, υψόμετρο 2817 m, σημειώθηκαν χιονοπτώσεις κατά τον Αύγουστο).

Στον ελληνικό χώρο δεν υπάρχουν περιοχές με αιώνια χιόνια. Αυτά που γράφονται για αιώνια χιόνια στην ελληνική περιοχή μπορεί να θεωρηθούν πληροφορίες που προέρχονται από το χώρο ανεύθυνων ερασιτεχνών ορειβατών. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από ειδικές παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Επιστημονικό Κέντρο Ολύμπου (υψόμετρο 2817 m) από το έτος 1962 για μια δεκαπενταετία.

Οι μεγαλύτερες τιμές του μέσου ετήσιου αριθμού ημερών χιονιού σημειώνονται στη δυτική Μακεδονία, όπως στη Φλώρινα (25.2 ημέρες), στην Κοζάνη (17.8 ημέρες) και στην Πτολεμαΐδα 11.3 ημέρες). Στο σταθμό της Ρόδου δεν σημειώθηκε ούτε μια μέρα χιονιού κατά την περίοδο των τελευταίων 30 ετών.

2.2.3 Χαλάζι

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

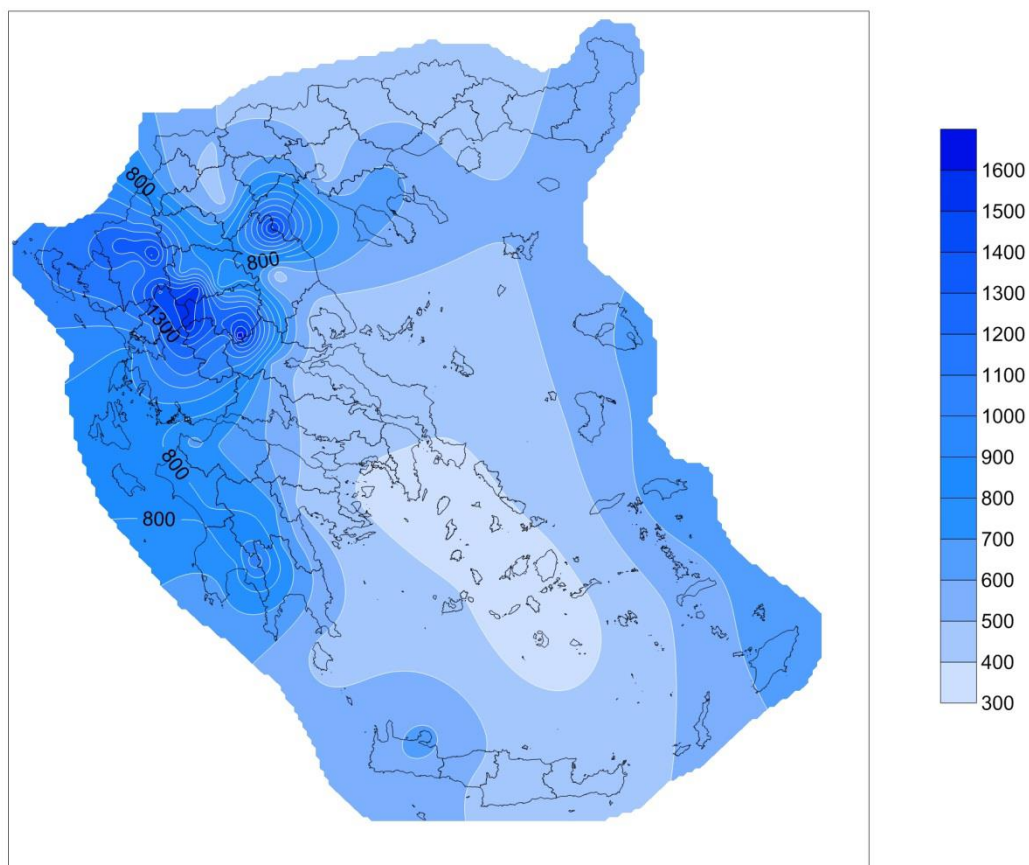
Στις ανώτερες περιοχές των νεφών τύπου Cb, η θερμοκρασία είναι πολύ κάτω από τους 0 °C, με αποτέλεσμα να συμβαίνει αυτόματη πήξη των υδροσταγονιδίων του νέφους που βρίσκονται σε υπέρτηξη. Εξαιτίας των έντονων ανοδικών και καθοδικών κινήσεων, που επικρατούν μέσα στα νέφη αυτού του τύπου, οι αρχικοί παγοκρύσταλλοι (χαλαζόκοκκοι) συγκρούονται μ' άλλα υδροσταγονίδια ή μεταξύ τους και αυξάνουν, έτσι, το μέγεθος τους. Στην περίπτωση που οι χαλαζόκοκκοι αυτοί αποκτήσουν τέτοιο μέγεθος που τα ανοδικά ρεύματα να αδυνατούν τη συγκράτησή τους, τότε αυτοί εγκαταλείπουν το νέφος και πέφτουν στην επιφάνεια του εδάφους, προτού λιώσουν, δίνοντας, έτσι, το φαινόμενο του χαλάζιου. κατά την Άνοιξη. Ιδιαίτερα παρατηρήθηκε ότι οι μέσες τιμές του αριθμού ημερών χαλάζιου κατά το χειμώνα είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες της Άνοιξης στους σταθμούς της Ν. Ελλάδας και γενικά σ' όλους τους νησιωτικούς σταθμούς, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στη Β. Ελλάδα και στα ορεινά.

Κατά τους τρεις καλοκαιρινούς μήνες, καθώς και κατά το Μάιο και Σεπτέμβριο, οι μεγαλύτερες τιμές της συχνότητας εμφάνισης του χαλάζιου σημειώνονται, κυρίως, στην ηπειρωτική Ελλάδα, ενώ κατά τους υπόλοιπους μήνες οι μεγαλύτερες τιμές της συχνότητας του εμφανίζονται, κυρίως, στα νησιωτικά και παραλιακά τμήματα της χώρας. Εξάλλου, σ' όλη σχεδόν τη χώρα, ο μέσος αριθμός ημερών χαλαζιού του χειμώνα υπερέχει του αντίστοιχου Φθινοπώρου. Το χαλάζι εμφανίζει ετήσιο μέγιστο συχνότητας στη Β. Ελλάδα και ελάχιστο στις Κυκλάδες. Οι μεγαλύτερες τιμές του μέσου ετήσιου αριθμού χαλαζιού, σημειώνονται στην Κέρκυρα (8.2 ημέρες), στον Πλάτανο Ν.(7.7 ημέρες) και στη Μεθώνη (5.9 ημέρες).

Στη χώρα μας είναι γνωστές οι τεράστιες καταστροφές στις καλλιέργειες από τις χαλαζοπτώσεις γι' αυτό τελευταία άρχισε να εφαρμόζονται από τον Ο.Γ.Α. μακρόπνοα προγράμματα χαλαζικής προστασίας.

2.3 Η Κατανομή των Κατακρημισμάτων στον Ελλαδικό χώρο

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το γεγονός ότι δεν πέφτουν οι ίδιες ποσότητες κατακρημισμάτων παντού στον κόσμο, ούτε καν μέσα στην ίδια πόλη . Η βροχόπτωση στην Ελλάδα ποικίλει ιδιαίτερα, κατά μέσο όρο, στη Δυτική Ελλάδα (1100 mm) είναι τριπλάσια περίπου από ότι στην Ανατολική Ελλάδα (350mm) λόγω της ομβροσκιάς της Πίνδου.(Χρ. Καραβίτης 2005)



Χάρτης 1: Ισουετίες στον Ελλαδικό χώρο (DMCSEE project, www.dmcsee.org/GISapp)

2.4 Όργανα μέτρησης των κατακρημνισμάτων

Η ποσότητα του νερού που φθάνει στο έδαφος ως βροχή εκφράζεται με το ύψος βροχής. Αυτό ορίζεται ως το ύψος στο οποίο θα έφθανε το νερό της βροχής αν έπεφτε πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια χωρίς να υπάρχει καμία απώλεια από απορροή, απορρόφηση ή εξάτμιση. Μονάδα μέτρησης του ύψους βροχής είναι το χιλιοστό ύψους βροχής (mm). Στην πράξη βροχή ύψους 1 mm ισοδυναμεί με 1 lt νερού σε κάθε στρέμμα γης. Τα όργανα μέτρησης της βροχόπτωσης είναι τα βροχόμετρα και οι βροχογράφοι.

2.4.1 Βροχόμετρα - Βροχογράφοι

Τα βροχόμετρα, 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, ενώ οι βροχογράφοι καταγράφουν με απλό ωρολογιακό μηχανισμό την μεταβολή του ύψους βροχής στο χρόνο, περιγράφοντας έτσι τη χρονική κατανομή της σημειακής βροχόπτωσης. 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. (Δ. Κουτσογιάννη & Θ. Ξανθόπουλος, 1999)

Παρακάτω περιγράφονται μερικοί βασικοί/συνήθεις τύποι επίγειων οργάνων μέτρησης βροχόπτωσης (Εικόνα 2.3)

•Τα ογκομετρικά βροχόμετρα. Στα ογκομετρικά βροχόμετρα ανήκει το δεκαπλασιαστικό βροχόμετρο και το ογκομετρικό βροχόμετρο τύπου Hellman. Το δεκαπλασιαστικό βροχόμετρο είναι ένα από τα βασικά όργανα μέτρησης της βροχής. Ονομάζεται έτσι γιατί το εμβαδόν της χοάνης συλλογής, που βρίσκεται στο επάνω μέρος του οργάνου, είναι ακριβώς δεκαπλάσιο του αθροίσματος των εμβαδών των τομών του μεταλλικού κυλίνδρου και του γυάλινου σωλήνα που είναι τοποθετημένοι στη βάση της χοάνης κατακόρυφα. Πίσω από το γυάλινο σωλήνα είναι τοποθετημένη μια βαθμονομημένη κλίμακα σε χιλιοστά. Η διαφορά των δύο διαδοχικών αναγνώσεων του ύψους της στάθμης του νερού, που είναι εντός του γυάλινου

σωλήνα, δείχνει με ακρίβεια χιλιοστού το ύψος της βροχής για το χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο αυτών μετρήσεων. Το ογκομετρικό βροχόμετρο τύπου Hellman έχει συλλεκτική χοάνη εμβαδού 200 cm². Το νερό της βροχής συγκεντρώνεται στο δοχείο συλλογής το οποίο είναι τοποθετημένο στη βάση του εσωτερικού μεταλλικού κυλίνδρου. Η μέτρηση της βροχής γίνεται με τη χρήση ενός ογκομετρικού σωλήνα κατάλληλα βαθμολογημένου σε χιλιοστά ύψους βροχής.

•Ο βροχογράφος τύπου Hellman είναι το βασικό όργανο καταγραφής τόσο του ύψους βροχής όσο και της έντασης αυτής. Στην κορυφή του οργάνου βρίσκεται η χοάνη συλλογής εμβαδού 200 cm². Το νερό της βροχής οδηγείται από την οπή της βάσης της χοάνης αυτής, μέσω σωλήνα, σε θάλαμο σιφωνίου μέσα στον οποίο υπάρχει πλωτήρας. Η κατακόρυφη κίνηση του πλωτήρα, που προκαλείται από την εισαγωγή του νερού της βροχής μέσα στο θάλαμο του σιφωνίου παρασύρει τη γραφίδα, η οποία εφάπτεται συνεχώς μιας ταινίας προσαρμοσμένης σε ωρολογιακό μηχανισμό περιστροφής. Η ταινία καταγραφής είναι βαθμολογημένη σε χιλιοστά βροχής (οριζόντιες γραμμές) και σε χρόνο (κατακόρυφες γραμμές). Όταν δε βρέχει, η γραφίδα γράφει οριζόντια γραμμή, ενώ όταν βρέχει η γραφίδα κινείται κατακόρυφα και γράφει μια καμπύλη γραμμή που αποτελεί συνδυασμό των δύο κινήσεων. Η γραφίδα φτάνει μέχρι το άνω μέρος της ταινίας οπότε γίνεται εκκένωση του δοχείου εξαιτίας του υπάρχοντος σιφωνίου και η γραφίδα επανέρχεται στην βάση 9 της ταινίας συνεχίζοντας την καταγραφή της βροχόπτωσης. Όταν παύει η βροχόπτωση η γραφίδα γράφει και πάλι οριζόντια γραμμή. Ο χρόνος της συγκεκριμένης βροχόπτωσης προσδιορίζεται μεταξύ των δύο οριζόντιων ιχνών της γραφίδας. Η κλίση των κατακόρυφων καμπυλών– ιχνών γραφίδας ως προς το οριζόντιο επίπεδο δίνει την ένταση της βροχόπτωσης.

•Τα βροχόμετρα με tipping bucket αποτελούνται από δύο μικρούς κάδους που είναι τοποθετημένοι σε κοινό άξονα. Τα όργανα αυτά διαθέτουν μια χοάνη μέσω της οποίας γεμίζουν οι κάδοι με το νερό της βροχής και μετακινούνται πάνω κάτω. Για την ανατροπή ενός κάδου χρειάζεται βροχή ίση με το ¼ του χιλιοστού κι ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για μια ανατροπή είναι 2/10 του δευτερολέπτου. Έτσι όταν γεμίσει ο πρώτος κάδος αλλάζει θέση επιτρέποντας το άδειασμα του κάδου αυτού και δίνοντας την θέση του στον δεύτερο κάδο κάτω από την χοάνη. Οι κάδοι συνδέονται με μηχανισμό καταγραφής που μεταφέρει τις παρατηρήσεις στο χαρτί καταγραφής. Σε κάθε άκρη του άξονα υπάρχει μια μαγνητική επαφή και κάθε φορά που

ανατρέπεται ένας κάδος δίνει έναν παλμό. Τέλος, η έξοδος του οργάνου συνδέεται σε είσοδο μέτρησης παλμών σε καταγραφικό σύστημα (ΑΠΘ, 2014).



Εικόνα 2.3 α) Δεκαπλασιαστικό βροχόμετρο β)βροχογράφος τύπου Hellman γ)βροχόμετρο με tippingπηγή:htm, dias.library.tuc.gr bucket

2.4.2 Χιονοτράπεζες

Το ύψος χιονόπτωσης μετριέται συνήθως με χιονοτράπεζες. Αυτές είναι απλές οριζόντιες επιφάνειες, όπου, αφού συσσωρευτεί το χιόνι, μετριέται το ύψος του με ένα κοινό πήχη. Μετά τη μέτρηση, η τράπεζα καθαρίζεται από το χιόνι, ώστε να είναι έτοιμη για την επόμενη μέτρηση του ύψους χιονόπτωσης. (α) Το ισοδύναμο ύψος νερού της χιονόπτωσης και (β) η αντίστοιχη πυκνότητα του μπορούν να μετρηθούν από τη χιονοτράπεζα, αν αυτή είναι εφοδιασμένη με ένα απλό σύστημα ζύγισης που μετρά το βάρος του χιονιού. Συνηθέστερα όμως, τέτοιος μηχανισμός ζύγισης απουσιάζει, οπότε, με την υπόθεση ότι η πυκνότητα της χιονόπτωσης είναι $\rho_s = 0,1 \rho_w$, το ισοδύναμο ύψος νερού της χιονόπτωσης είναι το 1/10 του νερού της χιονόπτωσης. Η ισοδυναμία του νερού από το χιόνι μπορεί να μετρηθεί και μέσω ειδικά 33 διαμορφωμένων χιονοτραπεζών που αποτελούνται από κυκλικές ή οκταγωνικές μεμβράνες φτιαγμένες από πλαστικό ή ελαστικό υλικό και περιέχουν υγρό με χαμηλό σημείο τήξης. Το βάρος του χιονιού που εισχωρεί σε καθεμία ελέγχει την πίεση του υγρού που περιέχει η οποία καταγράφεται διαμέσου ενός μανομέτρου. Η διάμετρος των ειδικά διαμορφωμένων τραπεζών ποικίλει από 2 – 4 m, με μεγαλύτερες διαμέτρους να συνίστανται για βαθύτερες χιονοκαλύψεις (Barton, 1974). Οι τράπεζες αυτές είναι κατάλληλες για μετακινούμενες εγκαταστάσεις με τις μετρήσεις πίεσης να δίνονται μέσω τηλεμετρίας. Όμως πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την ακρίβεια των αναγνώσεων. Εάν διαβάζονται οι μετρήσεις αρκετά

συχνά και αν ο σκοπός των αποτελεσμάτων δεν απαιτεί αυστηρή ακρίβεια, οι συσκευές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην μέτρηση της ισοδυναμίας του νερού.

Το νερό δεν είναι ούτε άφθονο, ούτε ανεξάντλητο. Κάθε σταγόνα του είναι πολύτιμη. Σε ένα παγκόσμιο περιβάλλον στο οποίο όλα αλλάζουν με γοργούς ρυθμούς, το Νερό, η βασική πηγή ζωής, φαίνεται ότι θα αποτελέσει στοιχείο ανταγωνισμού και περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης στις επόμενες δεκαετίες.

2.5 Λειψυδρία

Ο καθορισμός της έννοιας της λειψυδρίας αποτελούσε ανέκαθεν τροχοπέδη στην παρακολούθηση και ανάλυση του φαινομένου, καθώς θεωρείται από τις πιο πολύπλοκες και λιγότερο κατανοητές φυσικές καταστροφές.(McKee *et al.*, 1993). Η λειψυδρία είναι μια σχετική κατάσταση, εφόσον 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 γιατί 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 ο ορισμός της λειψυδρίας είναι απόλυτα συνδεδεμένος με τα γεωγραφικά, υδρολογικά, γεωλογικά, ιστορικά και πολιτιστικά χαρακτηριστικά μιας δεδομένης περιοχής.

Τρίτον ο ορισμός της λειψυδρίας αλλάζει ανάλογα με το αντικείμενο της κάθε επιστήμης (μετεωρολογία, υδρολογία, υδατικοί πόροι, γεωργία, κτλ).Επιπροσθέτως υπάρχει δυσκολία στην τροποποίηση της υπάρχουσας ορολογίας για τη λειψυδρία σε συνάρτηση με σύγχρονες τεχνικές και πρακτικές.(Drought management,1986,Salas, 1986 , Grigg & Vlachos ,1990; Karavitis, 1992, 1999a, Karavitis et al.,2012a,2012b)

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 εξέλιξης (Wilhite, D., A., et al., 2007).

2.5.1 Ορισμός της Λειψυδρίας

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). Οι λειτουργικοί ορισμοί επιχειρούν να οριοθετήσουν τη σοβαρότητα, την έναρξη και το σημείο τερματισμού της λειψυδρίας ενώ οι εννοιολογικοί ορισμοί επιχειρούν να προσδιορίσουν τα όρια του γεγονότος λειψυδρίας.

Έχουν αποδοθεί περισσότεροι από 150 ορισμοί στη διεθνή βιβλιογραφία όπως : «η λειψυδρία αποτελεί μια κατάσταση σημαντικής μείωσης των διαθέσιμων αποθεμάτων νερού (σε σύγκριση με μια φυσιολογική τιμή) για μεγάλο χρονικό διάστημα σε μια μεγάλη περιοχή και χαρακτηρίζεται από τρεις διαστάσεις: την ένταση, την διάρκεια και την χωρική επέκταση» (Rossi, 2000; Rossi *et al.*, 1992) ή «η λειψυδρία είναι η μείωση της διαθεσιμότητας του νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή και για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα». Berman and Rodier (1985) και «μια συνήθως απροσδόκητη και απρόβλεπτη χρονική περίοδος ασυνήθιστης ξηρότητας που επηρεάζει την παροχή νερού» (Grigg , N.S. , 1988).

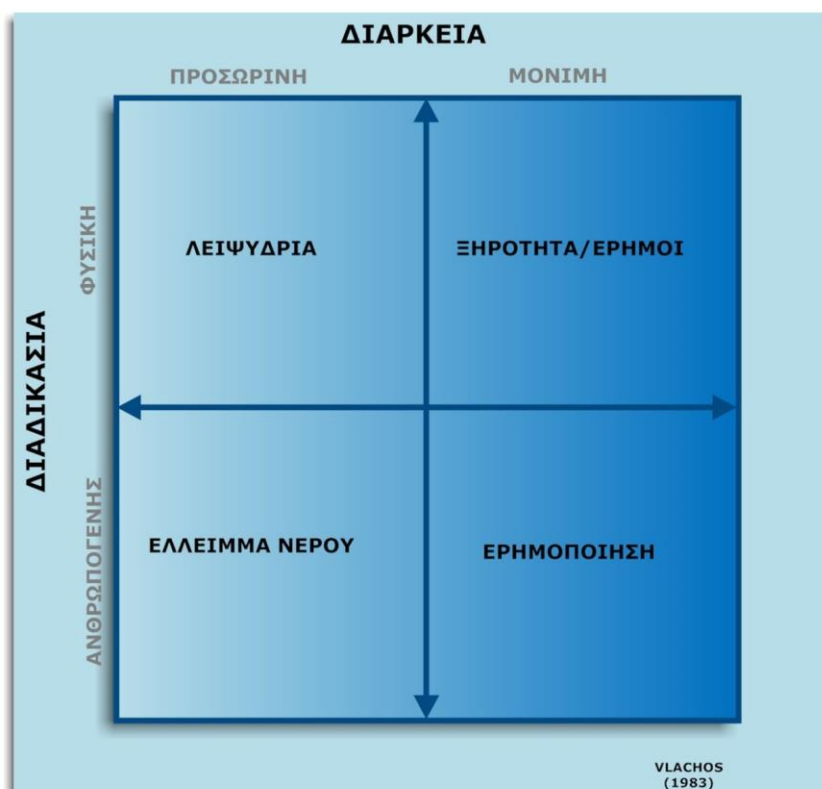
Στο επίκεντρο αυτής της αναζήτησης ένας γενικός ορισμός της λειψυδρίας μπορεί να εξελιχτεί. Έτσι ένας ευρύτερος και ενδεχομένως πιο λειτουργικός ορισμός της λειψυδρίας μπορεί να είναι «Η κατάσταση των δυσμενών και ευρέως διαδομένων υδρολογικών, περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων που οφείλονται σε λιγότερες από γενικά αναμενόμενες ποσότητες νερού» (Karavitis , 1992,1999a)

Τα χαρακτηριστικά της εξαρτώνται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι οι υψηλές θερμοκρασίες, οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή σχετική υγρασία (Oladipo, 1985). Επίσης, η λειψυδρία εξαρτάται από το χρόνο εμφάνισής της (π.χ. αν η απουσία βροχόπτωσης συμβαίνει κατά τα στάδια ανάπτυξης των φυτών) αλλά και από την αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων (π.χ. ένταση βροχόπτωσης, αριθμός επεισοδίων βροχής). Έτσι, κάθε επεισόδιο λειψυδρίας μπορεί να θεωρηθεί μοναδικό, με τα δικά του κλιματικά χαρακτηριστικά και επιπτώσεις.

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.

2.5.2 Βασικές έννοιες ξηρασίας

Το έλλειμμα νερού, η ξηρότητα, η λειψυδρία και η ερημοποίηση είναι κοινές και επικαλυπτόμενες διεργασίες στις Μεσογειακές χώρες και συχνά παρερμηνεύονται, όταν χρησιμοποιούνται. Επομένως είναι απαραίτητο να υπάρχουν ξεκάθαροι και συμφωνημένοι ορισμοί οι οποίοι θα συνεισφέρουν στην ανάπτυξη μεθόδων με σαφήνεια και στη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων για την ανάπτυξη σχεδίων διαχείρισης της ξηρασίας. Κάποιες από τις πιο σημαντικές έννοιες περιλαμβάνονται στην Εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4 Τυπολογία των καταστάσεων έλλειψης νερού (Vlachos, 1983)

Ξηρότητα (Aridity): Φυσική μόνιμη κλιματική κατάσταση με πολύ χαμηλές ετήσιες ή εποχιακές βροχοπτώσεις που αντιπροσωπεύει ένα σταθερό κλιματολογικό χαρακτηριστικό μιας συγκεκριμένης περιοχής.

Έλλειμμα νερού (Water Shortages): Ανθρωπογενής προσωρινή ανισορροπία στη διαθεσιμότητα του ύδατος. Το έλλειμμα νερού σε ένα σύστημα υδροδότησης αντιπροσωπεύει ένα έλλειμμα νερού σε σχέση με τη ζήτηση, το οποίο μπορεί να προκύψει λόγω ξηρασίας ή άλλων ανθρωπογενών αιτιών (π.χ. χαμηλή ποιότητα νερού, κακές υπηρεσίες)

Λειψυδρία (Drought) : Φυσική περιστασιακή (τυχαία) προσωρινή κατάσταση συνεχούς μείωσης στη βροχόπτωση και στη διαθεσιμότητα ύδατος αναφορικά με τις κανονικές τιμές, που εκτείνεται σε μια σημαντική χρονική περίοδο και καλύπτει μια ευρεία περιοχή.

Ερημοποίηση (Desertification): Η υποβάθμιση του εδάφους σε ξηρές, ημίξηρες και άλλες περιοχές σε μια ξηρή περίοδο. Είναι κυρίως ανθρωπογενές φαινόμενο που μεταβάλλει σημαντικά το οικολογικό σύστημα και προκαλείται από υπέρ-εκμετάλλευση και ακατάλληλη εδαφική χρήση σε συνδυασμό με την κλιματική διακύμανση.

Έχει προταθεί ότι όλοι οι παραπάνω όροι και ορισμοί που συνδέονται με την ξηρότητα μπορούν να θεωρηθούν ως μέρος μιας μεγαλύτερης διαδικασίας με το όνομα «xerasia» (Καραβίτης κ.α ,1999)

Τα όρια ανάμεσα σε αυτές τις τέσσερις κατηγορίες είναι βαθμιαία και απεικονίζουν τις αλληλεξαρτήσεις και την πολύπλοκη φύση τους που σημαίνει π.χ. ότι μια ξηρασία μπορεί επίσης να έχει όχι μόνο φυσικές, αλλά και ανθρωπογενείς συνδέσεις.

2.5.3 Τύποι ξηρασίας

Σύμφωνα με τις διαφορετικές συνιστώσες του φυσικού υδρολογικού κύκλου που επηρεάζεται από ένα γεγονός ξηρασίας, είναι δυνατό να διακρίνουμε τη μετεωρολογική, γεωργική ή υδρολογική ξηρασία.

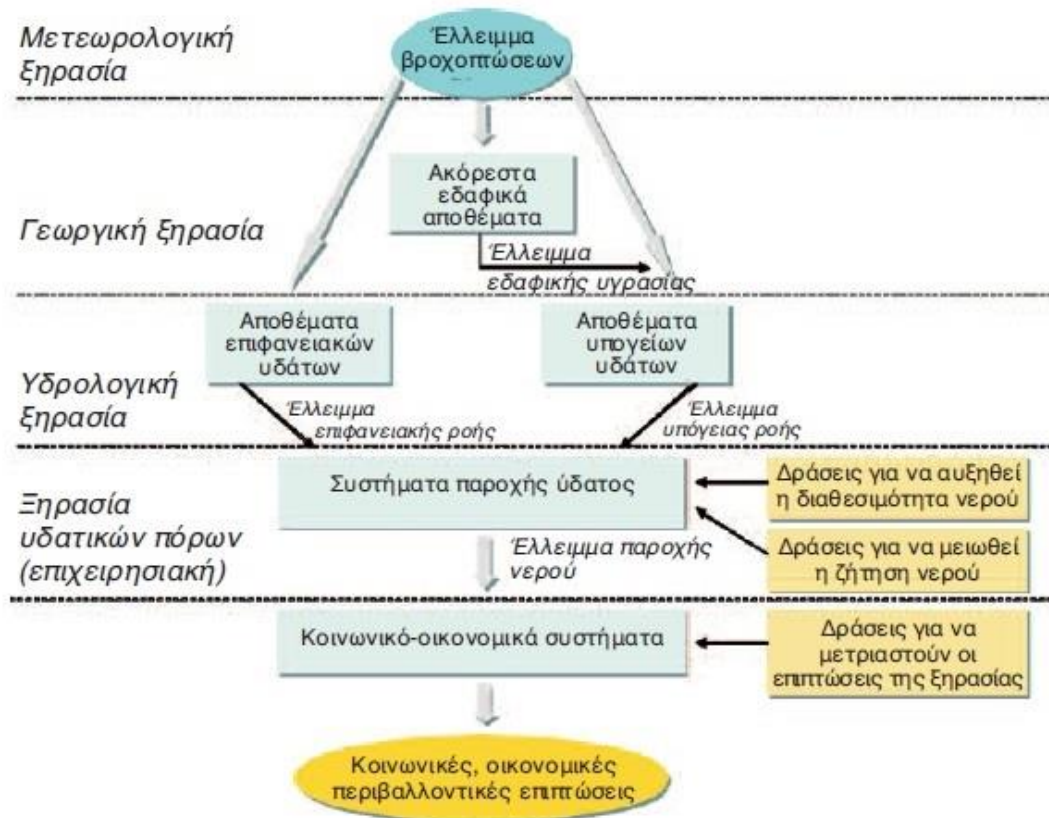
Συγκεκριμένα, η μετεωρολογική ξηρασία δείχνει μια κατάσταση μείωσης των βροχοπτώσεων σε σχέση με τις κανονικές τιμές, που προέρχεται από τη διακύμανση των βροχοπτώσεων που συνήθως δημιουργείται λόγω φυσικών διεργασιών (γεωφυσικές ή ωκεανογραφικές αλληλεπιδράσεις), αλληλεπιδράσεων με τη βιόσφαιρα και πιθανόν διακυμάνσεων της ηλιακής ενέργειας.

Ως άμεση συνέπεια της μετεωρολογικής ξηρασίας, εμφανίζεται έλλειψη εδαφικής υγρασίας (γεωργική ξηρασία), η οποία εξαρτάται από την ποσότητα των υδατικών αποθεμάτων. Συγκεκριμένα, η ύπαρξη υδατικών αποθεμάτων προκαλεί καθυστέρηση στην εμφάνιση ελλείμματος και τροποποιεί την ποσότητα σε σχέση με την αρχική κατάσταση και τη διεργασία της εξατμισοδιαπνοής. Η γεωργική ξηρασία προσβάλλει ιδιαίτερα τη γεωργία και την κτηνοτροφία σε ξηρικές περιπτώσεις.

Στη συνέχεια, όταν ένα προγενέστερο έλλειμμα επηρεάζει τα επιφανειακά σώματα νερού (ποτάμια) και τα υπόγεια σώματα (υδροφορείς), λαμβάνει χώρα η υδρολογική ξηρασία, ως μείωση της επιφανειακής ή/και της υπόγειας ροής σε σχέση με τις κανονικές τιμές.

Τέλος, οι ξηρασίες μπορεί να έχουν επιπτώσεις στα συστήματα υδροδότησης οδηγώντας σε έλλειμμα νερού. Το τελευταίο κάποιες φορές ορίζεται ως επιχειρησιακή ξηρασία, και σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του περιβαλλοντικού, οικονομικού και κοινωνικού συστήματος μπορεί να έχει οικονομικές και απροσδιόριστες συνέπειες. Τόσο η μείωση της διαθεσιμότητας ύδατος όσο και οι επιπτώσεις αυτής εξαρτώνται, εκτός από τη σημασία του γεγονότος ξηρασίας και από την αποτελεσματικότητα των μέτρων περιορισμού που έχουν προσαρμοστεί στα συστήματα υδροδότησης και στα κοινωνικό-οικονομικά συστήματα.

Κάποιες φορές, χρησιμοποιείται επίσης ο ορισμός της κοινωνικό-οικονομικής ξηρασίας, ώστε να αναδείξει τις επιπτώσεις της έλλειψης νερού στον πληθυσμό και την οικονομία.



Εικόνα 2.5 Το φαινόμενο της ξηρασίας: οι μορφές της και οι σχέσεις μεταξύ τους E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006.

2.5.4 Χαρακτηριστικά της λειψυδρίας

Τρία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των επεισοδίων λειψυδρίας: η ένταση, η διάρκεια και η χωρική κατανομή. Η λειψυδρία είναι ένα τρισδιάστατο φαινόμενο που μπορεί να χαρακτηριστεί από τη δριμύτητά της ή την ένταση, τη διάρκεια και τη γεωγραφική έκταση [Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 2007].

Η ένταση (δριμύτητα) της λειψυδρίας αναφέρεται, κυρίως, στην ελάττωση της βροχόπτωσης και στη σημαντικότητα των επιπτώσεων της ελάττωσης αυτής [Dracup et al., 1980b, Sen, 1980]. Η ένταση συναρτάται με την απόκλιση της βροχόπτωσης και άλλων παραμέτρων που συνδέονται με την εξάτμιση (θερμοκρασία, άνεμος, υγρασία) από τις αναμενόμενες κλιματικές τιμές. Γενικά, μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με τον υπολογισμό κλιματολογικών δεικτών, οι οποίοι ενσωματώνουν τις κλιματικές παραμέτρους.

Το δεύτερο βασικό χαρακτηριστικό της λειψυδρίας είναι η διάρκεια. Η χρονική διάρκεια είναι δύσκολο να προσδιοριστεί αφού υπάρχει αβεβαιότητα για τη χρονική στιγμή αρχής και τέλους του φαινομένου. Η λειψυδρία εξελίσσεται αργά και επιδρά αθροιστικά όσο η έλλειψη βροχόπτωσης εμμένει για μήνες ή χρόνια, ενώ οι επιδράσεις συνεχίζονται και μετά την έναρξη της βροχόπτωσης αφού η επαναφόρτιση όλων των υδάτινων σωμάτων (ιδίως των υπόγειων) απαιτεί χρόνο (Palmer, 1965). Ο Μαχαίρας [1992] ταξινόμησε την μετεωρολογική λειψυδρία σε τρεις τύπους σύμφωνα με την διάρκεια εμφάνισης τους: στη μόνιμη λειψυδρία η οποία οδηγεί στην ερημοποίηση, στη περιοδική ή εποχική λειψυδρία και στην τυχαία λειψυδρία.

Το τρίτο χαρακτηριστικό είναι η χωρική έκταση της λειψυδρίας. Η γεωγραφική έκταση κάθε λειψυδρίας συναρτάται άμεσα με τα μετεωρολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής αλλά και τα υπάρχοντα έργα μεταφοράς νερού (Yevjevich, 1967). Οι περιοχές, που επηρεάζονται από ακραία φαινόμενα λειψυδρίας, αυξάνουν σταδιακά όσο η λειψυδρία διατηρείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Μεγάλες χώρες, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η Κίνα, η Βραζιλία, η Ινδία σπάνια επηρεάζονται ολόκληρες από κάποιο επεισόδιο λειψυδρίας. Αντίθετα, δεν είναι σπάνιο να παρατηρηθεί λειψυδρία σε ολόκληρο το πλάτος και μήκος των μικρών χωρών, όπως είναι η Ελλάδα.

Γενικά, είναι σπάνιο στη διάρκεια ενός έτους να μην παρατηρηθεί έστω και ένα μικρό επεισόδιο μετεωρολογικής κυρίως λειψυδρίας αφού η λειψυδρία είναι συχνά αποτέλεσμα μεγάλης κλίμακας ανωμαλιών της ατμόσφαιρας οι οποίες εγκαθίστανται και εμμένουν για μεγάλες χρονικές περιόδους πάνω από διάφορες περιοχές. Η γνώση της χωρικής κατανομής της λειψυδρίας ανά περιοχή έχει πολύ μεγάλη σημασία [Henriques and Santos, 1999; Shin and Salas, 2000].

2.6 Αίτια της λειψυδρίας

Τα αίτια της εμφάνισης λειψυδρίας σε μια περιοχή δεν είναι δυνατόν να καθοριστούν με βεβαιότητα αλλά σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία διατυπώθηκαν διάφορες υποθέσεις (Bryant 1991). Επίσης, για τη βελτίωση της πρόβλεψης της λειψυδρίας έχουν αναλυθεί οι ατμοσφαιρικές αιτίες που την προκαλούν (Namias, 1983; Ropelewski and Halpert, 1987,1989). 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 εξηγούν την εμφάνιση κάποιων επεισοδίων λειψυδρίας είναι :

2.6.1 Αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας

Οι Gribbin (1978), Brysson and Murray (1979) και Lamb (1982) υποστηρίζουν ότι η εμφάνιση λειψυδρίας είναι αποτέλεσμα μιας γενικής αλλαγής στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι οι μετακινήσεις των κυμάτων Rossby είναι υπεύθυνες, τόσο για μικρής διάρκειας λειψυδρία όσο και για ημιμόνιμες καταστάσεις του κλίματος σε συγκεκριμένες περιοχές του βορείου Ημισφαιρίου. Ειδικότερα, οι Brysson and Murray (1977) υποστηρίζουν ότι η λειψυδρία στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου αλλά και της βόρειας Αφρικής οφείλεται κατά κύριο λόγο στη θέση των κυμάτων Rossby. Αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία μπορεί να προκληθούν και από άλλους παράγοντες, μικρότερης σημασίας. Η εισαγωγή μεγάλης ποσότητας ηφαιστειακής τέφρας ή λεπτόκοκκου κονιορτού από τις ερήμους μπορεί να μεταβάλλει το ισοζύγιο της ακτινοβολίας με άμεσο αποτέλεσμα την υπερθέρμανση των αερίων μαζών και την εμφάνιση λειψυδρίας στις περιοχές αυτές. Επίσης, η διέλευση των αερίων μαζών πάνω από ψυχρές θαλάσσιες μάζες έχει ως αποτέλεσμα το μη πλήρη εμπλουτισμό αυτών με τα απαραίτητα ποσά υγρασίας οπότε έμμεσα παρατηρείται ελάττωση βροχοπτώσεων στις περιοχές όπου αυτές επηρεάζουν.

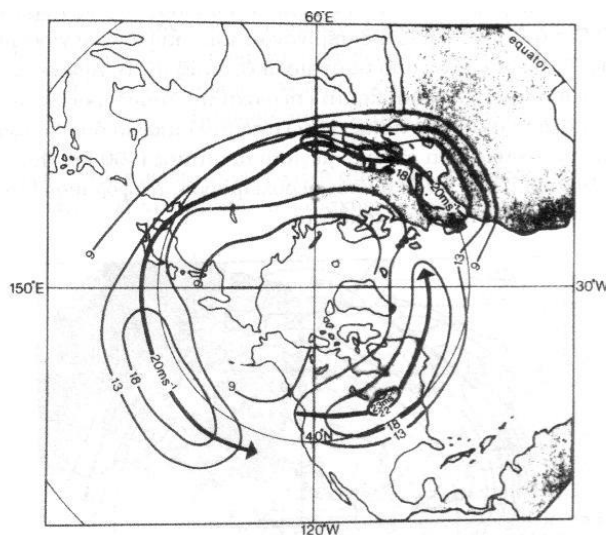
2.6.2 Αεροχείμαρροι

Οι τροποσφαιρικοί άνεμοι των μέσων γεωγραφικών πλατών δεν είναι ως προς την έντασή τους ομοιόμορφοι παντού. Υπάρχουν περιοχές όπου καθ'όλη τη διάρκεια του έτους υπάρχει ένα πολύ ισχυρό ρεύμα – ποτάμι αέρα που είναι γνωστό ως αεροχείμαρρος.

Τους αεροχείμαρρους αυτούς τους εντοπίζουμε καθημερινά στους συνοπτικούς χάρτες καιρού ανώτερης ατμόσφαιρας. Βρίσκονται, συνήθως, στο ύψος από 7,5 έως 14 Km μόλις κάτω από την τροπόπαυση. Παίζουν σημαντικό ρόλο στη μεταφορά ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις μέσα στην ατμόσφαιρα.

Έχει βρεθεί ότι σε κάθε ημισφαίριο , σε μέση κατάσταση, διακρίνονται δύο βασικοί αεροχείμαρροι : α) ο αεροχείμαρρος του πολικού μετώπου και β) ο Υποτροπικός αεροχείμαρρος.

Αξιοσημείωτο θεωρείται το γεγονός ότι η μέση θέση του υποτροπικού αεροχείμαρρου κατά το θέρος είναι πάνω από τη Μεσόγειο (εικόνα 2.6). Ευρισκόμενος στη θέση αυτή αποτελεί ένα φράγμα στη κάθοδο των ψυχρών βόρειων αερίων μαζών. Επίσης κάτω από τον πυρήνα του αεροχείμαρρου επικρατούν συνήθως έντονες καθοδικές κινήσεις του αέρα ο οποίος θερμαινόμενος έτσι αδιαβατικά συμβάλλει καταρχήν στη νεφοδιάλυση στην κατώτερη τροπόσφαιρα και επικράτηση τελικώς ζωνικής κυκλοφορίας στη μέση τροπόσφαιρα και αντικυκλωνική κυκλοφορία στην επιφάνεια .



Εικόνα 2.6 Υποτροπικός αεροχείμαρρος τον μήνα Ιούλιο ,πηγή: www.northmeteo.gr

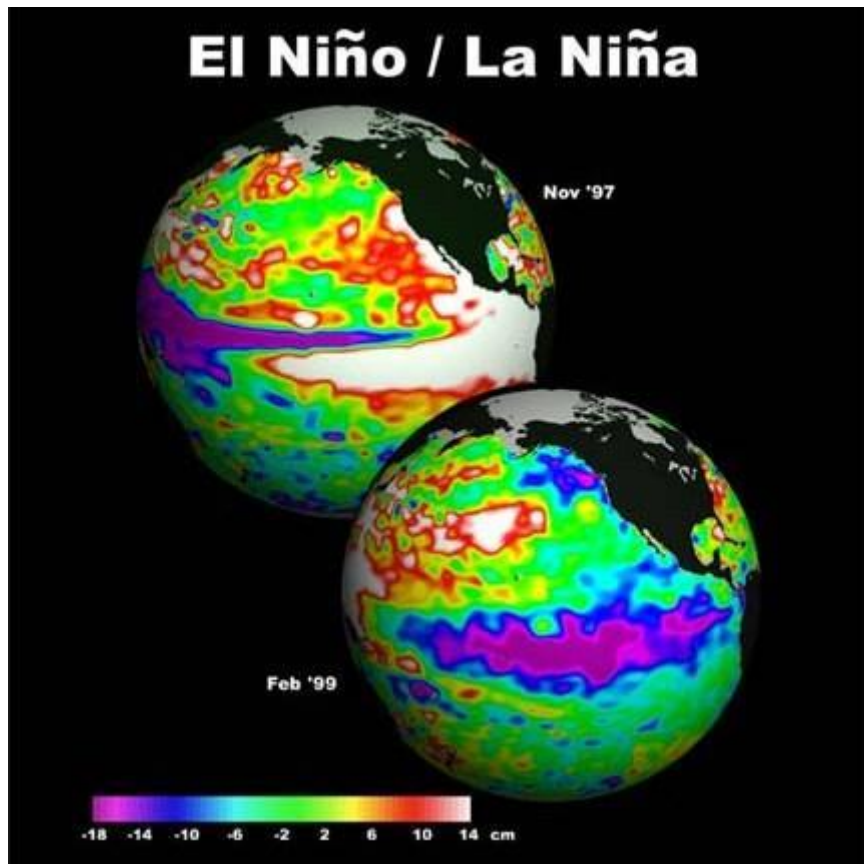
2.6.3. Φαινόμενο El - Niño

Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα που εμφανίζουν οι ωκεανοί, σε συνδυασμό με την ανταλλαγή ποσών ενέργειας ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και στους ωκεανούς, αποτελεί τον κύριο παράγοντα καθορισμού των κλιμάτων στην επιφάνεια της γης. 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 επιφάνειά του πλανήτη, με αποτέλεσμα να εμφανιστεί ως ένα επιπλέον αίτιο εμφάνισης λειψυδρίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το φαινόμενο El

Niño, που παρατηρείται στην περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού και χρησιμοποιείται για την περιγραφή των ακραίων επεισοδίων μόνο. Κατά τη διάρκεια του φαινομένου El Niño παρατηρείται παλινδρόμηση της ατμοσφαιρικής πίεσης ανάμεσα στο δυτικό και ανατολικό τμήμα του Ειρηνικού. Η παλινδρόμηση αυτή είναι σήμερα γνωστή με τον όρο «Ταλάντωση Νότιας Κύμανσης» (El niño Southern Oscillation) ή ENSO. Οι περιοχές που επηρεάζονται από την ENSO κυκλοφορία, σύμφωνα με τους Bhalme et al. (1983), θεωρούνται περιοχές λειψυδριών και πλημμύρων. Τα φαινόμενα ENSO παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία και την ένταση της λειψυδρίας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση της εμφάνισης του φαινομένου της λειψυδρίας.

2.6.4 Φαινόμενο La Nina

Η περίοδος των ψυχρότερων από τις υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασιών της επιφάνειας του Ωκεανού στην περιοχή του ανατολικού Ειρηνικού αντιστοιχεί στην ψυχρή φάση της Νοτίου Κύμανσης και καλείται La Nina. Η φάση La Nina λαμβάνει χώρα κάθε 2 έως 7 έτη υπό κανονικές συνθήκες, λόγω της αύξησης της έντασης των ανατολικών αληγών ανέμων κοντά στην επιφάνεια του κεντρικού και ανατολικού Ισημερινού Ειρηνικού Ωκεανού. Η αύξηση της έντασης των αληγών ανέμων, προκαλεί την αύξηση της ποσότητας του ψυχρότερου νερού στην παράκτια περιοχή της Νότιας Αμερικής και την μείωση της θερμοκρασίας των νερών της. Έτσι, τα επεισόδια La Nina χαρακτηρίζονται από χαμηλότερες από τις κανονικές πιέσεις πάνω από την Ινδονησία και τη Βόρεια Αυστραλία και υψηλότερες από τις κανονικές πιέσεις πάνω από το ανατολικό τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό. Κατά την διάρκεια των επεισοδίων La Nina ανατρέπονται τα κανονικά χαρακτηριστικά της τροπικής βροχόπτωσης και ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Τα ασυνήθιστα ψυχρά νερά του κεντρικού Ισημερινού Ειρηνικού οδηγούν σε μειωμένη νέφωση και βροχόπτωση στην εν λόγω περιοχή, ιδιαίτερα κατά το χειμώνα και την άνοιξη του Βορείου Ημισφαιρίου. Ταυτόχρονα, σημειώνονται αυξημένες βροχοπτώσεις στην Ινδονησία, στην Μαλαισία και στην Βόρεια Αυστραλία.



Εικόνα 2.7 Φαινόμενο El Nino/La Nina , nc-climate.ncsu.edu

2.6.5 Αστρονομικοί Παράγοντες

Υποστηρίζεται ότι οι ηλιακές κηλίδες και οι σεληνιακοί κύκλοι των 18.6 ετών, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τη διακύμανση της τροχιάς της σελήνης, σε σχέση με τον ισημερινό του ηλίου, αποτελούν παράγοντες ρύθμισης της εμφάνισης λειψυδρίας ή βροχόπτωσης στον πλανήτη. Μάλιστα, η περιοδική εμφάνισή τους αποτελεί μέσο πρόγνωσης της λειψυδρίας. Πιο συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί σχέση ανάμεσα στους κύκλους των ηλιακών κηλίδων με την κυκλοφορία στην ανώτερη ατμόσφαιρα, όπως επίσης έχει αποδειχθεί ότι τα μέγιστα των σεληνιακών κύκλων των 18.6 ετών συνδέονται με την εμφάνιση πλημμύρων ή λειψυδριών σε διάφορες περιοχές (Currie, 1981; 1984).

Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι το φαινόμενο της Νότιας Κύμανσης (ENSO) και οι διάφοροι αστρονομικοί παράγοντες εκφράζουν μόλις τα 15-30% της ολικής διακύμανσης της βροχόπτωσης, οπότε το 70% περίπου της πιθανότητας

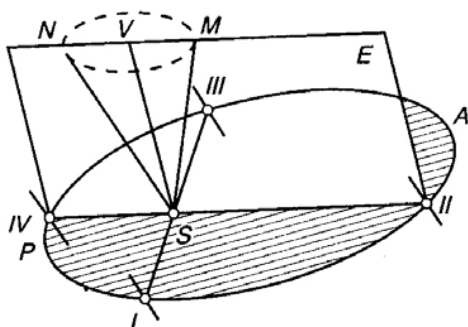
εμφάνισης λειψυδρίας σε κάποια περιοχή οφείλεται σε άλλους κλιματικούς παράγοντες που τελούν ακόμα υπό έρευνα (Bryant, 1991).

2.6.6 Η αστρονομική θεωρία του Milankovitch (ή ο κανόνας της ηλιακής ακτινοβολίας)

Η αστρονομική θεωρία του Milankovitch επικεντρώνεται σε έναν από τους πολύ γνωστούς μηχανισμούς ώθησης του κλιματικού συστήματος, τις διακυμάνσεις των τροχιακών παραμέτρων της Γης και εξήγησε την ύπαρξη των περιόδων παγετώνων.

Η θεωρία του Milankovitch ή κύκλοι του Milankovitch, αποτελείται από δύο θεματικές συνιστώσες: α) την αστρονομική και β) τη φυσική. Ειδικότερα, στο αστρονομικό μέρος του έργου του υπολογίζονται οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας στο ανώτατο στρώμα της ατμόσφαιρας της Γης. Κατά την έρευνά του, ενσωμάτωσε τρεις αστρονομικές περιοδικότητες, τρεις μικρές μεταβολές στη γεωμετρία Γης – Ήλιου, οι οποίες αλλάζουν την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται κάθε ημισφαίριο και την εποχικότητα 11.

Στην εικόνα 2.8 απεικονίζονται οι τρεις τροχιακές παράμετροι της γης. Όπου S είναι ο Ήλιος, το τμήμα SV είναι κάθετο στην ελλειπτική τροχιά της Γης και το τμήμα SN είναι παράλληλο στον άξονα περιστροφής της Γης. Η γωνία VSN δείχνει την κλίση του άξονα περιστροφής ή τη λόξωση της εκλειπτικής. Το επίπεδο E, το οποίο περιλαμβάνει τον άξονα και τα ηλιοστάσια, κινείται γύρω από τον άξονα SV και συμπληρώνει μια πλήρη περιστροφή σε 26. 000 χρόνια περίπου (Πλατωνικό έτος).



Εικόνα 2.8 Οι τρεις τροχιακές παράμετροι της γης
<http://www.airpollab.org/sites/default/files/milankov.pdf>

Οι τρεις μηχανισμοί, που σχετίζονται με τις κλιματικές αλλαγές, όπως διατυπώθηκαν από τον Milutin Milankovitch, είναι η διακύμανση της εκκεντρότητας, η μεταβολή της λόξωσης και η μετάπτωση των ισημεριών. Αναλυτικότερα:

Η εκκεντρότητα (eccentricity) της τροχιάς της Γης, κατά την περιστροφή της γύρω από τον Ήλιο, μεταβάλλεται από σχεδόν 0 έως περίπου 0.06. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η σχεδόν κυκλική τροχιά να μεταπίπτει σε ένα ελαφρώς επίμηκες ελλειψοειδές σχήμα. Το φαινόμενο οφείλεται στη βαρυτική έλξη, που δέχεται η Γη από άλλους πλανήτες και από τη Σελήνη. Έχει περιοδικότητα, που εναλλάσσεται, μεταξύ 100.000 ετών και 400.000 ετών και επηρεάζει τον κύκλο των εποχών. Συγκεκριμένα, όταν η Γη είναι πιο κοντά στον Ήλιο, δέχεται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία. Για παράδειγμα, αν ένα ημισφαίριο βρεθεί πλησιέστερα στον Ήλιο, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, τότε ο χειμώνας είναι λιγότερο βαρύς. Εάν η Γη τον προσεγγίσει κατά το καλοκαίρι, τότε, όμως, το ημισφαίριο γίνεται σχετικά πιο θερμό. Επιπλέον, μια πιο έκκεντρη τροχιά θα αλλάξει τη διάρκεια των εποχών κάθε ημισφαιρίου.

Δεδομένου ότι η εκκεντρότητα (e) της τροχιάς της Γης περιορίζεται σ' ένα στενό φάσμα, κυμαινόμενο από το 0 έως περίπου το 0.06, αυτό συνεπάγεται τον οριακό επηρεασμό του συνολικού ποσού ακτινοβολίας που λαμβάνει η Γη. Κυρίως, όμως, επηρεάζει σημαντικά τη διάρκεια των εποχών. Συγκεκριμένα, η διάρκεια των εποχών είναι ανάλογη με το εμβαδό που σαρώνει το διάνυσμα θέσης της Γης μεταξύ ισημεριών και ηλιοστασίων. Έτσι, όταν η εκκεντρότητα είναι μεγάλη, τότε οι εποχές που εμφανίζονται όταν ο πλανήτης είναι στο πιο απομακρυσμένο σημείο της τροχιάς του (αφήλιο) θα είναι μεγαλύτερες σε διάρκεια.

2. Η κλίση του άξονα της Γης υφίσταται λόξωση (ή απόκλιση) (obliquity), από $22,1^\circ$ έως $24,5^\circ$. Τώρα βρισκόμαστε στις $23,5^\circ$ δηλαδή κοντά στη μέση τιμή. Η απόκλιση είναι η γωνία μεταξύ του άξονα περιστροφής της γης και της καθέτου στο επίπεδο περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο. Το φαινόμενο αυτό έχει περιοδικότητα 41.000 ετών περίπου. Παρόλο που οι μεταβολές στη λόξωση είναι μικρές, ωστόσο προκαλούν σημαντικές αλλαγές στο κλίμα. Έτσι, μια αύξηση στην κλίση του άξονα μεγαλώνει τη γωνία με την οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία στους πόλους, αυξάνοντας τη θερμότητα που φτάνει στην επιφάνεια της Γης και επομένως τη θερμοκρασία της. Για μεγάλη κλίση, η εποχικότητα στα μεγάλα

γεωγραφικά πλάτη γίνεται πιο ακραία. Έτσι, οι εποχές γίνονται πιο οριακές, δηλαδή παρατηρούνται θερμότερα καλοκαίρια και ψυχρότεροι χειμώνες. Μια μείωση στην κλίση σημαίνει λιγότερο έντονες εποχές, δηλαδή πιο ήπιους χειμώνες και πιο ήπια καλοκαίρια. Οι αλλαγές στην κλίση έχουν μικρή επίδραση στις τροπικές περιοχές και μέγιστα αποτελέσματα στους πόλους.

3. Η μετάπτωση των ισημεριών (precession) έχει περίοδο περίπου 19.000 - 23.000 χρόνια. Ο άξονας της Γης διαγράφει τον κώνο NSM, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8. Πρόκειται για ένα σύνθετο φαινόμενο, που επηρεάζει την κατεύθυνση του άξονα της Γης και εξαρτάται από τον κλονισμό του άξονα περιστροφής. Αυτός ορίζεται σαν η γωνία Λ , μεταξύ της γραμμής που ενώνει τη γη με τον ήλιο την εαρινή ισημερία και της γραμμής που τους ενώνει στο περιήλιο. Αυτή η αλλαγή του άξονα μετατοπίζει τις ημερομηνίες του περιηλίου και του αφηλίου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η εποχική αντίθεση στο ένα ημισφαίριο και να μειώνεται στο άλλο. Επίσης, οι ισημερίες δε συμβαίνουν πάντα την ίδια ημέρα του ημερολογίου, αλλά βαθμιαία αλλάζουν. Σε 11.000 χρόνια από τώρα, ο Βόρειος Πόλος της Γης δε θα είναι απέναντι από τον Πολικό Αστέρα, αλλά θα εντοπίζεται κοντά στο αστέρι Vega. Επομένως, ο άξονας της γης θα έχει μετατοπιστεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το βόρειο ημισφαίριο να έχει χειμώνα τον Ιούνιο και καλοκαίρι το Δεκέμβριο.

Η παράμετρος της μετάπτωσης των ισημεριών σε συνδυασμό με την εκκεντρότητα μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές ~ 15% στην καλοκαιρινή ροή ακτινοβολίας στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Η συνδυασμένη δράση των τριών τροχιακών παραμέτρων μπορεί να προκαλέσει μεταβολές στην εποχική ροή ακτινοβολίας μέχρι ~ 30% στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη.

Ο Milankovitch, λοιπόν, κατέληξε στο συμπέρασμα πως ο συνδυασμός των ανωτέρω τριών κύκλων έχει επιπτώσεις στη σχετική ένταση του καλοκαιριού και του χειμώνα, και θεωρείται ότι μπορεί να ελέγχει την αύξηση και την υποχώρηση των παγόβουνων. Τα δροσερά καλοκαίρια στο βόρειο ημισφαίριο, στα μέρη με περισσότερη στεριά, επιτρέπουν στο χιόνι και στον πάγο να διατηρούνται μέχρι και τον επόμενο χειμώνα. Αυτό βοηθάει στην ανάπτυξη μεγάλων παγόβουνων και στη διατήρησή τους για εκατοντάδες έως χιλιάδες χρόνια. Αντιθέτως, τα θερμότερα καλοκαίρια μειώνουν την έκταση των παγόβουνων, γιατί συμβάλλουν στην τήξη τους. Βάσει της θεωρίας του Milankovitch, περίοδος χωρίς παγετώνες θα εμφανιστεί ως αποτέλεσμα μεγάλης καλοκαιρινής ροής ακτινοβολίας στο Βόρειο Ημισφαίριο. Η εξέλιξη αυτή θα παρατηρηθεί όταν η απόκλιση είναι μεγάλη και η παράμετρος της

μετάπτωσης των ισημεριών είναι θετική και μεγάλη. Αυτός ο συνδυασμός καταγράφηκε περίπου πριν από 10.000 χρόνια όταν το κλίμα ήταν ελαφρώς θερμότερο από το σημερινό.

2.6.7 Ανθρωπογενείς παράγοντες

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες συμβάλλουν στην ανάπτυξη των συνθηκών που προκαλούν τη λειψυδρία. Αυτές είναι η αύξηση του πληθυσμού (αύξηση της ζήτησης), οι χρήσεις γης (ανεπαρκείς μέθοδοι διαχείρισης και καλλιέργειας των εδαφών αυξάνουν τον κίνδυνο λειψυδρίας), η ποιότητα του νερού (ρύπανση του νερού μειώνει την διαθεσιμότητα καθαρού νερού), η ζήτηση του νερού (αυξανόμενη ζήτηση χωρίς σωστή χρήση μπορεί να οδηγήσει γρηγορότερα σε συνθήκες έλλειψης), τα διεθνή ύδατα (άνιση εκμετάλλευση κοινών υδατικών πόρων μεταξύ κρατών) , οι πολιτικές πραγματικότητες (μειωμένοι προϋπολογισμοί και καθυστέρηση στη λήψη μέτρων διαχείρισης μιας λειψυδρίας), κοινωνιολογικά ζητήματα (πιέσεις από μέρος του πληθυσμού για μεγαλύτερη πρόσβαση σε νερό μπορεί να οδηγήσει σε πολιτικές που συμβάλλουν στην ανάπτυξη της λειψυδρίας), η ισχύουσα νομοθεσία και η διαχείριση των υδατικών πόρων (φτωχή ή ανεπαρκής νομοθεσία μπορεί να επιδεινώσει τα αποτελέσματα της έλλειψης νερού).

2.7 Επιπτώσεις της λειψυδρίας

Η λειψυδρία έχει βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες και συνήθως συγκεντρωτικές επιπτώσεις σε όλα τα είδη δραστηριοτήτων που σχετίζονται με το νερό, την οικονομία και την κοινωνία. Υπάρχουν δύο μεθοδολογικές προσεγγίσεις για την μελέτη και την αξιολόγηση των επιπτώσεων της λειψυδρίας. Η πρώτη προσέγγιση είναι αυτή του αντίκτυπου των επιπτώσεων (impact approach) όπου ένα κλιματικό φαινόμενο (λειψυδρία) λειτουργεί μοναδικά και έχει ένα αντίκτυπο (επίπτωση). Αυτή είναι μια προσέγγιση αίτιου-αιτιατού. Η δεύτερη προσέγγιση είναι η προσέγγιση της αλληλεπίδρασης (interaction approach) και υποστηρίζει ότι διάφορες διεργασίες φυσικές, οικονομικές ή κοινωνικές μπορεί να επηρεάσουν τη

μοναδική δράση του φαινομένου και οι επιπτώσεις είναι ενσωματωμένες και αλληλένδετες με το φαινόμενο. Με άλλα λόγια αν το περιβάλλον, οι πολιτικές, η οικονομία και η κοινωνία συνδυαστούν αρνητικά σε μια μοναδική λειτουργία μπορεί να προκαλέσουν κρίση. Τις τελευταίες δεκαετίες η προσέγγιση της αλληλεπίδρασης άρχισε να θεωρείται πιο ρεαλιστική παρουσιάζοντας τις επιδράσεις της λειψυδρίας σαν βαθμούς αλληλεπιδράσεων. (Wilhite, D.A. et al., 1987). Από αυτή την άποψη μια πρώτη κατηγοριοποίηση θα ήταν σε πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού αποτελέσματα (Changnon, S.A. and Easterling, W.E., 1989).

Οι επιπτώσεις πρώτης τάξης σχετίζονται με τις αλλαγές σχετικά με τον υδρολογικό κύκλο (βροχόπτωση, απορροή, ροή ρεύματος και υπόγειων υδάτων). Οι επιπτώσεις δεύτερης τάξης συνήθως επηρεάζουν ανθρώπινες δραστηριότητες όπως τη γεωργία, τη βιομηχανία, αστικούς χρήστες και τις μεταφορές. Τέλος οι επιπτώσεις τρίτης τάξης μπορεί να γίνουν κατανοητές σαν προσαρμογές των επιπτώσεων πρώτης και δεύτερης τάξης (απώλειες εισοδήματος, προσαρμογή τρόπου ζωής, ορθολογική οργάνωση). Σε γενικές γραμμές το μέγεθος των επιπτώσεων σε μια περιοχή επηρεάζεται από την πυκνότητα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, τις ανάγκες, τις απαιτήσεις, το επίπεδο της κοινωνικοοικονομικής δομής και των περιβαλλοντικών δεσμών. (Eriyagama et al, 2009)

Πίνακας 5 Σύνοψη των κύριων επιπτώσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη σε κάθε τομέα (από διάφορες πηγές)

Τομέας	Επίπτωση
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ	<p>Μειωμένη παραγωγή στη γεωργία, δασοκομία, αλιεία, υδροηλεκτρική ενέργεια, τουρισμό, βιομηχανία, και οικονομικές δραστηριότητες που εξαρτώνται από τους τομείς αυτούς.</p> <p>Ανεργία που προκαλείται από τη μείωση της παραγωγής.</p> <p>Οικονομική ζημιά λόγω μειωμένης πλευστότητας στα ρέματα, στα ποτάμια και στα κανάλια.</p> <p>Ζημιά στον τομέα του τουρισμού λόγω μειωμένης διαθεσιμότητας νερού στα συστήματα υδροδότησης ή/και στα υδάτινα σώματα.</p> <p>Πίεση σε οικονομικούς φορείς (μεγαλύτερη επικινδυνότητα δανεισμού, μείωση κεφαλαίων, κ.λπ).</p> <p>Μείωση εισοδήματος σε εταιρείες υδάτων λόγω μειωμένης διανομής ύδατος.</p> <p>Δαπάνες σε μέτρα εκτάκτου ανάγκης για τη βελτίωση των πόρων και μείωση των απαιτήσεων (πρόσθετες δαπάνες για μεταφορά και απομάκρυνση νερού, δαπάνη διαφήμισης για μείωση της χρήσης νερού, κ.λπ).</p>
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ	<p>Μείωση της παροχής ύδατος και της ποιότητας του επιφανειακού και του υπογείου νερού.</p> <p>Ζημιά στ οικοσυστήματα και στους υδροτόπους, στη βιοποικιλότητα και ασθένειες (διάβρωση του εδάφους, σκόνη, μειωμένη φωτοσύνθεση, κ.λπ).</p> <p>Αυξημένες πυρκαγιές.</p> <p>Έλλειψη τροφής και πόσιμου νερού.</p> <p>Αύξηση της συγκέντρωσης άλατος (σε ρέματα, υπόγεια στρώματα και αρδευόμενες περιοχές).</p> <p>Απώλειες σε φυσικές και τεχνητές λίμνες (ψάρια, τοπία, κ.λπ.).</p> <p>Ζημιές στη ζωή των ποταμών και των υδροτόπων (χλωρίδα, πανίδα).</p> <p>Ζημιά στην ποιότητα του αέρα (για παράδειγμα ρυπαντική σκόνη).</p>
ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΣ	<p>Ζημιά στη δημόσια υγεία και ασφάλεια, λόγω των επιπτώσεων στην ποιότητα του αέρα και των υδάτων ή των αυξημένων πυρκαγιών</p> <p>Αυξημένη κοινωνική ανισότητα, λόγω των επιπτώσεων στις διαφορετικές κοινωνικό-οικονομικές ομάδες</p> <p>Αλλαγές στις πολιτικές προοπτικές</p> <p>Οχλήσεις λόγω περιορισμού της παροχής ύδατος.</p> <p>Επιπτώσεις στον τρόπο ζωής (ανεργία, μειωμένη ικανότητα οικονομίας, δυσκολίες στην προσωπική φροντίδα, επαναχρησιμοποίηση του ύδατος στο σπίτι, απαγόρευση πλυσίματος αυτοκινήτων και σπιτιών, ανησυχία για το μέλλον, μείωση της διασκέδασης, απώλεια περιουσίας).</p> <p>Ανισότητα των επιπτώσεων της ξηρασίας και της κατανομής των μέτρων περιορισμού της.</p> <p>Εγκυτάλειψη δραστηριοτήτων και μετανάστευση (σε ακραίες περιπτώσεις).</p>

Πίνακας 2.1: Σύνοψη των κύριων επιπτώσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη σε κάθε τομέα. Πηγή: E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006.

2.8 Δείκτες Λειψυδρίας

Η αναγνώριση, η ποσοτικοποίηση και η παρακολούθηση των επεισοδίων λειψυδρίας είναι δύσκολη υπόθεση, αφού όπως έχει ήδη αναφερθεί, η λειψυδρία είναι πολύπλοκο φαινόμενο που δύσκολα μπορεί να ανιχνευτεί άμεσα.

Η λειψυδρία είναι ένα τρισδιάστατο φαινόμενο που μπορεί να χαρακτηριστεί από τη σοβαρότητά της ή την ένταση, τη διάρκεια και τη γεωγραφική έκταση. Λόγω του μεγάλου πλήθους ορισμών της λειψυδρίας και της μεγάλης μεταβλητότητας που εμφανίζει σε σχέση με την τοπογραφία και το κλίμα της κάθε περιοχής η εμφάνιση και η δημιουργία δεικτών λειψυδρίας ήταν απαραίτητη για το χαρακτηρισμό των

μετεωρολογικών και υδρολογικών περιόδων λειψυδρίας, την ιστορική καταγραφή καθώς επίσης και τη δυνατότητα αξιολόγησης σε κάθε γεωγραφική μονάδα.

Ο χαρακτηρισμός της λειψυδρίας είναι περίπλοκος και υπάρχει ένα μεγάλο φάσμα μετεωρολογικών ή υδρολογικών δεικτών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η διαθεσιμότητα μεγάλου αριθμού δεικτών υπάρχει κυρίως λόγω της δυσκολίας μονοσήμαντου ορισμού ενός φαινομένου λειψυδρίας. Ο σωστός χαρακτηρισμός της λειψυδρίας παρέχει στους αποφασίζοντες καταγεγραμμένες μετρήσεις της μη κανονικότητας των καιρικών διακυμάνσεων και των επιπτώσεών τους σε μια περιοχή. Ο σκοπός της συνεχούς παρακολούθησης της λειψυδρίας είναι η προειδοποίηση για μια πιθανή επερχόμενη λειψυδρία, παρέχοντας τις κατάλληλες πληροφορίες για μια αντικειμενική αναγνώριση της λειψυδρίας και για την αποφυγή ελλειμμάτων νερού, επομένως το μεθοδολογικό αυτό μέρος είναι απαραίτητο για τους άμεσα ενδιαφερόμενους.

Απαιτείται μια ακριβή επιλογή δεικτών λειψυδρίας, ικανών να περιγράψουν με ένα συνθετικό και σαφή τρόπο την εξέλιξη των συνθηκών λειψυδρίας στο χώρο και το χρόνο. Ο κάθε ένας από αυτούς έχει τη δική του αξία και συχνά υποστηρίζει ο ένας τον άλλο. Ένας συνδυασμός δεικτών είναι συνήθως η προτιμώμενη επιλογή. Ωστόσο παρά το γεγονός ότι κανένας από τους σημαντικότερους δείκτες δεν είναι εγγενώς ανώτερος από τους υπόλοιπους, κάποιοι δείκτες είναι πιο κατάλληλοι από άλλους για ορισμένες χρήσεις. Συνολικά η φύση του δείκτη, οι τοπικές συνθήκες, η διαθεσιμότητα των στοιχείων και η εγκυρότητα τους συνήθως καθορίζουν τον δείκτη που πρέπει να εφαρμόζεται. (Σκόνδρας κ.α 2011)

Οι δείκτες λειψυδρίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή όλων των τύπων λειψυδρίας, της μετεωρολογικής λειψυδρίας: απόκλιση από τις κανονικές μετεωρολογικές συνθήκες, της υδρολογικής λειψυδρίας: απόκλιση από τις κανονικές υδρολογικές συνθήκες, της γεωργικής λειψυδρίας: απόκλιση από τις κανονικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας για την ανάπτυξη των καλλιεργειών και της κοινωνικό-οικονομικής λειψυδρίας: απόκλιση από το κανονικό επίπεδο διαθεσιμότητας ύδατος για την ανταπόκριση στις ανάγκες της κοινωνίας. Ανάλογα με το είδος της λειψυδρίας επιλέγεται και ο κατάλληλος δείκτης λειψυδρίας. Επίσης οι δείκτες μπορεί να θεωρηθούν ως γενικοί ή ειδικοί, ανάλογα με τη σκοπιμότητα για την οποία έχουν επινοηθεί. Είναι κατανοητό ότι η διάκριση αυτή είναι δύσκολη. Κάποιοι από τους δείκτες, εν τούτοις, είναι πιο κατάλληλοι για συνεχή παρακολούθηση και κάποιοι για την ανάλυση των ιστορικών γεγονότων λειψυδρίας.

Οι δείκτες για το χαρακτηρισμό της λειψυδρίας πρέπει να είναι σύμφωνοι με τις ακόλουθες απαιτήσεις:

1. να μπορούν να υπολογιστούν από διαθέσιμα δεδομένα από πραγματικά συστήματα συλλογής δεδομένων·
2. να έχουν άμεση σχέση με τρωτά κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά συστήματα και
3. να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προβλέψεις και συστήματα έγκαιρης καταγραφής.(Οδηγίες λειψυδρίας medawater,medroplan)

Ο χαρακτηρισμός της λειψυδρίας θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνει μια προηγούμενη διάγνωση των πηγών, κλιμάκων και αξιοπιστίας των δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση.

Ο υπολογισμός περισσότερων του ενός δείκτη λειψυδρίας είναι απαραίτητος πριν τη λήψη των τελικών αποφάσεων για τη διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής. Η διαχείριση της λειψυδρίας εξαρτάται από δείκτες που εντοπίζουν τις συνθήκες λειψυδρίας και όρια που ενεργοποιούν την απόκριση στην λειψυδρία.

Ένας δείκτης λειψυδρίας θα πρέπει να είναι ένα αντικειμενικό μέτρο της κατάστασης του συστήματος και αποτελεί απαραίτητο στοιχείο στον εντοπισμό της έναρξης των συνθηκών λειψυδρίας, στη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή της λειψυδρίας, στην εκτίμηση των γεγονότων λειψυδρίας και στην ποσοτικοποίηση του κινδύνου, καθώς συνοψίζουν την περίπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ κλιματικών μεταβλητών και σχετικών διεργασιών (π.χ. εδαφική υγρασία). Η χρήση δεικτών καθιστά δυνατή την ποσοτική εκτίμηση των κλιματικών ανωμαλιών σε θέματα έντασης, χωρικής έκτασης και συχνότητας και ευνοεί την ανταλλαγή πληροφοριών για τις συνθήκες λειψυδρίας ανάμεσα στους αποφασίζοντες και στο κοινό.

Από το '60 έχουν προταθεί διαφορετικοί δείκτες και μέθοδοι για τον προσδιορισμό και την καταγραφή των γεγονότων λειψυδρίας. Κάποιοι από τους δείκτες αναφέρονται στη μετεωρολογική λειψυδρία και βασίζονται σε χρονοσειρές βροχοπτώσεων, ενώ άλλοι προσανατολίζονται στην περιγραφή της υδρολογικής ή της γεωργικής λειψυδρίας ή στα ελλείμματα ύδατος σε αστικά συστήματα υδροδότησης. Ο Πίνακας 2.2 παρουσιάζει μια σύνοψη κάποιων από τους βασικούς δείκτες που μπορούν να βρουν εφαρμογή για το χαρακτηρισμό της λειψυδρίας και τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή της.

Οι πιο ευρέως εφαρμοσμένοι δείκτες λειψυδρίας περιλαμβάνουν τον Standardised Precipitation Index (SPI), τον Palmer Drought Severity Index (PDSI) και τα Deciles λόγω της απλότητάς τους.

Καταλήξαμε ότι για το σκοπό της συνεχούς παρακολούθησης ο πιο εύκολος στη χρήση δείκτης είναι ο SPI, ο οποίος βασίζεται σε μια μόνο μετεωρολογική παράμετρο που είναι η βροχόπτωση αλλά και ο RDI που περιλαμβάνει επίσης την εξατμισοδιαπνοή. Η πρόσφατη πρόοδος στην τηλεπισκόπηση παρέχει προϊόντα που έχουν ένα μεγάλο δυναμικό ως δείκτες λειψυδρίας. Ο NDVI χρησιμοποιείται ευρέως για τη συνεχή παρακολούθηση και πρόβλεψη της παραγωγής καλλιεργειών παγκοσμίως και από τις εταιρείες αγροτικής ασφάλισης.

Επειδή οι υδρο-μετεωρολογικές παράμετροι μετρούνται σε κάποιους σταθμούς και οι αποφάσεις μπορούν να ληφθούν στις περισσότερες επιπτώσεις σε επίπεδο λεκάνης, για αποφάσεις υδατικής και γεωργικής διαχείρισης απαιτείται η χωρική ολοκλήρωση στην εφαρμογή της μεθοδολογίας. Η χωρική ολοκλήρωση σε επίπεδο μιας μικρής λεκάνης ή μιας υπολεκάνης μπορεί να υλοποιηθεί με τον υπολογισμό του σταθμικού μέσου των εμπλεκόμενων παραμέτρων. Το βάρος στην προσέγγιση αυτή είναι η περιοχή που αντιπροσωπεύεται από κάθε σταθμό. Η χωρική έκταση της λειψυδρίας εκτιμάται με βάση τις συγκρίσεις της επηρεαζόμενης περιοχής με ένα όριο το οποίο αναφέρεται ως «κριτική περιοχή».

Εν τούτοις μια ελπιδοφόρος μέθοδος, που έχει την ευκαμψία χρησιμοποίησης διαφόρων χωρικών ορίων, τα οποία συνδέονται με τις διαβαθμίσεις σοβαρότητας της λειψυδρίας, βασίζεται στην απεικόνιση του ποσοστού της περιοχής που επηρεάζεται ως προς τη διαβάθμιση σοβαρότητας της λειψυδρίας. Όσον αφορά στη χρονική περίοδο, ο χαρακτηρισμός της λειψυδρίας μπορεί να βασιστεί σε μια ετήσια περίοδο, η οποία θα συνοδεύεται από άλλες μικρότερες χρονικές περιόδους βήματα (π.χ. εξάμηνο, τρίμηνο) ή οποιαδήποτε άλλη χρονική διάρκεια που εξυπηρετεί τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Η επιλογή της χρονικής περιόδου που θα εφαρμοστεί είναι ένα κρίσιμο σημείο στην ανάλυση, καθώς και η επιλογή των ορίων κάθε δείκτη.

2.8.1 Percent of Normal To ποσοστό της μέσης τιμής βροχόπτωσης

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 κατακρήμισης δεν είναι συχνά ίδιο με τη διάμεση βροχόπτωση, που είναι τιμή που υπερβαίνει το 50% των περιστατικών βροχόπτωσης 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 mm (1,4 ίντσες), που σημαίνει ότι στα μισά χρόνια λιγότερο από 36 mm κατεγράφησαν ενώ στα μισά χρόνια κατεγράφησαν πάνω από 36 mm βροχόπτωσης. Ωστόσο, ένα μηνιαίο

συνολικό βροχόπτωσης Ιανουαρίου της τάξης των 36 mm 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 (Trachanis C., 2012).

2.8.2 Standardized Precipitation Index (SPI) Δείκτης τυποποιημένων κατακρημνισμάτων

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 αντανακλούν 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 αντανακλούν 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 βροχόπτωση 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 ένα σύστημα ταξινόμησης 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 1985). 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 λειψυδρίας (McKee et al., 1993). Ανάπτυξη: T.B. McKee, NJ Doesken, και J. Kleist, Colorado State University, 1993.

2.8.3 Δείκτης Palmer Drought Severity (PDSI) Δείκτης σοβαρότητας λειψυδρίας

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 λειψυδρίας 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 περισσότερά 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

εξιιώσεων 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 τέλους 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 ανοιξιάτικους 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 λειψυδριών μεταξύ των δύο περιοχών και δυσχεραίνει τον προγραμματισμό δράσεων κατά της λειψυδρίας.

2.8.4 Crop Moisture Index (CMI) Δείκτης Υγρασίας Σοδειάς

Ένα παράγωγο του Palmer, ο CMI αντανάκλα 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.

2.8.5 Surface Water Supply (Δείκτης παροχής επιφανειακού νερού)

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 το διαθέσιμο αποθηκευμένο νερό. *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 αποθήκευτική 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 συλλέχθηκε 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 (Heddingtonhaus 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.

2.8.6 Reclamation Drought Index Δείκτης Επανόρθωσης Λειψυδρίας

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 λειψυδρίας, καθώς και για την πρόβλεψη της έναρξης και λήξης των περιόδων λειψυδρίας. 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 λειψυδρίας.

Όπως και το SWSI, το RDI υπολογίζεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού, και ενσωματώνει τη βροχόπτωση, 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.

2.8.7 Deciles Δείκτης των Δεκατημορίων

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 λειψυδρίας. 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 λειψυδρίας 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 λειψυδρία 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 λειψυδρίας, 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 λειψυδρίας. Ένα μειονέκτημα συστήματος είναι ότι μια μεγάλη κλιματολογική εγγραφή είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της με ακρίβεια. (Τραχάνης Χ.,2012)

Πίνακας 4. Δείκτες ξηρασίας και τα χαρακτηριστικά τους

Δείκτες ξηρασίας	Δεδομένα	Κατηγορία χρήσης
Deciles (Δέκατα)	Βροχοπτώσεις	Μετεωρολογικός
Standardised Precipitation Index (SPI) (Τυποποιημένος Δείκτης Κατακρήμνισης)	Βροχοπτώσεις	Μετεωρολογικός, χρησιμοποιείται για παρακολούθηση και πρόβλεψη
Rainfall Anomaly Index (Δείκτης Ανωμαλίας Βροχόπτωσης)	Βροχοπτώσεις	Μετεωρολογικός, ευαίσθητος σε ακραία γεγονότα
Reconnaissance Drought Index (RDI) (Δείκτης Αναγνώρισης Ξηρασίας)	Βροχοπτώσεις, Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή	Μετεωρολογικός
Run Analysis (Χωρική Ανάλυση Χρονοσειρών)	Βροχοπτώσεις, Παροχή Υδατορευμάτων	Μετεωρολογικός και υδρολογικός, για χωρο-χρονική ανάλυση ιστορικών γεγονότων
Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Δείκτης Σοβαρότητας Ξηρασίας Palmer)	Βροχοπτώσεις, Θερμοκρασία, Εδαφική Υγρασία (Διαθέσιμο Περιεχόμενο Ύδατος)	Μετεωρολογικός, αποτελεσματικός στη γεωργία, χρησιμοποιείται για ιστορικές αναλύσεις και ανάλυση επικινδυνότητας
Palmer Hydrological Drought Severity Index (PHDI) (Υδρολογικός Δείκτης Σοβαρότητας Ξηρασίας Palmer)	Βροχοπτώσεις, Θερμοκρασία, Συνθήκες Εδαφικής Υγρασίας	Υδρολογικός, αποτελεσματικός στην παρακολούθηση
Palmer Moisture Anomaly Index (Z-Index) (Δείκτης Ανωμαλίας Υγρασίας Palmer)	Βροχοπτώσεις, Θερμοκρασία, Συνθήκες Εδαφικής Υγρασίας	Γεωργικός
Surface Water Supply Index (SWSI) (Δείκτης Παροχής Εδαφικού Ύδατος)	Χιονοπτώσεις, Βροχοπτώσεις, Παροχή Υδατορευμάτων, Υδατικά Αποθέματα	Υδρολογικός, αποτελεσματικός όταν υπάρχει σημαντική ποσότητα χιονιού
Crop Moisture Index (CMI) (Δείκτης Υγρασίας Καλλιέργειας)	Βροχοπτώσεις, Θερμοκρασία, Συνθήκες Εδαφικής Υγρασίας	Γεωργικός
Soil Moisture Anomaly Index (SMAI) (Δείκτης Ανωμαλίας Εδαφικής Υγρασίας)	Συνθήκες Εδαφικής Υγρασίας, Δυνητική Εξατμισοδιαπνοή, Δυνητική Απορροή	Υδρο-γεωργικός
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης)	Δορυφορικές Εικόνες	Φυτικών πόρων, γεωργικός

Πίνακας 2.2: Συνοπτικά χαρακτηριστικά των κυριότερων δεικτών λειψυδρίας Πηγή: E.E., MEDA Water, MEDROPLAN (2006)

2.9 Ιστορικό Λειψυδριών στην Ελλάδα

Η Ελλάδα ως μέρος της περιοχής της Μεσογείου εκτός από τα ζεστά και ξηρά καλοκαίρια έχει και μερικούς πρόσθετους περιορισμούς. Το έδαφος της είναι κυρίως ορεινό με ακραίες μορφολογικές διαφορές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας όπου σε απόσταση μόλις 20χλμ. από τις ακτές το υψόμετρο ανεβαίνει στα 3000 μέτρα. Λόγω της μοναδικής τοπογραφίας της χώρας, η Ελλάδα έχει μια αξιόλογη σειρά από μικροκλίματα και τοπικές παραλλαγές, αρχής γενομένης από την υγρή δυτικά στην οροσειρά της Πίνδου η οποία εκτείνεται από βορρά προς νότο και αποτελεί την σπονδυλική στήλη της χώρας.

Ο τουρισμός και η γεωργία είναι οι κύριες οικονομικές δραστηριότητες της χώρας και εξαρτώνται και οι δυο σε μεγάλο βαθμό από τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους της χώρας. Το γεγονός ότι η συνολική κατανάλωση νερού της χώρας είναι περίπου 12% της συνολικής ετήσιας διαθεσιμότητας νερού της χώρας (Καραβίτης, 1999b, Barraque et al, 2008) θα μπορούσε να σημαίνει ότι στην Ελλάδα δεν θα έπρεπε να υπάρχουν ελλείψεις σε νερό ή άλλα θέματα που σχετίζονται με την κρίση του νερού.

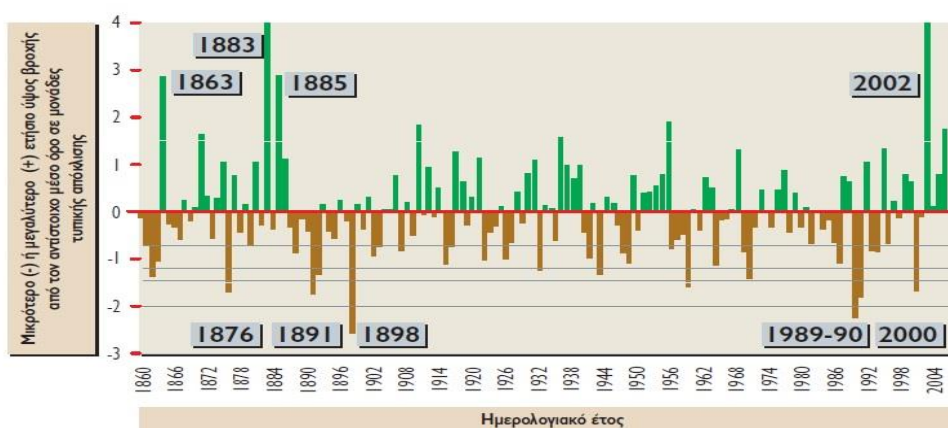
Παρόλα αυτά η Ελλάδα δεν έχει αναπτύξει τις απαιτούμενες υποδομές σε τέτοιο επίπεδο προκειμένου να χρησιμοποιεί σε μεγαλύτερο ποσοστό το μεγάλο δυναμικό των επιφανειακών υδατικών πόρων της, ενώ υπερεκμεταλλεύεται τα περιορισμένα αποθέματα υπόγειων υδάτων με τις ακόλουθες αρνητικές επιπτώσεις τη ρύπανση τους και την εισροή θαλασσινού νερού.

Όλα τα παραπάνω κάνουν την χώρα να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ετήσια συχνότητα των βροχοπτώσεων με αποτέλεσμα οποιοδήποτε έλλειμμα να μπορεί να προκαλέσει ζημιά, με σημαντικές επιπτώσεις στην οικονομία, τις κοινωνικές δραστηριότητες και το περιβάλλον. (Καραβίτης, 2008, 2014)

Επομένως η Ελλάδα είναι στο σύνολο της, οικολογικά ευαίσθητη και κινδυνεύει σοβαρά κυρίως λόγω των υφιστάμενων κοινωνικών και οικονομικών τάσεων, όπου το νερό χρησιμοποιείται ως επί τον πλείστον με μη βιώσιμο τρόπο (Karavitis & Kerkides, 2002; Vicente-Serrano et al., 2004, 2010; Llasat-Botija et al., 2007; Gaume et al., 2009). Επιπροσθέτως, η τρωτότητα θέτει το ερώτημα της προσαρμοστικότητας του οικοσυστήματος, κυρίως λόγω περιοδικών ακραίων φαινομένων, όπως οι ξηρασίες και οι πλημμύρες, καθώς και αυξανόμενων ανθρωπογενών διαταραχών (Karavitis et al., 2014, 2012a, 2012b).

Οι πρώτες γραπτές πληροφορίες για την εκδήλωση λειψυδριών προέρχονται από κείμενα των αρχαίων ιστορικών μας. Στα κείμενα αυτά οι ξηρασίες συνήθως αναφέρονται ως σοβαρά εμπόδια στην εξέλιξη πολεμικών επιχειρήσεων. Αναφορές όμως για την εκδήλωση λειψυδριών στην Ελλάδα υπάρχουν επίσης και σε κείμενα όλων των μετέπειτα χρονικών περιόδων. Άλλη έμμεση πληροφορία για την εκδήλωση λειψυδριών στην χώρα μας στο παρελθόν είναι οι δενδροχρονολογικές σειρές που έχουν καταρτισθεί από διάφορους κλιματολόγους και μετεωρολόγους.

Σε αντίθεση με τις παραπάνω έμμεσες πληροφορίες, ποσοτικές πληροφορίες για την εκδήλωση λειψυδριών στη χώρα μας έχουμε μόνο για τα τελευταία 50-60 χρόνια που λειτουργούν βροχομετρικοί σταθμοί. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η κατανομή των 145 ετών σε ξηρά(καφέ) και υγρά (πράσινα) από δημοσιευμένα στοιχεία βροχής του Αστεροσκοπείου Αθηνών και του Ινστιτούτου Δασικών οικοσυστημάτων. Αναλυτικότερα κάθε στήλη του διαγράμματος δείχνει πόσο μικρότερο ή μεγαλύτερο από το μέσο όρο (400mm) σε μονάδες τυπικής απόκλισης (111mm) είναι το ύψος βροχής του έτους που αντιπροσωπεύει. Θεωρητικά από τα 145 έτη, τα 77 θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως ξηρά και τα 68 ως υγρά. Όμως είναι γνωστό πως ανάλογα με το μέγεθος των επιπτώσεων μια χρονιά αρχίζει να θεωρείται ως ξηρή αν το ύψος βροχής της είναι μικρότερο από το μέσο όρο κατά 0,5 έως 0,7 τυπικές αποκλίσεις (τ.α). Με την αύξηση της διαφοράς αυτής μια λειψυδρία θεωρείται ως μέτρια (διαφορά 0,8-1,2) ως ισχυρή (διαφορά 1,3-1,5), ως πολύ ισχυρή (διαφορά 1,5-1,9) και ως εξαιρετικά ισχυρή (διαφορά μεγαλύτερη από τα 2,0).



Διαδοχή ξηρών(-) και υγρών (+) ετών στην Αττική την περίοδο 1860-2005.

Από το διάγραμμα διαπιστώνεται ότι τουλάχιστον για την περιοχή της Αττικής κατά την περίοδο 1860-2005 επλήγη από 19 μέτριες ξηρασίες, 5 ισχυρές, 5 πολύ ισχυρές και 2 εξαιρετικά ισχυρές. Παρόμοια συμπεράσματα θα προέκυπταν και για την υπόλοιπη χώρα αν ήταν διαθέσιμα βροχομετρικά στοιχεία πολλών ετών.

Οι ξηρασίες που αναφέρθηκαν εκδηλώθηκαν ανά ακαθόριστα έτη και δεν φαίνεται να είχαν κάποια περιοδικότητα. Εξαιρέση αποτέλεσαν μόνο η διετής λειψυδρία 1989-1990 και εκείνη του 2000 -2001 που συνέπεσαν με το μέγιστο αριθμό ηλιακών κηλίδων οι οποίες επηρεάζουν την ακτινοβολία προς τη γη.

Οι τελευταίες μεγάλες ξηρασίες που έπληξαν την χώρα μας εκδηλώθηκαν τη διετία 1989-1990 1992,1993, καθώς και το 2000 2002,2003 2007 .και είχαν τεράστιες οικονομικές κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι λειψυδρίες θεωρούνται ως κανονικά χαρακτηριστικά της διακύμανσης του κλίματος .Επομένως ανεξάρτητα από την αλλαγή του ή όχι από ανθρωπογενείς επιδράσεις θα εμφανιστούν αναπόφευκτα στη χώρα μας στο μέλλον. Από τις τελευταίες μεγάλες ξηρασίες έγιναν μέχρι σήμερα πολλές ενέργειες σε επίπεδο προσφοράς και ζήτησης νερού για την μείωση των επιπτώσεων από μελλοντική τους επανεμφάνιση.

Σε μια προσπάθεια διαχείρισης των λειψυδριών ,τον Σεπτέμβριο του 2007 παραδόθηκε από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών το εθνικό σχέδιο αντιμετώπισης των λειψυδριών.

Το 2013-2014 παραδόθηκαν στην Ειδική Γραμματεία Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής τα Σχέδια Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών της χώρας για κάθε υδατικό διαμέρισμα . Επίσης με βάση τα αποτελέσματα από δράσεις που εκπονήθηκαν στα πλαίσια των Σχεδίων Διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών της χώρας, διαμορφώθηκε Σχέδιο αντιμετώπισης φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας, με βάση τις αρχές του προληπτικού σχεδιασμού. (2012-2013). Στο σχέδιο αυτό αξιολογείται η επικινδυνότητα φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας, αξιοποιώντας ιστορικά υδρολογικά δεδομένα καθώς και υφιστάμενα στοιχεία απολήψεων για την εξυπηρέτηση των κύριων χρήσεων ύδατος και προτείνει μηχανισμούς έγκαιρης προειδοποίησης και μέτρα αντιμετώπισης/άμβλυνσης των επιπτώσεων.

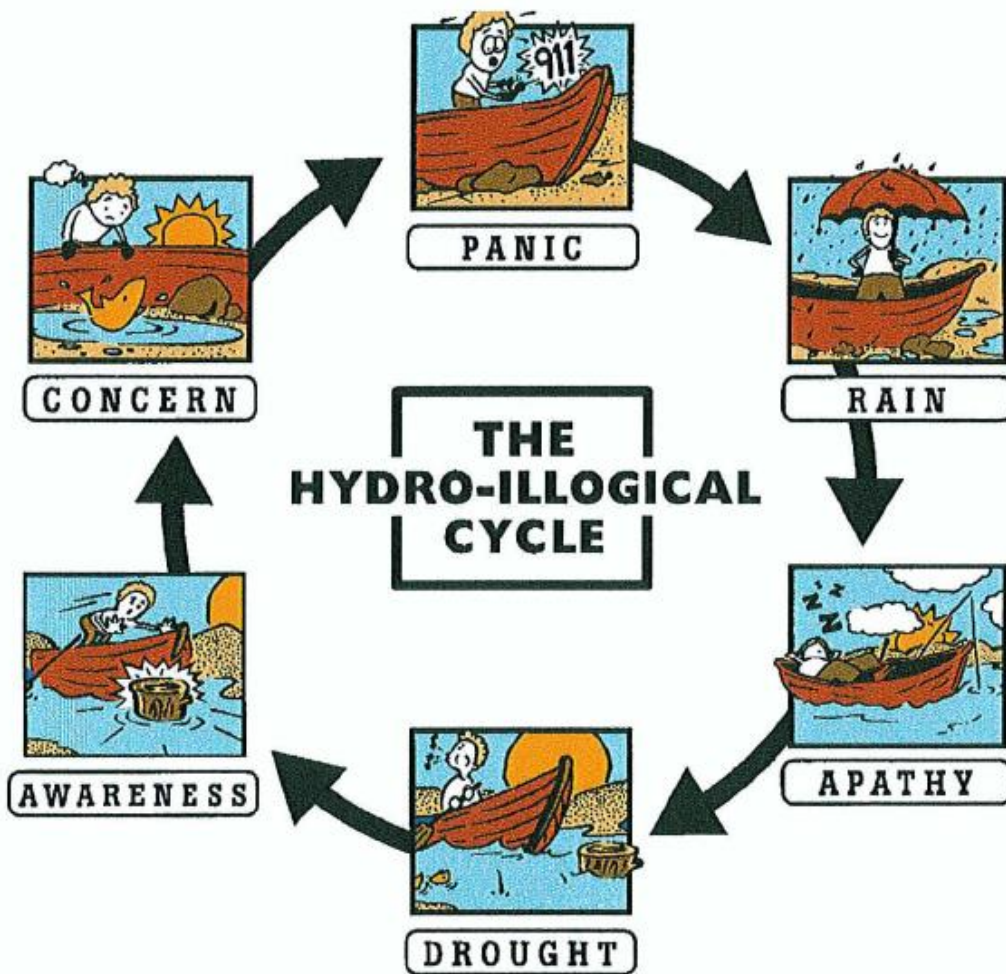
2.10 Διαχείριση της λειψυδρίας

Η λειψυδρία επιφέρει αξιοσημείωτο πόνο και κακουχίες στην κοινωνία (Wilhite,1997).Πλήττει πολύ περισσότερους ανθρώπους από κάθε άλλη φυσική καταστροφή, εξελίσσεται αργά, δεν γίνεται άμεσα αντιληπτή και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η αρχή και το τέλος της. Οι επιπτώσεις της συσσωρεύονται αργά μέσα σε μεγάλο χρονικό διάστημα και μπορεί να παραμείνουν για αρκετά χρόνια μετά τη λήξη της .Οι κοινωνικές επιδράσεις είναι λιγότερο ορατές και εκτείνονται σε πολύ μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές από ότι οι άλλες φυσικές καταστροφές. Επηρεάζει με πάρα πολλούς τρόπους οικονομικά, πολιτικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά συστήματα φανερώνοντας πόσο ευάλωτα και αλληλοεξαρτώμενα είναι και επιτείνοντας την ανάγκη για καλύτερη συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων. Η διαχείριση της λειψυδρίας σε μια ορισμένη περιοχή απαιτεί ολοκληρωμένες προσεγγίσεις και ολοκληρωμένη διαχείριση, με βάση όχι μόνο τις φυσικές διεργασίες, αλλά και τις κοινωνικό-οικονομικές συνθήκες της περιοχής.

Υπάρχουν δύο βασικές προσεγγίσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση πριν ή κατά τη διάρκεια μιας περιόδου λειψυδρίας είναι:

1)Η διαχείριση κρίσης βασίζεται στην εφαρμογή μέτρων και δράσεων μετά την εκκίνηση και την αντίληψη του φαινομένου λειψυδρίας. Μια διαχείριση κρίσης λαμβάνεται σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης. Συχνά έχει ως αποτέλεσμα αναποτελεσματικές τεχνικές και οικονομικές λύσεις, καθώς οι δράσεις λαμβάνονται μέσα σε λίγο χρόνο για την εκτίμηση των βέλτιστων δράσεων και η συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερόμενων είναι πολύ περιορισμένη.

Οι αναποτελεσματικές τεχνικές διαχείρισης της λειψυδρίας της παραπάνω προσέγγισης οδήγησε τις κυβερνήσεις πολλών χωρών και τους αρμόδιους φορείς του να σπάσουν τον υδρο-παράλογο κύκλο της και να τον προσαρμόσουν σε ένα υδρο-λογικό κύκλο που θα περιλαμβάνει τον σχεδιασμό μέτρων για μια έγκαιρη προειδοποίηση κινδύνου εκδήλωσης λειψυδρίας σε μια περιοχή και όχι στη διαχείριση της αφού έχει επικρατήσει.

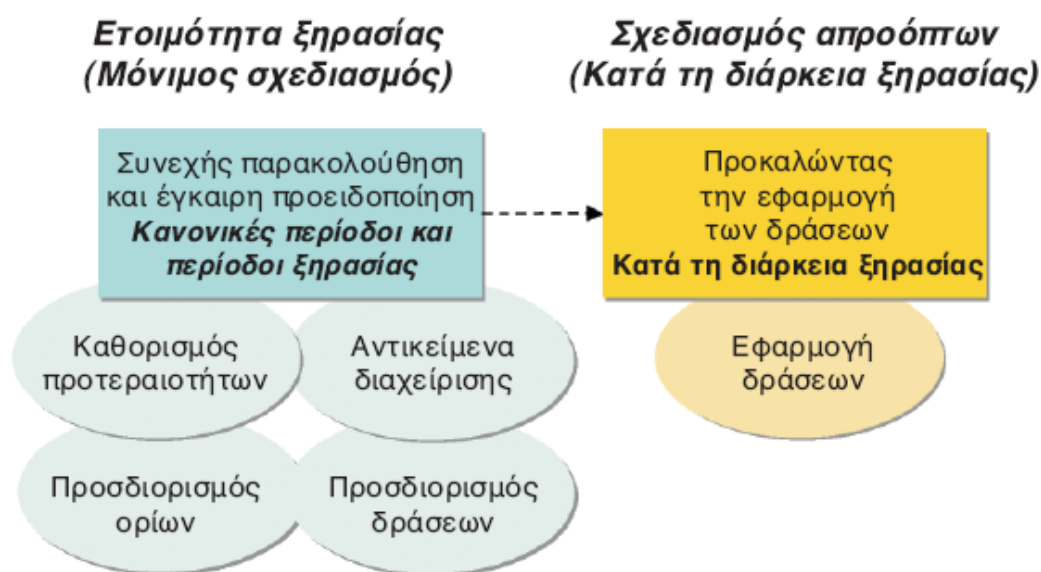


Σχήμα 2.3: «Ο υδρο-παραλογικός κύκλος»
 Πηγή: National Drought Mitigation Center, 2007

2) Μια προληπτική προσέγγιση περιλαμβάνει τον έγκαιρο σχεδιασμό των μέτρων, με τα κατάλληλα εργαλεία σχεδιασμού και τη συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερομένων. Η προληπτική προσέγγιση βασίζεται τόσο στα βραχυπρόθεσμα όσο και στα μακροπρόθεσμα μέτρα και περιλαμβάνει συστήματα για συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή των επεισοδίων λειψυδρίας, για μια έγκαιρη προειδοποίηση λειψυδρίας. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια προσέγγιση για «τη διαχείριση της επικινδυνότητας». Μια προληπτική προσέγγιση έγκειται στον έγκαιρο σχεδιασμό των απαραίτητων μέτρων για την πρόληψη ή την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της λειψυδρίας. Μια τέτοια προσέγγιση περιλαμβάνει ετοιμότητα στα εργαλεία σχεδιασμού, ώστε να αποφευχθούν ή να μειωθούν οι συνέπειες μιας δύσκολης κατάστασης, και την εφαρμογή αυτών σε περίπτωση λειψυδρίας.

Η προληπτική προσέγγιση προβλέπει τη συνεχή καταγραφή των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών και της κατάστασης των υδατικών αποθεμάτων,

ώστε να αναγνωριστούν πιθανές καταστάσεις κρίσης και να εφαρμοστούν τα απαραίτητα μέτρα πριν εμφανιστεί πραγματική ανάγκη σε νερό. Εν τούτοις, αν δεν είναι δυνατό να αποφευχθεί μια υδατική κρίση που εμφανίζεται ως φυσική δημόσια καταστροφή (μετά την κυβερνητική ανακοίνωση), το Σχέδιο Απρόοπτης Λειψυδρίας υλοποιείται μέχρι την επαναφορά σε κανονικές συνθήκες. Είναι προφανές ότι μια προληπτική προσέγγιση, ακόμα κι αν είναι πιο περίπλοκη, είναι πιο αποτελεσματική από την παραδοσιακή προσέγγιση, καθώς επιτρέπει τον προσδιορισμό εκ των προτέρων μέτρων περιορισμού (τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα), βελτιώνοντας την ποιότητα των παρεμβάσεων .



Σχήμα 2.9: Σύνοψη των χαρακτηριστικών της προληπτικής προσέγγισης.
 Πηγή: E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006.

Μια αποτελεσματική διαχείριση της λειψυδρίας στο πλαίσιο υλοποίησης μιας προληπτικής προσέγγισης απαιτεί την προετοιμασία σχεδίων, στα οποία τα μέτρα περιορισμού της λειψυδρίας είναι σαφώς καθορισμένα από όλους τους φορείς για την υλοποίησή τους. Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60/EK) δημιούργησε ένα νέο καθεστώς στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Δύο από αυτά είναι η διαχείριση των Υδατικών Πόρων σε επίπεδο Περιοχής Λεκάνης Απορροής Ποταμού καθώς και η διατήρηση ή επίτευξη της καλής κατάστασης των υπογείων υδατικών συστημάτων. Στόχος της είναι η αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων και την επίτευξη <καλής κατάστασης> .Βασικό εργαλείο εφαρμογής της Οδηγίας είναι η σύνταξη ,εφαρμογή και παρακολούθηση του Σχεδίου Διαχείρισης για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού ,περιλαμβανομένου του προγράμματος μέτρων . Το Σχέδιο αυτό

είναι ένα έγγραφο στρατηγικού σχεδιασμού το οποίο αντιστοιχεί σε ένα υδατικό διαμέρισμα και παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες και τις λειτουργικές οδηγίες για μια Ολοκληρωμένη Διαχείριση των νερών εντός κάθε λεκάνης απορροής ποταμού του Υδατικού Διαμερίσματος.

Η Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων εξισορροπεί τις απόψεις και τους σκοπούς των πολιτικών ομάδων , γεωγραφικών περιοχών ,και τους στόχους της ανάπτυξης: και προστατεύει τους πόρους για τα φυσικά και οικολογικά συστήματα. Στηρίζεται στη αειφόρο ανάπτυξη ,μια διαδικασία ανάπτυξης που εκπληρώνει τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακινδυνεύει την δυνατότητα να ικανοποιηθούν και οι ανάγκες του μέλλοντος. (Καραβίτης Χ.)Αποτελεί επίσης το κύριο όχημα για τη διαβούλευση με το κοινό και τους εμπλεκόμενους.

Στο πλαίσιο των Σχεδίων Διαχείρισης κάθε Λεκάνης Απορροής Ποταμού διαμορφώθηκαν Σχέδια Αντιμετώπισης φαινομένων Ξηρασίας και Λειψυδρίας με βάση τις αρχές του προληπτικού σχεδιασμού. Περιλαμβάνουν αξιολόγηση της επικινδυνότητας φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας, αξιοποιώντας ιστορικά υδρολογικά δεδομένα καθώς και υφιστάμενα στοιχεία απολήψεων για την εξυπηρέτηση των κύριων χρήσεων ύδατος και προτείνει μηχανισμούς έγκαιρης προειδοποίησης καθώς και μέτρα αντιμετώπισης, άμβλυνσης των επιπτώσεων. Η εφαρμογή του Σχεδίου αποτελεί μια πρόσθετη δικλείδα ασφαλείας ως προς την προστασία των υδατικών συστημάτων αλλά και την ικανοποίηση αναγκών ζωτικής σημασίας σε περίπτωση λειψυδρίας.

Το Σχέδιο Αντιμετώπισης Ξηρασίας και Λειψυδρίας περιλαμβάνει:

- Καταγραφή ορισμών και απαιτήσεων της Οδηγίας 2000/60/EK για τη διαχείριση των φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας.
- Καταγραφή ακραίων φαινομένων λειψυδρίας που παρατηρήθηκαν στο κάθε Υδατικό Διαμέρισμα.
- Ορισμό Δείκτη Λειψυδρίας και υπολογισμό του βάσει των μεταβλητών του υδατικού ισοζυγίου
- Αξιολόγηση της επικινδυνότητας από μελλοντικά φαινόμενα ξηρασίας και λειψυδρίας και των πιθανών επιπτώσεων τους με υπολογισμό δεικτών τρωτότητας βάσει κοινωνικών , οικονομικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων.

- Εκτίμηση της πιθανής επίδρασης των φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας στη επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων του άρθρου 4 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ
- Καθορισμό Δείκτη Λειψυδρίας (drought index) , ο οποίος θα αποτελεί κριτήριο προσδιορισμού της έλευσης των φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας και διαβαθμίσεις των τιμών αυτού του δείκτη για το χαρακτηρισμό των φαινομένων.
- Προσδιορισμό των βασικών και συμπληρωματικών μέτρων που είναι απαραίτητα για την πρόληψη καθώς και για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την ξηρασία και τη λειψυδρία.
- Προσδιορισμό και προτάσεις εναλλακτικών πηγών για διάφορες χρήσεις νερού και στρατηγικών υδατικών αποθεμάτων , τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κρίσιμες περιπτώσεις φαινομένων λειψυδρίας.
- Προτάσεις για τη δημιουργία ευέλικτου και αποτελεσματικού μηχανισμού έγκαιρης προειδοποίησης για φαινόμενα λειψυδρίας λαμβάνοντας υπόψη το δείκτη λειψυδρίας που έχει καθοριστεί.

Όλα αυτά βέβαια θα πρέπει να περιλαμβάνουν μελλοντικές δράσεις για την καλύτερη εφαρμογή του προγράμματος μέτρων, δράσεις για την μελλοντική αναθεώρηση των σχεδίων .

Ωστόσο καμία δράση διαχείρισης, νομοθεσία ή στρατηγική δεν μπορεί να αποκριθεί από μόνη της σε όλες τις πλευρές και δεν μπορεί να επιτύχει όλους τους σκοπούς για την αποτελεσματική διαχείριση της λειψυδρίας. Πολλαπλές συνεργατικές προσπάθειες χρειάζονται για την ολοκλήρωση των πολυδιάστατων επιπτώσεων της λειψυδρίας στην κοινωνία.

Κεφάλαιο 3 Μεθοδολογία Μελέτης

3.1. Μεθοδολογία

Η παρούσα εργασία αποτελεί μελέτη των σημαντικότερων λειψυδριών τα τελευταία 50-60 χρόνια στην περιοχή της Μακεδονίας με την εφαρμογή του δείκτη κανονικοποιημένων κατακρημνισμάτων (SPI) για την ολοκληρωμένη διαχείριση των λειψυδριών.

1) Συλλογή δεδομένων.

Αρχικά συλλέχθηκαν υδρομετεωρολογικά δεδομένα βροχόπτωσης και χιονιού για 46 υδρομετεωρολογικούς σταθμούς στη Μακεδονία από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΚΑ(Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής) με σκοπό να καλυφθεί ικανοποιητικά η περιοχή της Μακεδονίας και να υπάρχει μια καλή διασπορά. Αφού αρχικά συγκεντρώθηκαν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, επιλέχθηκαν τελικά 40 σταθμοί για την ανάλυση. Οι σταθμοί αυτοί επιλέχθηκαν έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη έκταση του διαμερίσματος, διαφορετικά υψόμετρα (40–1053 μ.) και να έχουν όσο το δυνατό πληρέστερες χρονοσειρές βροχόπτωσης για την περίοδο 1950-2011. Ωστόσο σε ορισμένους σταθμούς που υπήρχαν κενά στις χρονοσειρές, επιλέχτηκε να μην γίνει συμπλήρωση τους θεωρώντας ότι τα ανεπεξέργαστα δεδομένα μπορεί να είναι καταλληλότερα για την απεικόνιση των φυσικών συνθηκών λειψυδρίας όπου μελετώνται ακραία φαινόμενα. Επίσης για τη σωστή εκτίμηση του δείκτη SPI τα δεδομένα πρέπει να καλύπτουν μια χρονική περίοδο τουλάχιστον 30 ετών κάτι το οποίο πληρείται δεδομένου ότι όλοι οι σταθμοί που επιλέχτηκαν έχουν δεδομένα χρονοσειρών από το 1950(McKee et al,1993)

2) Ανάλυση και Επεξεργασία Δεδομένων .

Μετά από τη συλλογή όλων των υδρομετεωρολογικών δεδομένων από όλους τους σταθμούς ακολούθησε η επεξεργασία τους ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή τους στο εργαλείο υπολογισμού SPI. Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων διέθετε τα δεδομένα σε ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης και χιονόπτωσης και για την εφαρμογή του δείκτη έπρεπε πρώτα να γίνει μετατροπή τους σε μηνιαίες. Στη συνέχεια αφού

υπολογίστηκε πρώτα το ισοδύναμο ύψος νερού για κάθε τιμή χιονόπτωσης προστέθηκε στις τιμές βροχόπτωσης ώστε να έχουμε μια μηνιαία τιμή για το σύνολο των κατακρημνισμάτων κάθε σταθμού και να μπορεί να εισαχθεί στο εργαλείο υπολογισμού του δείκτη SPI. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων με τη δημιουργία γραφημάτων όλων των υδρομετεωρολογικών σταθμών και οι κενές τιμές συμπληρώθηκαν με την τιμή -99 ώστε να λειτουργήσει το πρόγραμμα.

3) Εισαγωγή στο SPI- Αποτελέσματα από τον SPI.

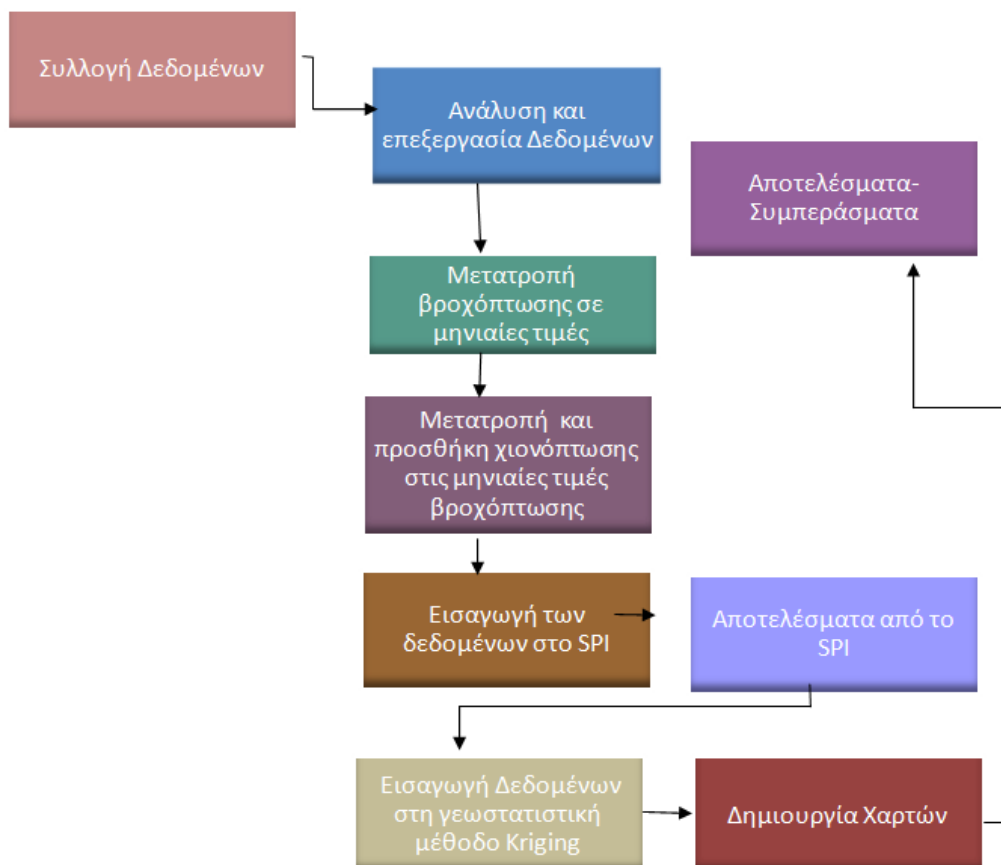
Στη συνέχεια αφού έγινε η μετατροπή των δεδομένων σε συγκεκριμένο τύπο αρχείου και συγκεκριμένη μορφή πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή τους στη γλώσσα προγραμματισμού όπου υπολογίστηκε ο δείκτης SPI (Standard Precipitation Index) των μετεωρολογικών σταθμών που ήταν το σημαντικότερο κομμάτι της μελέτης. Στο σημείο αυτό πραγματοποιήθηκε και ένας δεύτερος ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων με τη δημιουργία των διαγραμμάτων SPI όλων των χρονικών βημάτων ενός, τριών, έξι, δώδεκα και είκοσι τεσσάρων μηνών (SPI1, SPI3, SPI6, SPI12 και SPI24).

4) Εισαγωγή Δεδομένων στη γεωστατιστική μέθοδο Kriging-Δημιουργία Χαρτών

Ακολούθησε η διαδικασία της γεωστατιστικής μεθόδου (Kriging) για τη δημιουργία των χαρτών. Αρχικά δημιουργήθηκαν δύο αρχεία για κάθε έτος με το όνομα των σταθμών, τις συντεταγμένες σε ΕΓΣΑ87 και τα αποτελέσματα του SPI6 και του SPI12. 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 φαίνεται λεπτομερέστερα στο επόμενο κεφάλαιο. Έτσι τα αποτελέσματα του SPI οπτικοποιήθηκαν με το πρόγραμμα ARCGIS 10 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο kriging απεικονίζοντας τη χωρική κατανομή και την ένταση της λειψυδρίας. Στη παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν και να συγκριθούν τα έτη λειψυδρίας 1989,1990,1992,1993,2000,2001 και 2008.

5) Αποτελέσματα-Συμπεράσματα

Τελευταίο βήμα είναι ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων όπως αυτά προέκυψαν μετά την ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων και η εξαγωγή συμπερασμάτων .



Εικόνα 3.1 Διαδικασία σχεδιασμού μελέτης με τα βήματα που ακολουθήθηκαν ώστε να ολοκληρωθεί.

Κεφάλαιο 4 Ανάπτυξη του SPI & Γεωστατιστική

4.1 Δείκτης λειψυδρίας (SPI)

Ο δείκτης SPI είναι ένας πολύ αξιόπιστος δείκτης και πλεονεκτεί σε σχέση με τους άλλους γιατί μπορεί να υπολογιστεί για διαφορετικές χρονικές κλίμακες, να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση για τη λειψυδρία, απλή και ποιοτική ανάλυση των κύριων χαρακτηριστικών της και να συμβάλλει στην εκτίμηση της σοβαρότητας της λειψυδρίας. Έχει προταθεί από πολλούς ερευνητές ως καταλληλότερος δείκτης για τον πιο εύκολο εντοπισμό και την συστηματικότερη καταγραφή των επεισοδίων λειψυδρίας. Για αυτούς τους λόγους επιλέχθηκε η εφαρμογή του στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για την ανάλυση της ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Μακεδονίας.

Οι McKee et al. (1993) από το Colorado State University δημιούργησαν τον δείκτη SPI με σκοπό να οριστεί, να καταγραφεί και να προβλεφθεί η ξηρασία. Πολλά ερευνητικά κέντρα the National Drought Mitigation Center (NDMC), και πανεπιστήμια σε όλο το κόσμο χρησιμοποιούν τον δείκτη. Ο δείκτης βασίζεται στις παρατηρήσεις βροχόπτωσης για μια ορισμένη χρονική περίοδο. Σύμφωνα με τους McKee et al. (1993) για μια σωστή εκτίμηση του δείκτη Spi το ιδανικό θα ήταν να χρησιμοποιούνται πολύ καλές χρονοσειρές για ένα χρονικό διάστημα τουλάχιστον 30 ετών. Ο υπολογισμός του επηρεάζεται μέσα από το μήκος της χρησιμοποιούμενης χρονοσειράς. (Cancelliere and Bonaccorso, 2009). Το μήκος της καταγεγραμμένης χρονοσειράς είναι σημαντικό γιατί οι παράμετροι κλίμακας και σχήματος a και b της κατανομής γάμμα είναι πιο σταθερές με μεγαλύτερες χρονοσειρές δεδομένων. Επίσης για την εγκυρότητα ακραίων τιμών SPI απαιτούνται ακόμα μεγαλύτερες χρονοσειρές.

Ο Wu et al (2005) ανέφερε ότι οι διαφορές μεταξύ των τιμών SPI όταν υπολογίζονται χρησιμοποιώντας διαφορετικά μήκη χρονοσειρών δεν είναι σημαντικές, αν το μοντέλο βροχόπτωσης είναι σταθερό. Επισημάνε βέβαια τη σημασία των μακρών χρονολογικών σειρών. Στην παρούσα προσπάθεια σε κάποιους σταθμούς στη Δυτική Μακεδονία υπήρχαν κενά στις χρονοσειρές. Οι σταθμοί αυτοί προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθούν έστω και με μικρότερες συνέχειες χρονοσειρών

των 30 χρόνων γιατί αντιπροσωπεύουν σημαντικά σημεία της περιοχής. Ωστόσο τα αποτελέσματα που ελήφθησαν φαίνεται να περιγράφουν επαρκώς τις συνθήκες που επικρατούσαν.

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του δείκτη είναι η ευκολία στον υπολογισμό του σε σύγκριση με άλλους δείκτες, καθώς απαιτείται μόνο μια παράμετρος, της βροχόπτωσης για τον υπολογισμό του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία τόσο το καλοκαίρι όσο και το χειμώνα, επειδή δεν λαμβάνει υπόψη του την εδαφική υγρασία και δεν επηρεάζεται από την τοπογραφία μιας περιοχής.

Από την άλλη πλευρά, επειδή η βροχόπτωση είναι η μοναδική παράμετρος με βάση την οποία υπολογίζεται ο δείκτης SPI, είναι άμεσα εξαρτώμενος από την ποιότητα των δεδομένων βροχόπτωσης και απαιτεί ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα. Μια τέτοια προσπάθεια για καλύτερη ποιότητα δεδομένων απαιτεί πιο πλήρη και συνεχή δεδομένα χρονοσειρών. Ωστόσο δεν είναι εύκολη η απόκτηση τέτοια ποιότητας δεδομένων λόγω του ανήκουν σε διαφορετικούς φορείς διαχείρισης. Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων του Υπεκα έχει κάνει μια προσπάθεια να συγκεντρώσει, να ψηφιοποιήσει και να διαθέσει τα δεδομένα από όλους τους φορείς ωστόσο η διαδικασία αυτή είναι ακόμα σε εξέλιξη και είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα η χορήγηση άδειας για πρόσβαση στα δεδομένα αυτά γιατί κάθε φορέας έχει ορίσει διαφορετική διαδικασία.

Ένα άλλο πλεονέκτημα του δείκτη είναι η κανονικοποίησή του, η οποία εξασφαλίζει τον εντοπισμό της συχνότητας ακραίων γεγονότων σε οποιαδήποτε θέση και με οποιαδήποτε χρονική ανάλυση. Δηλαδή, είναι χωρικά και χρονικά ανεξάρτητος (Guttman, 1998; Heim, 2002; Wu et al., 2007) και για αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες συγκρίσεις. Η κανονικοποίηση του SPI προσδιορίζει τη σπανιότητα ενός επεισοδίου ξηρασίας αφού σχετίζεται μοναδικά με κάποια πιθανότητα. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ξηρών αλλά και υγρών επεισοδίων επειδή ακολουθεί κανονική κατανομή.

Επίπλέον σημαντική είναι η χρονική ευελιξία του δείκτη δηλαδή η δυνατότητα υπολογισμού του σε διάφορα χρονικά βήματα. επισημαίνοντας διαφορετικούς τύπους ξηρασίας (μετεωρολογική, υδρολογική). Επίσης ο δείκτης μπορεί να αναγνωρίζει έγκαιρα την έναρξη και τη λήξη ενός νέου επεισοδίου ξηρασίας πιο γρήγορα από τους υπόλοιπους δείκτες.

Ωστόσο στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε να μην υπολογιστεί ο SPI για χρονικό βήμα κάτω των 3 μηνών διότι κατά την εφαρμογή του σε μικρές χρονικές

κλίμακες (1, 2 ή 3 μηνών) σε περιοχές με μικρή εποχική βροχόπτωση μπορεί να εμφανιστούν αναπάντεχα μεγάλες θετικές ή αρνητικές τιμές του δείκτη λόγω της δύσκολης προσαρμογής των περιπτώσεων μηδενικής βροχόπτωσης. Σύμφωνα με τον Wu et al(2007) οι τιμές του SPI για χρονικό βήμα ενός μηνά διανέμονται μη κανονικά σε άνυδρες και ημιάνυδρες περιοχές όπως της Ελλάδας και παρουσιάζουν ασυνέχειες κατα τον υπολογισμό τους με τη συνάρτηση γάμμα σύμφωνα με τον (Καραβίτης 2012, Serrano-Vicente 2006, Λουκάς κ.α 2007, Χορταρία 2010).

Σε περιοχές όπως της Ελλάδας όπου η απουσία βροχοπτώσεων είναι φυσιολογικό μέρος του τοπικού κλίματος και επικρατεί μια αρκετά μεγάλη και διακριτή ξηρή περίοδος τριών μηνών και πάνω, η ανάλυση μιας βραχυπρόθεσμης ξηρασίας θα ήταν χωρίς νόημα, ενώ ο υπολογισμός του δείκτη για χρονικό βήμα μικρότερο των 3 μηνών θα μπορούσε να είναι παραπλανητικός και θα εμπόδιζε να φανεί μια πιο μακροπρόθεσμη ξηρασία. Αντίθετα ο υπολογισμός του δείκτη SPI για χρονικό βήμα 6 μηνών και πάνω φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικός στο να δείχνει το μοντέλο βροχοπτώσεων, δηλαδή τη συχνότητα των βροχοπτώσεων κατα διακριτές εποχές που ακολουθείται αναφέροντας μεσοπρόθεσμες τάσεις.

Επίπλέον σημαντική είναι η χρονική ευελιξία του δείκτη δηλαδή η δυνατότητα υπολογισμού του σε διάφορα χρονικά βήματα. επισημαίνοντας διαφορετικούς τύπους ξηρασίας (μετεωρολογική, υδρολογική). Πιο συγκεκριμένα, οι μικρές χρονικές κλίμακες αναφέρονται στη γεωργική και στη μετεωρολογική ξηρασία, ενώ οι μεγαλύτερες αφορούν την υδρολογική ξηρασία (Heim, 2002). Μάλιστα, ο 6-μηνών έχει αποδειχθεί ότι έχει μεγάλη σχέση με την εδαφική υγρασία (Sims et al., 2002; Ji and Peters, 2003), που είναι καθοριστική για τη βλάστηση και τη γεωργία και άρα ελέγχεται η γεωργική, όπως επίσης και η μετεωρολογική ξηρασία (McKee et al., 1993; Hayes et al., 1999), ενώ ο SPI 12-μηνών σχετίζεται με τους υδάτινους πόρους (ταμιευτήρες, ποτάμια, υπόγεια νερά) και συνεπώς, ελέγχεται η υδρολογική ξηρασία (Szalai et al., 2000; Hayes et al., 1999).

Μαθηματικά, ο SPI είναι ο αριθμός των τυπικών αποκλίσεων που, το συνολικό ύψος των βροχοπτώσεων για ορισμένη χρονική περίοδο (3, 6, 9, 12 μήνες κλπ), απέχει από τη μέση τιμή μιας μακροχρόνιας χρονοσειράς, εάν υποθέταμε πως οι βροχοπτώσεις ακολουθούσαν κανονική κατανομή. Επειδή όμως η βροχόπτωση δεν έχει κανονική κατανομή, γίνεται μία ρύθμιση η οποία επιτρέπει στον δείκτη SPI να έχει κανονική κατανομή. Τα δεδομένα προσαρμόζονται σε μια πιθανοτική κατανομή (Probability Density Function) και έπειτα, αυτή μετασχηματίζεται σε μία

κανονικοποιημένη μεταβλητή z , η οποία είναι η τιμή του SPI. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ξηρών αλλά και υγρών επεισοδίων επειδή ακολουθεί κανονική κατανομή.

Οι χαρακτηρισμοί των επεισοδίων ξηρασίας, βασιζόμενοι στην κλίμακα ταξινόμησης του δείκτη SPI κατά McKee et al. (1993), δίνονται στον Πίνακα 4.1. Επίσης ορίστηκαν τα κριτήρια ενός επεισοδίου ξηρασίας σε οποιαδήποτε χρονική κλίμακα. Ένα επεισόδιο ξηρασίας αρχίζει όταν ο δείκτης SPI παίρνει αρνητική τιμή, συνεχίζει με αρνητικές τιμές και γίνεται έντονο όταν ο δείκτης πάρει τιμή μικρότερη ή ίση με το -1.5 . Το επεισόδιο τελειώνει όταν ο δείκτης πάρει θετική τιμή. Έτσι κάθε επεισόδιο ξηρασίας έχει τη διάρκειά του, η οποία καθορίζεται από μία αρχή, ένα τέλος και μια ένταση για κάθε μήνα που το επεισόδιο συνεχίζεται.

Πίνακας 4.1 Κατηγοριοποίηση λειψυδρίας με βάση τον δείκτη SPI (Τσεσμελής 2010)

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

Έχουν γίνει πολλές ερευνες και έχουν προταθεί διαφορές κατανομές ως πιο κατάλληλες για την εκτίμηση πιθανότητας μηνιαίων βροχοπτώσεων. Τα περισσότερα ερευνητικά κέντρα, πανεπιστήμια και οργανισμοί έχουν καταλήξει στη κατανομή γάμα 2 παραμέτρων, η οποία χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα εργασία.

Ο Thom (1958) απέδειξε ότι τα κλιματικά δεδομένα των βροχοπτώσεων ακολουθούν Γάμμα κατανομή. Η Γάμμα κατανομή είναι από τις πιο διαδεδομένες κατανομές της τεχνικής υδρολογίας. Είναι θετικά ασύμμετρη και ορίζεται μόνο για

θετικές τιμές της μεταβλητής (Κουτσογιάννης, 1997). Η συχνότητα ή το κλάσμα της πιθανότητας δίνεται από τη σχέση:

Όπου

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \text{ για } x > 0$$

$\alpha > 0$, α είναι παράμετρος σχήματος (shape)

$\beta > 0$, β είναι παράμετρος κλίμακας (scale)

$x > 0$, x είναι το ποσό βροχόπτωσης

$\Gamma(\alpha)$ είναι η συνάρτηση Γάμμα, που ορίζεται ως:

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

Η Γάμμα κατανομή έχει 2 παραμέτρους: την παράμετρο σχήματος α και την παράμετρο κλίμακας β . Για $\alpha=1$ η κατανομή ταυτίζεται με την εκθετική, η οποία είναι ειδική περίπτωση της Γάμμα, ενώ για μεγάλες τιμές του α (πάνω από 15-30) η Γάμμα κατανομή πλησιάζει προς την κανονική (Κουτσογιάννης, 1997).

Στον υπολογισμό του δείκτη SPI περιλαμβάνεται το κλάσμα της πιθανότητας της κατανομής Γάμμα για το ύψος βροχής κάποιου σταθμού. Οι παράμετροι α και β του κλάσματος της πιθανότητας της κατανομής Γάμμα υπολογίζονται για κάθε σταθμό ξεχωριστά και για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα χρειάζεται (3 μήνες, 12 μήνες, 48 μήνες κ.ο.κ). Οι Edwards και McKee (1997) πρότειναν την εκτίμηση αυτών των παραμέτρων χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του Thom (1958) για τη μέγιστη

πιθανότητα ως εξής: $\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$, $\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}$

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

και n είναι το πλήθος τιμών της χρονοσειράς.

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των παραμέτρων χρησιμοποιούνται για να βρεθεί μια αθροιστική πιθανότητα ενός γνωστού επεισοδίου βροχής για ένα ορισμένο

μήνα και για χρονικό διάστημα που επιθυμείται (3 μήνες, 12 μήνες, 48 μήνες κ.ο.κ) για τον καθορισμένο σταθμό. Η αθροιστική πιθανότητα δίνεται από την σχέση

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

Για $t = x/\hat{\beta}$ η εξίσωση αυτή παίρνει τη μορφή της ελλιπούς συνάρτησης Γάμμα.

Επειδή η συνάρτηση Γάμμα δεν ορίζεται για $x=0$, ενώ η κατανομή της βροχής μπορεί να πάρει την τιμή μηδέν, η αθροιστική πιθανότητα παίρνει τελικώς τη μορφή (Lloyd-Hughes,2002):

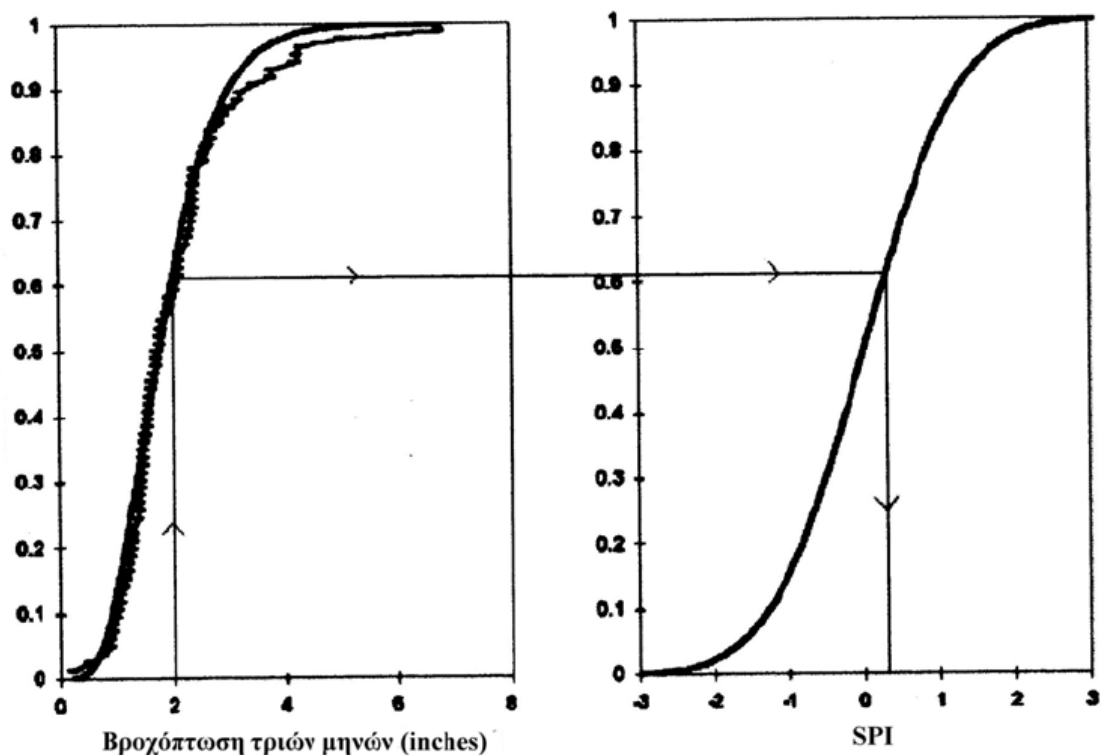
$$H(x) = q + (1-q)G(x)$$

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.

Η μετατροπή αυτή αποτελεί μετατροπή ίσης πιθανότητας σύμφωνα με τους Panofsky and Brier (1958). Οι δύο ερευνητές είχαν τη βασική ιδέα της μετατροπής μιας τιμής από κάποια κατανομή (π.χ. γάμμα κατανομή) σε κατανομή με καθορισμένη μορφή (π.χ. κανονική). Η μετατροπή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η πιθανότητα να υπάρχει μία τιμή μικρότερη από ένα καθορισμένο όριο της πρώτης κατανομής να είναι ίση με την αντίστοιχη πιθανότητα της μετατρεπόμενης

κατανομής.



Σχήμα 4.1 Μετατροπή ίσης πιθανότητας από γνωστή κατανομή (Γάμμα κατανομή) σε κανονική κατανομή (SPI). Στο αριστερό διάγραμμα εμφανίζονται ποσά βροχόπτωσης τριών μηνών (σε inches). Πηγή: Αναγνωστοπούλου (2003).

Στο αριστερό σχήμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές της βροχόπτωσης για τους τρεις μήνες (άξονας X) Ιανουάριο μέχρι και Μάρτιο, για το χρονικό διάστημα από 1911 έως 1995. Η διακεκομμένη γραμμή επίσης ορίζει την εμπειρική κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας (άξονας Y) για την περίοδο μελέτης. Η εμπειρική αθροιστική πιθανότητα υπολογίζεται όπως προτείνουν οι Panofsky and Brier (1958), όταν τα δεδομένα της βροχόπτωσης τοποθετούνται με αύξουσα σειρά μεγέθους. Η ομαλοποιημένη καμπύλη στο αριστερό διάγραμμα αντιστοιχεί στην κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας της κατανομής Γάμμα που ακολουθούν τα δεδομένα της βροχόπτωσης. Η ομαλή καμπύλη στο δεξιό διάγραμμα ορίζει την κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας της κανονικοποιημένης μεταβλητής z , χρησιμοποιώντας την ίδια κλίμακα με το αριστερό διάγραμμα, ενώ στον άξονα X βρίσκονται οι κανονικοποιημένες τιμές της μεταβλητής z (ή οι τιμές του δείκτη SPI).

Για παράδειγμα, για να βρεθεί η τιμή του δείκτη SPI, που αντιστοιχεί σε 2 ίντσες βροχόπτωσης, ακολουθείται η εξής διαδικασία: Από το αριστερό διάγραμμα βρίσκουμε την τιμή 2 ίντσες στον άξονα των X, φέρουμε παράλληλη προς τον άξονα Y έως την καμπύλη. Από το σημείο αυτό φέρουμε παράλληλη προς τον άξονα X και

προεκτείνουμε έως την καμπύλη του δεξιού διαγράμματος. Τέλος, από το σημείο τομής της παράλληλης με την καμπύλη του δεύτερου διαγράμματος φέρουμε κάθετη στον άξονα X με σκοπό να προσδιορίσουμε την τιμή του SPI. Στη περίπτωση αυτή, η τιμή του SPI είναι περίπου +0.3 (Αναγνωστοπούλου, 2003). Επειδή, όμως, αυτός ο τρόπος μετατροπής είναι επίπονος εφόσον πρέπει να δημιουργηθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα για όλους τους σταθμούς, για όλα τα χρονικά διαστήματα και για κάθε μήνα κάθε έτους, η τιμή του SPI είναι πιο εύκολο να υπολογιστεί, χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις των Edwards και McKee (1997).

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:

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

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

όπου

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

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

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 εισήχθη 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 (random effects model), 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.

Παρ' 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 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 effects model). Η ουσία όμως των εδώ συγκρίσεων και συμπερασμάτων δεν χρειάζεται τη γενίκευση του «παγκόσμιου» kriging (universal kriging), το οποίο απλά οδηγεί σε κάπως πολυπλοκότερους αλγόριθμους, 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 Reguazzoni et al. (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. ισουΨείς (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:

$$Y_{E,p} = \sum W_i Y_i$$

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

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

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,

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

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

$$s_z = \sqrt{s_z^2}$$

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:

$$W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) = \gamma(h_{1p})$$

$$W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) = \gamma(h_{2p})$$

$$W_1\gamma(h_{31}) + W_2\gamma(h_{32}) + W_3\gamma(h_{33}) = \gamma(h_{3p})$$

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 μήκους της διαγωνίου καθώς η απόσταση από το

καθεαυτό σημείο είναι μηδέν. Οι τιμές της μέσης διακύμανσης παίρνονται από γνωστές ή εκτιμώμενες μέσες διακυμάνσεις.

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1$$

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:

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

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

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

ή με γενική σχέση,

$$[A]*[W]=[B]$$

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

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

και μια εκτίμηση της διακύμανσης μπορεί να υπολογιστεί από:

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

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.

Κεφάλαιο 5 Εφαρμογή του δείκτη SPI

5.1 Περιοχή Μελέτης

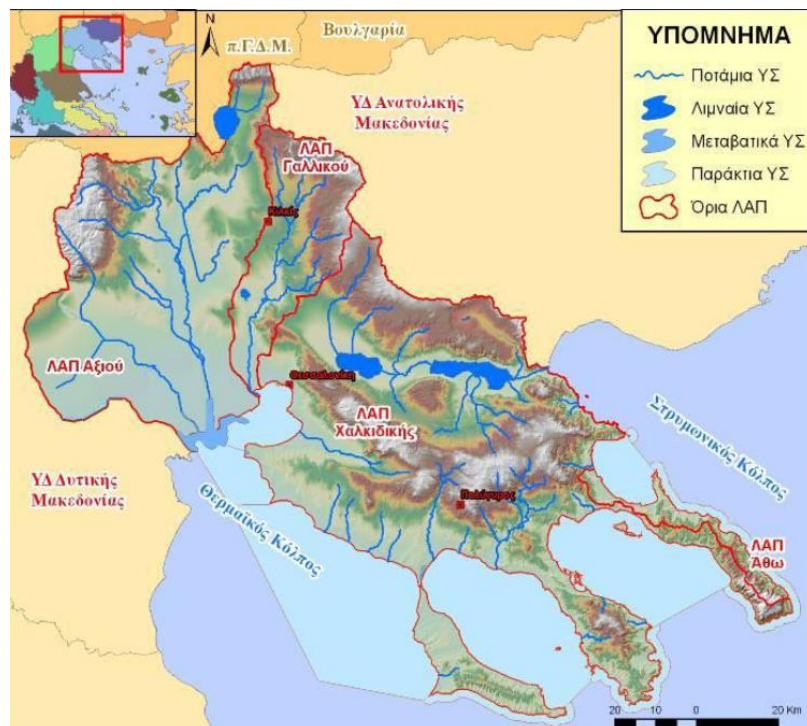
Η Μακεδονία αποτελεί το μεγαλύτερο γεωγραφικό διαμέρισμα της Β. Ελλάδος. Το όνομά της Μακεδονίας προέρχεται από την Ελληνική μυθολογία, που πέρασε στη κυρίως αρχαία ιστορία και που πρώτος την κατέγραψε ο Ηρόδοτος (Ε 17). Ο «Πατέρας της Ιστορίας» ο Ηρόδοτος ονομάζει Μακεδονία την πέρα της Πρασιάδας λίμνης και του Δυσώδους όρους χώρα (Ε 18) που ορίζεται προς Ν. από τον Πηνειό και τον Όλυμπο (Ζ' 173), άλλως «Μακεδονίς» (Ζ 127).

Έχει έκταση 34.036 τετρ.χλμ. Συνορεύει Α με τη Θράκη, Β με τη Βουλγαρία και την Π.Γ.Δ.Μ. (F.Y.R.O.M.), Δ με την Αλβανία, ενώ Ν συνορεύει με το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας και βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος.

Ειδικότερα τα σύνορα του διαμερίσματος αυτού είναι: Νότια το Αιγαίο Πέλαγος, από τις εκβολές του ποταμού Νέστου, στη δυτική πλευρά της Θράκης, έως τη παραλία Αιγάνης, κοντά στο Πλαταμόνα, στη βόρεια πλευρά της Θεσσαλίας. Στη συνέχεια προς Ν. σύνορα του διαμερίσματος είναι οι νομοί Λαρίσης και Τρικάλων της Θεσσαλίας ως και ένα τμήμα της Ηπείρου έως τη κορυφή Μαυροβούνι της Πίνδου. Δυτικά δε είναι η Ήπειρος από τη κορυφή Μαυροβούνι ως τη λίμνη Μεγάλη Πρέσπα. Και προς Β. είναι τα σύνορα της Π.Γ.Δ.Μ. (F.Y.R.O.M.) σε μήκος 244 χλμ. και στη συνέχεια τα σύνορα της Βουλγαρίας με ίσο περίπου μήκος. Τέλος Α. είναι ο Νομός Ξάνθης της Θράκης, με φυσική διαχωριστική γραμμή κατά το μεγαλύτερο μέρος με τον ποταμό Νέστο. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της Μακεδονίας στα όρια αυτά είναι: Πλάτος (φ) 39° 50' Βόρειο ως και 41° 32' Β, Μήκος (λ) 20° 47' Ανατολικό και 24° 47' Α. Η περιοχή της Μακεδονίας αποτελείται από τρία Υδατικά Διαμερίσματα:

1. Το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας,
2. το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας και
3. το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας.

5.1.1 Το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας



Εικόνα 5.1 Το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας, <http://wfd.ypeka.gr/>

Το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας με έκταση 10.146 km² οριοθετείται από τα όρη Κερδύλια ,Βερτίσκος , Κρούσια, Μπέλες στα ανατολικά, το όρος Πάικο και την Περιφερειακή τάφρο στα δυτικά και στα βόρεια από την οροσειρά Κερκίνη (Μπέλες) και τα σύνορα της Ελλάδας – ΠΓΔΜ. Στα ανατολικά συνορεύει με το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας και δυτικά με το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας. Το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας περιλαμβάνει εκτεταμένες πεδιάδες , κυρίως στο δυτικό του τμήμα , οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι αυτές της Θεσσαλονίκης , των Γιαννιτσών και του Λαγκαδά, ενώ στο ανατολικό του τμήμα διακρίνεται η λεκάνη της Χαλκιδικής. Η μορφολογία του είναι κυρίως ημιορεινή με μέσο υψόμετρο τα 245 m ,περίπου , ενώ το 36% της έκτασης του έχει υψόμετρο κάτω από 100 m και μόλις το 3% της έκτασης του έχει υψόμετρο πάνω από 800 m . Οι ακτές του, συνολικού μήκους 910

km , χαρακτηρίζονται από έντονο ανάγλυφο, με αποτέλεσμα το σχηματισμό πολυάριθμων βραχωδών κόλπων.

Κλίμα

Το Διαμέρισμα χαρακτηρίζεται από ποικιλία κλιμάτων , όπως μεσογειακό στην περιοχή της Χαλκιδικής , και τις παράκτιες περιοχές, ηπειρωτικό στο εσωτερικό του και ορεινό στις περιοχές με μεγάλο υψόμετρο. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 400 μέχρι 800 mm, ενώ στα ορεινά τμήματα ξεπερνάει τα 1000 mm . Οι χιονοπτώσεις είναι αρκετά συνηθισμένες κατά το διάστημα Σεπτεμβρίου – Απριλίου. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 14,5 °C και 17 °C , με ψυχρότερο μήνα τον Ιανουάριο και θερμότερο τον Ιούλιο.

Υδατικοί Πόροι

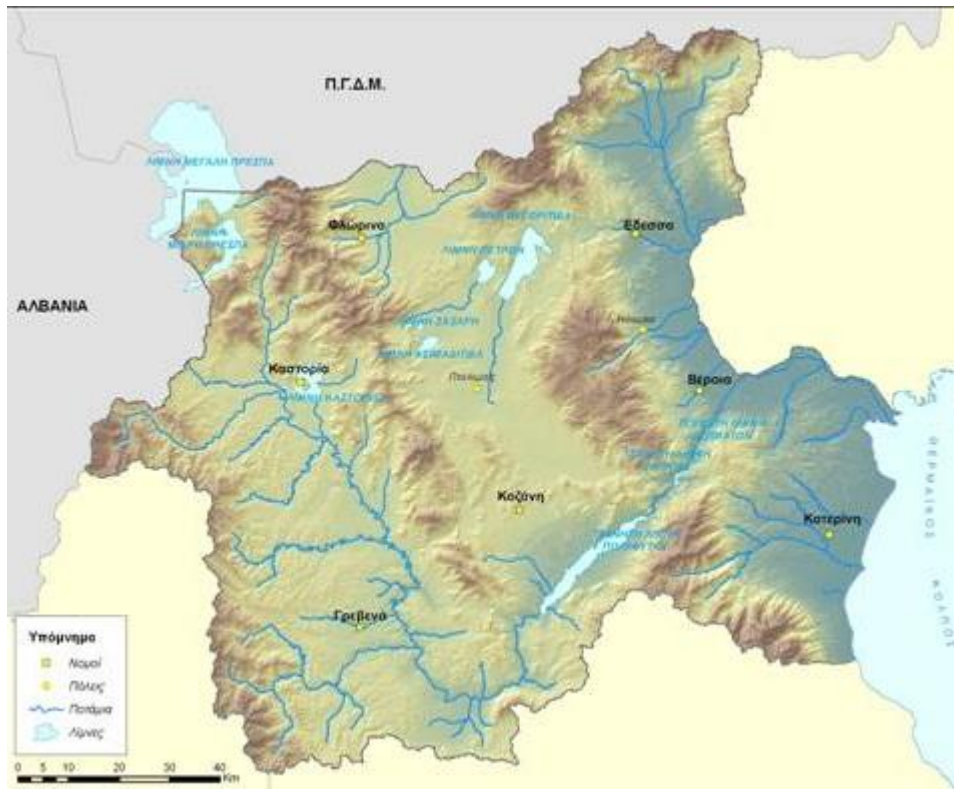
Η μέση ετήσια προσφορά νερού στο Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας ανέρχεται σε $5,3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, εκ των οποίων ποσοστό 32% ($1,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$) προέρχεται από τους ίδιους πόρους του Διαμερίσματος , ενώ το υπόλοιπο 68% ($3,6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$) προέρχεται από την εισροή νερού του π. Αξιού από τη γείτονα ΠΓΔΜ. Επιπλέον στο Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας μεταφέρεται από τον π. Αλιάκμονα , μέσω της ενωτικής διώρυγας Αλιάκμονα – Αξιού, ποσότητα νερού ίση με $365 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών του ΓΟΕΒ Πεδιάδας Θεσσαλονίκης –Λαγκαδά και υδρευτικών αναγκών του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Θεσσαλονίκης.

Λεκάνες Απορροής Ποταμού

Σύμφωνα με το άρθρο 2 (παρ 13) της Οδηγίας , ως Λεκάνη Απορροής Ποταμού ορίζεται :Η εδαφική έκταση από την οποία συγκεντρώνεται το σύνολο της απορροής μέσω διαδοχικών ρευμάτων, ποταμών και πιθανώς λιμνών και παροχετεύεται στη θάλασσα με ενιαίο στόμιο ποταμού, εκβολές η δέλτα. Το Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας , σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό και την υπ.αριθ. 706/16.7.2010 Απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων (ΦΕΚ Β'/1383) αποτελείται από τέσσερις Λεκάνες Απορροής Ποταμού:

1. Αξιού με έκταση 3.327 km^2
2. Γαλλικού με έκταση 1.051 km^2
3. Χαλκιδικής με έκταση 5.546 km^2
4. Άθω με έκταση 239 km^2

5.1.2 Το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας



Εικόνα 5.2 Το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας, <http://wfd.ypeka.gr/>

Το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας εντοπίζεται στο βορειοδυτικό τμήμα της χώρας και η έκταση του είναι 13.624 km². Οριοθετείται στα βόρεια από τα σύνορα της Ελλάδας – ΠΓΔΜ ενώ στα ανατολικά, με κατεύθυνση από βορρά προς νότο, από το όρος Πάικο, την Περιφερειακή Τάφρο και το Θερμαϊκό Κόλπο. Στα νότια, με κατεύθυνση από ανατολικά προς δυτικά, από τα όρη Όλυμπος, Καμβούνια και Χάσια και τέλος στα δυτικά, με κατεύθυνση από νότο προς βορρά, από τα όρη Λύγκος, Βόιο και τα σύνορα Ελλάδας – Αλβανίας. Όσο αφορά τη θέση του σε σχέση με τα άλλα υδατικά διαμερίσματα της χώρας, στα ανατολικά του βρίσκεται το Υδατικό Διαμέρισμα της Κεντρικής Μακεδονίας, στα νότια το υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας και στα δυτικά το Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου. Το ανάγλυφο του υδατικού διαμερίσματος είναι κυρίως ορεινό – ημιορεινό, καθώς μόνο το 30% της έκτασης του Υδατικού Διαμερίσματος βρίσκεται κάτω από τα 600 m. Κύριο γνώρισμα του αποτελεί η ύπαρξη εννέα κορυφών με υψόμετρο άνω των 2000 m, με χαρακτηριστικότερη αυτή του Ολύμπου (Μύτικας, 2.917m). Στο δυτικό

και κεντρικό τμήμα του Υδατικού Διαμερίσματος διακρίνονται δύο μεγάλοι ορεινοί όγκοι με διεύθυνση Β-Ν. Ο πρώτος αποτελείται από τα όρη Βέρνο (2.128 m) , Άσκιο (2.111 m) και Βούρινο (1.688 m), ενώ ο δεύτερος από τα όρη Βόρας (2.542 m), Βέρμιο (2.052 m) και Πιέρια (2.180 m). Ανάμεσα σε αυτούς τους ορεινούς όγκους διακρίνονται οι επίπεδες εκτάσεις της Καστοριάς , Φλώρινας , Πτολεμαΐδας και Γρεβενών. Στο ανατολικό τμήμα του υδατικού διαμερίσματος το ανάγλυφο γίνεται ομαλό και κυριαρχούν οι πεδινές εκτάσεις της Έδεσσας, της Νάουσας, της Βέροιας και της Πιερίας. Η ακτογραμμή του Υδατικού Διαμερίσματος είναι σχεδόν ευθεία , με ήπιο ανάγλυφο και συνολικό μήκος 80 km. Χαρακτηριστικά της ακτογραμμής είναι η ύπαρξη της λιμνοθάλασσας των αλυκών του Κίτρους και του δέλτα της εκβολής του Αλιάκμονα.

Κλίμα

Το μεγαλύτερο μέρος του Υδατικού Διαμερίσματος έχει ηπειρωτικό κλίμα, ενώ τα παράκτια και τα ορεινά τμήματα έχουν θαλάσσιο και ορεινό κλίμα αντίστοιχα. Η γεωγραφική θέση και το ανάγλυφο του Διαμερίσματος συμβάλουν στη μεγάλη κλιματική ποικιλία του. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 600 μέχρι 1000 mm , ενώ στα ορεινά τμήματα ξεπερνάει και τα 1200 mm. Οι χιονοπτώσεις είναι αρκετά συνηθισμένες κατά το διάστημα Νοεμβρίου- Απριλίου. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 14,5 και 17 °C, με ψυχρότερο μήνα τον Ιανουάριο και θερμότερο τον Ιούλιο.

Υδατικοί Πόροι

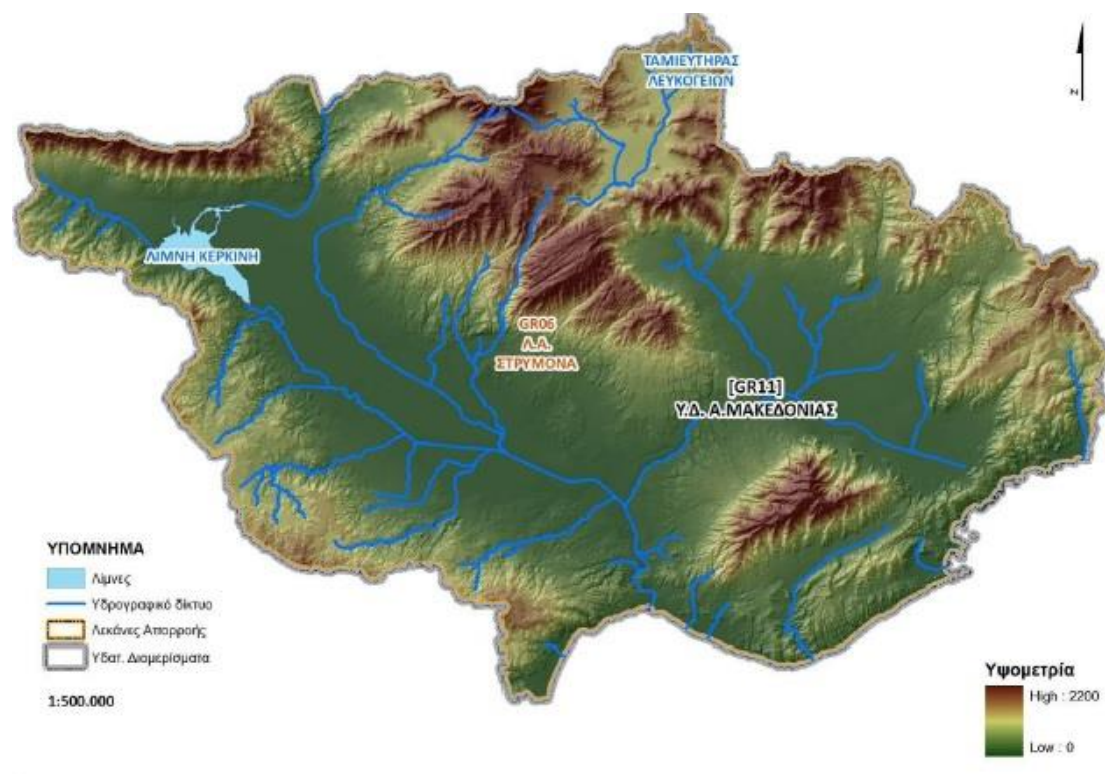
Η μέση ετήσια συνολική προσφορά νερού στο Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας ανέρχεται σε $3,2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Από το σύνολο της παραπάνω ποσότητας καλύπτονται οι ανάγκες του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας και μέρους αυτών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας καθώς ποσότητα νερού ίση με $356 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ μεταφέρεται μέσω της Ενωτικής Διώρυγας Αλιάκμονα –Αξιού για την κάλυψη αρδευτικών αναγκών του ΓΟΕΒ Πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Λαγκαδά και υδρευτικών αναγκών της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης , αρμοδιότητας ΕΥΑΘ.

Λεκάνες Απορροής Ποταμού

Το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Μακεδονίας αποτελείται από δυο λεκάνες:

1. Πρεσπών , με έκταση 1.210 km^2
2. Αλιάκμονα, με έκταση 12.410 km^2

5.1.3 Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας



Εικόνα 5.3 Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας

Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας έχει όρια τα όρη Κερδύλια, Βερτίσκος, Κρούσια και Μπέλες στα δυτικά, το Φαλακρό και τα Όρη Λεκάνης στα ανατολικά – νοτιοανατολικά, τους Κόλπους του Ορφανού (ή Στρυμονικό) και της Καβάλας προς νότο, και προς βορρά την οροσειρά Μπέλες. Η συνολική έκταση του διαμερίσματος είναι 7.320 km². Ο πληθυσμός του διαμερίσματος, με βάση τα απογραφικά στοιχεία της ΕΣΥΕ, το 1991 ήταν 390.848 κάτοικοι και το 2001 412.732 κάτοικοι παρουσιάζοντας αύξηση 5,6%.

Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος πεδινό και κατά το μικρότερο τμήμα του ορεινό και ημιορεινό. Οι πεδιάδες των Σερρών και της Δράμας αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα του Διαμερίσματος. Η κατανομή των υψομέτρων είναι η ακόλουθη: το 10% της έκτασης του διαμερίσματος έχει υψόμετρο πάνω από 1000 m, το 49% μεταξύ 200 και 1000 m, και το 41% έχει υψόμετρο μικρότερο των 200 m. Το διαμέρισμα περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους των Κερδυλίων (1.091 m), του Βερτίσκου (1.103 m), των Κρουσίων (1.179 m) και του Μπέλες (2.031 m) στο δυτικό όριο, τον Όρβηλο (2.212 m) στο κεντρικό τμήμα, και το Φαλακρό (2.111 m), τα Όρη Λεκάνης (1.298 m) και το Παγγαίο (1.956 m) στα

ανατολικά- νοτιοανατολικά (ΥΒΕΤ ,1989,ΙΓΜΕ,1996). Η μορφολογία των ακτών του διαμερίσματος είναι ιδιαίτερα ομαλή και περιλαμβάνει τους ανοιχτούς Κόλπους του Ορφανού (ή Στρυμονικό) στα δυτικά και της Καβάλας στα ανατολικά , καθώς και πολλούς μικρούς κόλπους .

Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 14,5 έως 16°C .Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος ξεπερνά τους 21 °C. Ο πιο θερμός μήνας είναι ο Ιούλιος και ο πιο ψυχρός ο Ιανουάριος. Το μέσο ετήσιο ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας είναι 675 mm. Μεταβάλλεται από 500 έως 600 mm περίπου στα παράκτια και πεδινά, 600 έως 1000 mm στο εσωτερικό και υπερβαίνει τα 1000 mm στα ορεινά. Ως ενδεικτικές τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης στο πεδινό τμήμα του διαμερίσματος αναφέρονται τα 508 mm στο σταθμό Δράμας και τα 576 mm στο σταθμό Αμυδαλεώνα Καβάλας. Οι περισσότερες βροχές πέφτουν κατά τη χειμερινή και την εαρινή περίοδο. Σποραδικές βροχές παρατηρούνται καθ'όλη τη διάρκεια του έτους. Σε σχέση με νοτιότερα υδατικά διαμερίσματα της χώρας, αυξημένο παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής στην ετήσια βροχόπτωση της βροχόπτωσης της θερινής περιόδου. Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένο φαινόμενο και λαμβάνουν χώρα κατά την περίοδο Σεπτεμβρίου- Απριλίου. Οι χαλαζοπτώσεις είναι σπάνιες.

Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας χαρακτηρίζεται γενικά από ικανή προσφορά νερού , με την σημαντική όμως σημείωση ότι πολύ μεγάλο μέρος της προσφοράς αυτής (σε ότι αφορά τα επιφανειακά νερά) προέρχεται από διασυνοριακά ύδατα. Σύμφωνα με την πρόσφατη κατάρτιση του υδατικού ισοζυγίου και του ισοζυγίου προσφοράς και ζήτησης στο Υδατικό Διαμέρισμα που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο των διαχειριστικών μελετών του πρώην ΥΠΑΝ (2003-2008), η προσφορά νερού στο Υδατικό Διαμέρισμα έχει ως ακολούθως :

Υδατικοί Πόροι

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Μακεδονίας δεσπόζει από απόψεως επιφανειακών υδάτων ο π. Στρυμόνας και ο κύριος παραπόταμος του ο π. Αγγίτης. Τα υπόλοιπα υδατορεύματα του Υδατικού Διαμερίσματος είναι πολύ μικρότερης δυναμικότητας και αφορούν τα ρεύματα που αποστραγγίζουν την κλειστή λεκάνη Οχυρού και τις παράκτιες περιοχές μεταξύ της εκβολής του Στρυμόνα και της Καβάλας, με κυριότερο το ρ. Μαρμαρά.

Η μέση ετήσια προσφορά επιφανειακού νερού στο υδατικό διαμέρισμα , ανέρχεται σε 3.730 hm³ , εκ των οποίων ποσοστό 40,6% (1.514 hm³) προέρχεται από

τους ίδιους πόρους του διαμερίσματος , ενώ το υπόλοιπο 59,4% (2.216 hm³) προέρχεται από την εισροή νερού από την Βουλγαρία μέσω του ποταμού Στρυμόνα.

Η προσφορά νερού από τους ίδιους πόρους του διαμερίσματος κατανέμεται σε 576 hm³ στην άμεση λεκάνη απορροής του π. Στρυμόνα ,σε 757 hm³ στη λεκάνη απορροής του Αγγίτη και 110 hm³ στην κλειστή λεκάνη Οχυρού ή οποία εκφορτίζεται υπογείως στην προηγούμενη) και σε 182 hm³ στη λεκάνη απορροής Μαρμαρά και λοιπών παράκτιων περιοχών.

Η εκτίμηση του θεωρητικού υδατικού δυναμικού της συνολικής έκτασης του διαμερίσματος (χωρίς εισροές από την Βουλγαρία) σύμφωνα με το Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων είναι 2.195 hm³/έτος. Το θεωρητικό υδατικό δυναμικό υπολογίστηκε κατά λεκάνη απορροής τόσο από μετρήσεις (στον Αγγίτη) όσο και με κατάλληλες αναγωγές και υδατικά ισοζύγια. Αν προστεθούν και οι εισροές από την Βουλγαρία τότε προκύπτει υδατικό δυναμικό 4.808 hm³/έτος.

Υπόγειοι Υδατικοί Πόροι

Το υπόγειο Υδατικό σύστημα Σερρών αποτελεί το σημαντικότερο υδροφόρο σύστημα υπογείων νερών από το οποίο καλύπτονται οι μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό για ύδρευση , άρδευση , βιομηχανία κλπ. Εκτιμάται ότι η ετήσια φυσική ανανέωση του υδατικού δυναμικού του συστήματος , είναι της τάξης των 330-340 hm³ και οι απολήψεις νερού είναι της τάξης των 165-170 hm³, επομένως το ισοζύγιο στο σύνολο του συστήματος είναι θετικό. Οι εκτιμώμενες συνολικές ετησίως ανανεώσιμες ποσότητες στα υπόγεια υδατικά συστήματα του Υδατικού Διαμερίσματος ανέρχονται σε 725 hm³.

Λεκάνες Απορροής Ποταμών

Αποτελείται από μια λεκάνη απορροής αυτή του Στρυμόνα με έκταση 7.320 km².

5.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν υδρομετεωρολογικά δεδομένα βροχόπτωσης και χιονιού από 40 υδρομετεωρολογικούς σταθμούς στη Μακεδονία από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων του ΥΠΕΚΑ(Υπουργείο Περιβάλλοντος

Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής). Οι σταθμοί αυτοί επιλέχθηκαν έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη έκταση του διαμερίσματος, διαφορετικά υψόμετρα (40–1053 μ.) και να έχουν όσο το δυνατό πληρέστερες χρονοσειρές βροχόπτωσης για την περίοδο 1950-2011. Υπήρχαν ωστόσο κάποιες κενές τιμές αλλά επιλέχθηκε να μην γίνει επέμβαση στις χρονοσειρές και υπολογίστηκε ο δείκτης με τις κενές τιμές. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού του δείκτη SPI όταν υπάρχουν κενές τιμές θέτοντάς την τιμή -99.

Μετά από τη συλλογή όλων των υδρομετεωρολογικών δεδομένων από όλους τους σταθμούς ακολούθησε η επεξεργασία τους ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή τους στο εργαλείο υπολογισμού SPI(DSS). Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων διέθετε τα δεδομένα σε ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης και χιονόπτωσης και για την εφαρμογή του δείκτη έπρεπε πρώτα να γίνει μετατροπή τους σε μηνιαίες.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε πρώτα το ισοδύναμο ύψος νερού για κάθε τιμή χιονόπτωσης και προστέθηκε στις τιμές βροχόπτωσης ώστε να έχουμε μια μηνιαία τιμή για το σύνολο των κατακρημνισμάτων κάθε σταθμού και να μπορεί να εισαχθεί στο εργαλείο υπολογισμού του δείκτη SPI.

Ισοδύναμο Ύψος νερού $h_m = [V_w + V_i(\rho_i/\rho_w)]/A = h_s(\rho_s/\rho_w)$ όπου ρ_s/ρ_w η σχετική πυκνότητα. Μεγέθη πυκνότητας χιονιού (Όρια διακύμανσης $4 < \rho_s < 340 \text{ kg m}^{-3}$, Συνήθη όρια $70 < \rho_s < 150 \text{ kg m}^{-3}$, Μέση τιμή για εκτιμήσεις 100 kg m^{-3} (Μάμασης Ν., 2009)

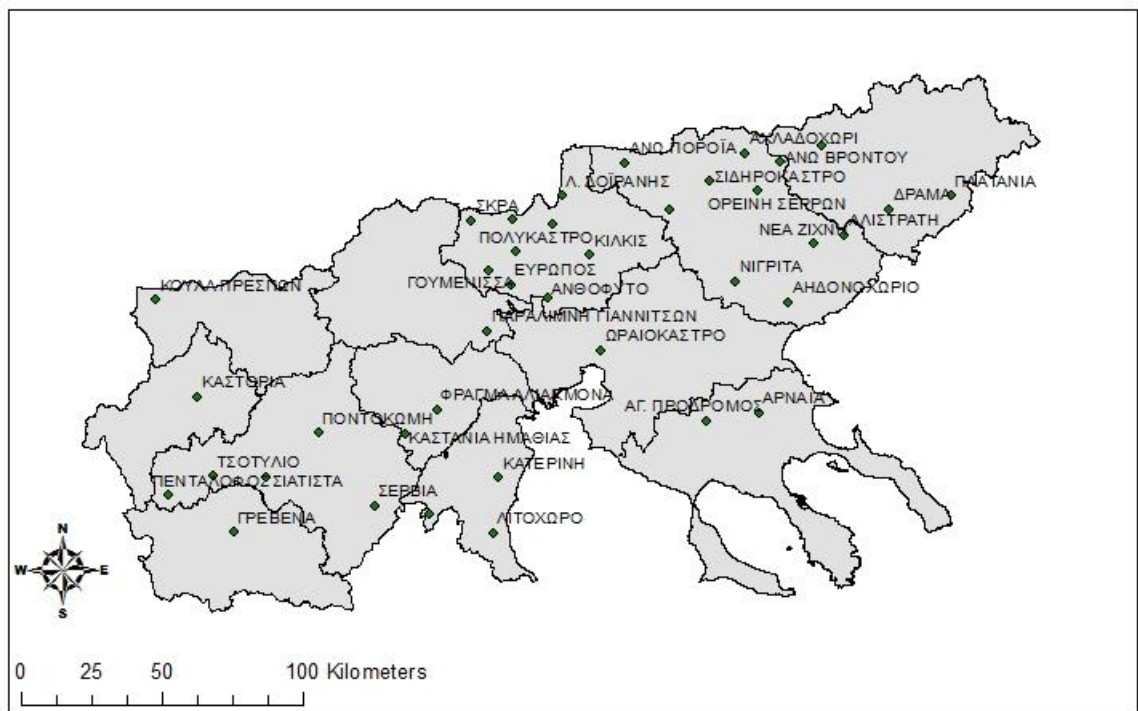
Επιπλέον πραγματοποιήθηκε ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων με τη δημιουργία γραφημάτων όλων των υδρομετεωρολογικών σταθμών και οι κενές τιμές συμπληρώθηκαν με την τιμή -99 ώστε να λειτουργήσει το πρόγραμμα.

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι σταθμοί, οι θέσεις τους, οι χρονοσειρές τους, το υψόμετρο τους και στην εικόνα 5.4 παρουσιάζεται η θέση τους στον χάρτη της Μακεδονίας.

Πίνακας 5.1 Σταθμοί μελέτης στην περιοχή της Μακεδονίας

ID	Station	Altitude(m)	Timeseries	X	Y
1	NEA ZIXNH	270.90	1/9/54-31/5/11	485241.31	4542102.5
2	ΑΗΔΟΝΟΧΩΡΙΟ	186.30	1/10/54-31/5/11	476540.69	4521197.5
3	ΑΛΙΣΤΡΑΤΗ	281.40	1/12/53-31/5/11	496399.91	4545269.5
4	ΑΝΩ ΒΡΟΝΤΟΥ	1037.60	1/1/67-31/5/11	473716.91	4571283.5
5	ΑΝΩ ΠΟΡΟΪΑ	388.80	1/10/54-31/5/11	418702.91	4570805.5
6	ΑΧΛΑΔΟΧΩΡΙ	499.30	1/5/60-31/5/11	461070.91	

					4574043.5
7	ΔΡΑΜΑ	99.80	1/7/56-31/3/11	512133.81	4554252.5
8	ΚΑΤΩ ΝΕΥΡΟΚΟΠΙ	572.90	1/10/54-31/3/11	488198.19	4576694.0
9	ΝΙΓΡΙΤΑ	65.70	1/9/54-30/4/11	457692.59	4528618.0
10	ΟΡΕΙΝΗ ΣΕΡΡΩΝ	796.20	1/1/67-30/4/11	465457.5	4560772.0
11	ΠΛΑΤΑΝΙΑ	324.60	1/9/50-31/3/11	534128.88	4559099.0
12	ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟ	81.60	1/1/67-31/5/11	448403.5	4564457.0
13	ΦΡΑΓΜΑ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	42.50	1/1/67-30/4/11	434530.59	4554087.5
14	ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΙΕΡΙΑΣ	808.20	1/6/57-31/12/12	349244.09	4446336.0
15	ΓΡΕΒΕΝΑ	544.30	1/7/50-31/12/09	280076.0	4440036.5
16	ΚΑΣΤΑΝΙΑ ΗΜΑΘΙΑΣ	1053.40	1/7/50-29/8/12	340441.59	4474498.0
17	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	636.90	2/7/56-30/9/10	267058.5	4487766.5
18	ΚΑΤΕΡΙΝΗ	30.40	1/6/58-30/4/12	373401.59	4459304.0
19	ΚΟΥΛΑ ΠΡΕΣΠΩΝ	855.00	1/11/53-28/2/10	252394.0	4522150.0
20	ΛΙΤΟΧΩΡΟ	300.00	1/3/53-30/4/94	371941.0	4439535.0
21	ΝΑΟΥΣΑ		1/6/50-30/9/93		
22	ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ	1053.00	1/12/72-30/9/10	256548.8	4452954.5
23	ΠΟΝΤΟΚΩΜΗ	718.80	1/6/50-30/9/10	309913.0	4475162.5
24	ΣΕΡΒΙΑ	450.30	1/6/50-30/9/10	329697.59	4449487.5
25	ΣΙΑΤΙΣΤΑ	933.10	1/6/50-31/12/12	291609.09	4459428.5
26	ΤΣΟΥΥΛΙΟ	856.00	1/7/50-30/9/10	272345.69	4459789.0
27	ΦΡΑΓΜΑ ΑΛΙΑΚΜΟΝΑ	44.40	1/10/72- 31/12/12	351955.3	4483273.2
28	ΑΓ. ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ	420.00	1/6/66-30/4/12	447520.0	4479339.0
29	ΑΝΘΟΦΥΤΟ	47.90	1/11/65-30/4/11	391222.5	4522729.0
30	ΑΡΝΑΙΑ	595.00	1/6/53-31/12/11	466034.0	4482055.5
31	ΓΟΥΜΕΝΙΣΣΑ	212.00	1/9/54-31/12/11	370102.5	4532763.0
32	ΕΥΖΩΝΟΙ (ΚΙΛΚΙΣ)	72.90	1/10/65- 31/12/11	378766.5	4551024.5
33	ΕΥΡΩΠΟΣ	81.40	1/1/67-31/12/11	378059.09	4527789.0
34	ΚΙΛΚΙΣ	261.50	1/1/67-2/1/12	405994.19	4538135.5
35	Λ. ΔΟΪΡΑΝΗΣ	145.00	1/8/84-31/1/94	396102.81	4559134.5
36	ΜΕΓΑΛΗ ΣΤΕΡΝΑ (ΚΙΛΚΙΣ)	121.30	1/2/70-30/4/11	392745.5	4549247.5
37	ΠΑΡΑΛΙΜΝΗ ΓΙΑΝΝΙΤΣΩΝ	4.10	1/7/50-30/9/11	369487.91	4511066.5
38	ΠΟΛΥΚΑΣΤΡΟ	55.60	1/10/65-30/4/11	379813.81	4539262.5
39	ΣΚΡΑ	523.00	1/10/65-1/1/02	364190.41	4550153.5
40	ΩΡΑΙΟΚΑΣΤΡΟ	71.50	1/4/75-31/8/12	410120.59	4504181.0



Εικόνα 5.4 Χάρτης σταθμών στην περιοχή μελέτης.

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 5.5 απεικονίζεται το αρχείο εισαγωγής (input).

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
year	month	PP (mm)		
1955	1	139.4		
1955	2	18.3		
1955	3	101.7		
1955	4	58.2		
1955	5	28.4		
1955	6	91.9		
1955	7	20.5		
1955	8	26.6		
1955	9	16.5		
1955	10	116.1		
1955	11	82.8		
1955	12	5.4		
1956	1	48		
1956	2	137.3		
1956	3	103.8		
1956	4	15.9		
1956	5	92.8		
1956	6	97.8		
1956	7	0		
1956	8	15.2		
1956	9	0.5		
1956	10	190.4		
1956	11	90.4		
1956	12	166.7		
1957	1	35.7		
1957	2	20.3		
1957	3	0		
1957	4	34.3		
1957	5	90.5		
1957	6	199.5		
1957	7	10		
1957	8	5		
1957	9	120		
1957	10	70.5		
1957	11	60.6		
1957	12	65.8		
1958	1	60.8		
1958	2	80.4		
1958	3	82.2		
1958	4	3		

Εικόνα 5.5 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 ζητείτε το αρχείο εισαγωγής όπου προέρχεται από το σταθμό του Αηδονοχωρίου (από τους σταθμούς με την μεγαλύτερη χρονοσειρά), η ημερομηνία εκκίνησης της χρονοσειράς (1955), η ημερομηνία λήξης της (2010), η διάρκεια του SPI (SPI 1, SPI 3, SPI 6, SPI 12 και SPI 24) και τέλος το αρχείο όπου θα περιέχει τα αποτελέσματα. Στην Εικόνα 5.6 φαίνεται το πρόγραμμα το οποίο θα ολοκληρωθεί πατώντας οποιοδήποτε πλήκτρο.

```

G:\roula serres\metapyxiaki\SPI\SPI_monthly.exe

***INPUT SECTION***
Input file with precipitation data :
aidonoxorio.txt
***END OF INPUT SECTION***

***SPI SECTION***
Beginning of calibration period:
1955
End of calibration period:
2011
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 5.6. Υπολογισμός δείκτη SPI

Στη συνέχεια ανοίγοντας το αρχείο output.txt εμφανίζονται τα αποτελέσματα των τιμών του SPI 1, SPI 3, SPI 6, SPI 12 και SPI 24. Στην Εικόνα 5.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια	
aidonoxorio_spi.txt - Σημειωματάριο					
year	month	PP(mm)	calibration period=1955-2010		
	month	spi1	spi3	spi6	spi12 spi24
1955	1	1.49	-99.00	-99.00	-99.00 -99.00
1955	2	-0.31	-99.00	-99.00	-99.00 -99.00
1955	3	1.23	1.29	-99.00	-99.00 -99.00
1955	4	0.87	0.76	-99.00	-99.00 -99.00
1955	5	-0.04	1.02	-99.00	-99.00 -99.00
1955	6	1.15	0.90	1.52	-99.00 -99.00
1955	7	0.34	0.61	0.75	-99.00 -99.00
1955	8	0.72	0.93	1.04	-99.00 -99.00
1955	9	0.03	0.04	0.63	-99.00 -99.00
1955	10	1.06	0.81	0.82	-99.00 -99.00
1955	11	0.73	0.85	1.04	-99.00 -99.00
1955	12	-1.30	0.26	0.15	0.89 -99.00
1956	1	0.40	-0.32	0.16	0.48 -99.00
1956	2	1.49	0.32	0.64	0.99 -99.00
1956	3	1.26	1.50	1.02	1.00 -99.00
1956	4	-0.29	1.43	0.64	0.84 -99.00
1956	5	1.28	1.27	0.86	1.14 -99.00
1956	6	1.22	1.17	1.88	1.20 -99.00
1956	7	-1.76	1.11	1.45	1.12 -99.00
1956	8	0.33	0.62	1.03	1.06 -99.00
1956	9	-1.44	-1.45	0.44	0.99 -99.00
1956	10	1.65	1.22	1.46	1.28 -99.00
1956	11	0.85	1.33	1.29	1.27 -99.00
1956	12	1.08	1.83	1.31	1.83 1.63
1957	1	0.16	0.97	1.36	1.83 1.39
1957	2	-0.24	0.55	1.14	1.37 1.40
1957	3	-2.76	-1.03	1.07	0.96 1.17
1957	4	0.34	-0.92	0.36	1.06 1.14
1957	5	1.24	0.26	0.51	1.07 1.30
1957	6	2.22	2.12	1.12	1.51 1.60
1957	7	-0.10	1.98	0.96	1.55 1.58
1957	8	-0.28	1.66	1.12	1.50 1.51
1957	9	1.73	1.16	2.27	1.91 1.73
1957	10	0.57	1.13	2.02	1.48 1.63
1957	11	0.34	1.12	1.69	1.33 1.59
1957	12	0.19	0.20	0.58	0.92 1.64
1958	1	0.60	0.17	0.73	1.02 1.67
1958	2	0.88	0.44	0.92	1.24 1.55
1958	3	0.97	1.00	0.64	1.55 1.53

Εικόνα 5.7 Αρχείο αποτελεσμάτων του δείκτη SPI.

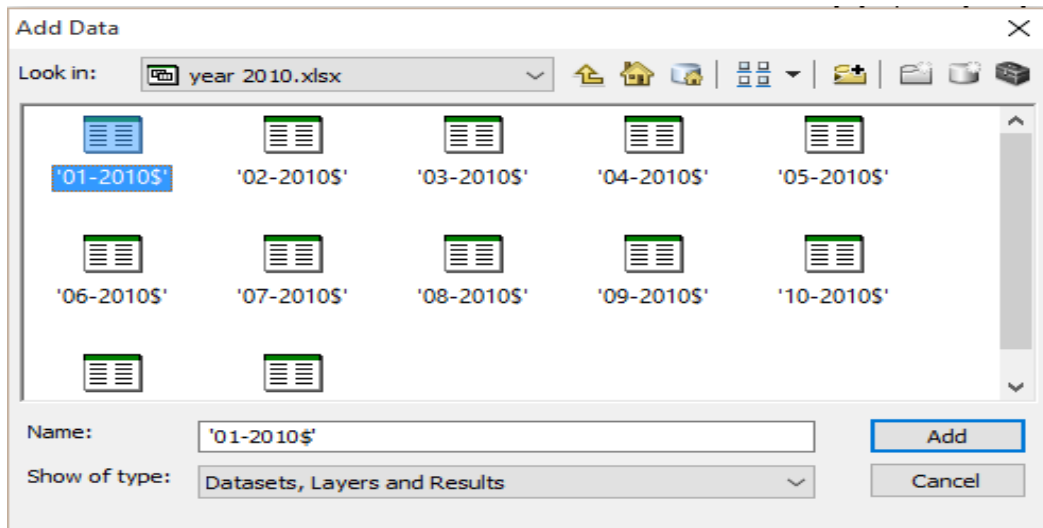
5.3 Δημιουργία Χαρτών με την Βοήθεια Λογισμικού

Για να απεικονιστούν οι τιμές των SPI6 και SPI12 πρέπει να δημιουργηθεί αρχικά ένα αρχείο excel όπου θα εμπεριέχει 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 ARCGIS10. Στην πρώτη στήλη υπάρχει το όνομα του μετεωρολογικού σταθμού, στην δεύτερη και τρίτη στήλη βρίσκονται οι συντεταγμένες τους σε ΕΓΣΑ87 (X), (Y), στην τέταρτη ο SPI6 και στην πέμπτη ο SPI12. Στην Εικόνα 5.8 εμφανίζεται η δομή ενός υπολογιστικού φύλλου excel .

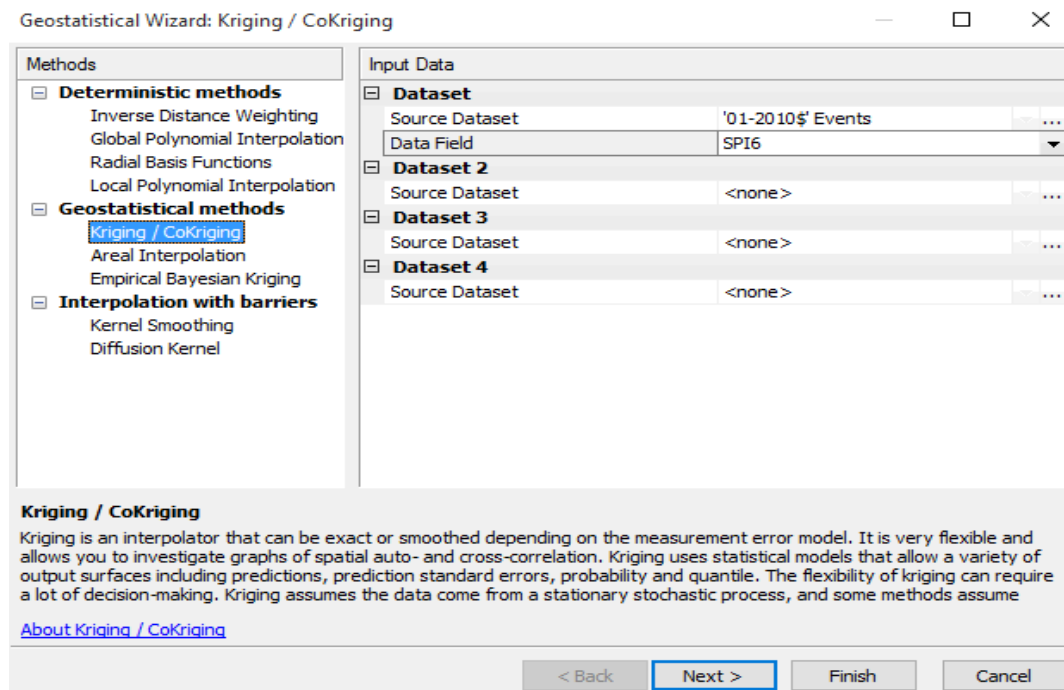
	A	B	C	D	E	F
1	Station	X	Y	SPI6	SPI12	
2	ΝΕΑ ΖΙΧΝΗ	485241,31	4542102,5	-0,51	-0,67	
3	ΑΗΔΟΝΟΧΩΡΙΟ	476540,69	4521197,5	-0,97	-0,39	
4	ΑΛΙΣΤΡΑΤΗ	496399,91	4545269,5	-0,76	-0,99	
5	ΑΝΩ ΒΡΟΝΤΟΥ	473716,91	4571283,5	-1,15	0,09	
6	ΑΝΩ ΠΟΡΟΪΑ	418702,91	4570805,5	-1,03	-0,13	
7	ΑΧΛΑΔΟΧΩΡΙ	461070,91	4574043,5	-1,5	-0,74	
8	ΔΡΑΜΑ	512133,81	4554252,5	-0,81	-0,99	
9	ΚΑΤΩ ΝΕΥΡΟΚΟΠΙ	488198,19	4576694	-0,71	-0,83	
10	ΝΙΓΡΙΤΑ	457692,59	4528618	-1,96	-1,39	
11	ΟΡΕΙΝΗ ΣΕΡΡΩΝ	465457,5	4560772	-0,65		
12	ΠΛΑΤΑΝΙΑ	534128,88	4559099	-0,91	-0,96	
13	ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟ	448403,5	4564457	-1,53	-0,43	
14	ΦΡΑΓΜΑ ΚΕΡΚΙΝΗΣ	434530,59	4554087,5	-1,31	-0,92	
15	ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΙΕΡΙΑΣ	349244,09	4446336	-0,8	-0,81	
16	ΓΡΕΒΕΝΑ	280076	4440036,5	-2,34	-1,49	
17	ΚΑΣΤΑΝΙΑ ΗΜΑΘΙΑΣ	340441,59	4474498	-1,29	-0,85	
18	ΚΑΤΕΡΙΝΗ	373401,59	4459304	-2,05	-2,09	
19	ΚΟΥΛΑ ΠΡΕΣΠΩΝ	252394	4522150	-0,54	-0,58	
20	ΛΙΤΟΧΩΡΟ	371941	4439535	-2,53	-2,57	
21	ΝΑΟΥΣΑ	331204,96	449835,93	-0,96	-0,95	
22	ΠΕΝΤΑΛΟΦΟΣ	256548,8	4452954,5	-1,27	-0,73	
23	ΣΙΑΤΙΣΤΑ	291609,09	4459428,5	-1,4	-0,21	
24	ΤΣΟΥΛΙΟ	272345,69	4459789	-1,92	-1,53	
25	ΑΓ. ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ	447520	4479339	-0,87	-0,82	
26	ΑΝΘΟΦΥΤΟ	391222,5	4522729	-0,65	0,13	
27	ΑΡΝΑΙΑ	466034	4482055,5	-0,74	-1,06	
28	ΓΟΥΜΕΝΙΣΣΑ	370102,5	4532763	-1,88	-2,48	
29	ΕΥΖΩΝΟΙ (ΚΙΛΚΙΣ)	378766,5	4551024,5	-1,07	-0,68	
30	ΕΥΡΩΠΟΣ	378059,09	4527789	-1,27	-0,92	
31	ΚΙΛΚΙΣ	405994,19	4538135,5	-0,28	0,3	
32	Λ. ΔΟΪΡΑΝΗΣ	396102,81	4559134,5	-1,28	-0,98	
	01-1990	02-1990	03-1990	04-1990	05-1990	06-1990
	Ετομο					

Εικόνα 5.8 Υπολογιστικό φύλλο excel με για την εισαγωγή στο λογισμικό.

Μετά την ολοκλήρωση των αρχείων έγινε επεξεργασία στον χάρτη της Μακεδονίας 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 δεδομένων, αρχικά εισήχθησαν τα δεδομένα των δεικτών αλλά και οι συντεταγμένες των μετεωρολογικών σταθμών για κάθε μήνα και κάθε δείκτη ξεχωριστά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.9.

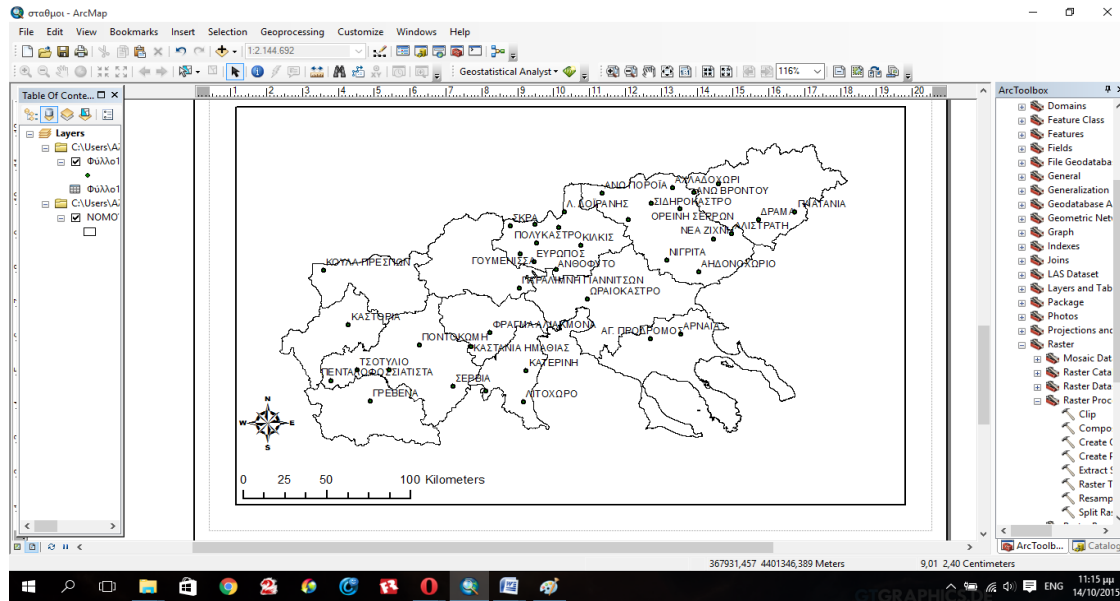


Εικόνα 5.9. Εισαγωγή στο λογισμικό

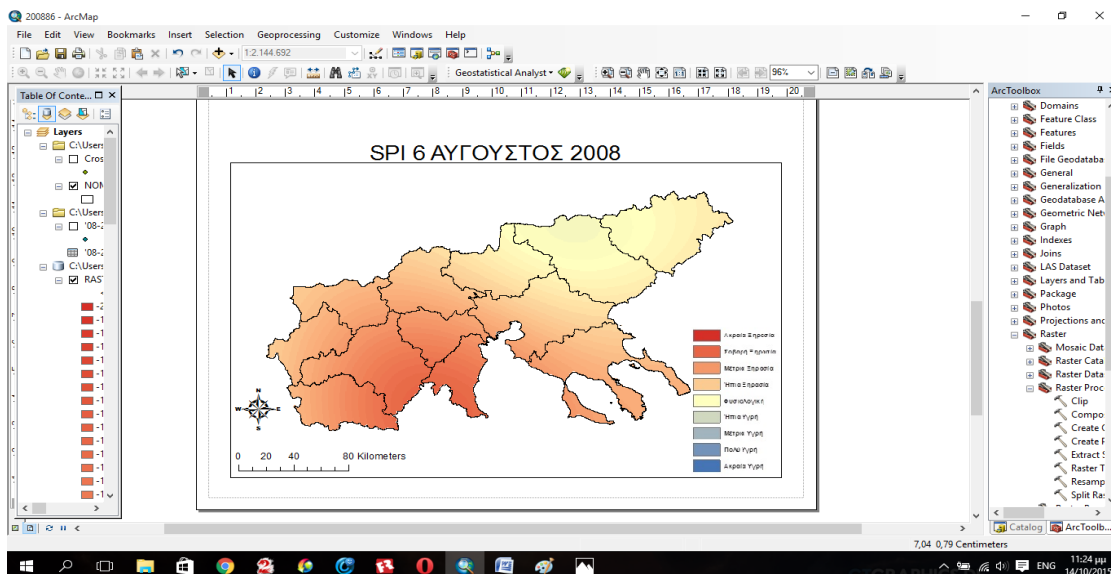


Εικόνα 5.10 Δημιουργία αρχείου με τα δεδομένα με την μέθοδο Kriging με τα όρια που τέθηκαν.

Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή του χάρτη της περιοχής μελέτης δηλαδή της Μακεδονίας (Εικόνα 5.11). Επιπλέον εισάγεται το αρχείο όπου δημιουργήσαμε με τις παραμέτρους και έτσι εμφανίζεται ο χάρτης (Εικόνα 5.12). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για όλους τους μήνες των επτά ετών, (1989, 1990, 1992, 1993, 2000, 2001, 2008) έτσι δημιουργήθηκαν (84) χάρτες για τον SPI6 και (84) χάρτες για τον SPI12. Δηλαδή δημιουργήθηκαν (168) χάρτες που υπάρχουν στο παράρτημα 3.



Εικόνα 5.11 Εισαγωγή του χάρτη της Μακεδονίας

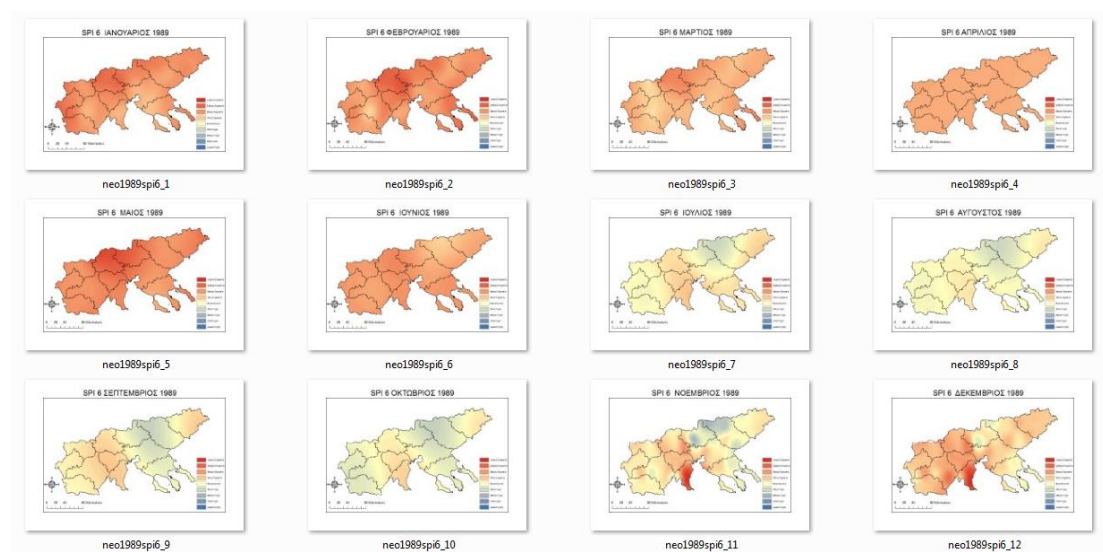


Εικόνα 5.12 Δημιουργία του χάρτη με την αποτύπωση του δείκτη με την μέθοδο Kriging.

Κεφαλαίο 6 Αποτελέσματα -Αξιολόγηση

Σύμφωνα με την προαναφερόμενη διαδικασία από τους δείκτες SPI6 και SPI12 παρήχθησαν χάρτες για τα έτη 1989,1990,1992,1993,2000,2001 και 2008 χρησιμοποιώντας δεδομένα κατακρημνίσεων από 40 σταθμούς.

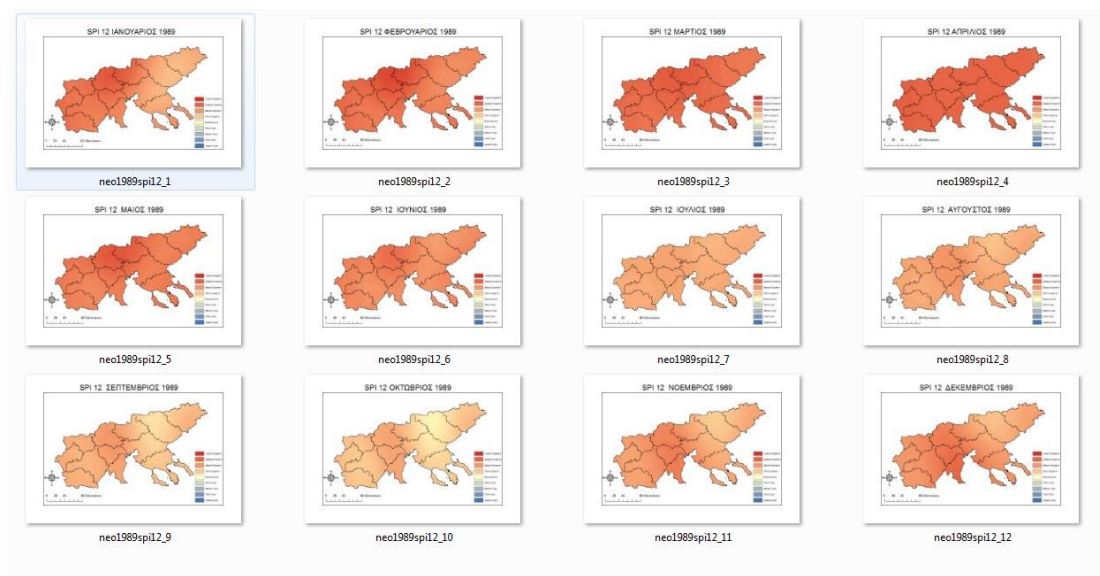
Λαμβάνοντας υπόψη τις στατιστικές παραμέτρους (Rmsqr,std) καλύτερη απεικόνιση των δεικτών SPI είχαν οι χάρτες που δημιουργήθηκαν με ordinary kriging και hole effect model.



Εικόνα 6.1 1989 SPI6

Η λειψυδρία του 1989 σύμφωνα με τον δείκτη spi 6 αρχίζει την προηγούμενη χρονιά, τον Απρίλιο του 1988 ,κορυφώνεται τον Μάιο του 89 και τελειώνει τον Ιούλιο του 89.Σύμφωνα με τον δείκτη με χρονικό βήμα 6 μηνών η Μακεδονία παρουσιάζει συνθήκες σοβαρής λειψυδρίας τους πρώτους έξι μήνες του χρόνου. Από τον Ιούλιο του 1989 το φαινόμενο λαμβάνει τέλος και η περιοχή της Μακεδονίας επανέρχεται σε φυσιολογικές συνθήκες.Ωστόσο μια νέα περίοδος λειψυδρίας που θα διαρκέσει όλη την επόμενη χρονιά ξεκινάει τον Νοέμβριο του 1989 από τον νομό Πιερίας και εξαπλώνεται στους υπολοίπους νομούς τον Δεκέμβριο. Σύμφωνα με τον συγκεκριμένο δείκτη τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο επικρατούσαν συνθήκες μέτριας λειψυδρίας σε όλη την περιοχή της Μακεδονίας. Το φαινόμενο γίνεται ηπιότερο τους επόμενους δυο μήνες .Τον Μάιο του 1989 η Μακεδονία υποφέρει περισσότερο από σοβαρές και ακραίες συνθήκες λειψυδρίας, πιο έντονες στο νομό Κιλκίς, Ν.Πέλλας και στο ανατολικό τμήμα του Ν.Δράμας. Ενδεικτικά στον

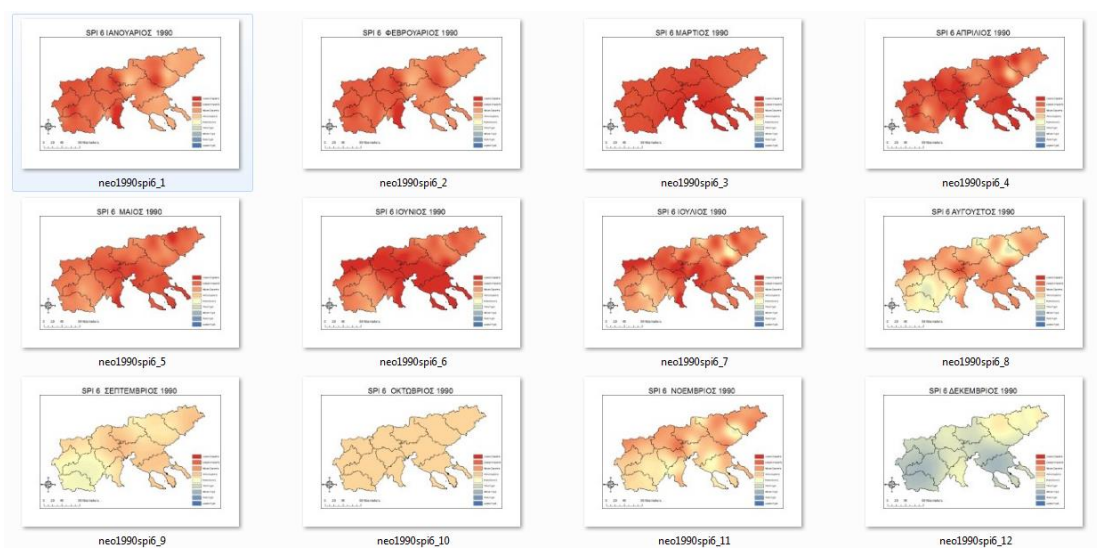
υδρομετεωρολογικό σταθμό της Κεντρικής Μακεδονίας Γουμένισσα (Ν. Κιλκίς) καταγράφηκε βροχόπτωση 398,5 χιλιοστά, ενώ ο ετήσιος μέσος όρος (1955-2011) είναι 746.6 χιλιοστά παρουσιάζοντας μείωση 47%. (και το έτος 1988 παρουσίασε παρόμοια μείωση 44%). Οι βροχοπτώσεις του Ιουνίου και του Ιουλίου δίνουν τέλος στο φαινόμενο και επαναφέρουν σε φυσιολογικές συνθήκες σχεδόν σε όλη την περιοχή της Μακεδονίας και σε ηπίως υγρές τους νομούς Σερρών, Κιλκίς και Θεσσαλονίκης. Τον Νοέμβριο ξεκινάει μια νέα λειψυδρία από το Ν.Πιερίας, που εμφανίζει ακραία λειψυδρία σε αντίθεση με την περιοχή του Ν.Σερρών που είναι ηπίως υγρή. Τον Δεκέμβριο όλη η περιοχή της Μακεδονίας εκτός από την κεντρική εμφανίζει λειψυδρία μέτριας έντασης. Πιο έντονο ήταν το φαινόμενο στο Ν.Πιερίας. Συγκεκριμένα ο σταθμός Λιτόχωρο (Ν. Πιερίας) είχε βροχόπτωση 264,6 χιλιοστά με ετήσιο μέσο όρο 710,08 χιλιοστά παρουσιάζοντας μείωση 63%. (37% το 1988) Ομοια και ο σταθμός Κατερίνη (Ν. Πιερίας) μείωση 45%. Λιγότερο επηρεάστηκε ο Ν.Χαλκιδικής και Ν.Σερρών. Ενδεικτικά στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Αρναία (Ν. Χαλκιδικής) καταγράφηκε βροχόπτωση 539,2 χιλιοστά και ο ετήσιος μέσος όρος (1954-2011) ήταν 696,4 χιλιοστά παρουσιάζοντας μείωση 23%. (20% το 1988). Στον σταθμό Σιδηρόκαστρο (Ν.Σερρών) καταγράφηκε βροχόπτωση 426,8 με μείωση 9% σε σχέση με τον ετήσιο μέσο όρο 468,8 χιλιοστά.



Εικόνα 6.2 1989 SPI 12

Σε αντίθεση με τον sπi6 που παρουσιάζει συνθήκες λειψυδρίας μόνο τους έξι πρώτους μήνες του 1989, με τον sπi 12 συνθήκες λειψυδρίας εμφανίζονται όλη τη διάρκεια του έτους στην περιοχή της Μακεδονίας. Τους πρώτους όμως έξι μήνες

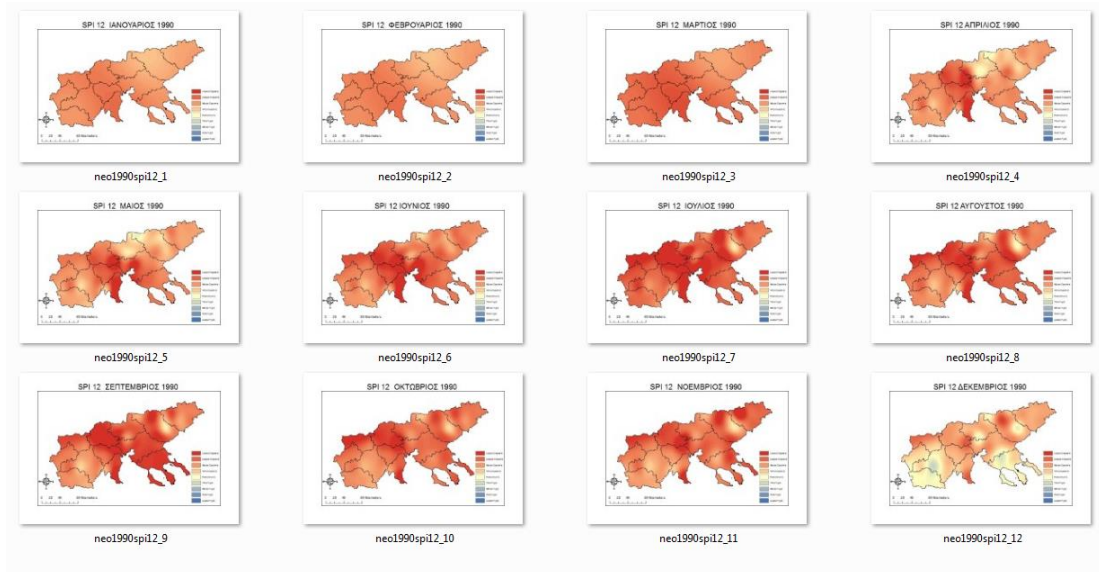
εμφανίζεται πιο έντονη .Οι χάρτες που ακολουθούν χρονικό βήμα δώδεκα μηνών απεικονίζουν καλύτερα μια πιο σοβαρή και με μεγαλύτερη διάρκεια λειψυδρία. Ξεκινάει από το 1988 γίνεται πιο έντονη τον Μάρτιο και Απρίλιο και τελειώνει την επόμενη χρονιά. Τον Ιανουάριο συνθήκες μέτριας λειψυδρίας επικρατούν κυρίως στη Δυτική Μακεδονία. Τον Φεβρουάριο και τον Μάρτιο το φαινόμενο γίνεται εντονότερο και συνθήκες σοβαρής λειψυδρίας επικρατούν σε όλη την Μακεδονία με αποκορύφωμα τον Απρίλιο που είναι ακόμη πιο έντονη . Από τον Ιούνιο έως τον Οκτώβριο το φαινόμενο εξασθενεί σταδιακά ξεκινώντας από τους Ν.Σερρών, Ν.Κιλκίς, Ν.Θεσσαλονίκης και Ν.Χαλκιδικής .Τον Νοέμβριο και Δεκέμβριο επανέρχεται μέτρια λειψυδρία σε όλη την Μακεδονία ,πιο σοβαρή στους Ν.Πιερίας, Ν.Ημαθίας και Ν.Πέλλας.Στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Παραλίμη Γιαννιτσών (Ν.Πέλλας) καταγράφηκε βροχόπτωση 286,2 χιλιοστά και ο ετήσιος μέσος όρος (1950-2011)είναι 516,6 χιλιοστά ,παρουσιάζοντας μείωση 45%.Όμοια και στον σταθμό Πλατανιά (Ν.Δράμας)η βροχόπτωση ήταν 325,4 χιλιοστά, μειωμένη κατα 43% σε σχέση με τον ετήσιο μέσο όρο (1951-2010) που είναι 561,8 χιλιοστά.



Εικόνα 6.3 1990 SPI6

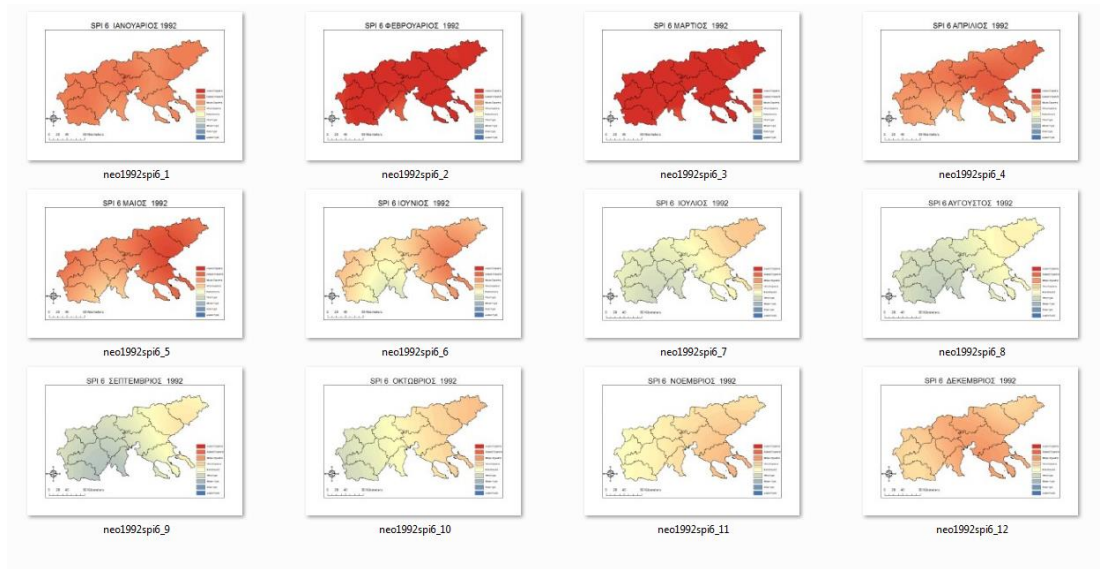
Η λειψυδρία του 1990 είναι πολύ πιο έντονη από την λειψυδρία του 1989 παρόλο που είναι περίπου ίδιας διάρκειας . Με βάση τον SPI6 Η λειψυδρία του 1990 είχε αρχίσει τον Νοεμβριο του προηγούμενου έτους και τελείωσε με τις έντονες βροχοπτώσεις του Δεκεμβρίου.Τους πρώτους επτά μήνες το φαινόμενο είναι πιο έντονο με αποκορύφωμα τον Μάρτιο ,όπου ακραίες συνθήκες λειψυδρίας επικρατούσαν σε όλη την περιοχή.

Τον Ιανουάριο επικρατούν συνθήκες μέτριας λειψυδρίας σε όλη τη Μακεδονία. Ακραίες συνθήκες παρατηρούνται στον Ν. Πιερίας και Ν. Σερρών. Στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Λιτόχωρο (Ν.Πιερίας) καταγράφηκε βροχόπτωση 392 χιλιοστά ,με μείωση 45% σε σχέση με τον ετήσιο μέσο όρο 710 χιλιοστά.Συγκεκριμένα στον σταθμό της Ανατολικής Μακεδονίας Σιδηρόκαστρο η βροχόπτωση ήταν 268,8 χιλιοστά και ο ετήσιος μέσος όρος(1967-2011) 468,8 χιλιοστά, παρουσιάζοντας μείωση 43%.Σοβαρή λειψυδρία πλήττει όλες τις περιοχές τον Φεβρουάριο κυρίως στα δυτικά αλλά και τον Μάιο .Γίνεται πιο έντονη τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Ιούνιο του 1990 όπου επικρατούν ακραίες συνθήκες σε πολλές περιοχές της Μακεδονίας.Ωστόσο λόγω έλλειψης δεδομένων, δεν περιλαμβάνονται αυτή τη χρονιά οι σταθμοί του Ν.Γρεβενών και του Ν.Καστοριάς και ίσως να μην αντιπροσωπεύονται με ακρίβεια.Ιδιαίτερα στους Ν. Χαλκιδικής , Ν. Πιερίας, Ν. Ημαθίας και Ν. Πέλλας το φαινόμενο ήταν ιδιαίτερα έντονο δημιουργώντας πάρα πολλά προβλήματα. Ενδεικτικά στον σταθμό Παραλίμνι Γιαννιτσών (Ν. Πέλλας) η βροχόπτωση ήταν 337,8 χιλιοστά και ο ετήσιος μέσος όρος 468,8 χιλιοστά, παρουσιάζοντας μείωση 35%.Από τον Αύγουστο αρχίζει να μειώνεται η ένταση της λειψυδρίας σταδιακά ,τον Νοέμβριο επανέρχεται ήπια λειψυδρία στους Ν. Δράμας ,Ν. Σερρών και Πέλλας αλλά είναι παροδικό και τελειώνει οριστικά με τις βροχοπτώσεις του Δεκεμβρίου.



Εικόνα 6.4 1990 SPI12

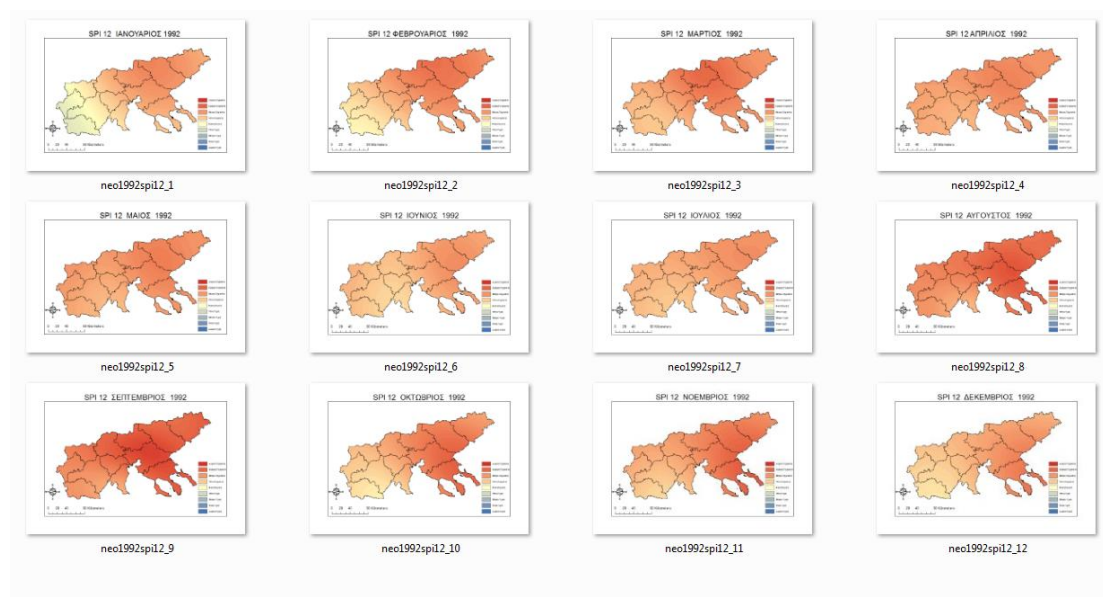
Σύμφωνα με τον spi12 η λειψυδρία ξεκινάει τον Νοέμβριο του 1989 και τελειώνει τον Φεβρουάριο του 1991. Σύμφωνα με τον Spi12 το φαινόμενο κορυφώνεται τον Σεπτέμβριο του 90. Όμως συνθήκες λειψυδρίας παρουσιάζονται σύμφωνα με τον συγκεκριμένο δείκτη και τους δώδεκα μήνες και όχι μόνο τους επτά πρώτους όπως στον spi6. Τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο παρουσιάζονται συνθήκες μέτριας λειψυδρίας σε όλους τους νομούς. Το φαινόμενο αυξάνει σταδιακά τους επόμενους μήνες πλήττοντας κυρίως τις περιοχές Ν.Πιερίας, Ν.Ημαθίας, Ν.Πέλλας, Ν.Φλωρίνας και Ν.Θεσσαλονίκης. Από τον Ιούνιο γίνεται ακόμα πιο έντονη με αποκορύφωμα τον Ιούλιο όπου φαίνεται να επικρατούν ακραίες συνθήκες λειψυδρίας. Συνεχίζεται τους επομένους μήνες με σταθερή ένταση και τον Σεπτέμβριο εξαπλώνεται και στον Ν.Χαλκιδικής. Αρχίζει να εξασθενεί από τον Δεκέμβριο του 1990 που οι βροχοπτώσεις ήταν πολύ έντονες και τελειώνει την επόμενη χρονιά 1991. Ο Ν. Χαλκιδικής δεν εμφανίζει μείωση στον ετήσιο μέσο όρο παρόλο που παρουσιάζει σοβαρή λειψυδρία αρκετούς μήνες λόγω των βροχοπτώσεων του Δεκεμβρίου του 1990 που ήταν πάρα πολύ υψηλές. Για παράδειγμα στο υδρομετεωρολογικό σταθμό Αρναία (Ν.Χαλκιδικής) η βροχόπτωση του Δεκεμβρίου ήταν 306,5 χιλιοστά, το 44,01% του ετήσιου μέσου όρου που είναι 696 χιλιοστά. Επίσης στο σταθμό Άγιος πρόδρομος (Ν.Χαλκιδικής) η βροχόπτωση τον Δεκέμβριο 191,1 χιλιοστά. (όσο το 36,38% της μέσης ετήσιας 525,23). Όμοια και ο Ν.Κοζάνης όπου οι σταθμοί τους δεν παρουσιάζουν μείωση σε σχέση με τον ετήσιο μέσο όρο.



Εικόνα 6.5 1992 SPI6

Η λειψυδρία του 1992 αρχίζει τον Δεκέμβριο του 1991 σύμφωνα με τον SPI6 και τελειώνει με τις βροχοπτώσεις του Ιουνίου στην Δυτική Μακεδονία και τον επόμενο μήνα στην Ανατολική Μακεδονία. Σύμφωνα με τον συγκεκριμένο δείκτη το φαινόμενο κορυφώνεται τον Φεβρουάριο και Μάρτιο με ακραίες συνθήκες ξηρασίας σε όλη την περιοχή της Μακεδονίας. Το φαινόμενο φαίνεται στους χάρτες που απεικονίζονται με αυτόν τον δείκτη να είναι πιο έντονο από όλες τις άλλες χρονιές μελέτης, αλλά μικρής διάρκειας με τέτοια ένταση αφού οι βροχοπτώσεις του Απριλίου κάνουν το φαινόμενο ηπιότερο. Σταδιακά εξασθενεί από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Τον Ιούνιο τελειώνει η λειψυδρία λόγω των βροχοπτώσεων στην δυτική Μακεδονία, η οποία επανέρχεται σε φυσιολογικές συνθήκες όχι όμως και στην ανατολική όπου επικρατεί ακόμη ήπια λειψυδρία. Από τον Ιούλιο η δυτική Μακεδονία παρουσιάζεται ήπια υγρή αλλά και στην ανατολική πλευρά της Μακεδονίας το φαινόμενο έχει σχεδόν εξαλειφθεί. Τον Οκτώβριο αρχίζει μια νέα περίοδος λειψυδρίας, ήπια λειψυδρία επικρατεί στην ανατολική πλευρά, κυρίως στους Ν. Δράμας και Σερρών, η οποία μετακινείται τον επόμενο μήνα προς τον Ν. Χαλκιδικής και εκτείνεται τον Δεκέμβριο σε όλη τη Κεντρική Μακεδονία. Η Κεντρική Μακεδονία είχε το μεγαλύτερο πρόβλημα. Στον σταθμό Ν. Ζίχνης (Ν. Σερρών) παρουσιάζει μείωση 47,07% από τον ετήσιο μέσο όρο (1955-2011) 491,2 χιλιοστά, αφού η βροχόπτωση ήταν 260,1 χιλιοστά. Αλλά και στην Κεντρική Μακεδονία στον σταθμό Ευρωπός (Ν. Κιλκίς) η βροχόπτωση ήταν 304,6 χιλιοστά

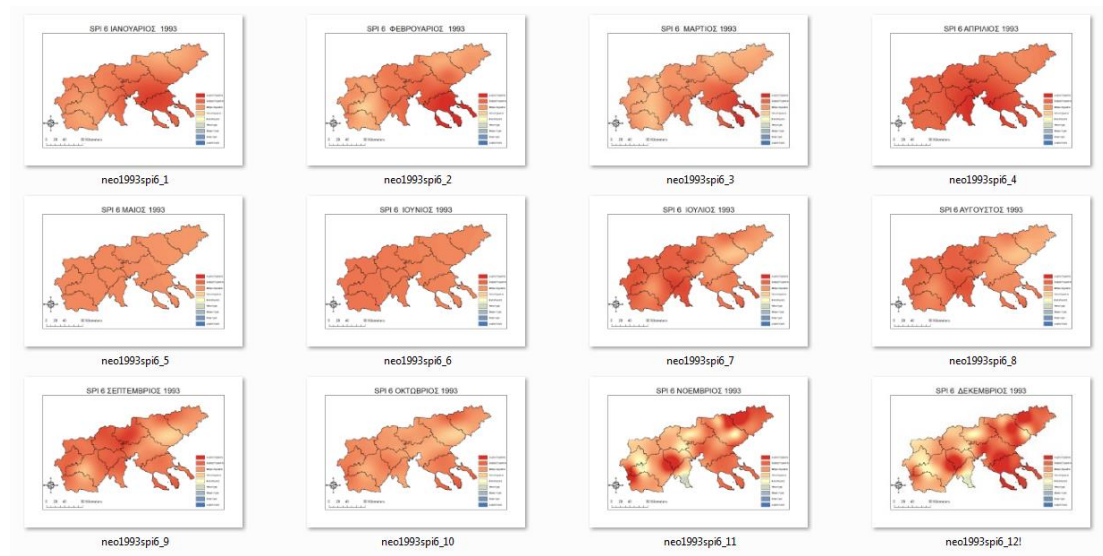
και ο ετήσιος μέσος όρος 500,16 χιλιοστά παρουσιάζοντας μείωση 39,1%.Ο σταθμός Αρναία (Ν. Χαλκιδικής) μείωση 44,9% και Ωραιόκαστρο (Ν. Θεσσαλονίκης) μείωση 47,1%.Αντιθέτως η Δυτική Μακεδονία δεν είχε ιδιαίτερο πρόβλημα ,σε κάποιες περιοχές μάλιστα είχε αρκετές βροχοπτώσεις .Συγκεκριμένα στο υδρομετεωρολογικό σταθμό Τσοτύλιο(Ν.Κοζάνης) η βροχόπτωση ήταν 947,1 χιλιοστά παρουσιάζοντας αύξηση 36,5% από τον ετήσιο μέσο όρο (1950-2011) 706 χιλιοστά.



Εικόνα 6.6 1992 SPI12

Όπως και στις προηγούμενες χρονιές ο spi12 εμφανίζει συνθήκες λειψυδρίας με μεγαλύτερη διάρκεια και με μικρότερη ένταση. Η λειψυδρία φαίνεται να αρχίζει τον Δεκέμβριο του 1991 όπου συνθήκες μέτριας λειψυδρίας εκτείνονται από την κεντρική προς την ανατολική Μακεδονία συνεχίζεται μέχρι τον Δεκέμβριο και γίνεται πιο έντονη τον Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Στην Κεντρική Μακεδονία είναι μεγαλύτερη η ένταση του φαινομένου. Από τον Μάρτιο συνθήκες μέτριας λειψυδρίας εμφανίζονται και στην Δυτική Μακεδονία,όλους τους μήνες όμως το φαινόμενο είναι ηπίοτερο από τα την Κεντρική και Ανατολική Μακεδονία στις οποίες επικρατούν ακραίες συνθήκες λειψυδρίας τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο.Από τον Οκτώβριο φαίνεται να υποχωρεί και όπως και στον προηγούμενο δείκτη επανέρχονται πρώτα οι περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας ενώ η Ανατολική παραμένει μέχρι και τον Δεκέμβριο με συνθήκες μέτριας λειψυδρίας, πιο έντονες στο Ν.Δράμας, Ν.Σερρών και

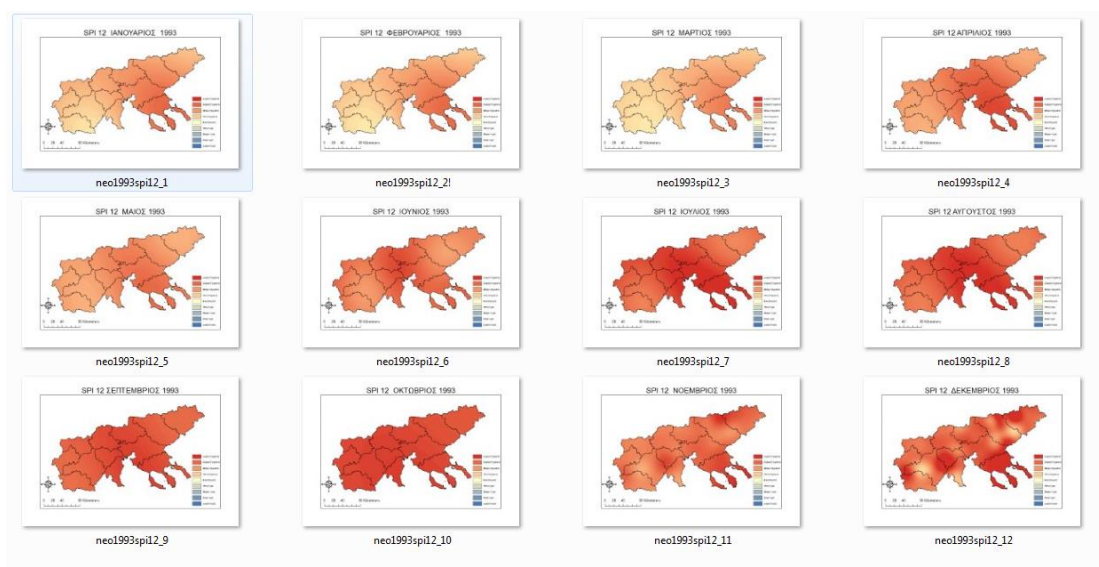
Ν.Χαλκιδικής.



Εικόνα 6.7 1993 SPI6

Το 1993 σύμφωνα με τον δείκτη spi6 παρουσιάζεται λειψυδρία και τους δώδεκα μήνες τους έτους. Αυτό το συναντάμε πρώτη φορά σε αυτόν το δείκτη σε σχέση με τις προηγούμενες χρονιές. Φαίνεται να είναι η λειψυδρία με την μεγαλύτερη διάρκεια. Αρχίζει τον Δεκέμβριο του 92 και τελειώνει τον Δεκέμβριο του 1993. Η λειψυδρία γίνεται πιο έντονη τον μήνα Απρίλιο. Τον Ιανουάριο συνθήκες μέτρια και σοβαρής λειψυδρίας επικρατούν σε όλη τη περιοχή της Μακεδονίας. Πιο έντονο είναι το φαινόμενο στο Ν.Χαλκιδικής και Θεσσαλονίκης. Στον σταθμό Ωραιόκαστρο (Ν.Θεσσαλονίκης) η βροχόπτωση ήταν 205,6 χιλιοστα και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1975-2012) ήταν 381,3χιλιοστά. παρουσιάζοντας μείωση 46%. Στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Αρναία(Ν.Χαλκιδικής) η βροχόπτωση ήταν 356,4 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1953-2011) 696,4 χιλιοστά ,παρουσιάζοντας μείωση 48,8%.Ειδικά στον Ν.Χαλκιδικής τον επόμενο μήνα παρουσιάζονται ακραίες συνθήκες λειψυδρίας στο σύνολο του νομού, ενώ τον Μάρτιο εξασθενούν λίγο και κυριαρχεί μέτρια λειψυδρία σε όλη τη Μακεδονία.Ο Απρίλιος είναι ο μήνας με την μεγαλύτερη ένταση του φαινομένου. Συνθήκες σοβαρής και ακραίας λειψυδρίας παρουσιάζονται σε όλη την Μακεδονία. Πιο έντονο πρόβλημα έχουν ο Ν.Χαλκιδικής, Ν.Ημαθίας και Ν.Θεσσαλονίκης.Τους επόμενους μήνες συνεχίζεται η λειψυδρία ηπιότερη και με τις βροχοπτώσεις του Νοέμβριου κάποιες περιοχές επανέρχονται σε φυσιολογικές συνθήκες,ενώ κάποιες άλλες παρουσιάζουν ακραίες συνθήκες λειψυδρίας. Παρόμοια κατάσταση και τον

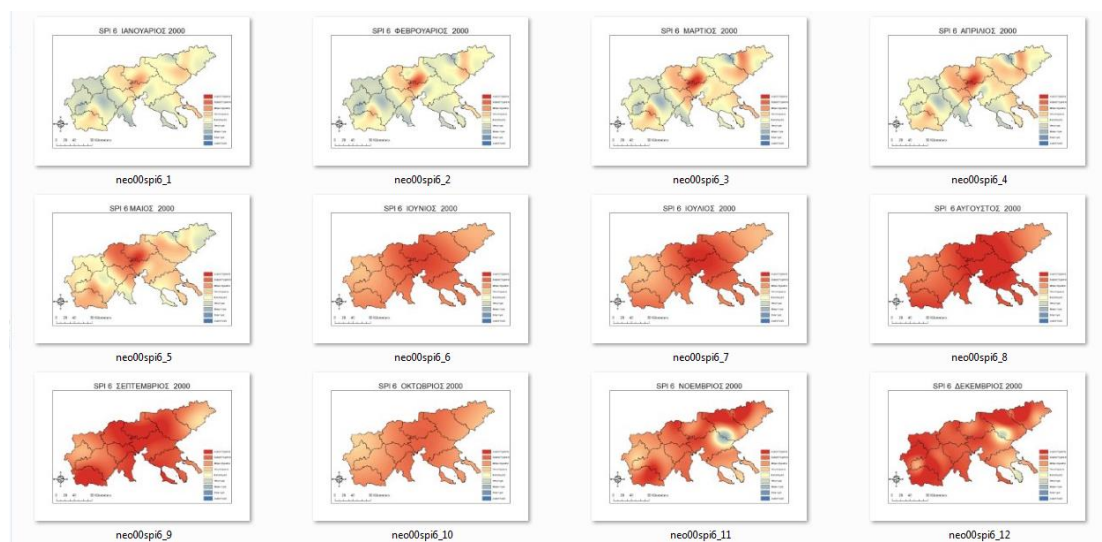
Δεκέμβριο με ακραίες συνθήκες στους Ν.Χαλκιδικής ,Ν.Θεσσαλονίκης, Ν.Σερρών και Ν.Δράμας και φυσιολογικές στην δυτική Μακεδονία.Στον Ν.Ημαθίας στον σταθμό Καστανιά Ημαθίας όπου η βροχόπτωση ήταν 276,7 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1950-2011) 715,2 χιλιοστά , παρουσιάζοντας μείωση 61,3%.Στον Ν.Σερρών ,στον σταθμό Αηδονοχώριο η βροχόπτωση ήταν 211,1 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1955-2010) 520 χιλιοστά .μείωση 59,4%.



Εικόνα 6.8 1993 SPI12

Και με αυτόν τον δείκτη συνθήκες λειψυδρίας παρουσιάζονται όλους τους μήνες ,πιο έντονες όμως είναι τους τελευταίους επτά μήνες.Το Φαινόμενο αρχίζει τον Ιανουάριο του 93 και τελειώνει την επόμενη χρονιά.Γίνεται πιο έντονο τον Οκτώβριο σε όλη την περιοχή.Σε αντίθεση με τον προηγούμενο δείκτη τους πρώτους τρεις μήνες μέτρια λειψυδρία επικρατεί μόνο στην Ανατολική Μακεδονία .Πιο έντονο είναι το φαινόμενο στην κεντρική Μακεδονία.Από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο γίνεται ακόμη πιο έντονη και εξαπλώνεται σε όλη την Μακεδονία .Τους επόμενους τέσσερις μήνες επικρατούν πιο ακραίες συνθήκες λειψυδρίας σε όλους τους νομούς με αποκορύφωση τον Οκτώβριο. Πολύ μεγάλο πρόβλημα παρουσιάζεται στους Ν.Χαλκιδικής, Ν.Θεσσαλονίκης, Ν.Ημαθίας,Ν.Πέλλας και Ν.Κιλκίς. Συνεχίζεται τον Νοέμβριο όπου λόγω των βροχοπτώσεων γίνεται ηπιότερο και τον Δεκέμβριο εξασθενεί λίγο σε κάποιες περιοχές, ενώ γίνεται πιο έντονο σε κάποιες άλλες.Ωστόσο το 1993 ίσως να μην είναι τόσο αντιπροσωπευτική η κατάσταση στο Ν.Γρεβενών και Ν.Φλώρινας γιατί απουσιάζουν δεδομένα βροχόπτωσης τη χρονιά αυτή στους δυο μοναδικούς σταθμούς που τους περιγράφουν. Στον σταθμό Πεντάλοφος

(Ν.Κοζάνης) η βροχόπτωση ήταν 418 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1973-2011) είναι 812,09 χιλιοστά, μείωση 48,5%. Επίσης στον σταθμό Κ.Νευροκόπι (Ν.Δράμας) καταγράφηκε βροχόπτωση 329,6 χιλιοστά, μειωμένη κατά 51% σε σχέση με την μέση ετήσια (1954-2010) που είναι 669 χιλιοστά.



Εικόνα 6.9 2000 SPI6

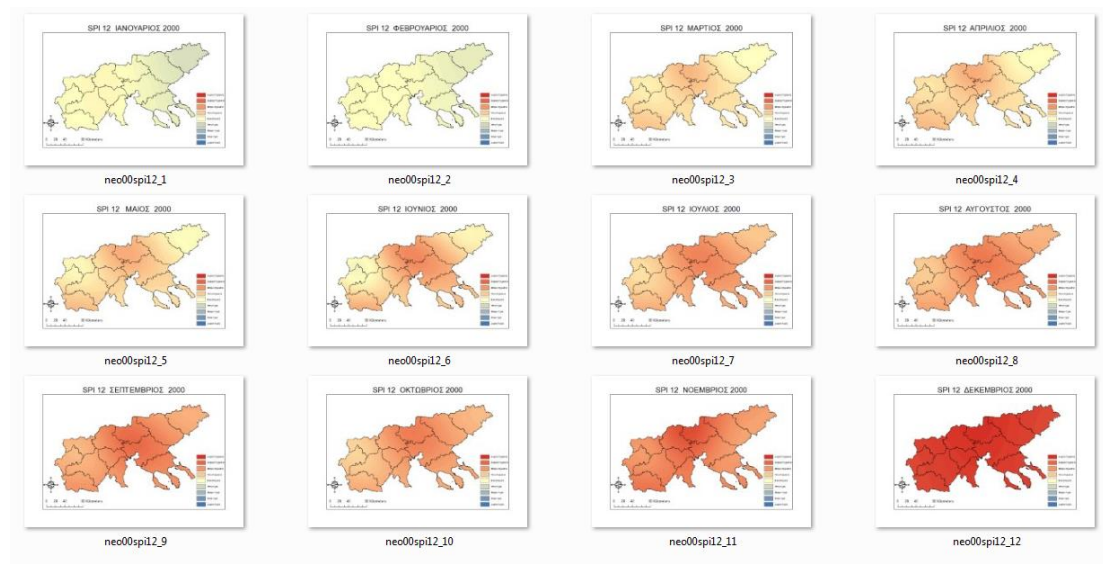
Η λειψυδρία του 2000 αρχίζει από τον Ιανουάριο στο Ν.Κιλκίς, σταδιακά εξαπλώνεται σε όλη τη Μακεδονία από τον Μάιο και αυξάνεται σε ένταση μέχρι τον Σεπτέμβριο που το φαινόμενο κορυφώνεται. Τελειώνει τον Μάιο του 2001. Οι τελευταίοι επτά μήνες του 2000 παρουσιάζουν το φαινόμενο πιο έντονο. Τους πρώτους τέσσερις μήνες πρόβλημα έχει κυρίως ο Ν.Κιλκίς. Ο υδρομετεωρολογικός σταθμός Ανθόφυτο (Ν.Κιλκίς) η βροχόπτωση ήταν 128 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1966-2010) ήταν 504,87, μείωση 74,6%. Στον σταθμό Πολύκαστρο (Ν.Κιλκίς) η βροχόπτωση ήταν 298,5 χιλιοστά και η ετήσια μέση βροχόπτωση (1966-2010) είναι 566,07 χιλιοστά, παρουσιάζοντας μείωση 47,2%. Επίσης στον σταθμό Εύζωνοι (Ν.Κιλκίς) η βροχόπτωση ήταν 292,9 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 623,4 χιλιοστά παρουσιάζοντας μείωση 53,01%.

Οι υπόλοιπες περιοχές της Μακεδονίας παρουσιάζονται να έχουν φυσιολογικές συνθήκες. Από το Μάιο εξαπλώνεται σταδιακά και σε άλλες περιοχές και πλήττει κυρίως τους νομούς της κεντρικής Μακεδονίας και ιδιαίτερα το Ν.Σερρών, Ν.Θεσσαλονίκης, Ν.Κιλκίς. Τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο είναι πιο έντονη από όλους τους μήνες, παρουσιάζονται ακραίες συνθήκες λειψυδρίας και στο νομό Γρεβενών. Τους επόμενους δυο μήνες εξασθενεί στα νότια ενώ τον Δεκέμβριο

επανέρχεται σοβαρή και ακραία λειψυδρία στη Δυτική και βορειοανατολική Μακεδονία. Στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Ωραιόκαστρο (Ν.Θεσσαλονίκης) η βροχόπτωση ήταν 198,4 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1975-2011) είναι 381,3 χιλιοστά, παρουσιάζοντας μείωση 47,9%. Ίσως να μην είναι τόσο αντιπροσωπευτικός ο Ν.Χαλκιδικής γιατί αυτή τη χρονιά απουσίαζαν δεδομένα και στους δύο σταθμούς του νομού, καθώς και ο Ν.Φλώρινας.

Στον σταθμό Ν.Ζίχνη (Ν.Σερρών) η βροχόπτωση ήταν 242,9 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1955-2011) είναι 491,2 χιλιοστά, μείωση 50,5%. Στον σταθμό Ορεινή Σερρών (Ν.Σερρών) η βροχόπτωση ήταν 288,2 χιλιοστά και η ετήσια μέση βροχόπτωση (1967-2011) είναι 625,1 χιλιοστά, μείωση 53,8%.

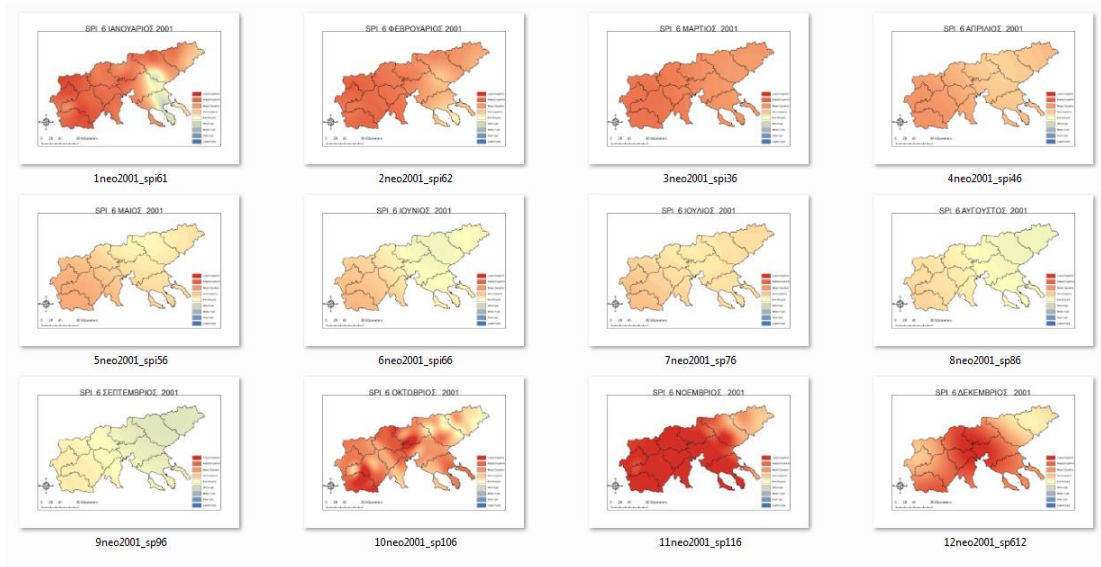
Στον σταθμό Κάτω Νευροκόπι (Ν.Δράμας) η βροχόπτωση ήταν 326,4 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1954-2010) είναι 669,2 χιλιοστά, μείωση 51,2%.



Εικόνα 6.10 2000 SPI12

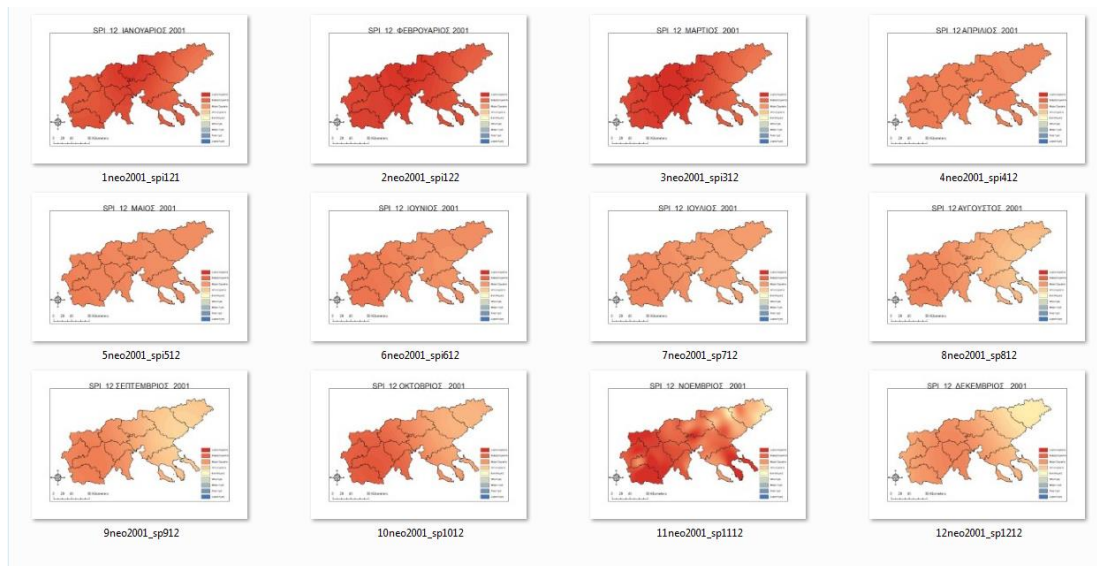
Σύμφωνα με τον spi12 η λειψυδρία αρχίζει τον Μάρτιο στην κεντρική Μακεδονία Ν.Κιλκίς, και τελειώνει την επόμενη χρονιά το 2001. Τον Δεκέμβριο κορυφώνεται η ένταση του φαινομένου, ακραίες συνθήκες λειψυδρίας επικρατούν σε όλη τη Μακεδονία. Είναι πιο έντονη του τελευταίους έξι μήνες του 2000. Πιο μεγάλο πρόβλημα έχουν οι νομοί της κεντρικής Μακεδονίας. Στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Γρεβενά η βροχόπτωση ήταν 306,6 χιλιοστά και ο ετήσιος μέσος όρος 624,9

χιλιοστά , παρουσιάζοντας μείωση 50,9%.Τους επόμενους μήνες η λειψυδρία εξαπλώνεται γύρω από τους νομούς αυτούς και αυξάνεται σταδιακά η ένταση της .



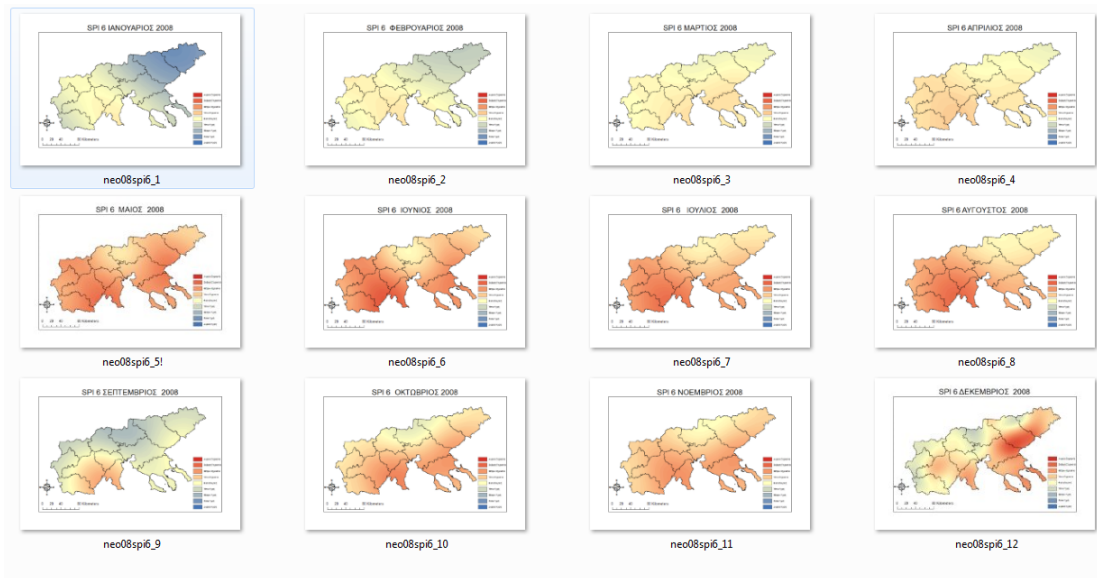
Εικόνα 6.11 2001 SPI 6

Η λειψυδρία του 2001 σύμφωνα με τον SPI 6 αρχίζει τον Ιανουάριο του 2000 ,τελειώνει τον Ιούνιο του 2000.Τον Οκτώβριο του ίδιου έτους ξαναρχίζει μια νέα λειψυδρία η οποία τελειώνει τον Ιούλιο του 2002.Ο μήνας που το φαινόμενο είναι πιο έντονο είναι ο Νοέμβριο.Συνολικά επτά μήνες εμφανίζουν σοβαρή και ακραία λειψυδρία ,με τους τελευταίους τρεις να δείχνουν πολύ σοβαρό πρόβλημα κυρίως στη κεντρική και δυτική Μακεδονία.Ο Ν.Κιλκίς, Ν.Γρεβενών, Ν.Κοζάνης, Ν.Θεσσαλονίκη παρουσίασαν σοβαρή λειψυδρία.Ο υδρομετεωρολογικός σταθμός Ανθόφυτο (Ν.Κιλκίς) η βροχόπτωση ήταν 219,2 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση(1966-2010) ήταν 504,87,μείωση 56,5%. Επίσης στον σταθμό Εύζωνοι(Ν.Κιλκίς) η βροχόπτωση ήταν 343,8 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 623,4 χιλιοστά παρουσιάζοντας μείωση 44,8%.Στον σταθμό Σιάτιστα (Ν.Κοζάνης) η βροχόπτωση ήταν 444,6 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση 659 χιλιοστά(1950-2012)παρουσιάζοντας μείωση 32,5%.Ενώ η Ανατολική Μακεδονία δεν αντιμετώπισε τόσο σοβαρό πρόβλημα . Στον σταθμό Κάτω Νευροκόπι (Ν.Δράμας) η βροχόπτωση ήταν 567,8 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1954-2010) είναι 669,2 χιλιοστά,μείωση 15,1%.



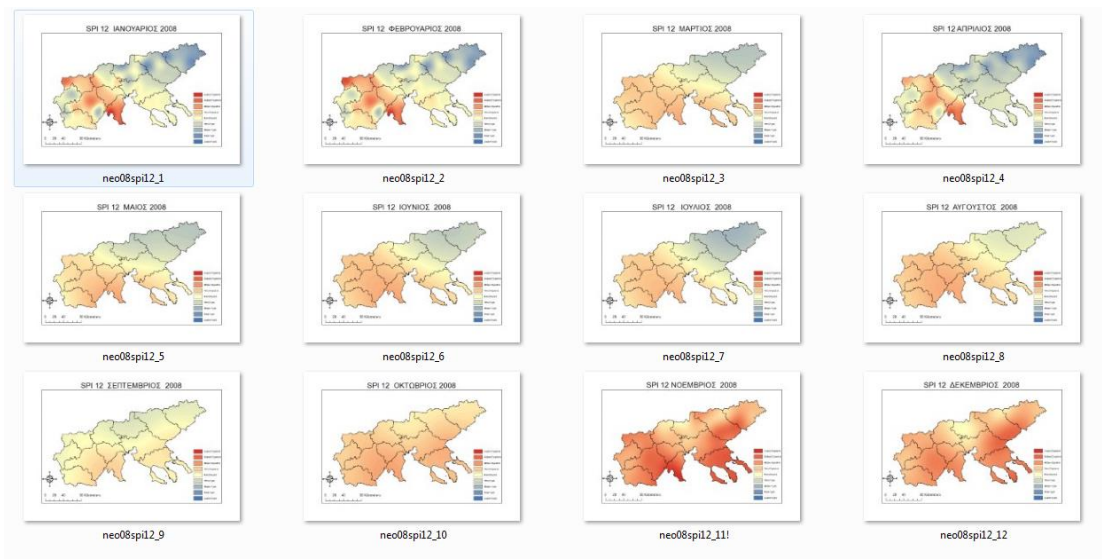
Εικόνα 6.12 2001 SPI12

Σύμφωνα με τον SPI 12 η λειψυδρία αρχίζει τον Μάρτιο του 2000 και τελειώνει τον Σεπτέμβριο του 2002. Οι πιο έντονοι μήνες σύμφωνα με αυτόν τον δείκτη είναι οι τρεις πρώτοι. Τον Φεβρουάριο το φαινόμενο κορυφώνεται. Στην δυτική και κεντρική Μακεδονία είναι πιο έντονο το φαινόμενο. Στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Γρεβενά η βροχόπτωση ήταν 324,7 χιλιοστά και ο ετήσιος μέσος όρος 624,9 χιλιοστά, παρουσιάζοντας μείωση 48%. Πιο ήπιο ήταν το φαινόμενο ανατολικά. Στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Ωραιόκαστρο (Ν.Θεσσαλονίκης) η βροχόπτωση ήταν 290,2 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1975-2011) είναι 381,3 χιλιοστά, παρουσιάζοντας μείωση 23,9%.



Εικόνα 6.13 2008 SPI6

Σύμφωνα με τον δείκτη SPI6 η λειψυδρία του 2008 είναι πολύ πιο ήπια σε ένταση και διάρκεια από τις προηγούμενες. Αρχίζει τον Απρίλιο του 2008 και είναι πιο έντονη στη Δυτική Μακεδονία. Τελειώνει τον Σεπτέμβριο όπου σχεδόν όλη η περιοχή της Μακεδονίας είναι ηπίως υγρή. Επανέρχεται τον Οκτώβριο και τον Νοέμβριο μέτριας έντασης λειψυδρία σε όλες τις νότιες περιοχές της Μακεδονίας ενώ τον Δεκέμβριο στο Ν.Σερρών, Ν.Δράμας και Ν.Θεσσαλονίκης γίνεται πιο σοβαρή. Ο Ν.Πιερίας φαίνεται να είχε το μεγαλύτερο πρόβλημα, δεν μπορούμε όμως να το επιβεβαιώσουμε με σιγουριά γιατί λείπουν αυτή τη χρονιά δεδομένα για τους άλλους δυο σταθμούς του Ν.Πιερίας. Στον σταθμό Άγιος Δημήτριος (Ν.Πιερίας) η βροχόπτωση ήταν μόλις 161 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 666,3 χιλιοστά παρουσιάζοντας μείωση 75%. Στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Ποντοκώμη (Ν.Κοζάνης) καταγράφηκε βροχόπτωση 376,5 χιλιοστά, ενώ η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 591,3 χιλιοστά παρουσιάζοντας μείωση 36,3%. Στο σταθμό Δράμα (Ν.Δράμας) η βροχόπτωση ήταν 288,6 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση (1956-2010) είναι 553,8 χιλιοστά, μείωση 47,8%. Στον σταθμό Νιγρίτα (Ν.Σερρών) η βροχόπτωση ήταν 252 χιλιοστά και η ετήσια μέση βροχόπτωση (1957-2010) είναι 472,1 χιλιοστά, μείωση 46,6%. Στον σταθμό Αρναία (Ν.Χαλκιδικής) καταγράφηκε βροχόπτωση 445,5 χιλιοστά και η μέση ετήσια βροχόπτωση 696,4 χιλιοστά παρουσιάζοντας μείωση 36,03%.



Εικόνα 6.14 2008 SPI12

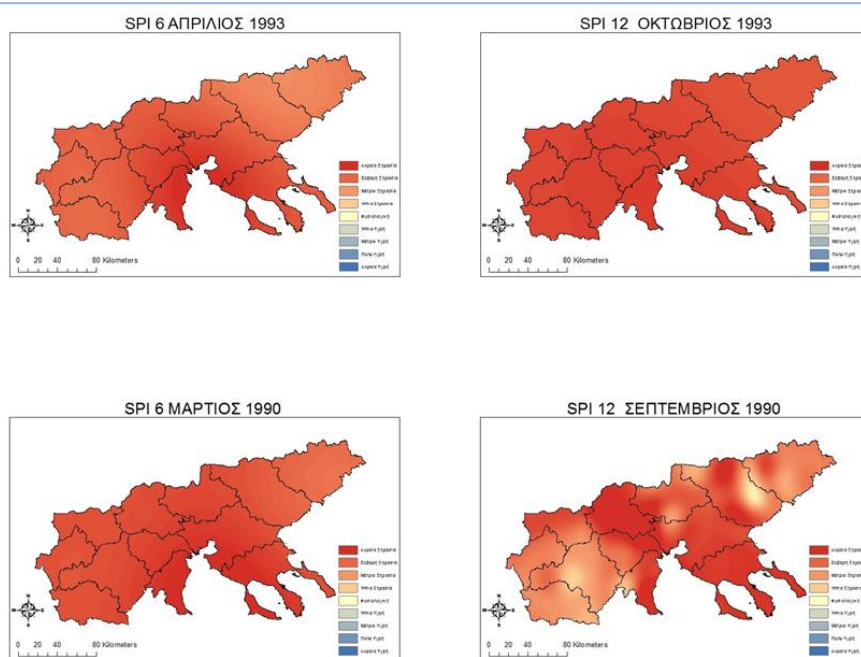
Με τον Spi12 ήπια λειψυδρία αρχίζει τον Ιανουάριο του 2008 στην Δυτική Μακεδονία ,κυρίως στο Ν.Πιερίας, Ν.Κοζάνης, Ν.Ημαθίας και Ν.Φλώρινας ενώ η περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας είναι ηπίως υγρή μέχρι τον Οκτώβριο.Μόνο τους τρεις τελευταίους μήνες εμφανίζεται μέτρια και σοβαρή λειψυδρία σε όλη τη Μακεδονία,η οποία κορυφώνεται τον Νοέμβριο.Σοβαρές συνθήκες λειψυδρίας παρουσιάζουν το Νοέμβριο ο Ν.Πιερίας,Ν.Χαλκιδικής,Ν. Κοζάνης, Ν.Φλωρινας ,Ν.Θεσσαλονίκης και Ν.Σερρών.Τον Δεκέμβριο το φαινόμενο γίνεται ηπιότερο.

Κεφαλαίο 7 Συμπεράσματα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετήθηκαν οι σημαντικότερες λειψυδρίες τα τελευταία χρόνια στην Μακεδονία με την εφαρμογή του δείκτη SPI. Έτσι στη μελέτη αυτή αναλύθηκαν τα έτη 1989,1990,1992,1993,2000,2001 και 2008.

Η μεγαλύτερη λειψυδρία και σε διάρκεια και σε ένταση για την Μακεδονία ήταν αυτή του 1993. Δημιούργησε πολύ σοβαρά προβλήματα αρχικά στον αγροτικό τομέα αλλά και στο υδροδοτικό σύστημα. Έπληξε κυρίως το Ν.Πιερίας, Ν.Πέλλας, Ν.Χαλκιδικής και Ν.Θεσσαλονίκης.

Ακολουθεί η λειψυδρία του 90 που ήταν επίσης πολύ μεγάλη σε ένταση και διάρκεια. Όπως φαίνεται και στους χάρτες και οι δύο αυτές σοβαρές λειψυδρίες έπληξαν κυρίως την Κεντρική Μακεδονία και συγκεκριμένα το Ν.Πιερίας, Ν.Ημαθίας, Ν.Χαλκιδικής, Ν.Θεσσαλονίκης, Ν.Πέλλας και Ν.Σερρών. Τον Απρίλιο του 1990 το Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας πρότεινε λύσεις ώστε να μειωθούν οι επιπτώσεις του φαινομένου στην περιοχή της Μακεδονίας.(Express) Τον Αύγουστο του 1990 ο Υπουργός Εσωτερικών ανακοινώνει νέα μέτρα αντιμετώπισης της λειψυδρίας στη πόλη της Θεσσαλονίκης. (Μακεδονία). Στην Εικ. 7.1 παρουσιάζονται οι μήνες που το φαινόμενο ήταν πιο έντονο για τις χρονιές αυτές.



Εικόνα 7.1 Οι μήνες με την πιο έντονη λειψυδρία τα έτη 1990.1993

Η λειψυδρία του 2000 και 2001 ήταν η μεγαλύτερη ύστερα από αυτή του 1990, δημιούργησε ιδιαίτερα προβλήματα στις καλλιέργειες της Βόρειας Ελλάδας. Το μεγαλύτερο πρόβλημα αντιμετώπισαν οι Ν.Κιλκίς, Γρεβενών και Θεσσαλονίκης. Συγκεκριμένα τον Ιούλιο του 2000 αναφέρονται μεγάλα προβλήματα στους αγρότες, ελειψη υποδομών και ανύπαρκτος προγραμματισμός. Επίσης καταρτίζεται νομοσχέδιο για την σύσταση εθνικού φορέα διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Τον Αύγουστο του 2000 αναφέρεται ότι στερεύουν οι λίμνες Κορώνεια που βρίσκεται στη λεκάνη του Λαγκαδά της Κεντρικής Μακεδονίας, καθώς και οι λίμνες Βεγορίτιδα και Δοιράνης. Επίσης στεγνές λίμνες βρώμικα δίκτυα αναφέρει η εφημερίδα το βήμα. Τον Μάρτιο του 2001 αναφέρονται προβλήματα στους αγρότες μεγάλη μείωση παραγωγής, ιδιαίτερα στο Ν. Σερρών λόγω απουσίας βροχοπτώσεων τον Νοέμβριο και Δεκέμβριο του 2000. Επίσης αναφέρεται πολύ χαμηλή στάθμη της λίμνης Κερκίνης (25% του 1999).

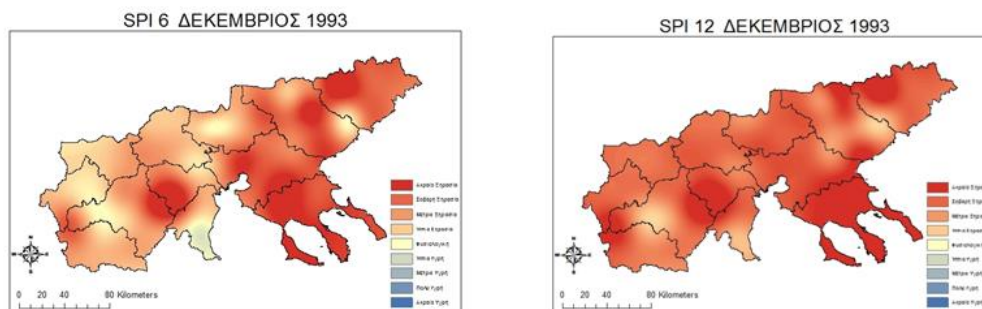
Η λειψυδρία του '92 ήταν πιο ήπια. Επληξε κυριώς την κεντρική και ανατολική Μακεδονία. Το '92 συγκεκριμένα η ανατολική Μακεδονία είχε μειωμένες βροχοπτώσεις σε σχέση με τον μέσο όρο ενώ, η Δυτική σε πολλές περιοχές είχε αυξημένες.

Η λειψυδρία του 2008 ήταν πιο ήπια όλων των προηγούμενων που μελετήθηκαν. Ωστόσο υπήρχαν αρκετές καταγραφές που δείχνουν ότι ολοι αντιμετώπιζαν τη λειψυδρία πιο σοβαρά. Τον Μάρτιο του 2008 άρθρο της Ημερησίας αναφέρει τη λειψυδρία ως εθνικό θέμα της νέας δεκαετίας. Τον Ιούλιο του 2008 αναφέρεται ότι η λειψυδρία απειλεί την μισή Ελλάδα. (Μακεδονία) Τον Αύγουστο του 2008 ο Ν. Χακιδικής λόγω της αυξημένης τουριστικής περιόδου το μήνα αυτό, παρόλο που φαίνεται να είχε ήπιες συνθήκες λειψυδρίας αντιμετωπίζει αρκετά προβλήματα Υδρευσης (Ημερησία). Πρόβλημα στην κεντρική Μακεδονία αναφέρει και η ΕΥΔΑΠ. Ο Ν. Πιερίας φαίνεται να είχε το μεγαλύτερο πρόβλημα, δεν μπορούμε όμως να το επιβεβαιώσουμε με σιγουριά γιατί λείπουν αυτή τη χρονιά δεδομένα για τους άλλους δυο σταθμούς του νομού.

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν φαίνεται να περιγράφουν επαρκώς τις συνθήκες που επικρατούσαν παρόλο που σε κάποιους σταθμούς στη Δυτική Μακεδονία υπήρχαν κενά στις χρονοσειρές. Επίσης δεδομένα χρονοσειρών βροχόπτωσης με μεγάλα κενά ίσως θα μπορούσαν να συμπληρωθούν από άλλους φορείς ώστε να μην υπάρχουν μικρές χρονοσειρές ή με ασυνέχειες.

Στην παρούσα προσπάθεια παρατηρηθήκε ότι υπήρχε ανάγκη για ένα πιο πυκνό δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών κυρίως στην Δυτική Μακεδονία όπου οι σταθμοί ήταν λίγοι σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή ώστε να καλύπτει όσο γίνεται περισσότερες ιδιαιτερότητες του τοπικού κλίματος και είναι πιο αντιπροσωπευτική η κατάσταση.

Το 1993 πολύ ακραίες τιμές ξηρασίας καταγράφηκαν στους νομούς Χαλκιδικής, Ημαθίας και Θεσσαλονίκης (Εικ. 7.2). Θα ήταν χρήσιμο ένα πιο πυκνό δίκτυο σταθμών στους νομούς αυτούς που αντιπροσωπεύονται από ένα μόνο σταθμό ώστε να μπορούν να διασταυρωθούν αυτές οι ακραίες τιμές. Περισσότεροι σταθμοί θα ήταν χρήσιμοι και στους νομούς Γρεβενών, Καστοριάς, Φλώρινας και Πέλλας που αντιπροσωπεύονται από ένα μόνο σταθμό. Επίσης για την εγκυρότητα ακραίων τιμών SPI απαιτούνται ακόμα μεγαλύτερες χρονοσειρές.



Εικόνα 7.2

Παρατηρούμε επίσης ότι ο SPI με χρονικό βήμα 12 μηνών δείχνει πιο σοβαρή ξηρασία από τον SPI 6 μηνών για το 2001 και το 1989 και το 1992. (εικόνες 6.1, 6.2, 6.5, 6.6, 6.11, 6.12) Αυτό μπορεί να συμβαίνει λόγω της μεγάλης ξηρής περιόδου Μαΐου -Σεπτεμβρίου που επικρατεί στη χώρα μας, όπου η απουσία βροχοπτώσεων είναι φυσιολογικό μέρος του τοπικού κλίματος όπου ο δείκτης SPI 6 μπορεί να είναι παραπλανητικός και να μην είναι ακριβής σε μια πιο σοβαρή και με μεγαλύτερη διάρκεια ξηρασία. Αυτή η διαφορά για τα έτη 1989 και 1992 έχει καταγραφεί και από τον Καραβίτης κ.α (2012).

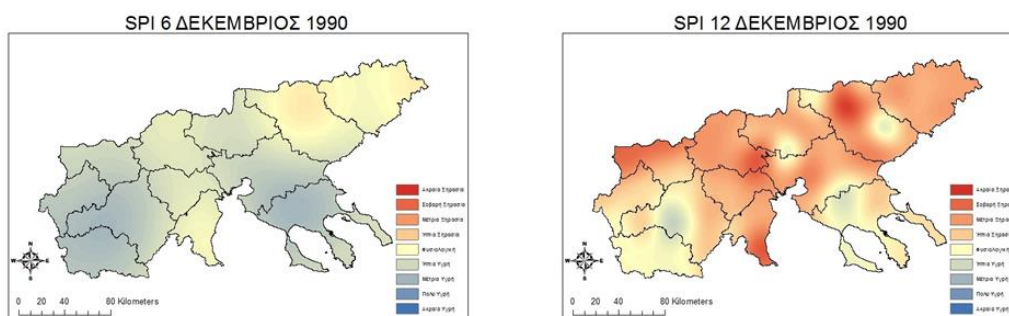
Ανάλογα με το χρονικό βήμα του δείκτη οι παραπάνω λειψυδρίες κατατάσσονται διαφορετικά ως προς τη σοβαρότητα τους. Σύμφωνα με το χρονικό βήμα 6 μηνών η πιο σημαντική λειψυδρία είναι του 1993 και σε διάρκεια και σε ένταση και αμέσως μετά ακολουθεί του 1990, 2000, 1992, 2001, 1989 και 2008. Ενώ με το χρονικό βήμα 12 μηνών πιο σοβαρές λειψυδρίες παρουσιάστηκαν τα έτη 1993, 1990 και ακολουθούν το 2001, 1989, 1992, 2000 και τέλος του 2008.

Αξιοσημείωτη είναι η έντονη διακύμανση που παρουσιάζει ο δείκτης SPI με την αλλαγή του χρονικού βήματος. Όσο μεγαλώνει το χρονικό βήμα η συχνότητα του δείκτη μειώνεται, ενώ η διάρκεια αυξάνεται. Δηλαδή για μικρές χρονικές κλίμακες, η ξηρασία εμφανίζεται συχνά αλλά διαρκεί για μικρό χρονικό διάστημα. Αντίθετα, όσο μεγαλώνει το χρονικό βήμα Spi12, 24 μηνών η ξηρασία δεν εμφανίζεται συχνά αλλά διαρκεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Κατι τέτοιο είναι αναμενόμενο αφού στα μικρά χρονικά βήματα ο κάθε μήνας επηρεάζει σημαντικά τον υπολογισμό του δείκτη, με αποτέλεσμα τη γρήγορη ανταπόκρισή του και μετάβασή του από υγρές σε ξηρές τιμές και αντίστροφα. Όσο όμως μεγαλώνει το χρονικό βήμα, κάθε νέος μήνας

έχει μικρότερη επίδραση και έτσι ο δείκτης ανταποκρίνεται πιο αργά, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα λιγότερα επεισόδια ξηρασίας, αλλά με μεγαλύτερη διάρκεια.

Στην παρακάτω Εικόνα (7.3) φαίνεται ότι ο Spi 6 μπορεί να αναγνωρίζει έγκαιρα την έναρξη και τη λήξη ενός επεισοδίου. Επίσης περιγράφει άμεσα και με μεγαλύτερη ακρίβεια το μέγεθος των βροχοπτώσεων του Δεκεμβρίου, οι οποίες έφτασαν στη Δυτική Μακεδονία και στην Χαλκιδική όσο το 30-44% του ετήσιου μέσου όρου βροχόπτωσης. Αυτό συμβαίνει γιατί δείκτης SPI 6 αντιδρά πιο γρήγορα στην παρουσία ή απουσία βροχόπτωσης αφού επηρεάζεται σημαντικά από το ύψος βροχής του συγκεκριμένου χρονικού βήματος που προστίθεται και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση της μετεωρολογικής ξηρασίας, η οποία εμφανίζεται αμέσως μετά την απουσία βροχοπτώσεων.

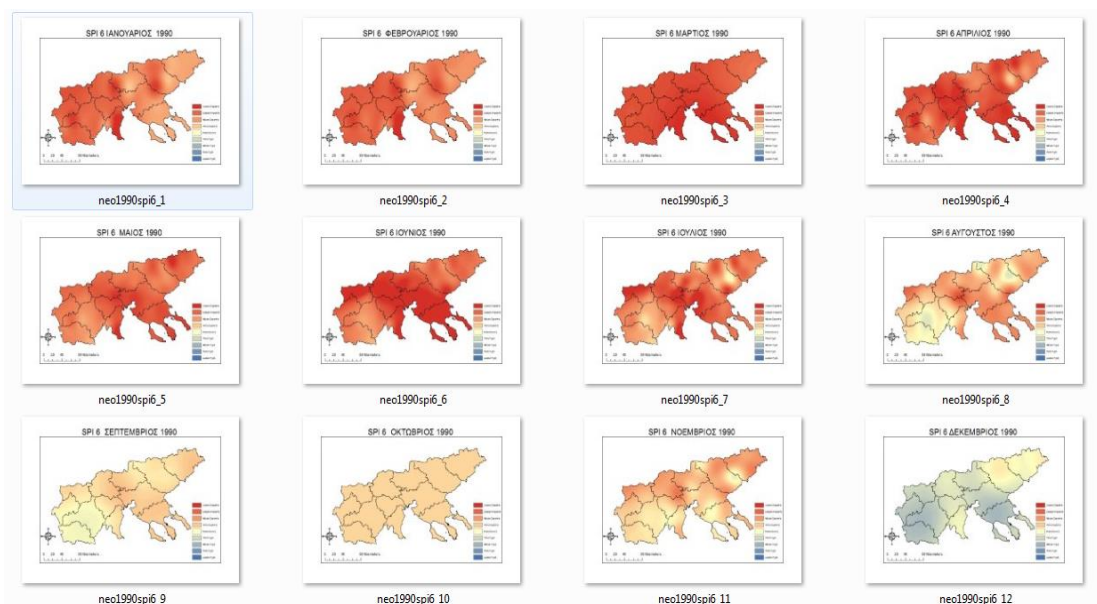
Ενώ ο δείκτης SPI 12 επηρεάζεται λιγότερο από το ύψος βροχής του συγκεκριμένου χρονικού βήματος αφού λαμβάνει υπόψιν περισσότερες τιμές βροχόπτωσης από τον SPI 6 και αντιδρά πιο αργά, αναγνωρίζει με μια καθυστέρηση την ξηρασία. Δείχνει λιγότερα επεισόδια ξηρασίας αλλά με μεγαλύτερη διάρκεια. Θα μπορούσε να περιγράψει την υδρολογική ξηρασία, αφού παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνισή της σε σχέση με τη μετεωρολογική ξηρασία επειδή χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να φανούν τα ελλείμματα των βροχοπτώσεων στα στοιχεία του υδρολογικού συστήματος.



Εικόνα 7.3

Οι λειψυδρίες του 93 και 90 ήταν οι μεγαλύτερες. Ωστόσο το 1990 σε αρκετές περιοχές δεν υπήρχε μείωση στον ετήσιο μέσο όρο των βροχοπτώσεων, όπως ήταν αναμενόμενο, αφού εμφάνιζαν ακραίες τιμές λειψυδρίας για αρκετούς μήνες. Συγκεκριμένα ο Ν.Χαλκιδικής παρόλο που φαίνεται να έχει μεγάλο πρόβλημα όλο το 1990 και εμφανίζει ακραία ξηρασία και στους δυο σταθμούς της δεν

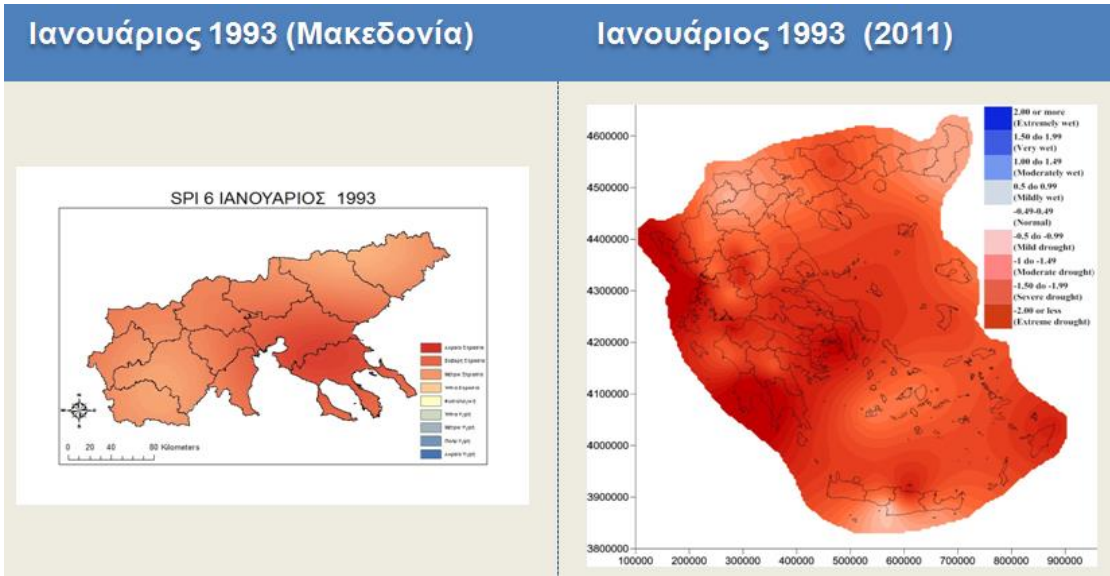
παρουσίασε μείωση. (εικ7.4)Αυτο οφείλεται στις πάρα πολυ υψηλές βροχοπτώσεις του Δεκεμβρίου . Στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Αρναία (Ν.Χαλκιδικής) η βροχόπτωση το μήνα Δεκέμβριο ήταν 306,5 χιλιοστά, το 44,01% του ετήσιου μέσου όρου βροχόπτωσης ,που είναι 696χιλιοστά.Όμοια και στον σταθμό Άγιος Πρόδρομος(Ν.Χαλκιδικής) η βροχόπτωση τον Δεκέμβριο ήταν 191,1 χιλιοστά ,όσο το 36,38% της μέσης ετήσιας 525,23.



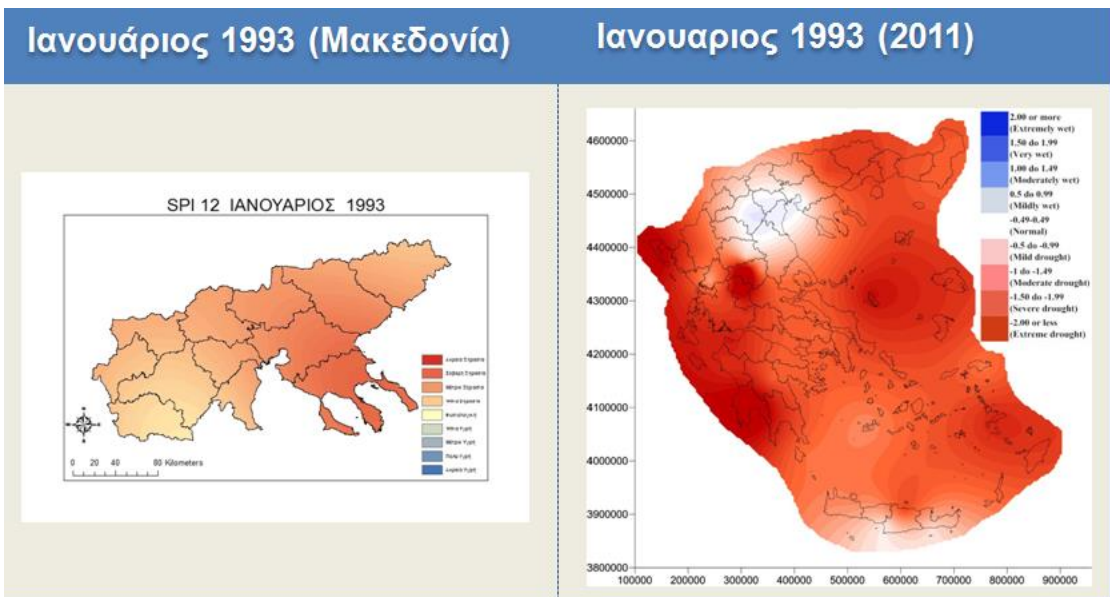
Εικόνα 7.4 1990 spi6

Γενικά τα αποτελέσματα δείχνουν οτι οι ληφθείσες τιμές SPI ακολουθούν τις καταγεγραμμένες ξηρασίες του 1989 και του 1992.(Καραβίτης κ.α 2012).Τα αποτελέσματα ωστόσο δεν συμφωνούν με το έτος 1993 (Εικ. 7.7,7.8).Η διαφορά αυτή πιθανόν να οφείλεται στο μικρότερο αριθμό σταθμών (5 σταθμοί) σε σχέση με τους 40 σταθμούς της παρούσας μελέτης.

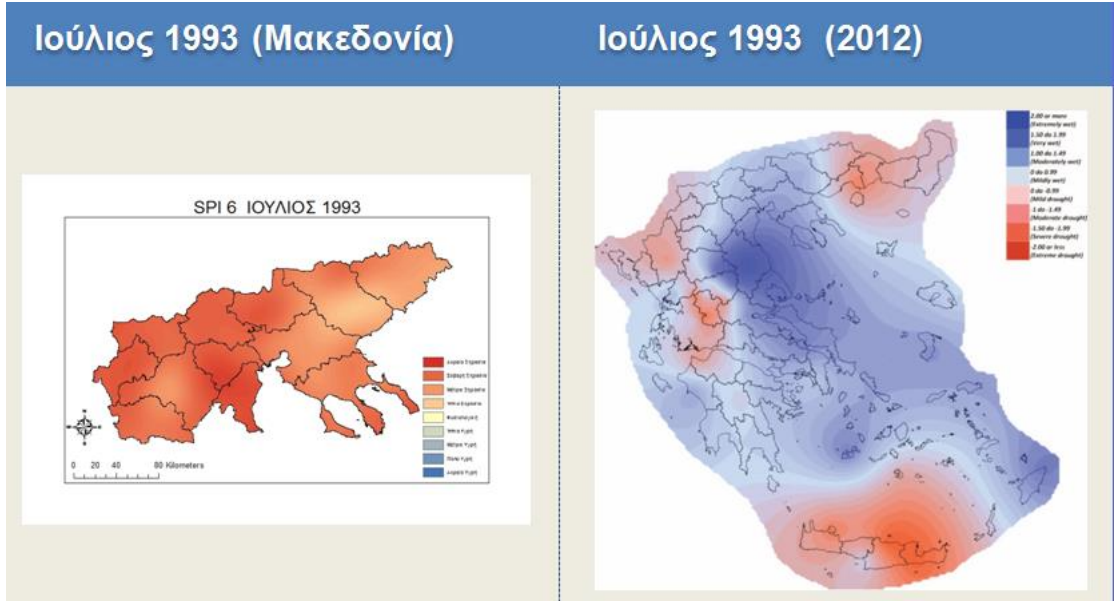
Επίσης τα αποτελέσματα του SPI της παρούσας μελέτης, συμφωνούν για όλα τα έτη για τις σοβαρές λειψυδρίες 1989-1990,1993 και 2000-2001 Καραβίτης κ.α (2011) . (Εικ. 7.5,7.6)



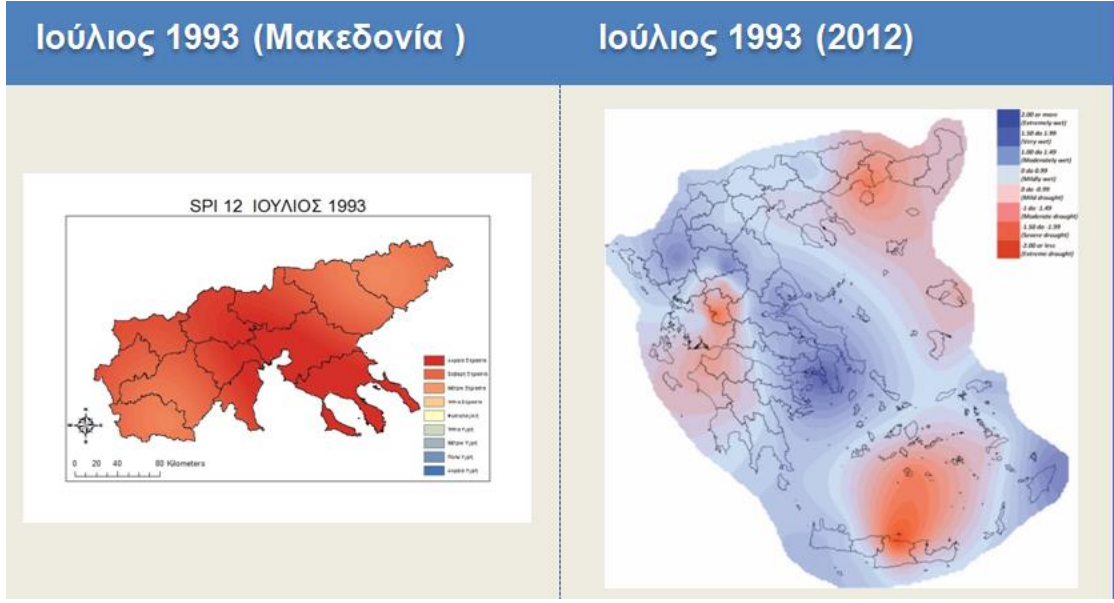
Εικόνα 7.5 Σύγκριση της παρούσας μελέτης με Καραβίτηκ.α,(2011) για τον Ιανουάριο 1993 Spi 6



Εικόνα 7.6 Σύγκριση της παρούσας μελέτης με Καραβίτηκ.α,(2011) για τον Ιανουάριο 1993 Spi 12

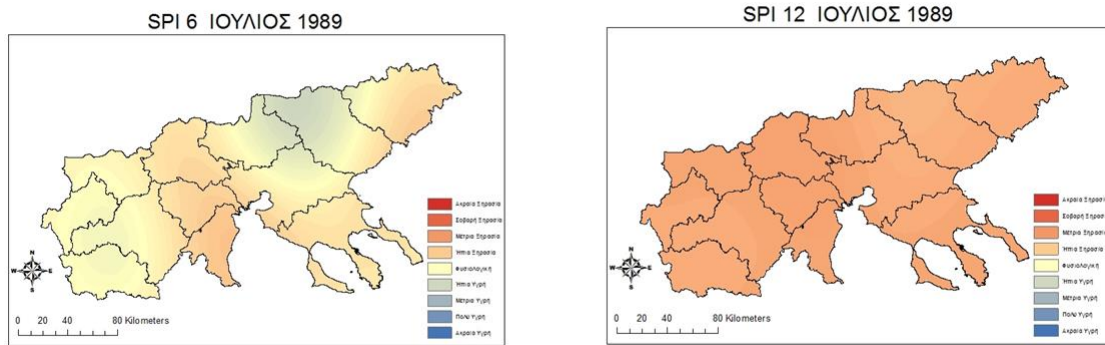


Εικόνα 7.7 Σύγκριση της παρούσας μελέτης με Καραβίτηςκ.α,(2012) για τον Ιούλιο 1993 Spi 6



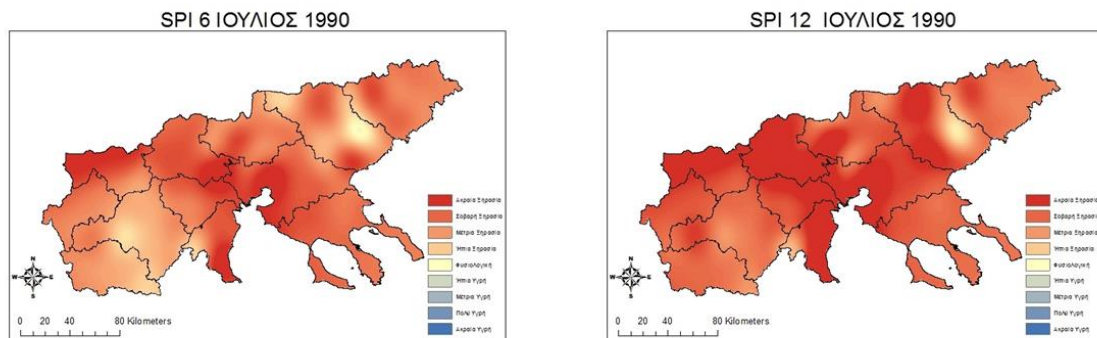
Εικόνα 7.8 Σύγκριση της παρούσας μελέτης με Καραβίτηςκ.α,(2012) για τον Ιούλιο 1993 Spi 12

Συγκεκριμένα τον Ιούλιο του 1989 οι τιμές του SPI 12 απεικονίζουν και καταγράφουν στην Μακεδονία μέτριες συνθήκες ξηρασίας .Τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται να συμφωνούν με τις καταγεγραμμένες τιμες SPI του ίδιου μήνα οπως αναφέρεται και στο (Καραβίτηςκ.α 2012) .Κατι τέτοιο δεν φαίνεται στα αποτελέσματα του δείκτη με χρονικό βήμα έξι μηνών οπου επικρατούν φυσιολογικές συνθήκες λειψυδρίας σε όλη την περιοχή.(Εικ 7.9)



Εικόνα 7.9

Επίσης τον Ιούλιο του 90 σύμφωνα με τον (Καραβίτης κ.α 2012) οι τιμές του δείκτη SPI με χρονικό βήμα 6 μηνών παρουσιάζουν μέτριες συνθήκες ξηρασίας στην Ανατολική Μακεδονία. Με παράδειγμα το σταθμό Θεσσαλονίκη όπου καταγράφηκε βροχόπτωση 359 χιλιοστά ενώ ο μέσος ετήσιος όρος είναι 460 χιλιοστά (1972-2006) παρουσιάζοντας μείωση 22%. Αυτό το αποτέλεσμα φαίνεται να ακολουθείται και από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας (Εικ. 7.10) όπου στον υδρομετεωρολογικό σταθμό Ωραιόκαστρο (Ν.Θεσσαλονίκης) η βροχόπτωση ήταν 255,1, με μεσο ετήσιο όρο 381,3 χιλιοστά (1975-2012), παρουσιάζοντας μείωση 33%.



Εικόνα 7.10

Ωστόσο τα αποτελέσματα δεν συμφωνούν με τις καταγραφές για τον Ιούλιο του 1990 στον Ν.Σερρών όπου με το χρονικό βήμα 12 μηνών η Βόρεια Ελλάδα χαρακτηρίζεται από σχεδόν κανονικές συνθήκες. Στη Σέρρες καταγράφηκε βροχόπτωση 459,5 χιλιοστά, πολύ κοντά στον ετήσιο μέσο όρο (1972-2006) 462,7 χιλιοστά. Αντίθετα στην παρούσα μελέτη στο Ν.Σερρών επικρατούσαν σοβαρές συνθήκες λειψυδρίας. Στον σταθμό Σιδηρόκαστρο η βροχόπτωση ήταν 268,78

χιλιοστά ,μείωση 42,6% και στο σταθμό Αηδονοχώριο 340,6 χιλιοστά μείωση 34,4%.

Ο δείκτης SPI αποτελεί σημαντικό εργαλείο για τη διαχείριση των λειψυδριών ,στο πλαίσιο πάντα μιας προληπτικής προσέγγισης. Οι αναποτελεσματικές τεχνικές των προηγούμενων χρόνων διαχείρισης της λειψυδρίας οδήγησαν στην ανάγκη για προληπτικό σχεδιασμό, ο οποίος περιλαμβάνει μέτρα για μια έγκαιρη προειδοποίηση κινδύνου εκδήλωσης λειψυδρίας σε μια περιοχή και όχι για διαχείριση της μετά την εκκίνηση και την αντίληψη του φαινομένου λειψυδρίας.Βασίζεται στον έγκαιρο σχεδιασμό των μέτρων, για πρόληψη ή την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της λειψυδρίας με τα κατάλληλα εργαλεία σχεδιασμού και τη συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερομένων. Περιλαμβάνει τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή των συστημάτων για μια έγκαιρη προειδοποίηση των συνθηκών λειψυδρίας.

Σε μια τέτοια προσέγγιση ,απαιτείται προληπτικός σχεδιασμός.Με βάση τις αρχές του προληπτικού σχεδιασμού δημιουργήθηκε και το Εθνικό Σχέδιο Αντιμετώπισης των Λειψυδριών που έγινε από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (2007) αλλά και το Σχέδιο Αντιμετώπισης Φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας, (2012-2013) το οποίο περιλαμβάνεται στα Σχέδια Διαχείρισης Λεκάνη Απορροής Ποταμού Υδατικών Διαμερισμάτων της χώρας με σκοπό την αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων και την επίτευξη μιας καλής κατάστασης όπως ορίζει η Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά (2000/60/EK) και της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Υδατικών Πόρων ,η οποία θα προστατεύει τους πόρους για τα φυσικά και οικολογικά συστήματα.

Οι δείκτες λειψυδρίας είναι βασικό εργαλείο των σχεδίων αυτών. Αποτελούν κριτήριο προσδιορισμού της έλευσης των φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας και στον βοηθούν στον χαρακτηρισμό της.Το σχέδιο περιλαμβάνει αξιολόγηση της επικινδυνότητας φαινομένων ξηρασίας και λειψυδρίας, αξιοποιώντας ιστορικά υδρολογικά δεδομένα καθώς και υφιστάμενα στοιχεία απολήψεων για την εξυπηρέτηση των κύριων χρήσεων ύδατος και προτείνει μηχανισμούς έγκαιρης προειδοποίησης καθώς και μέτρα αντιμετώπισης, άμβλυνσης των επιπτώσεων.

Η εφαρμογή του Σχεδίου αποτελεί μια πρόσθετη δικλείδα ασφαλείας ως προς την προστασία των υδατικών συστημάτων αλλά και την ικανοποίηση αναγκών ζωτικής σημασίας σε περίπτωση λειψυδρίας.

Όλα αυτά βέβαια θα πρέπει να περιλαμβάνουν μελλοντικές δράσεις για την καλύτερη εφαρμογή των μέτρων που λαμβάνονται καθώς και δράσεις για την συνεχή αξιολόγηση και μελλοντική αναθεώρηση των σχεδίων .

Ακόμη περισσότερο, η πολιτική βούληση και η δέσμευση είναι σημαντικές προϋποθέσεις για την επιτυχή συνεργασία σε όλες τις πτυχές της διαχείρισης των υδάτων, και ιδιαίτερα στην εφαρμογή ενός σχεδίου διαχείρισης της ξηρασίας .

Επίσης είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν πιο σύνθετοι δείκτες όπως ο SDVI που θα είναι ικανοί να διακρίνουν, εκτός από την λειψυδρία και αν κάποιες περιοχές είναι περισσότερο ευπαθείς στην ξηρασία από άλλες βοηθώντας στην περιβαλλοντική έρευνα και στη λήψη αποφάσεων . Ιδια τιμή του δείκτη σε δύο διαφορετικές περιοχές δεν σημαίνει ίδιες επιπτώσεις στις περιοχές αυτές. Ένα σύνολο συνθηκών και διαδικασιών που προκύπτουν από φυσικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, αυξάνουν την ευπάθεια μιας κοινωνίας στις επιπτώσεις ενός κινδύνου ξηρασίας.

Ο SDVI είναι ένας σύνθετος δείκτης που έχει αναπτύχθει, στο πλαίσιο του Έργου Κέντρου Διαχείρισης της Ξηρασίας (DMCSEE) από την ερευνητική ομάδα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών . Για πρώτη φορά παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια του πέμπτου Συνεδρίου και Κατάρτισης στο Λάσκο, στη Σλοβενία για το 28ο / 6-1st / 7/2011 (Καραβίτης κ.ά., 2011a, 2012a, 2012b, DMCSEE, 2012, 2013).

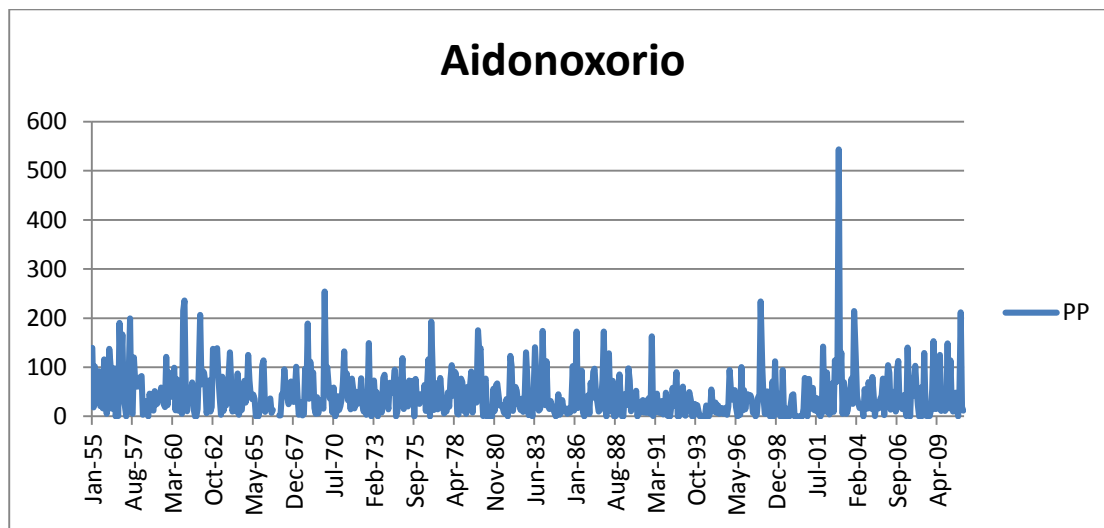
Ο SDVI έχει πολλαπλής κλιμάκας εφαρμογή στην περιβαλλοντική έρευνα και στη λήψη αποφάσεων και ενσωματώνει τα στοιχεία των επιπτώσεων της ξηρασίας και την κατάσταση της σχετικής υποδομής.

Επιπλέον είναι αναγκαίος ένας μεγαλύτερος αριθμός σταθμών ώστε να καλύπτει όσο γίνεται περισσότερο τις ιδιαιτερότητες του κλιματος και τη μορφολογία της χώρας μας καθώς και ένα σύστημα παρακολούθησης της ξηρασίας βασισμένο σε δείκτες π.χ μια στοσελίδα η οποία θα απεικονίζει τις τιμές του δείκτη σε μηνιαία βάση και θα παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση και θα επιτρέπει τον σχεδιασμό μέτρων ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων της ξηρασίας.

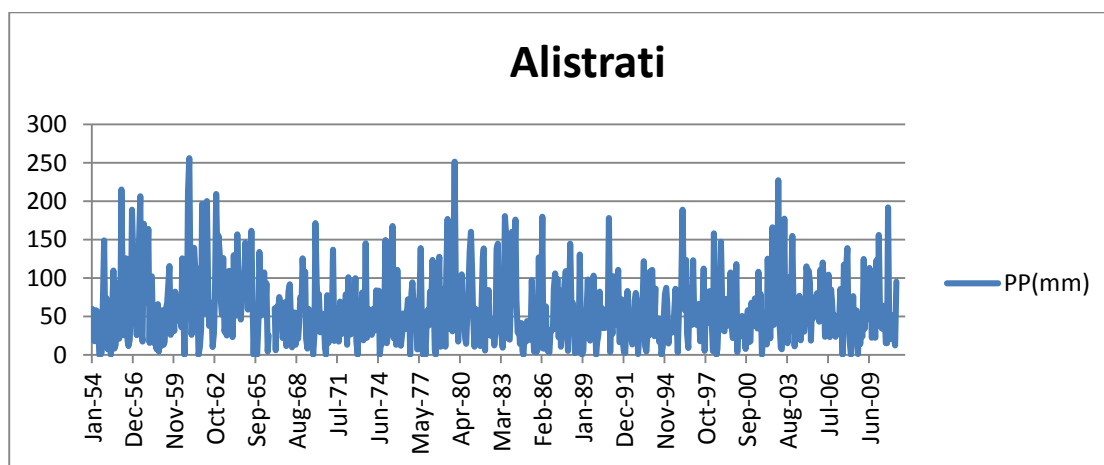
Ωστόσο καμία δράση διαχείρισης, νομοθεσία ή στρατηγική δεν μπορεί να αποκριθεί από μόνη της σε όλες τις πλευρές και δεν μπορεί να επιτύχει όλους τους σκοπούς για την αποτελεσματική διαχείριση της λειψυδρίας. Πολλαπλές ομαδικές προσπάθειες χρειάζονται για την ολοκληρωμένη διαχείριση των πολυδιάστατων επιπτώσεων της λειψυδρίας στην κοινωνία.

Παράρτημα 1 Βροχοπτώσεις

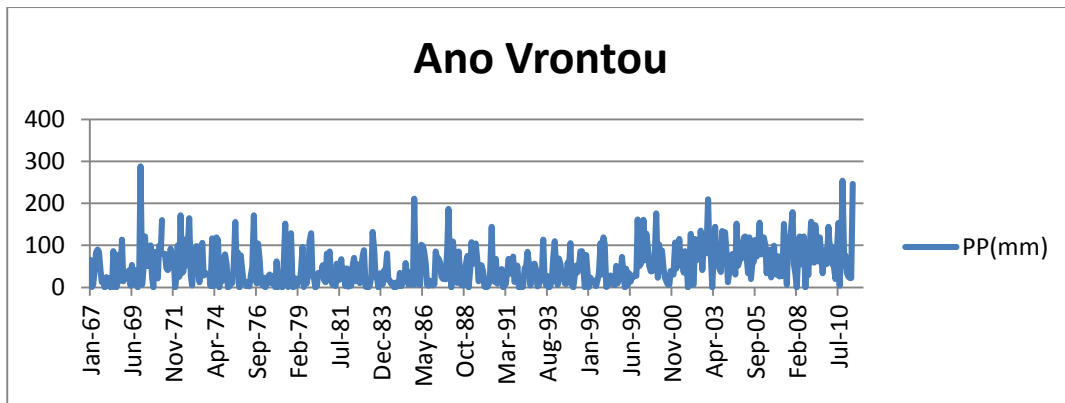
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ



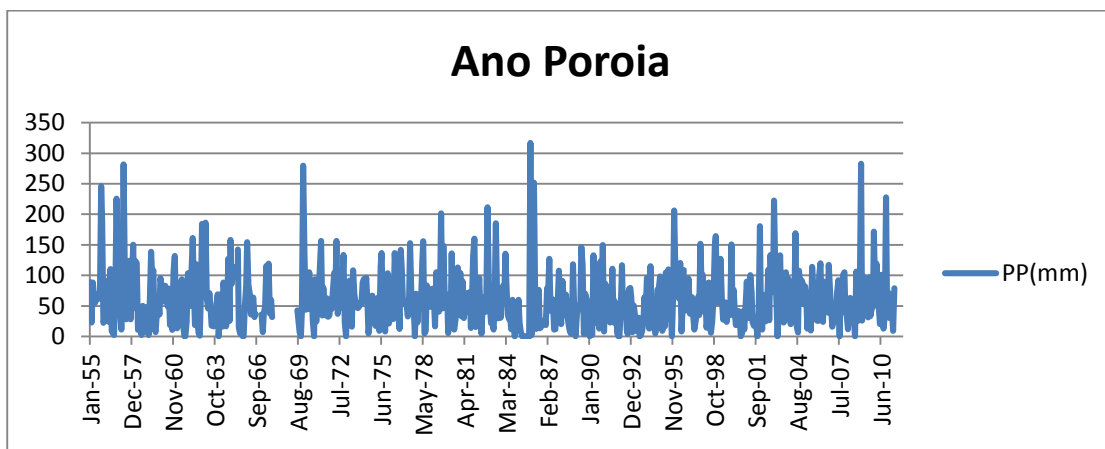
Εικόνα 1.1 Βροχόπτωση για τον σταθμό Αηδονοχωρίου



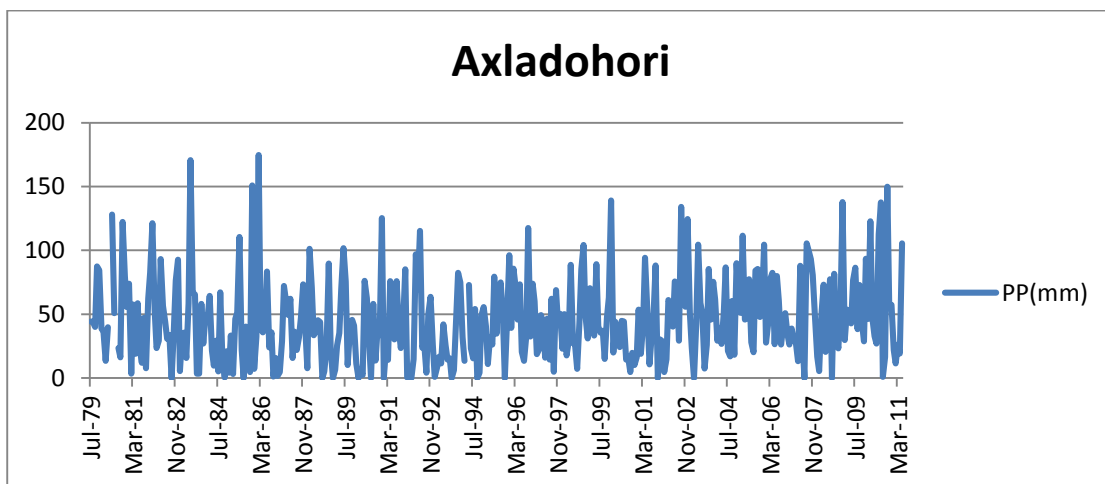
Εικόνα 1.2 Βροχόπτωση για τον σταθμό Αλιστράτης



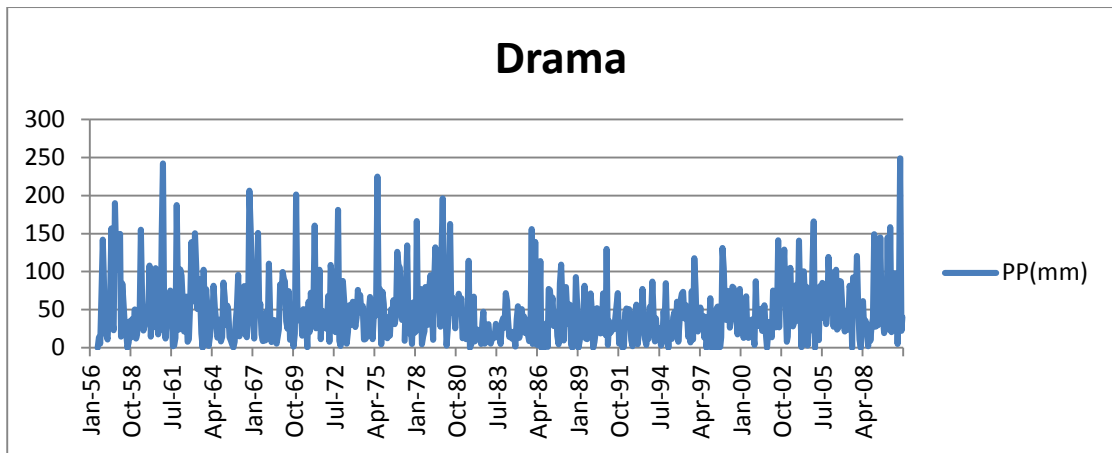
Εικόνα 1.3 Βροχόπτωση για τον σταθμό Άνω Βροντούς



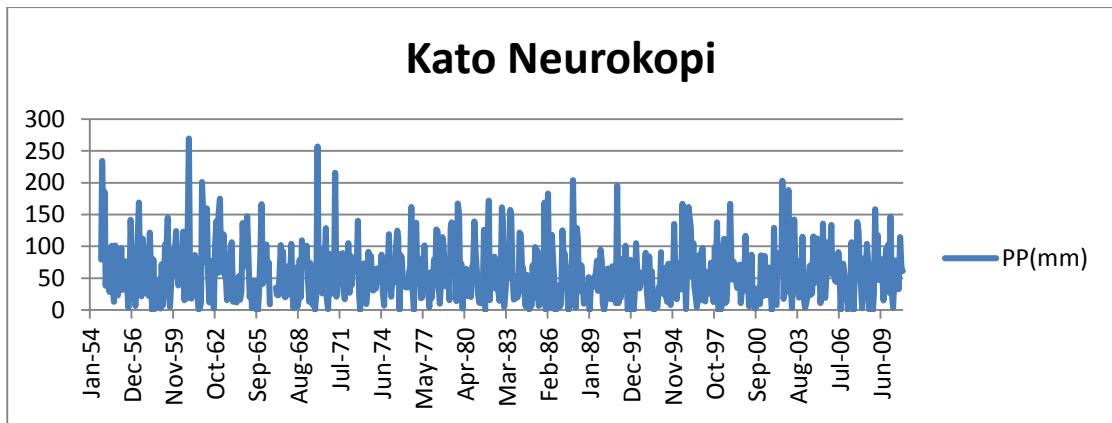
Εικόνα 1.4 Βροχόπτωση για τον σταθμό Άνω Ποροίων



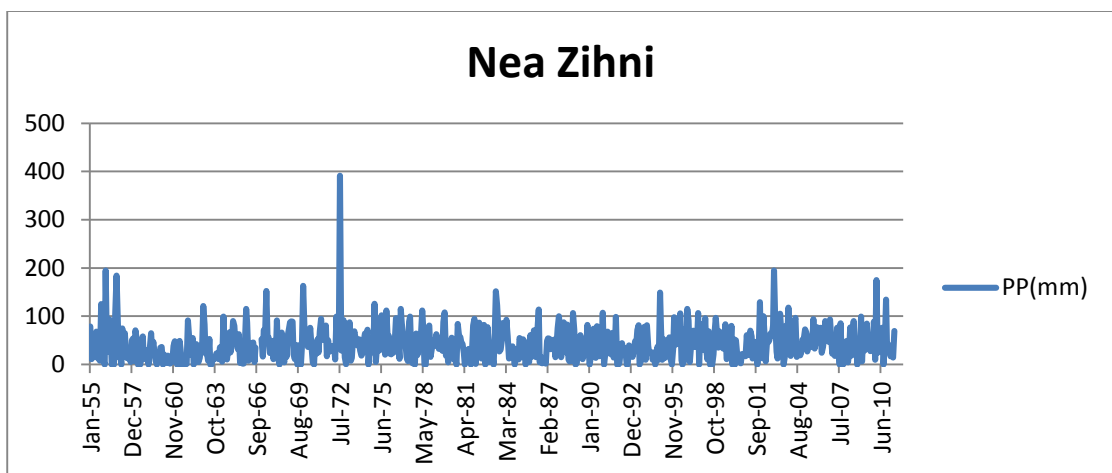
Εικόνα 1.5 Βροχόπτωση για τον σταθμό Αχλαδοχωρίου



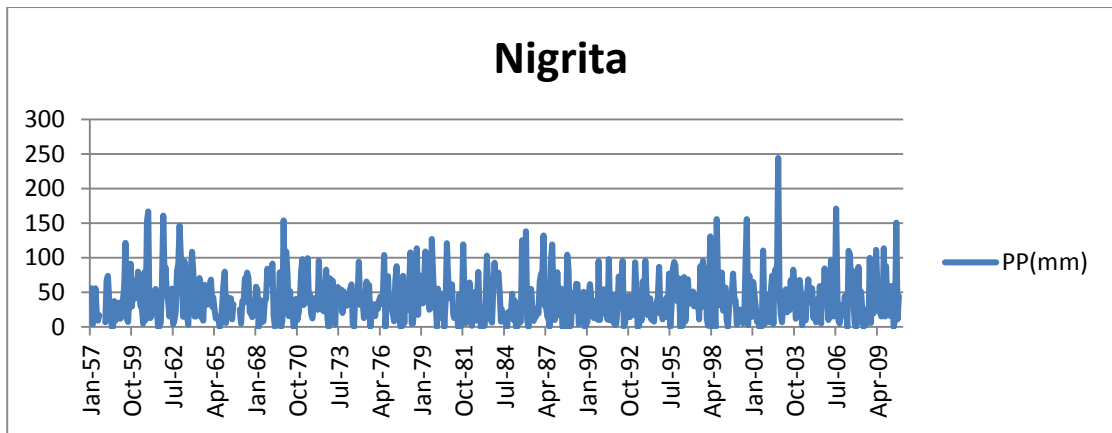
Εικόνα 1.6 Βροχόπτωση για τον σταθμό Δράμας



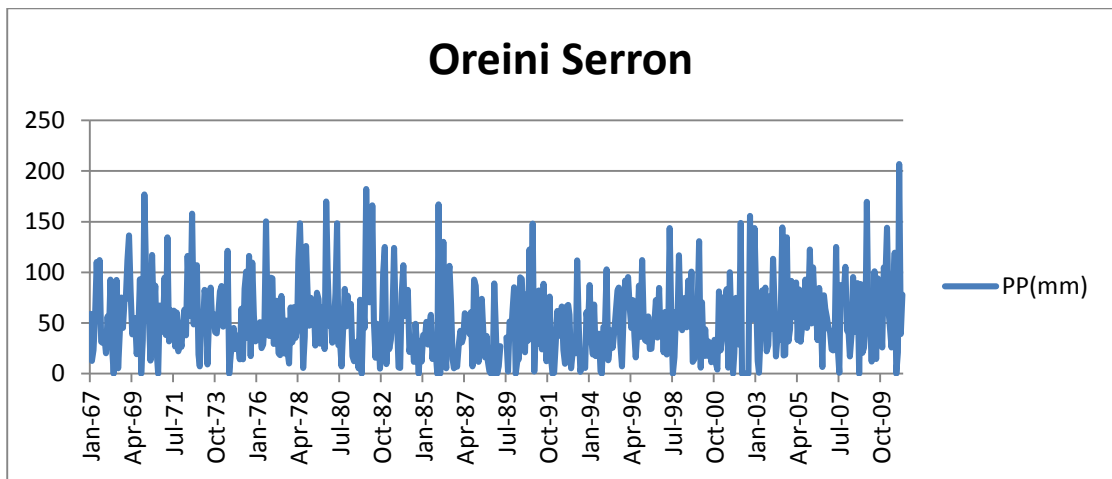
Εικόνα 1.7 Βροχόπτωση για τον σταθμό Κάτω Νευροκοπίου



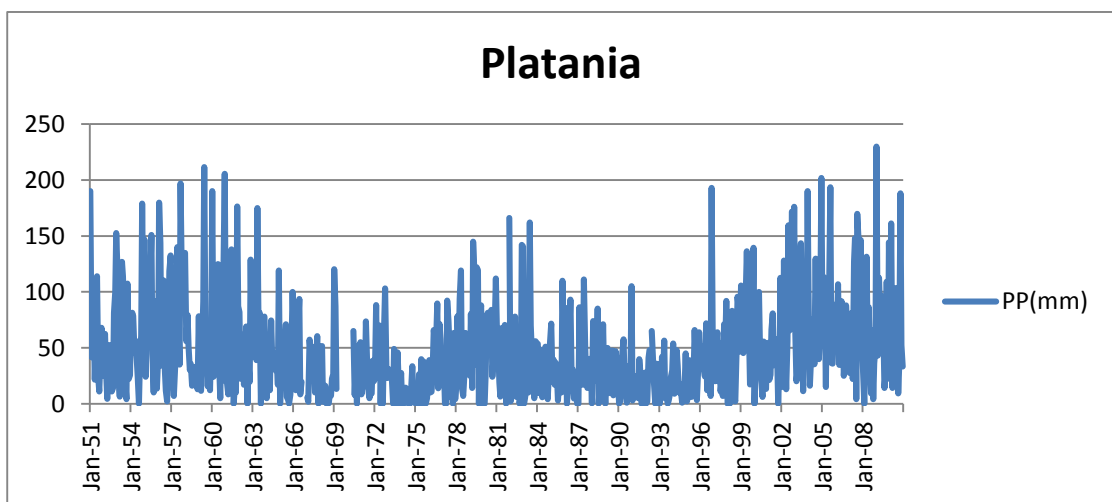
Εικόνα 1.8 Βροχόπτωση για τον σταθμό Νέας Ζίχνης



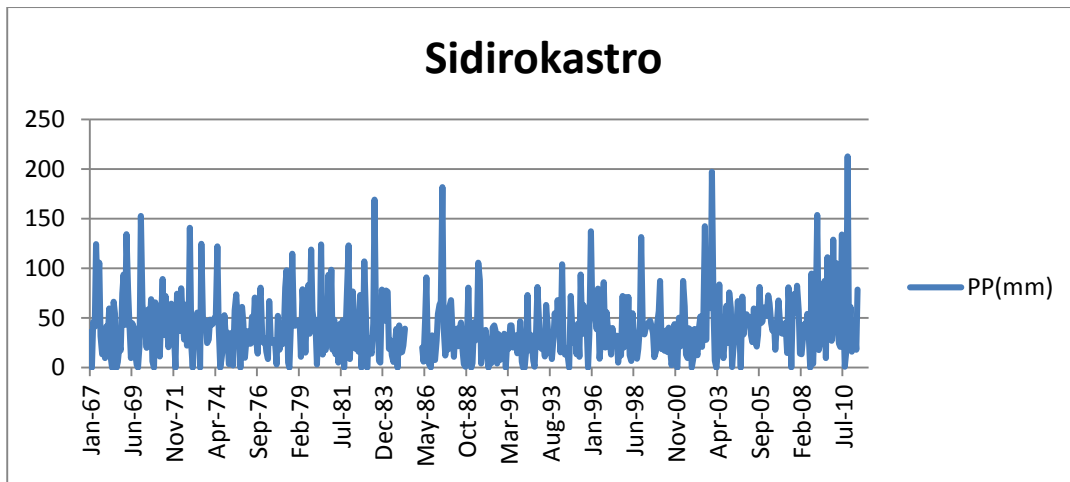
Εικόνα 1.9 Βροχόπτωση για τον σταθμό Νιγρίτας



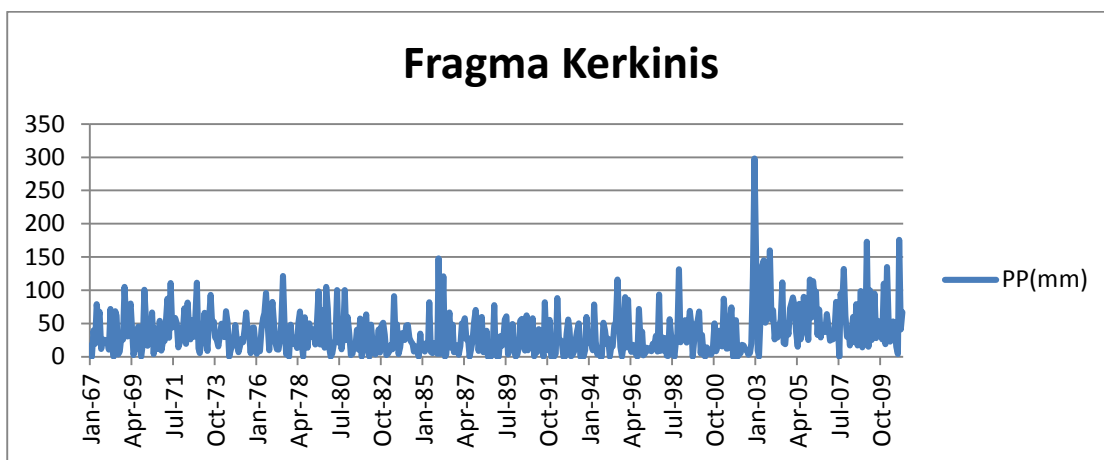
Εικόνα 1.10 Βροχόπτωση για τον σταθμό Ορεινής Σερών



Εικόνα 1.11 Βροχόπτωση για τον σταθμό Πλατανιά

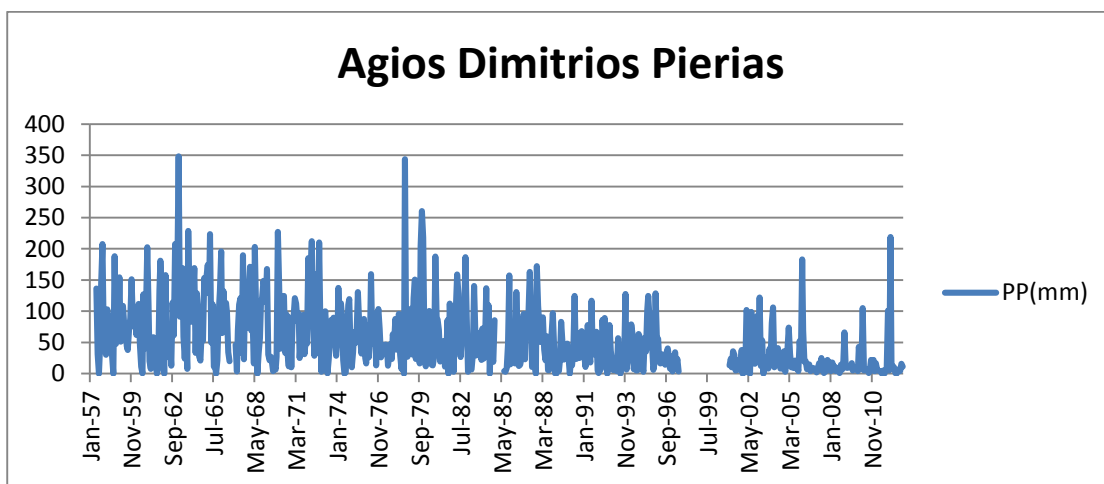


Εικόνα 1.12 Βροχόπτωση για τον σταθμό Σιδηροκάστρου

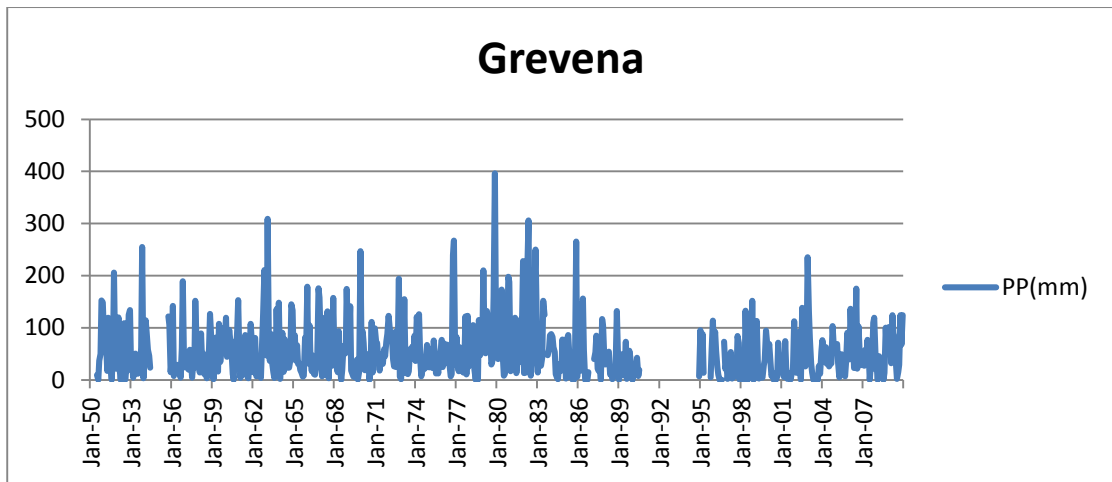


Εικόνα 1.13 Βροχόπτωση για τον σταθμό Φράγμα Κερκίνης

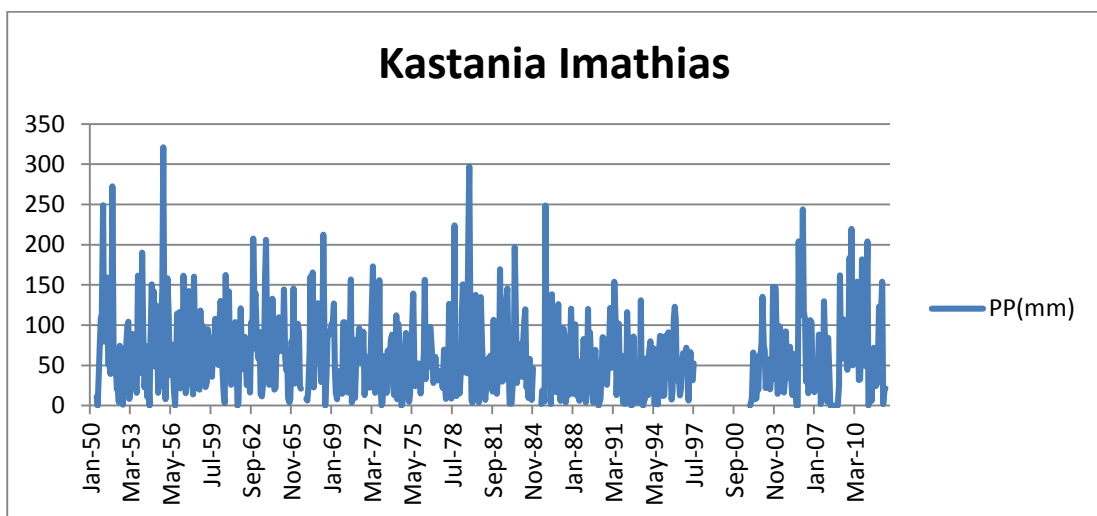
ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ



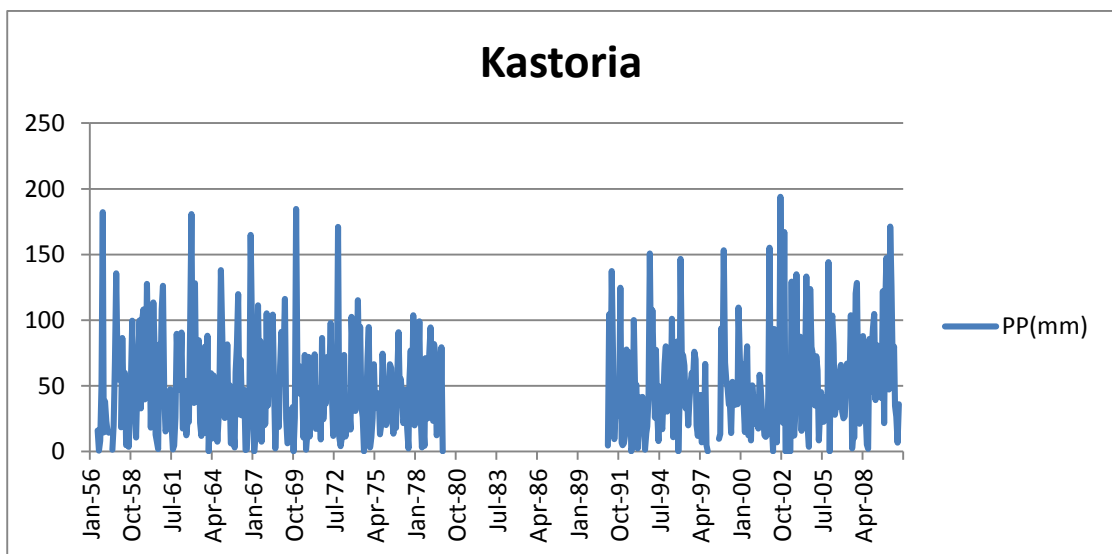
Εικόνα 1.14 Βροχόπτωση για τον σταθμό Άγιου Δημητρίου Πιερίας



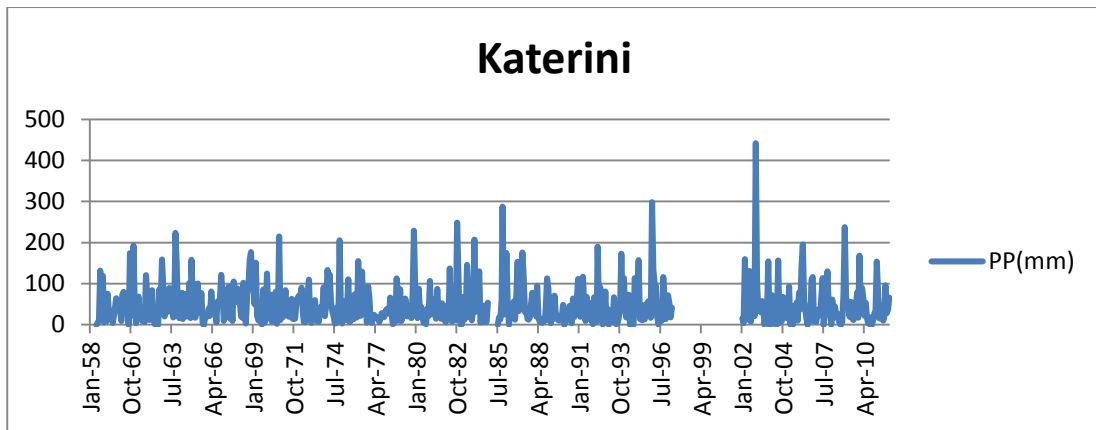
Εικόνα 1.15 Βροχόπτωση για τον σταθμό Γρεβενών



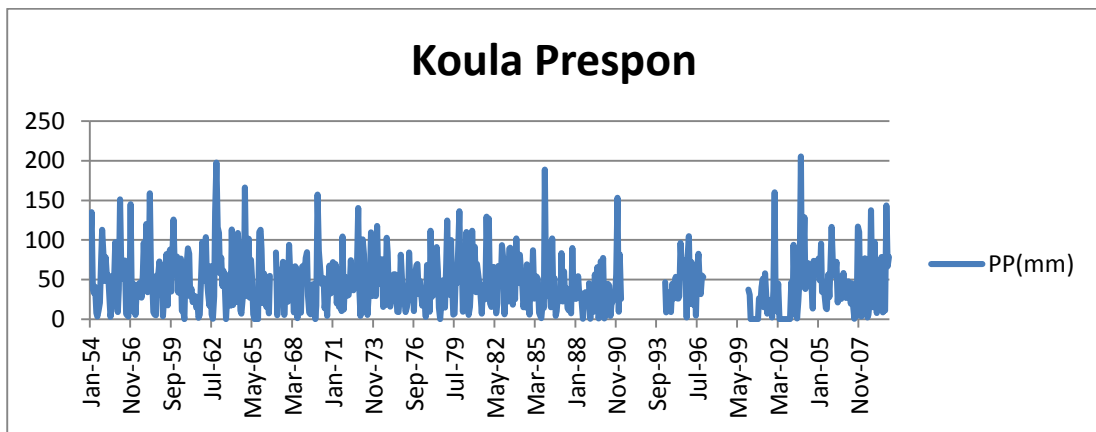
Εικόνα 1.16 Βροχόπτωση για τον σταθμό Καστανιάς Ημαθίας



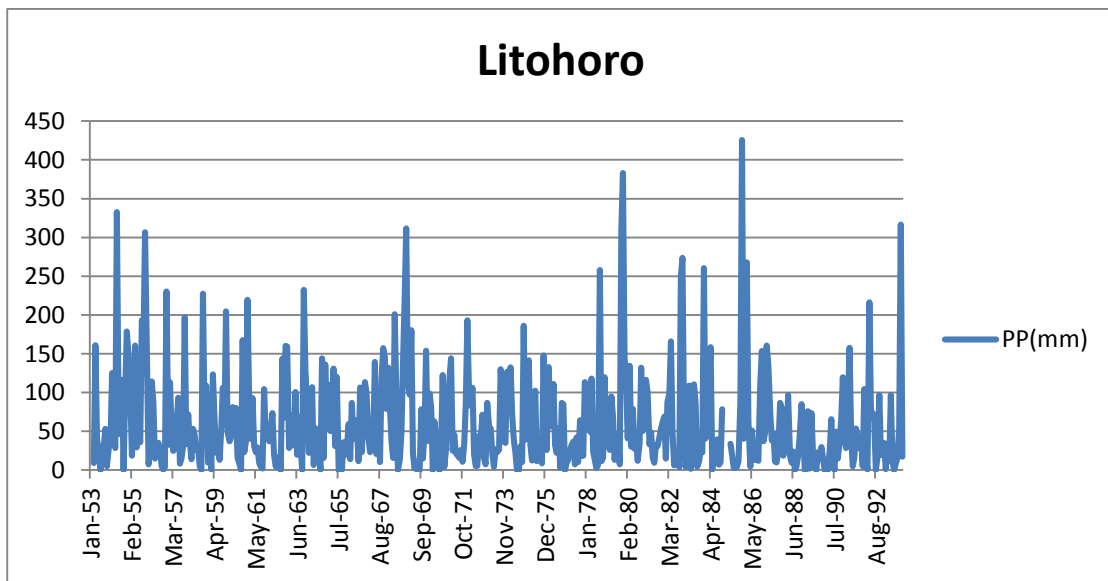
Εικόνα 1.17 Βροχόπτωση για τον σταθμό Καστοριάς



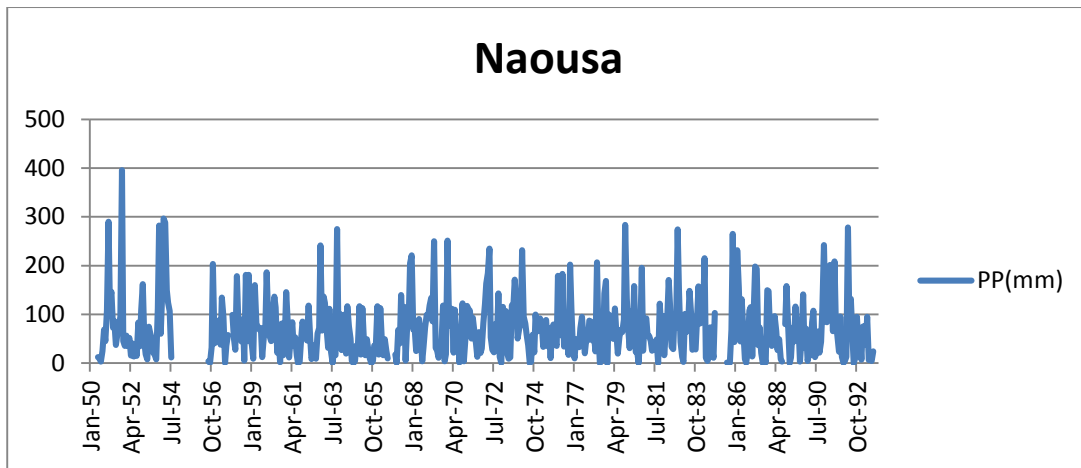
Εικόνα 1.18 Βροχόπτωση για τον σταθμό Κατερίνης



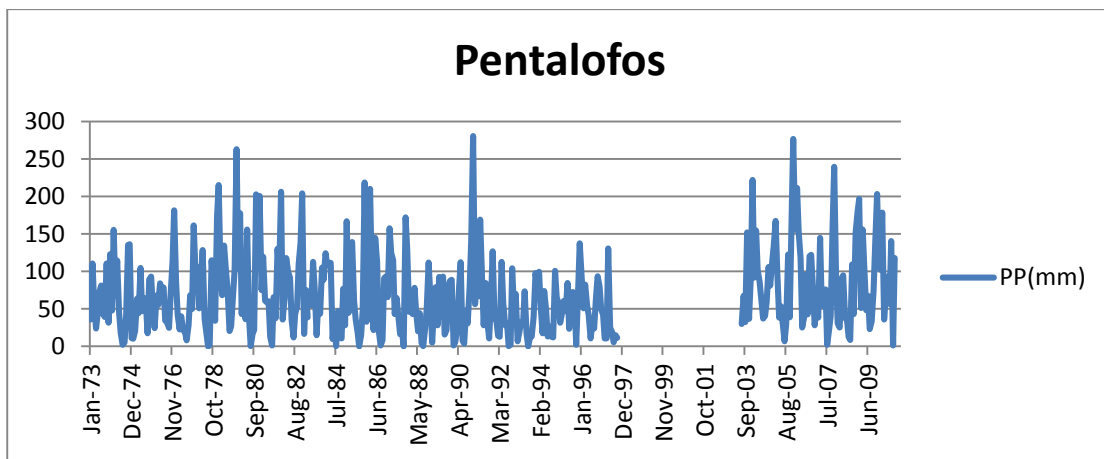
Εικόνα 1.19 Βροχόπτωση για τον σταθμό Κουλά Πρεσπών



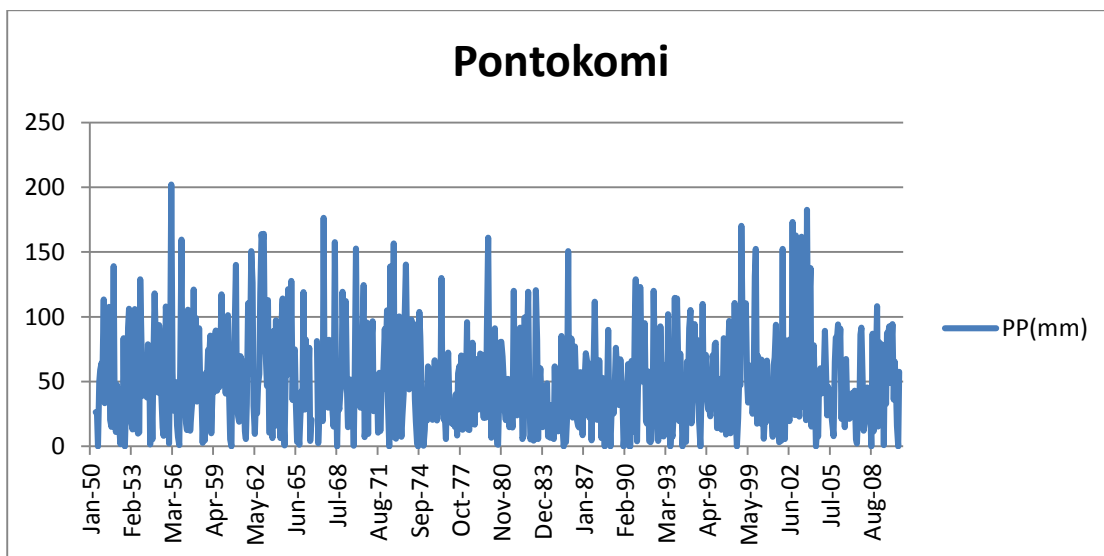
Εικόνα 1.20 Βροχόπτωση για το σταθμό Λιτόχωρου



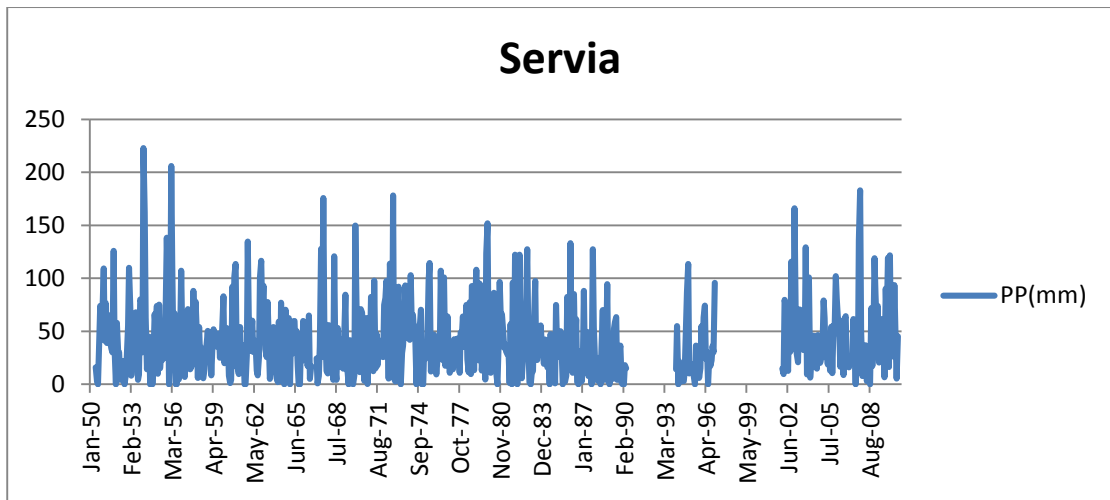
Εικόνα 1.21 Βροχόπτωση για τον σταθμό Ναούσης



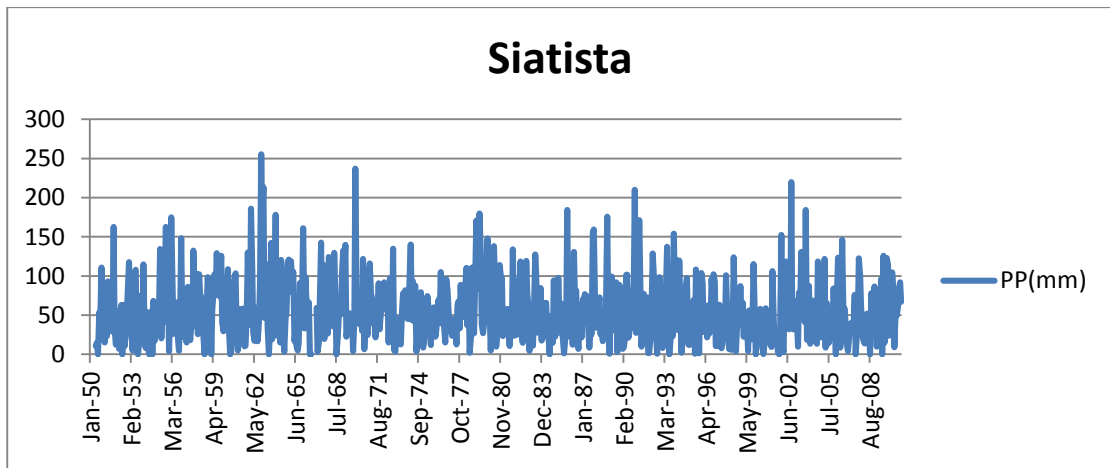
Εικόνα 1.22 Βροχόπτωση για τον σταθμό Πεντάλοφου



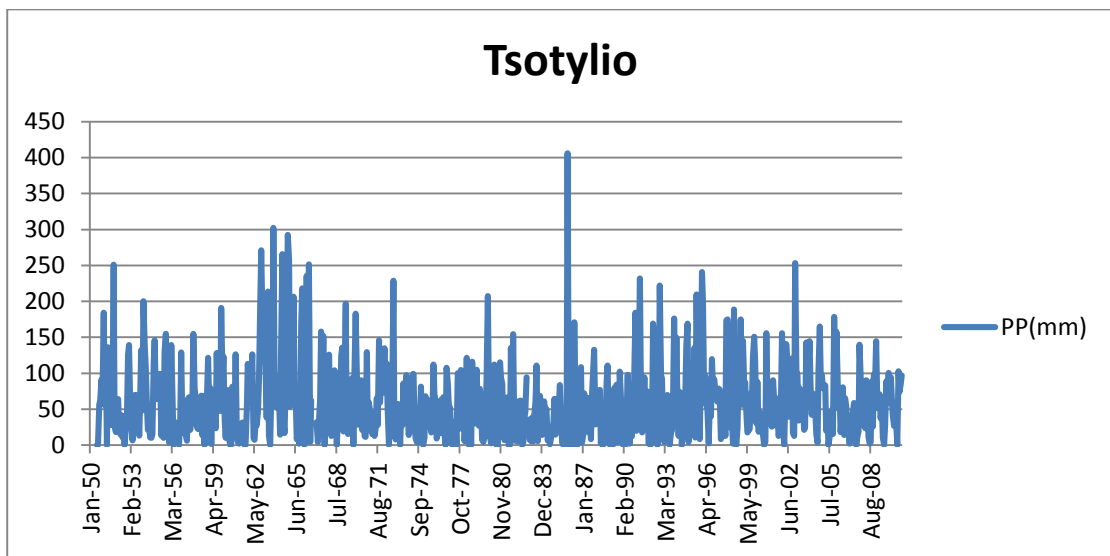
Εικόνα 1.23 Βροχόπτωση για τον σταθμό Ποντοκώμης



Εικόνα 1.24 Βροχόπτωση για τον σταθμό Σερβίας

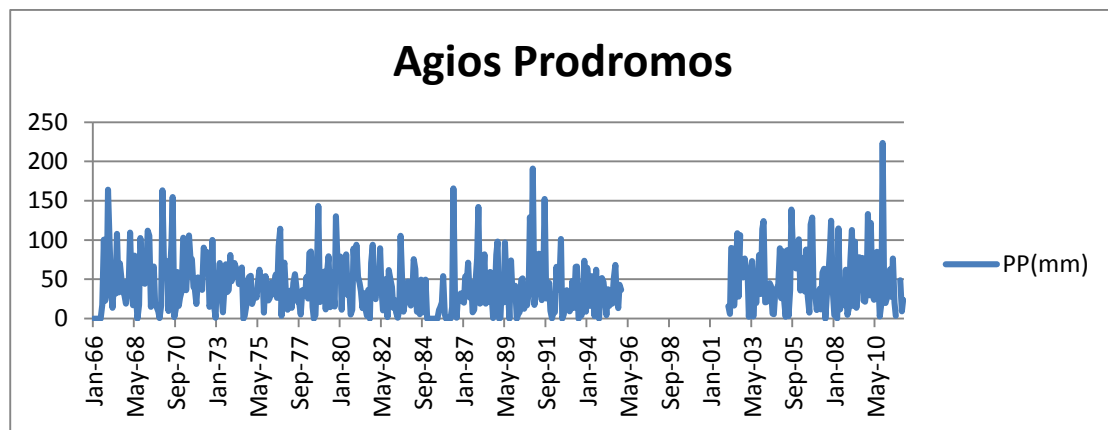


Εικόνα 1.25 Βροχόπτωση για τον σταθμό Σιάτιστας

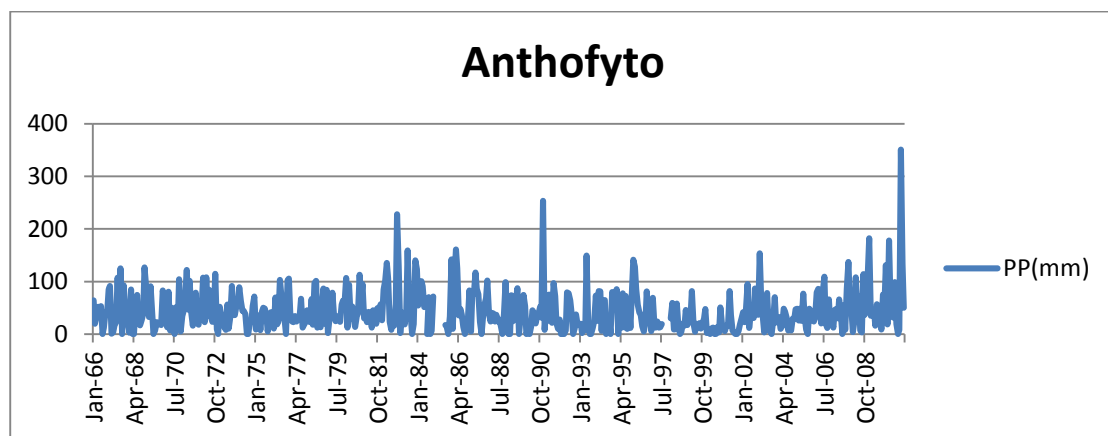


Εικόνα 1.26 Βροχόπτωση για τον σταθμό Τσοτύλιου

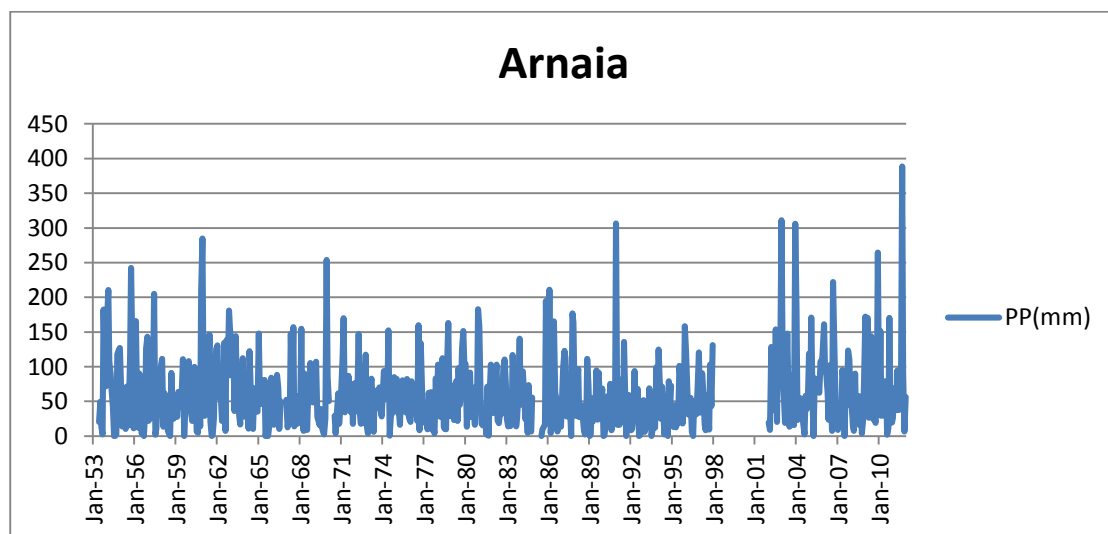
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ



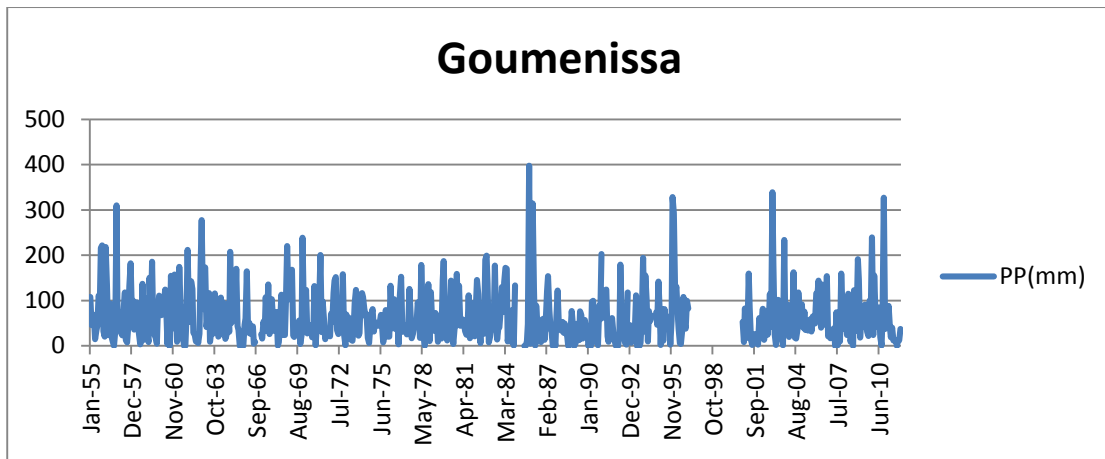
Εικόνα 1.27 Βροχόπτωση για τον σταθμό Αγίου Προδρόμου



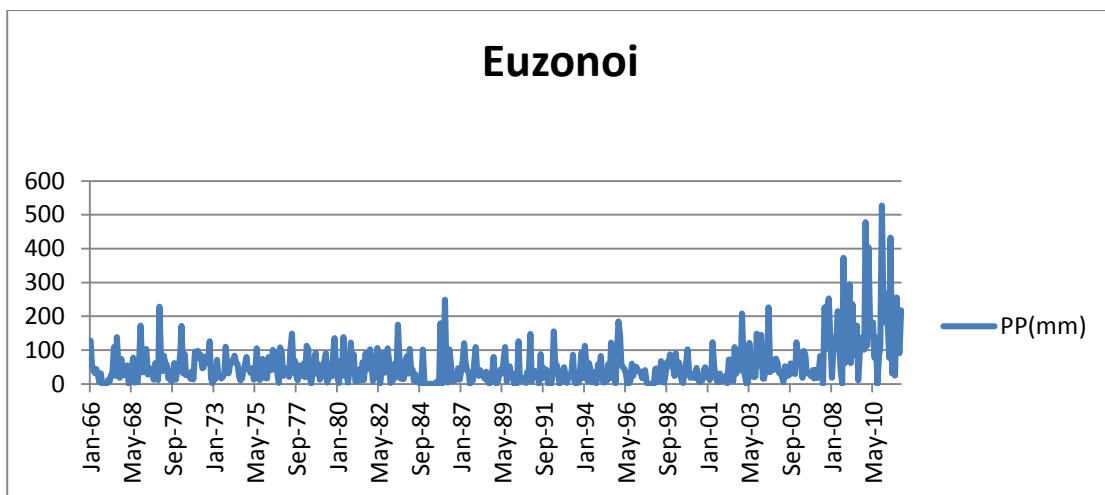
Εικόνα 1.28 Βροχόπτωση για τον σταθμό Ανθόφυτου



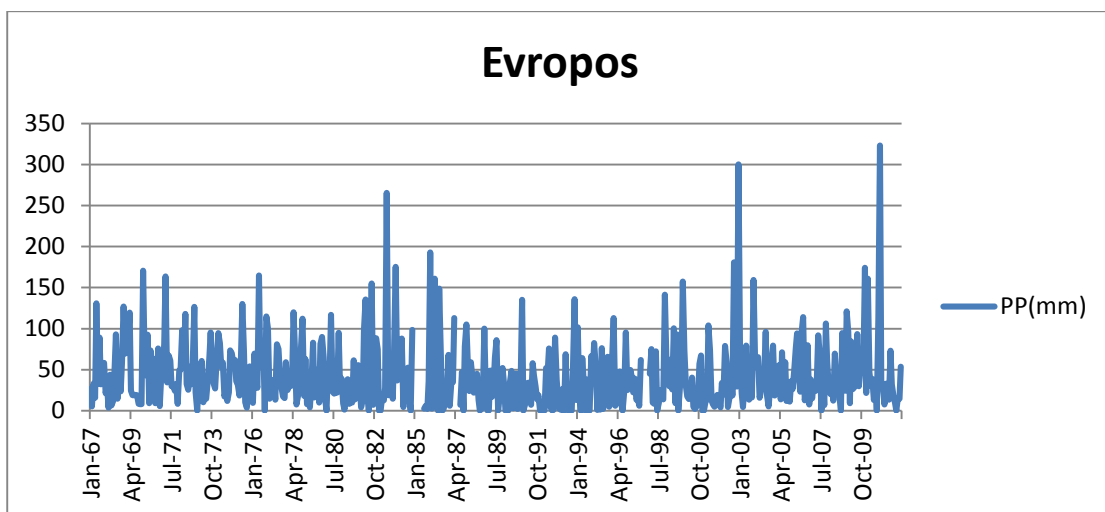
Εικόνα 1.29 Βροχόπτωση για τον σταθμό Αρναίας



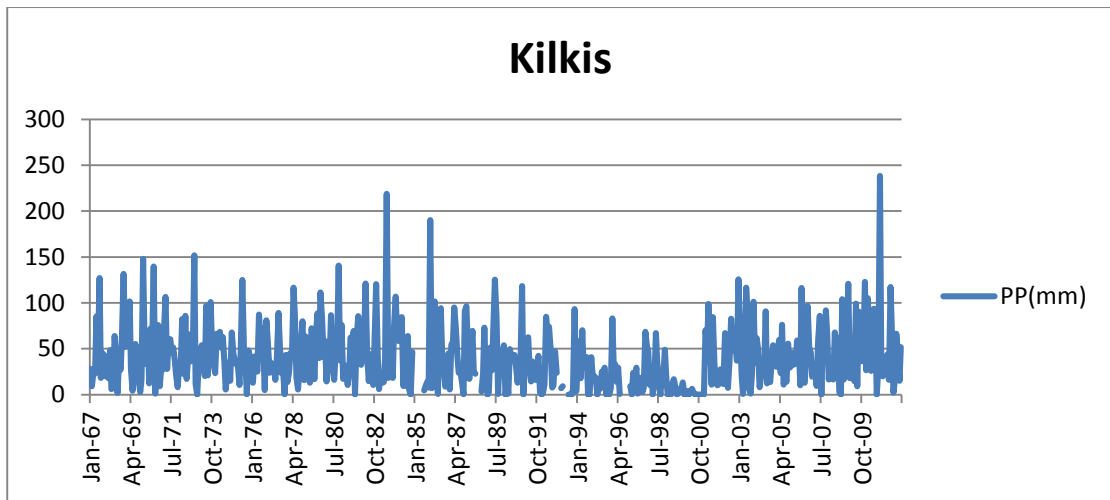
Εικόνα 1.30 Βροχόπτωση για σταθμό Γουμένισσας



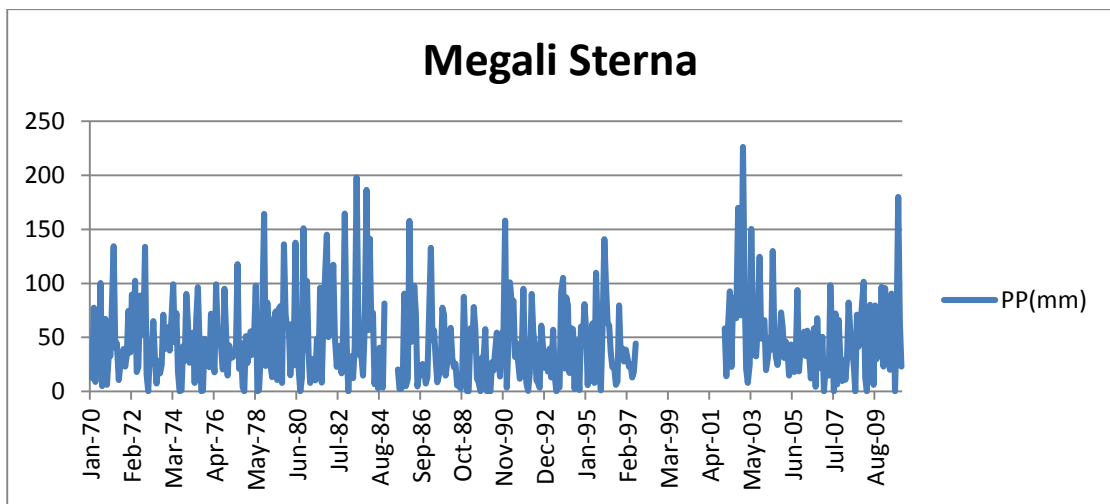
Εικόνα 1.31 Βροχόπτωση για τον σταθμό Ευζώνων



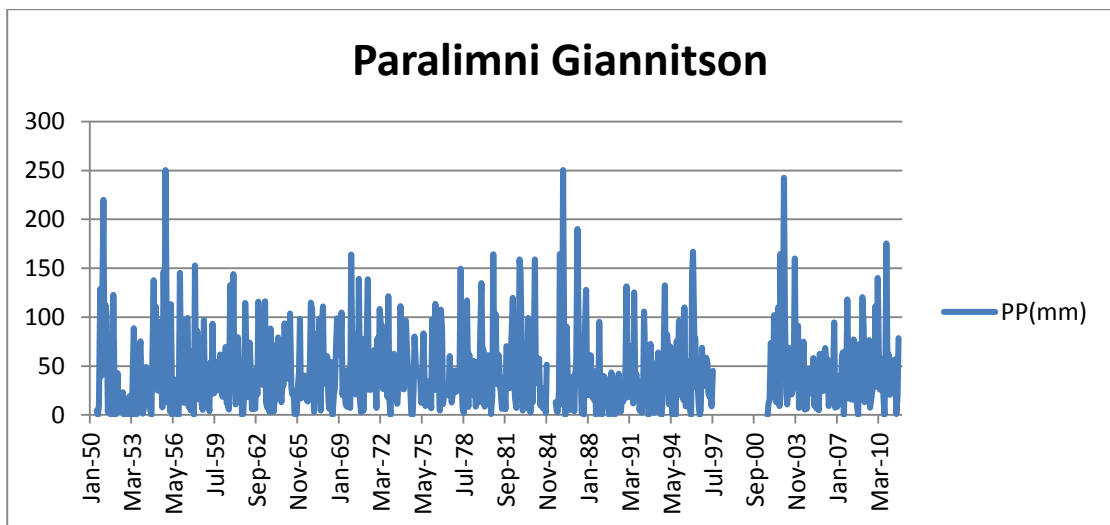
Εικόνα 1.32 Βροχόπτωση για τον σταθμό Ευρωπού



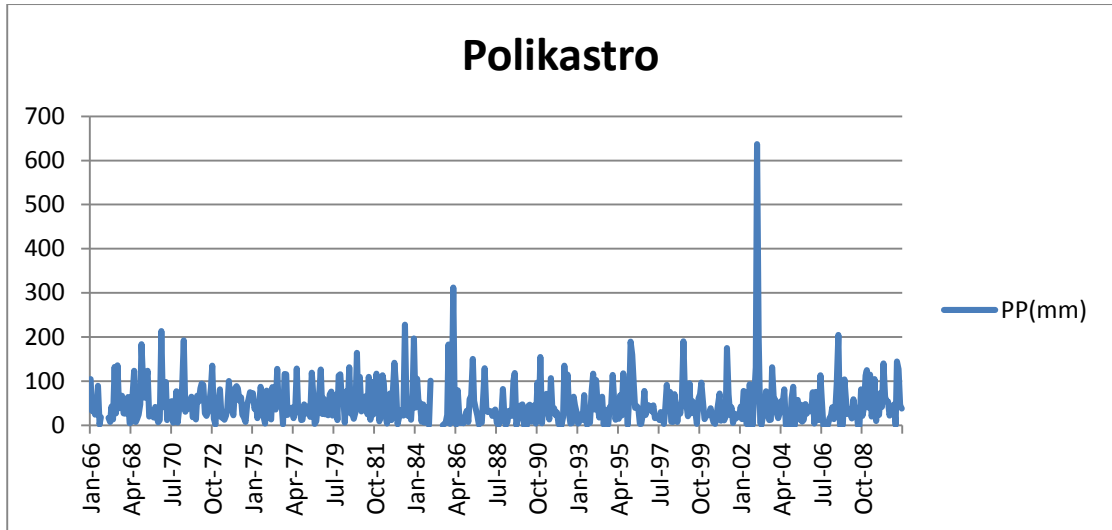
Εικόνα 1.33 Βροχόπτωση για τον σταθμό Κιλκίς



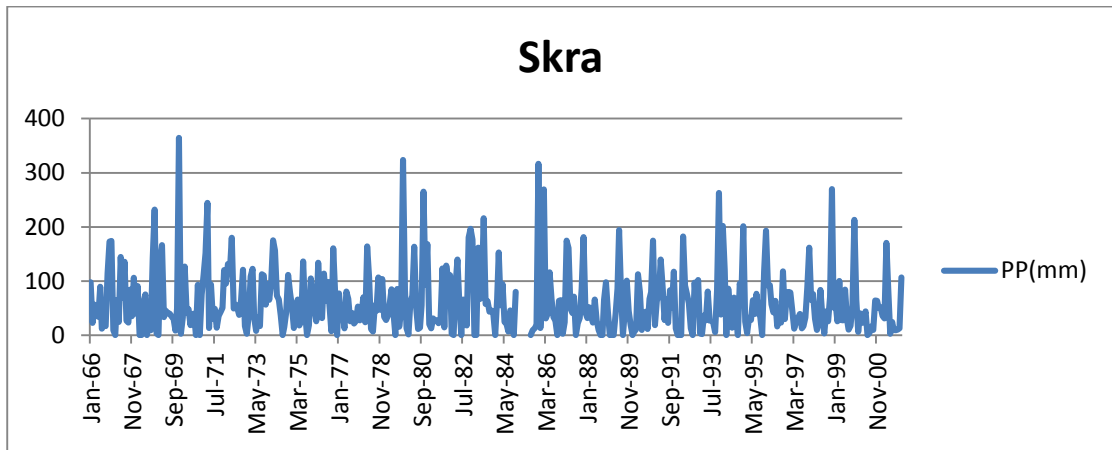
Εικόνα 1.34 Βροχόπτωση για τον σταθμό Μεγάλης Στέρνας



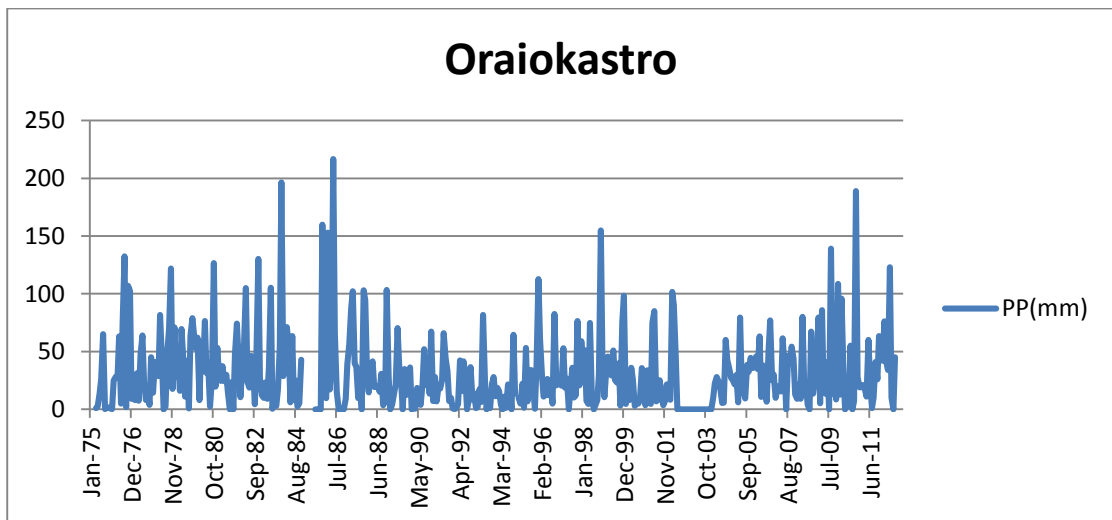
Εικόνα 1.35 Βροχόπτωση για τον σταθμό Παραλίμνη Γιαννιτσών



Εικόνα 1.36 Βροχόπτωση για τον σταθμό Πολύκαστρου

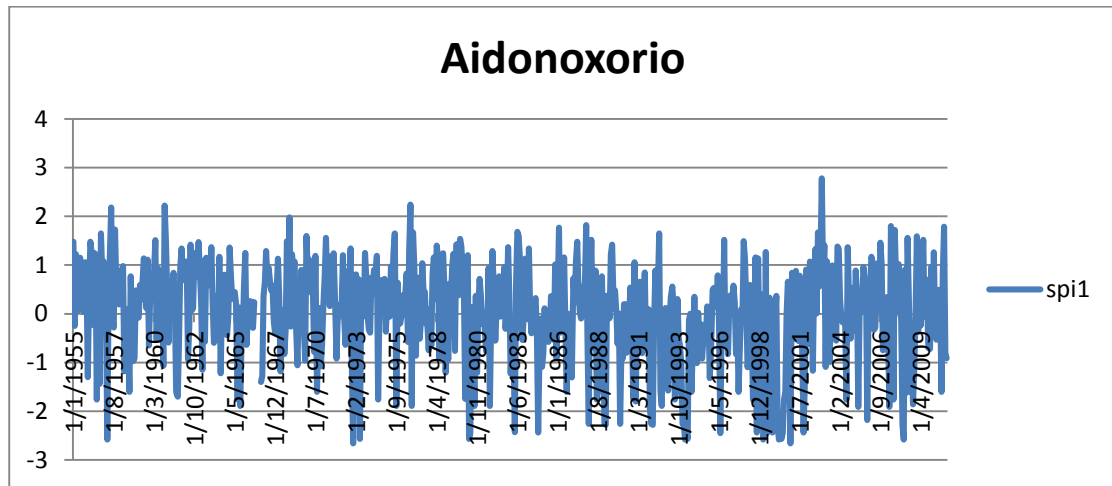


Εικόνα 1.37 Βροχόπτωση για τον σταθμό Σκρα

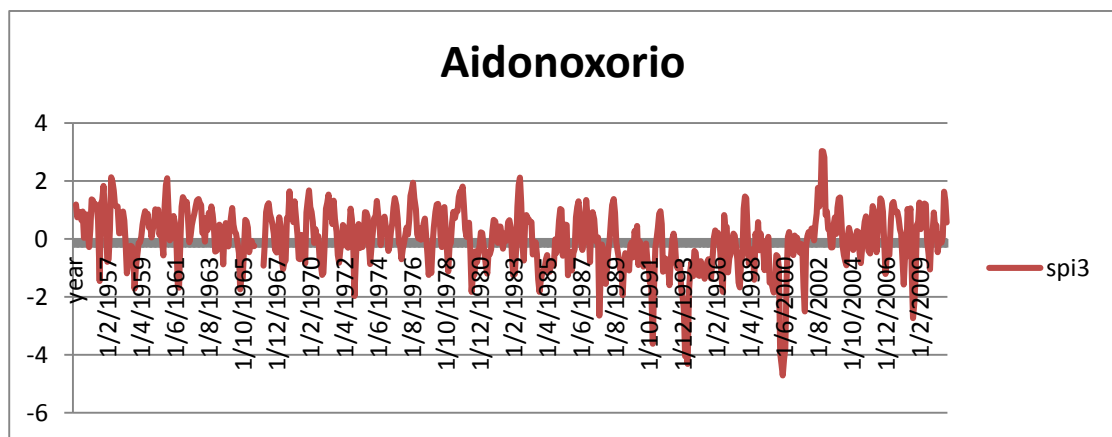


Εικόνα 1.38 Βροχόπτωση για τον σταθμό Ωραιοκάστρου

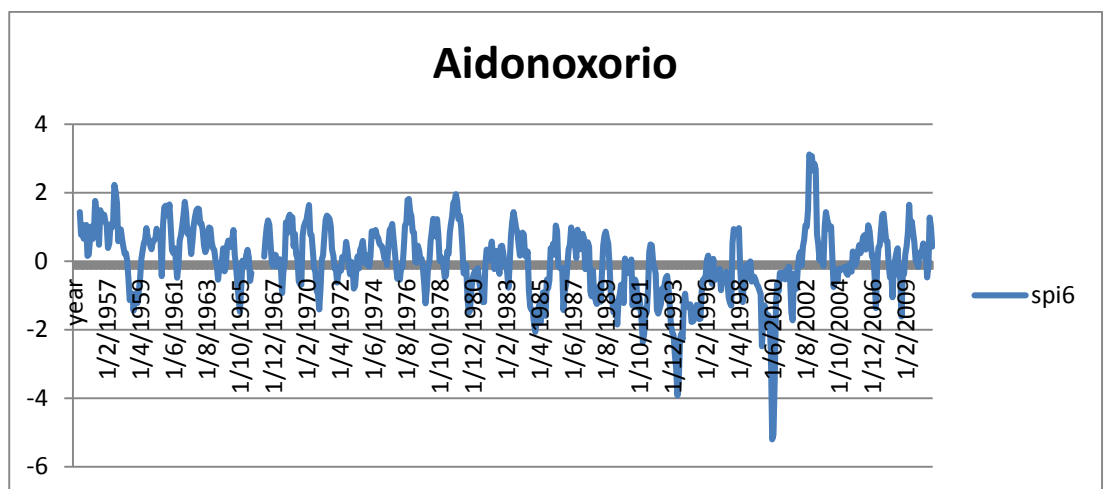
Παράρτημα 2 SPI 1, SPI 3, SPI 6, SPI 12 & SPI 24



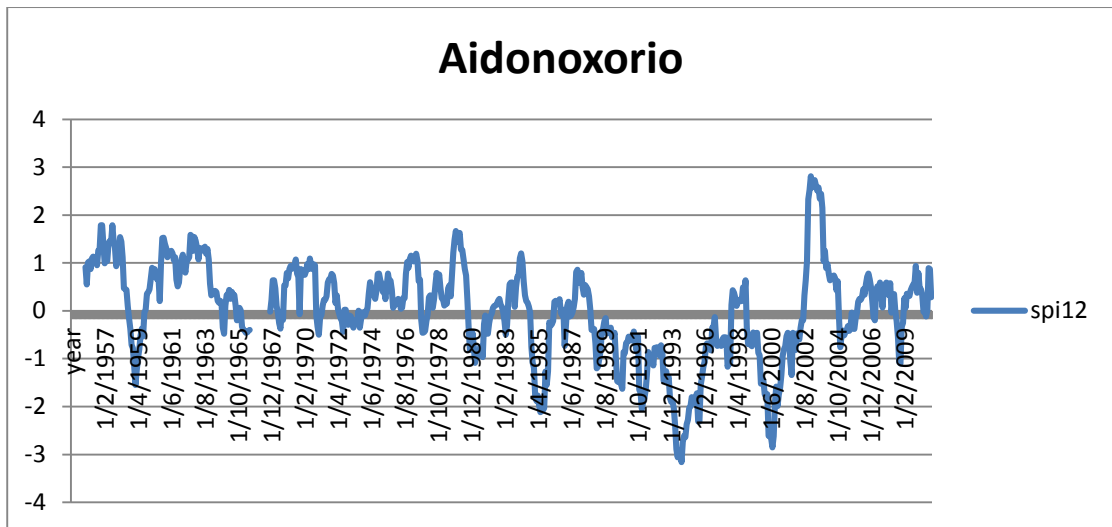
Εικόνα 2.1 Spi 1 στον σταθμό Αηδονοχώριο



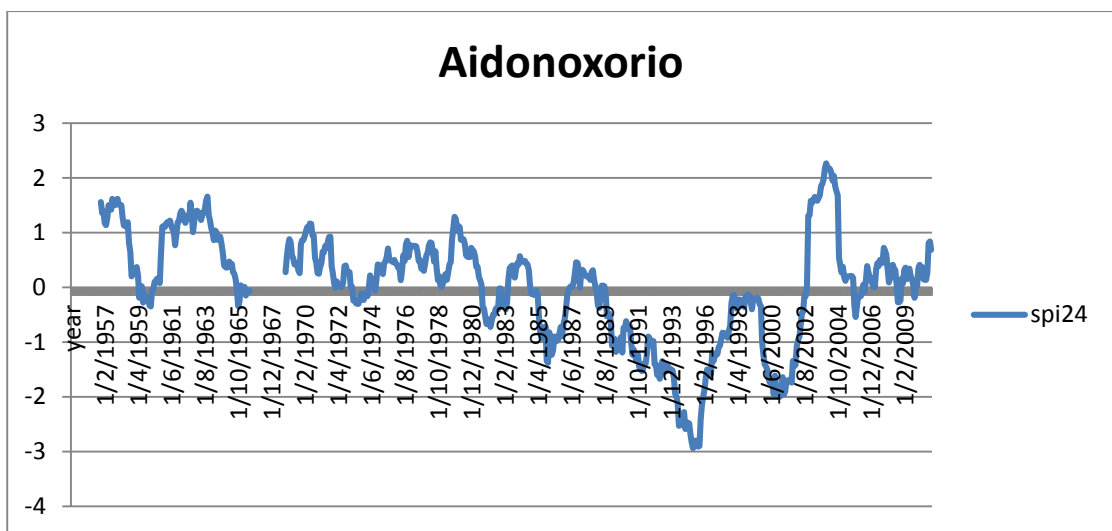
Εικόνα 2.2 Spi 3 στον σταθμό Αηδονοχώριο



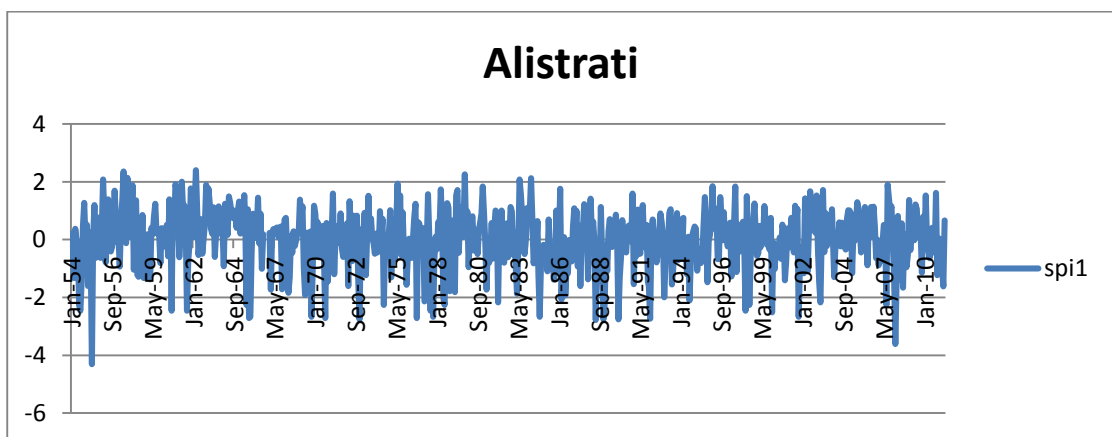
Εικόνα 2.3 Spi 6 για τον σταθμό Αηδονοχώριο



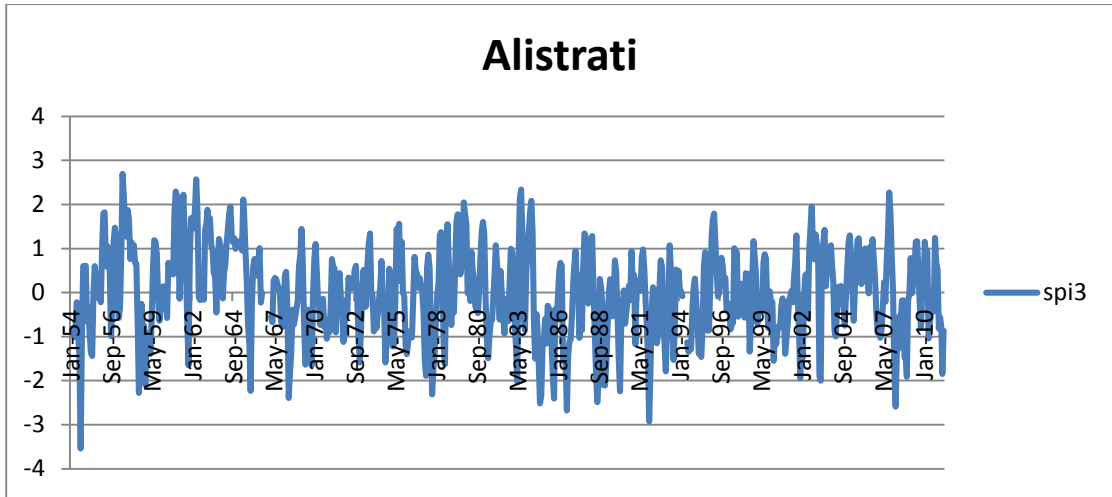
Εικόνα 2.4 Spi 12 στον σταθμό Αηδονοχώριο



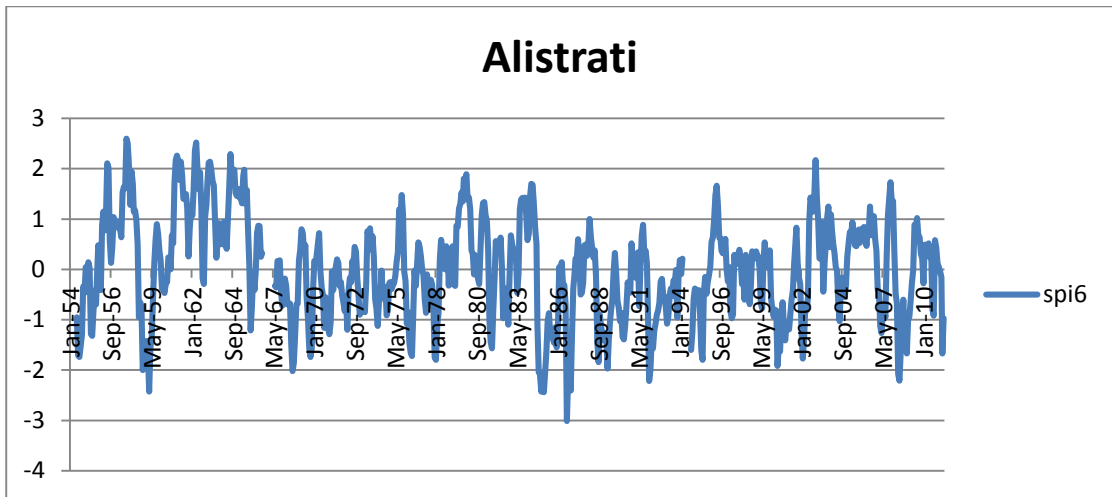
Εικόνα 2.5 Spi 24 στον σταθμό Αηδονοχώριο



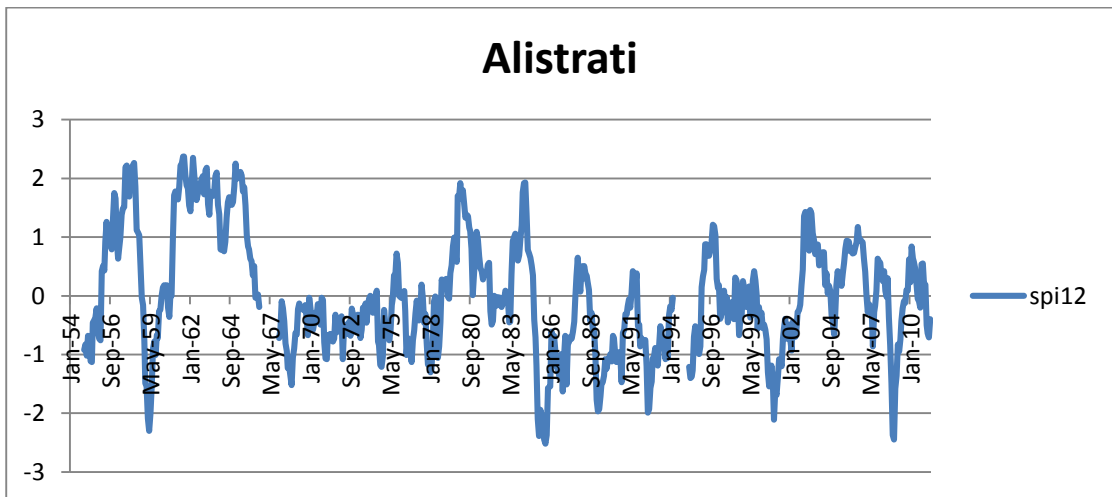
Εικόνα 2.6 Spi 1 στον σταθμό Αλίστρατη



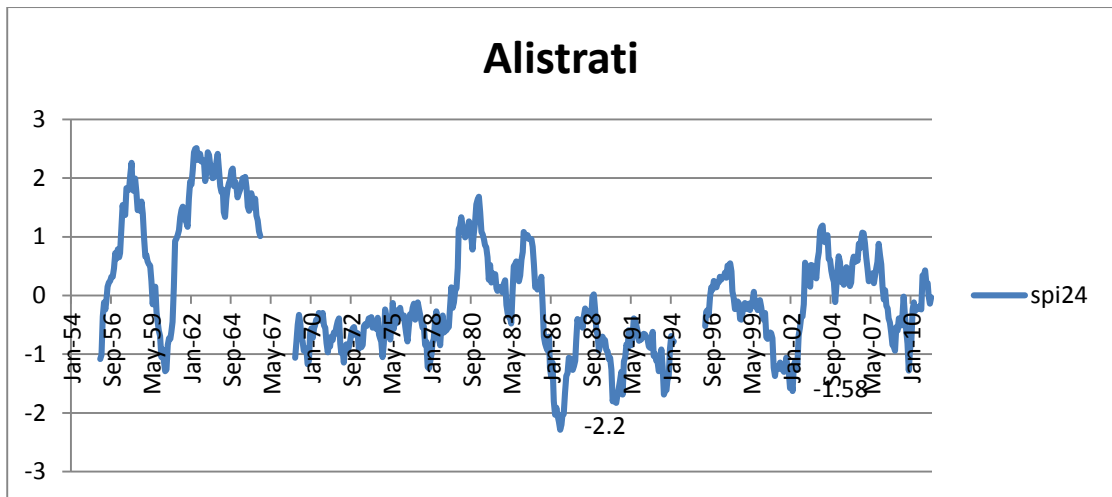
Εικόνα 2.7 Spi 3 στον σταθμό Αλιστράτη



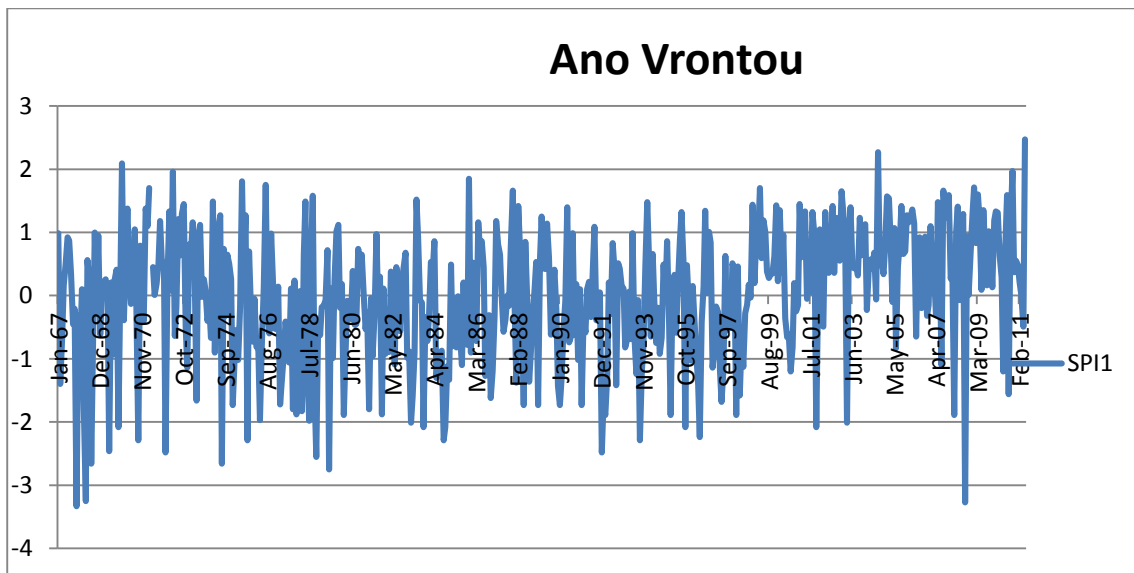
Εικόνα 2.8 Spi 6 στον σταθμό Αλιστράτη



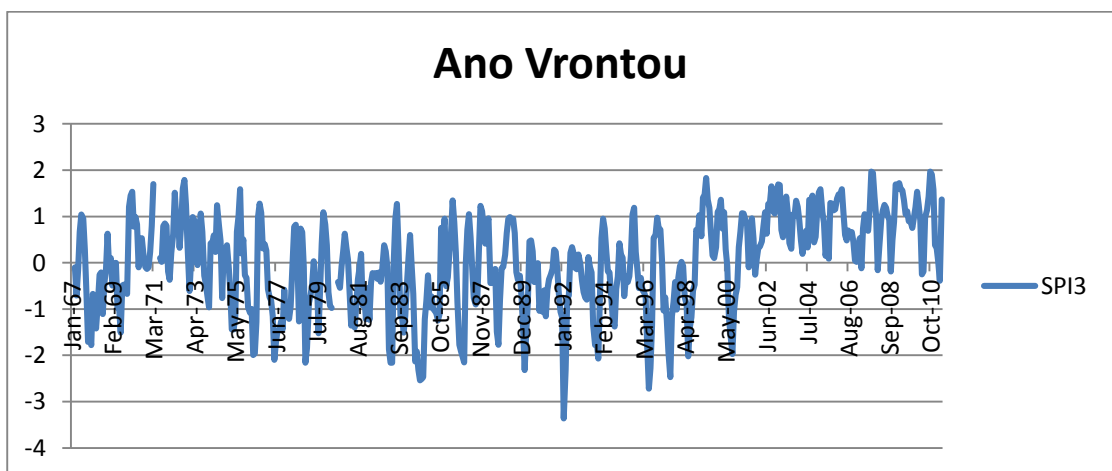
Εικόνα 2.9 Spi 12 στον σταθμό Αλιστράτη



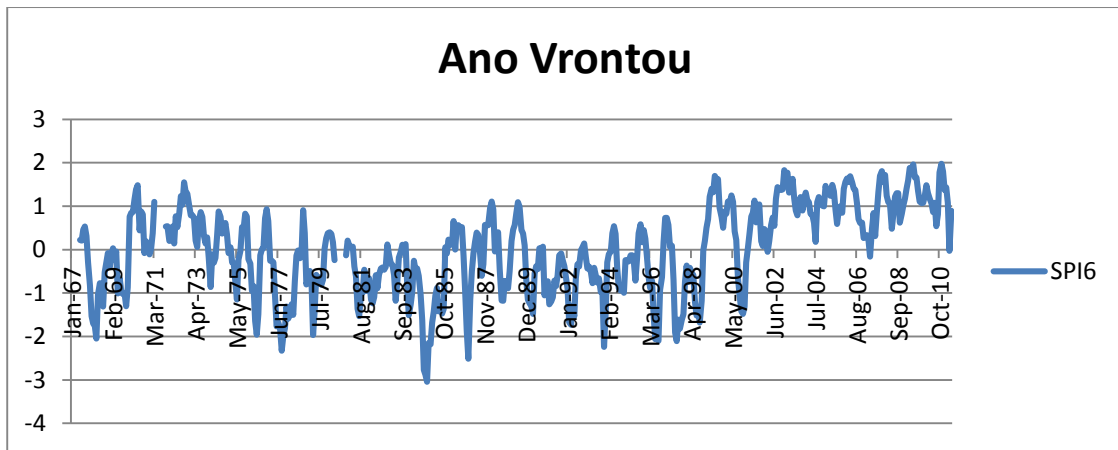
Εικόνα 2.10 Spi 24 στον σταθμό Αλιστράτη



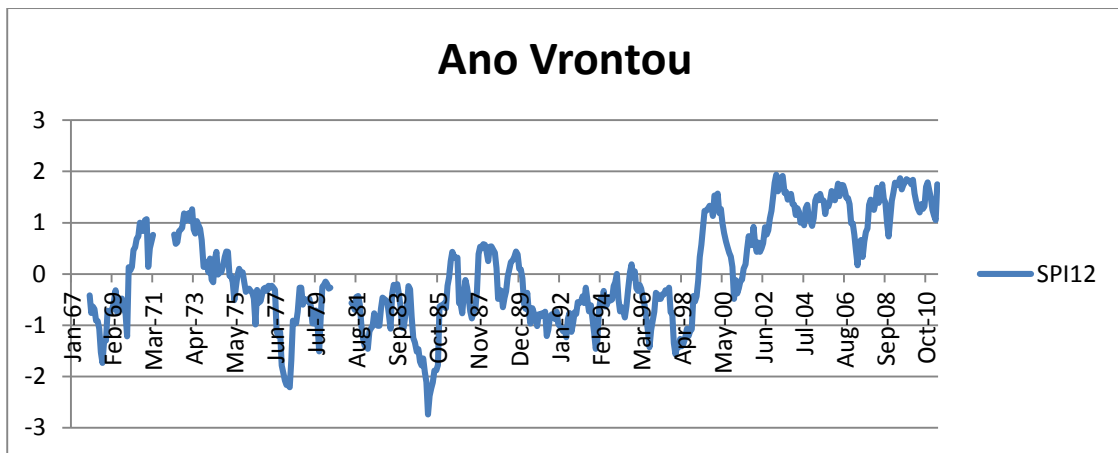
Εικόνα 2.11 Spi 1 στον σταθμό Άνω Βροντού



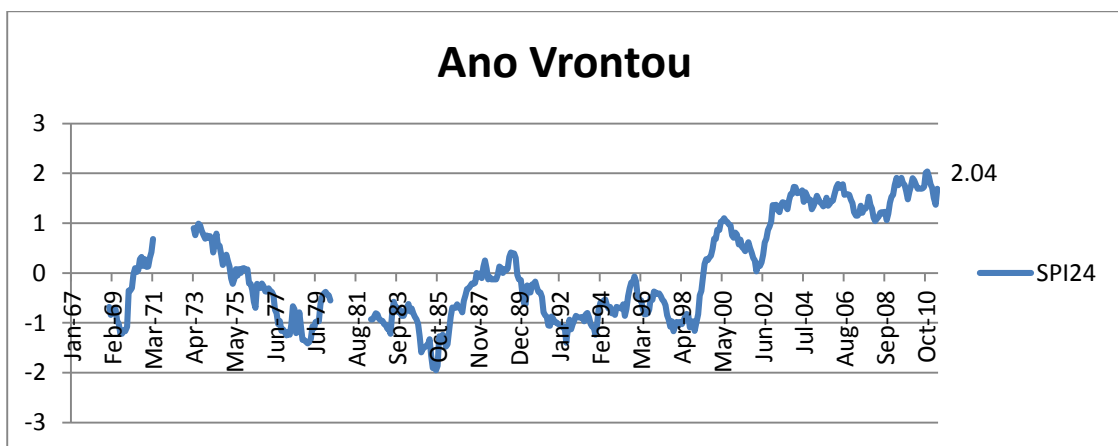
Εικόνα 2.12 Spi 3 στον σταθμό Άνω Βροντού



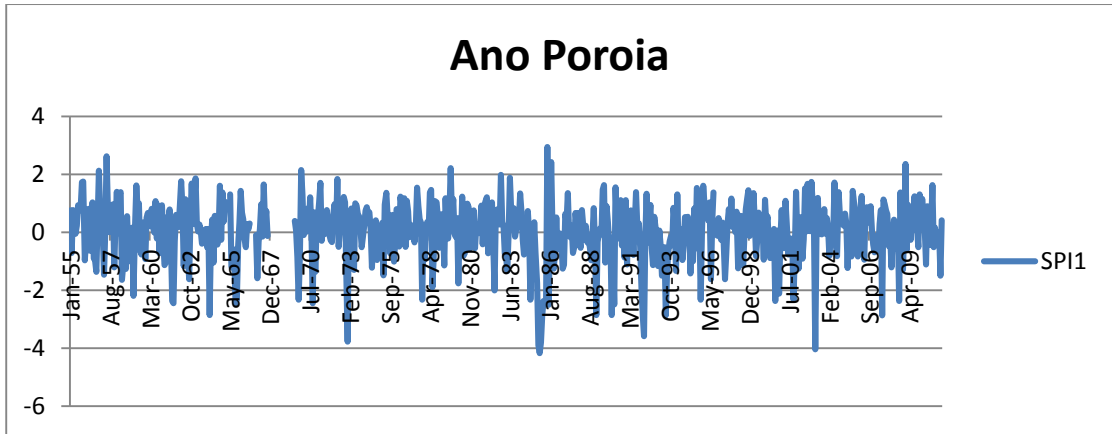
Εικόνα 2.13 Spi 6 στον σταθμό Άνω Βροντού



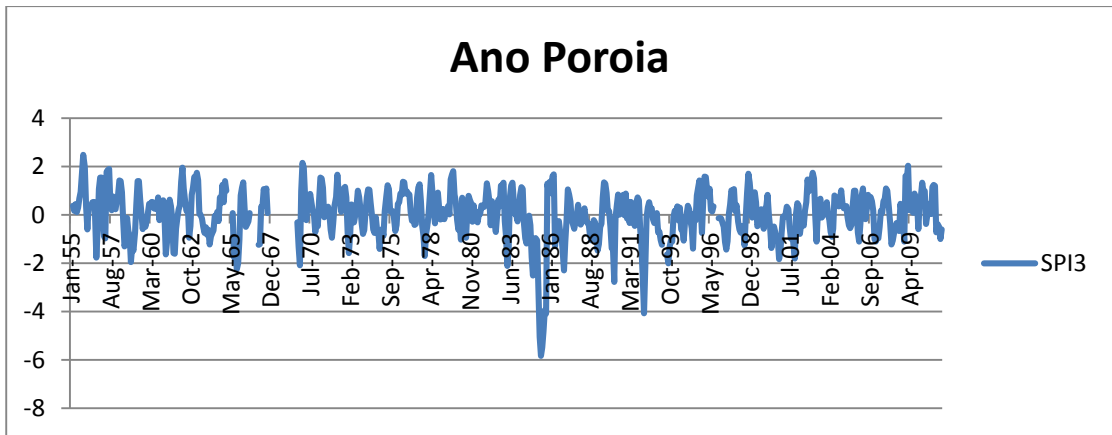
Εικόνα 2.14 Spi 12 στον σταθμό Άνω Βροντού



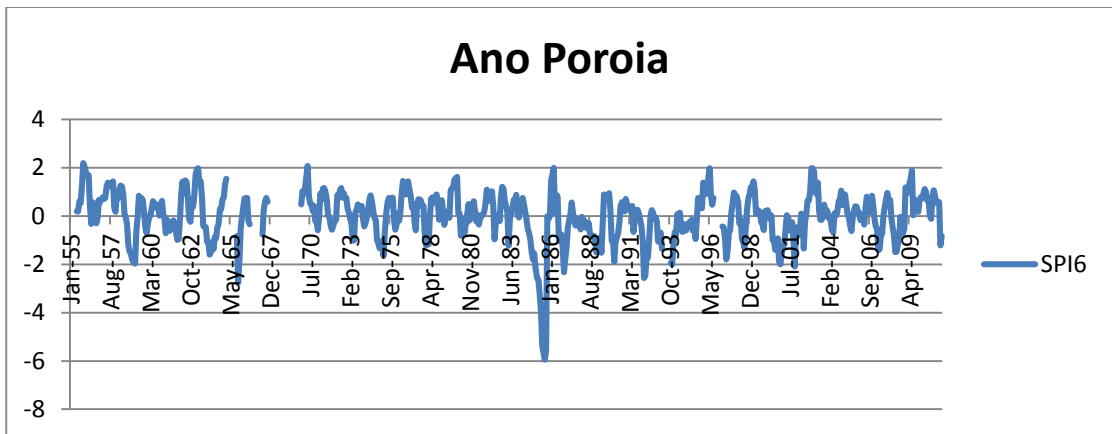
Εικόνα 2.15 Spi 24 στον σταθμό Άνω Βροντού



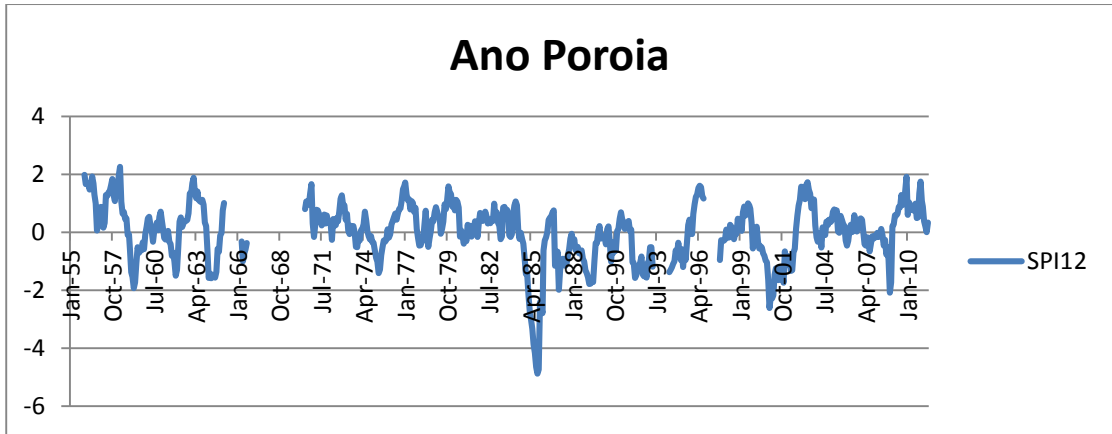
Εικόνα 2.16 Spi 1 στον σταθμό Άνω Ποροία



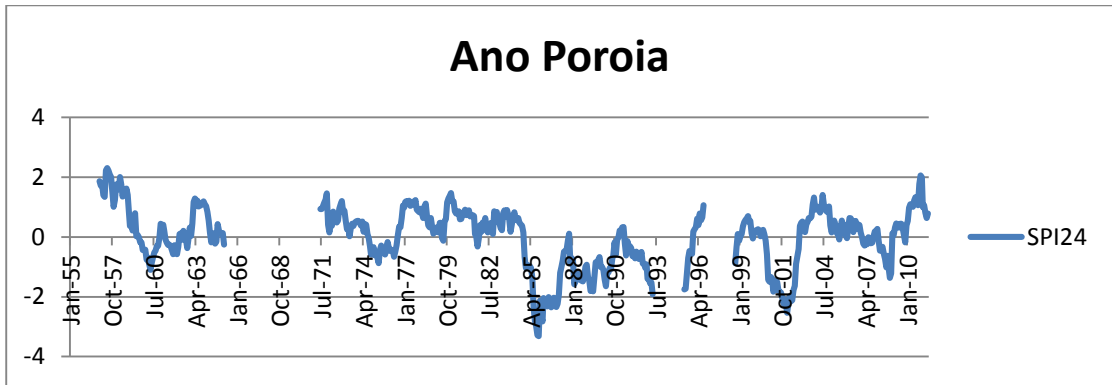
Εικόνα 2.17 Spi 3 στον σταθμό Άνω Ποροία



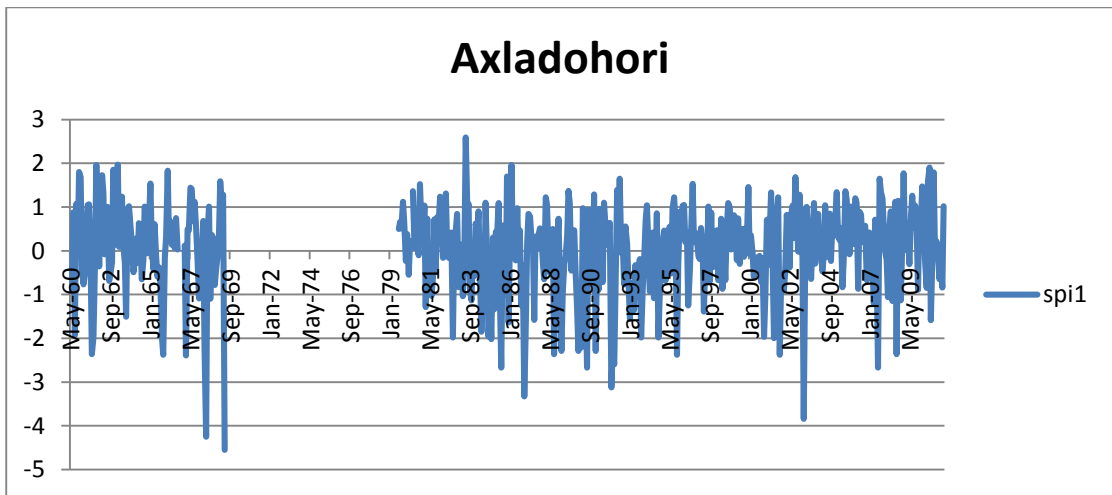
Εικόνα 2.18 Spi 6 στον σταθμό Άνω Ποροία



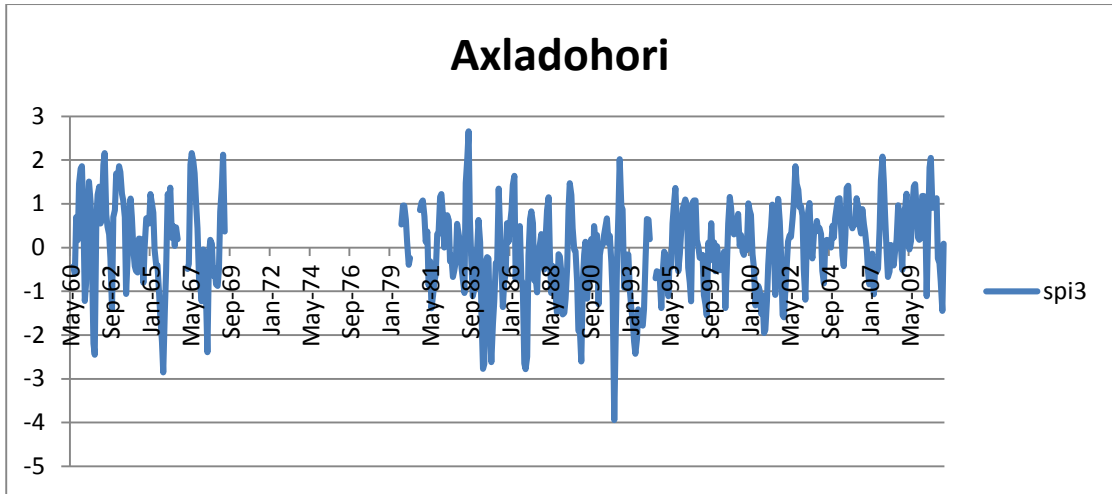
Εικόνα 2.19 Spi 12 στον σταθμό Άνω Ποροία



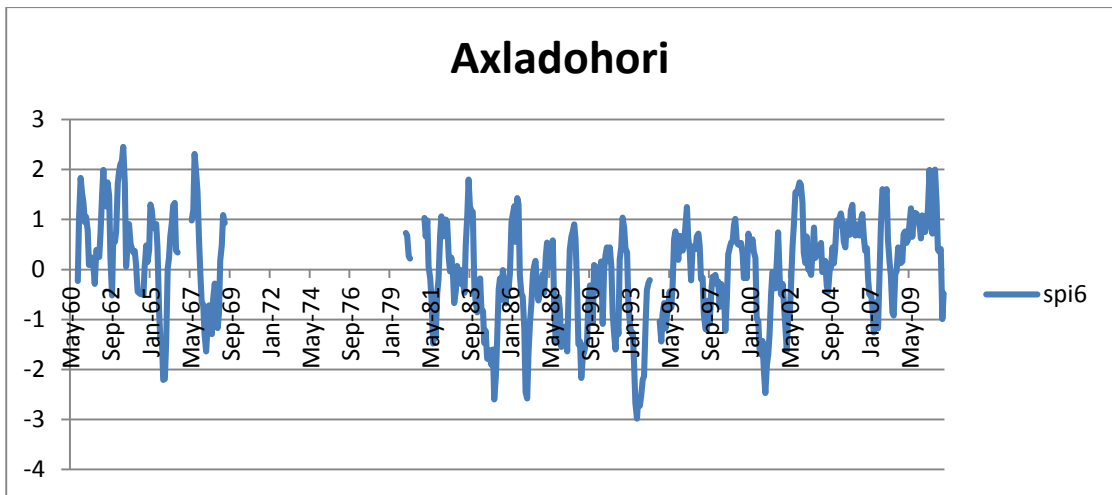
Εικόνα 2.20 Spi 24 στον σταθμό Άνω Ποροία



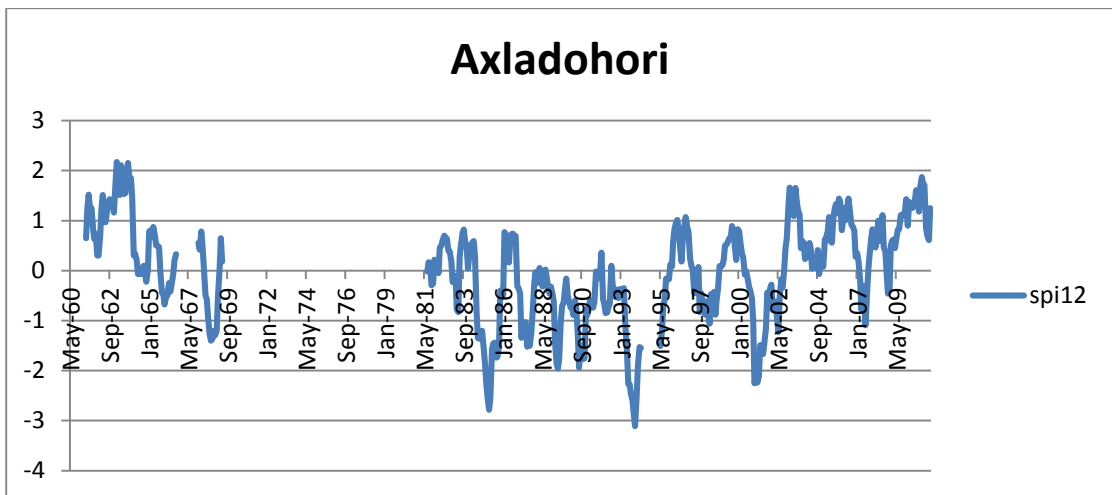
Εικόνα 2.21 Spi 1 στον σταθμό Αχλαδοχώρι



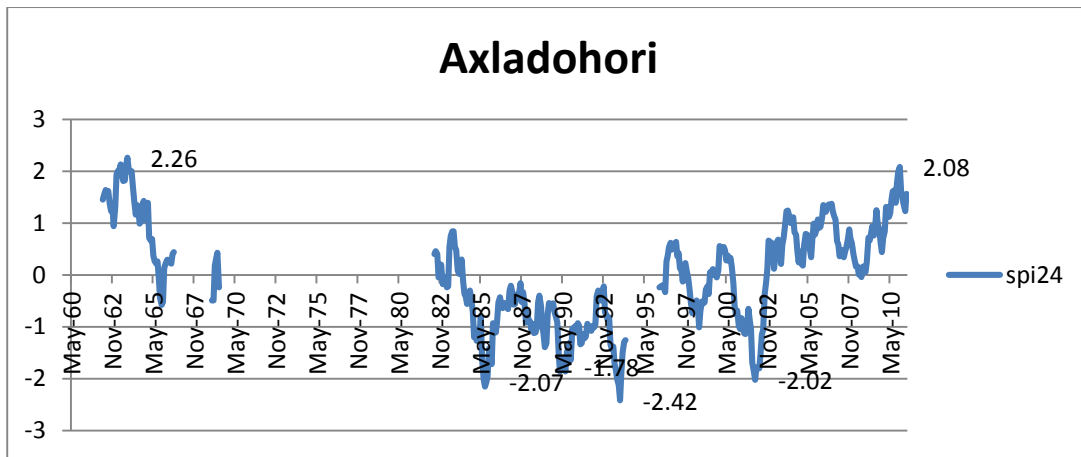
Εικόνα 2.22 Spi 3 στον σταθμό Αχλαδοχώρι



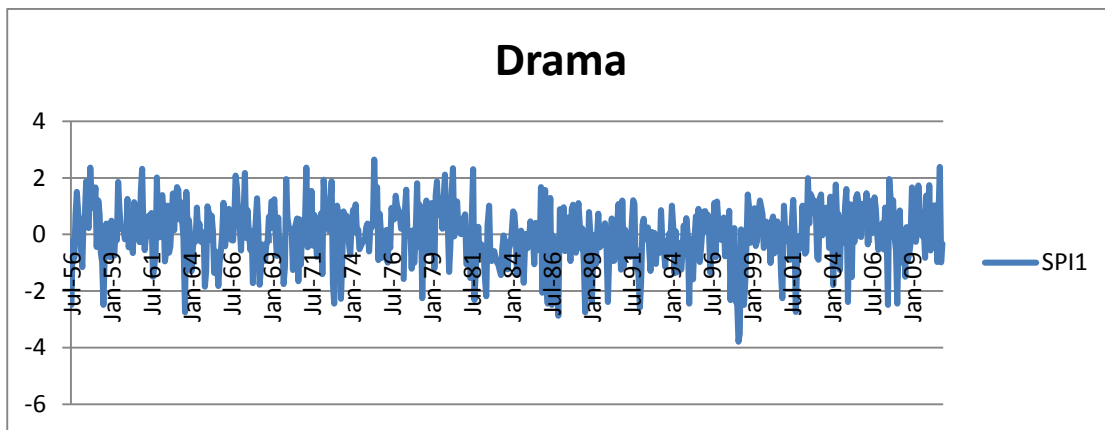
Εικόνα 2.23 Spi 6 στον σταθμό Αχλαδοχώρι



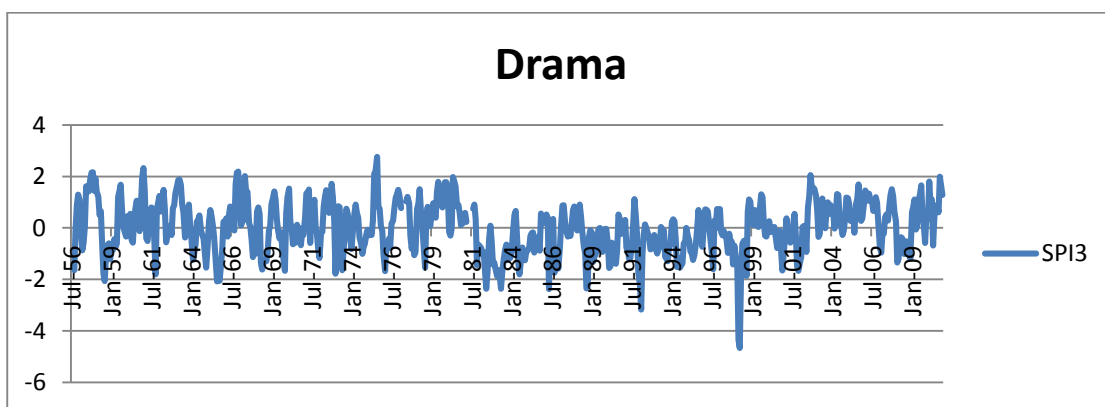
Εικόνα 2.24 Spi 12 στον σταθμό Αχλαδοχώρι



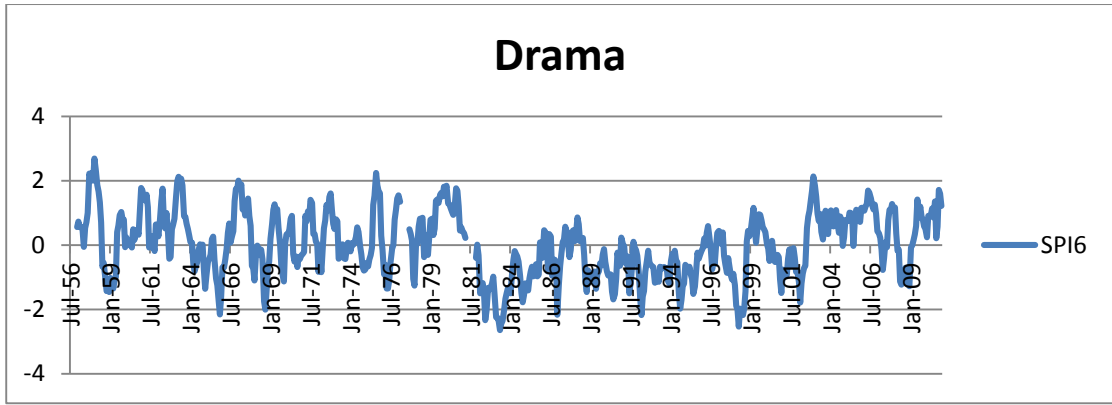
Εικόνα 2.25 Spi 24 στον σταθμό Αχλαδοχώρι



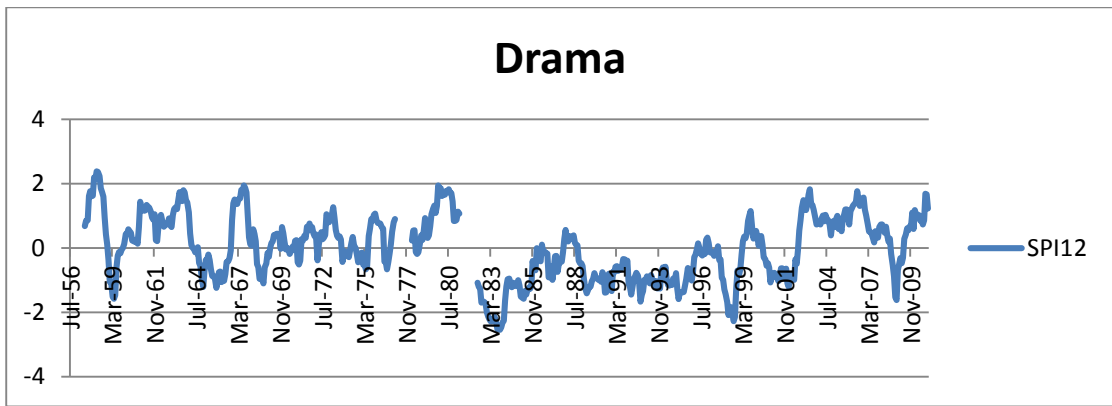
Εικόνα 2.26 Spi 1 στον σταθμό Δραμα



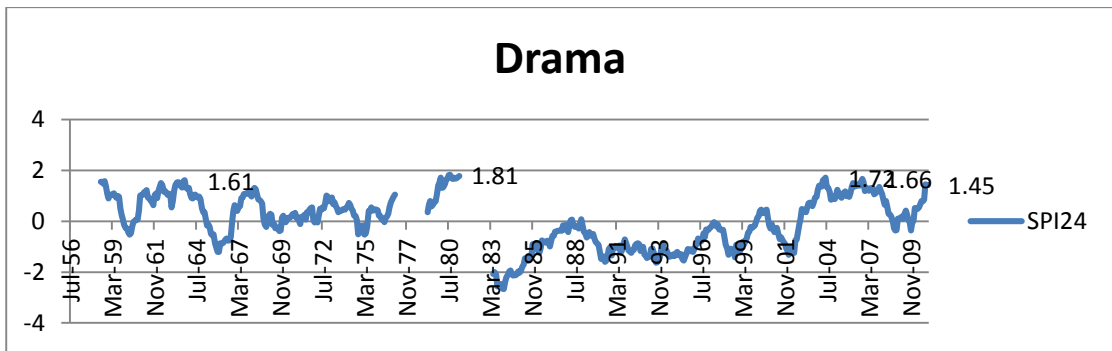
Εικόνα 2.27 Spi 3 στον σταθμό Δραμα



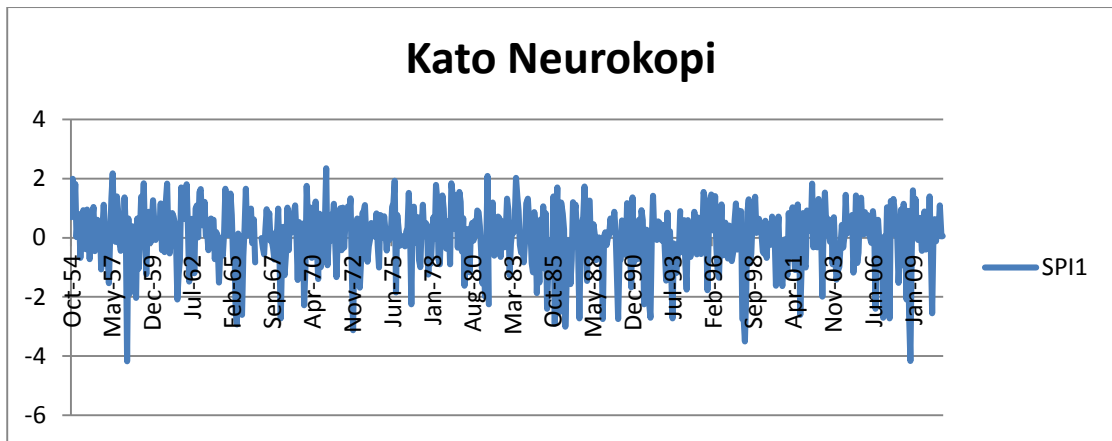
Εικόνα 2.28 Σρι 6 στον σταθμό Δραμα



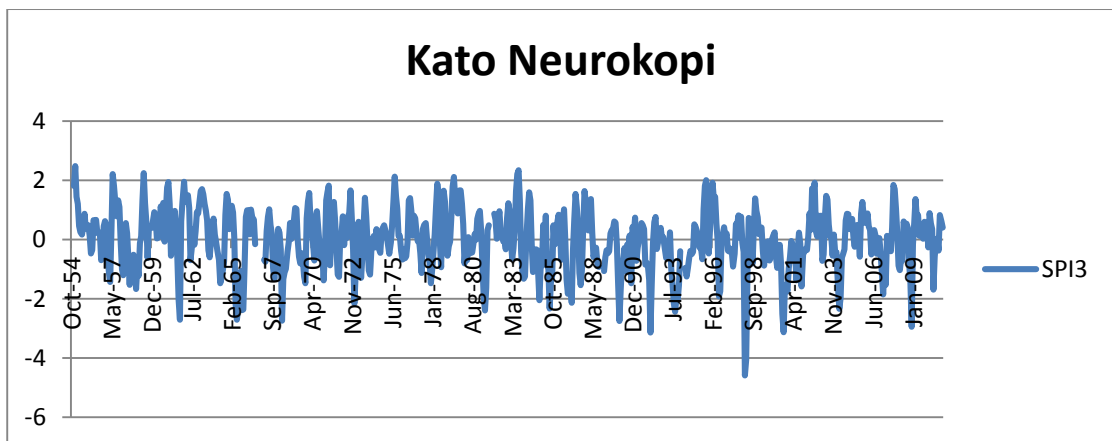
Εικόνα 2.29 Σρι 12 στον σταθμό Δραμα



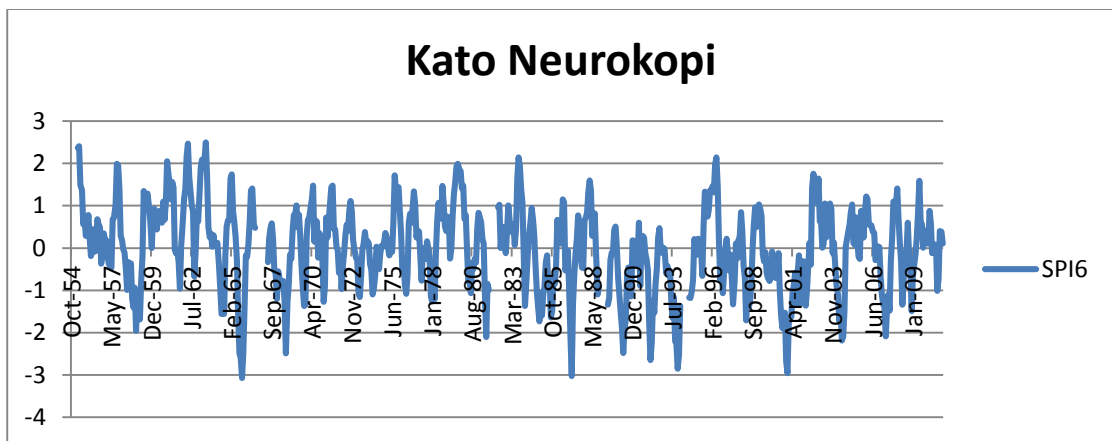
Εικόνα 2.30 Σρι 24 στον σταθμό Δραμα



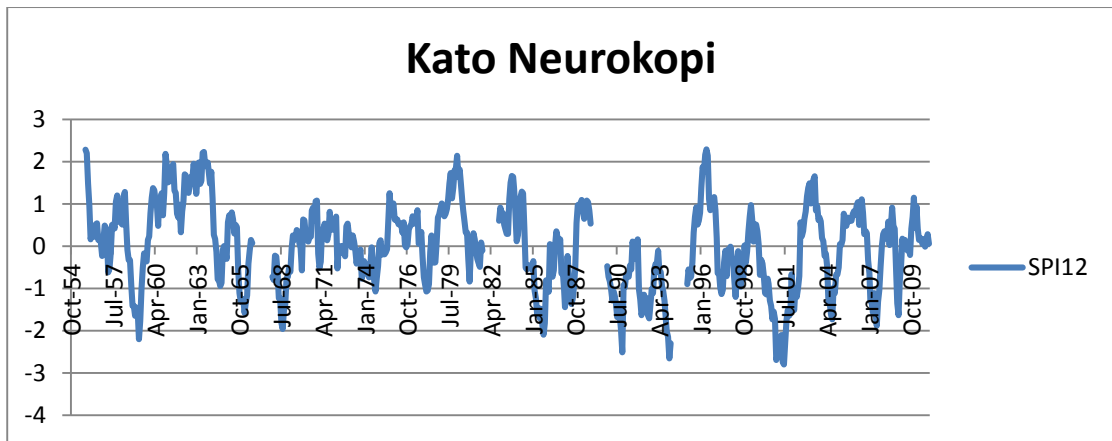
Εικόνα 2.31 Σρι 1 στον σταθμό Κάτω Νευροκόπι



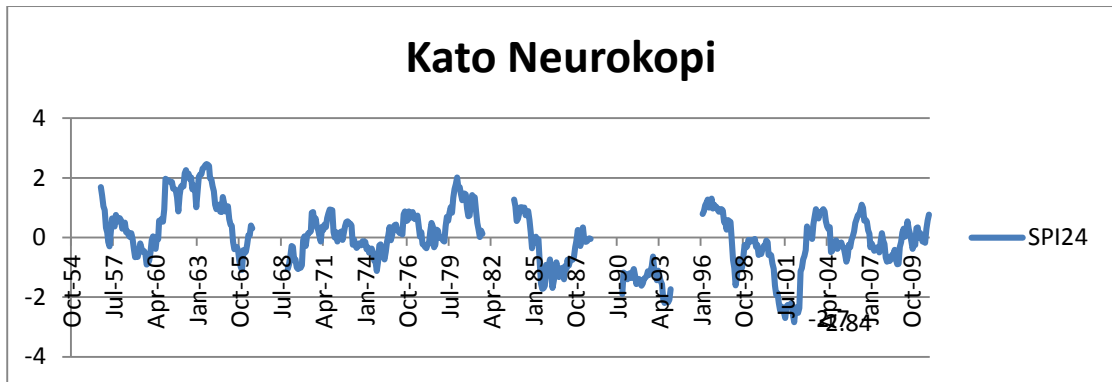
Εικόνα 2.32 Σρι 3 στον σταθμό Κάτω Νευροκόπι



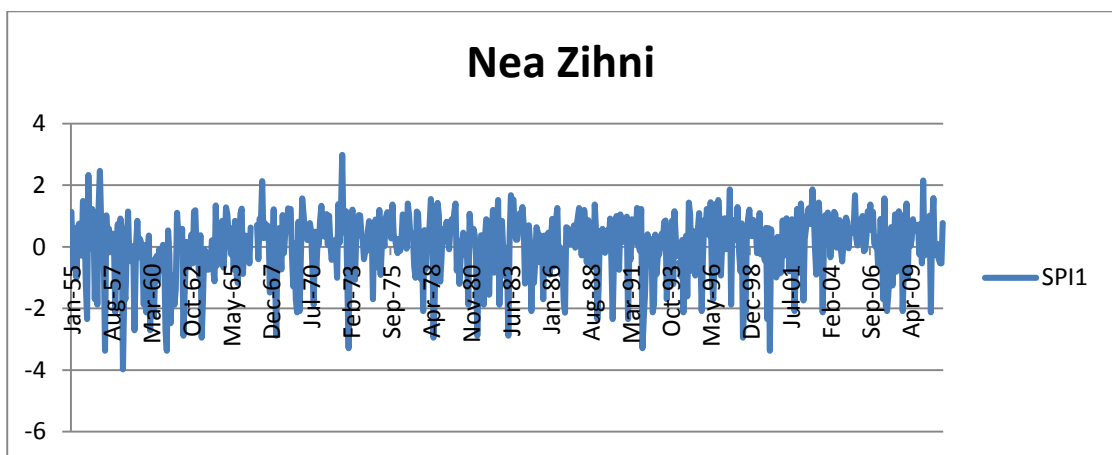
Εικόνα 2.33 Σρι 6 στον σταθμό Κάτω Νευροκόπι



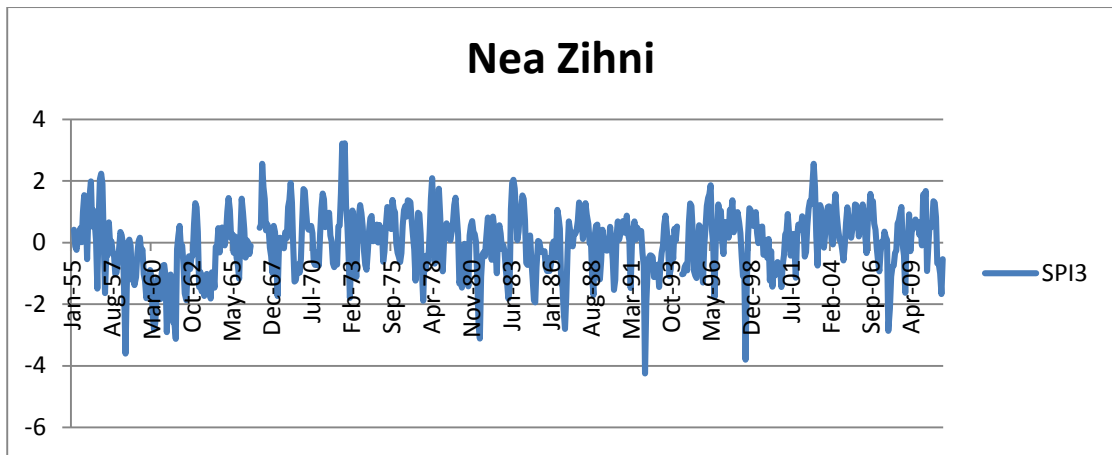
Εικόνα 2.34 Spi 12 στον σταθμό Κάτω Νευροκόπι



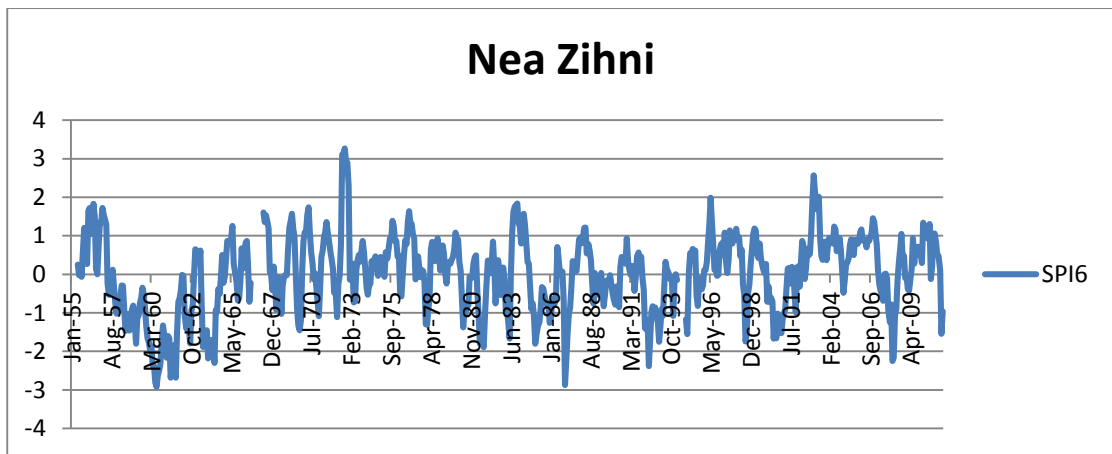
Εικόνα 2.35 Spi 24 στον σταθμό Κάτω Νευροκόπι



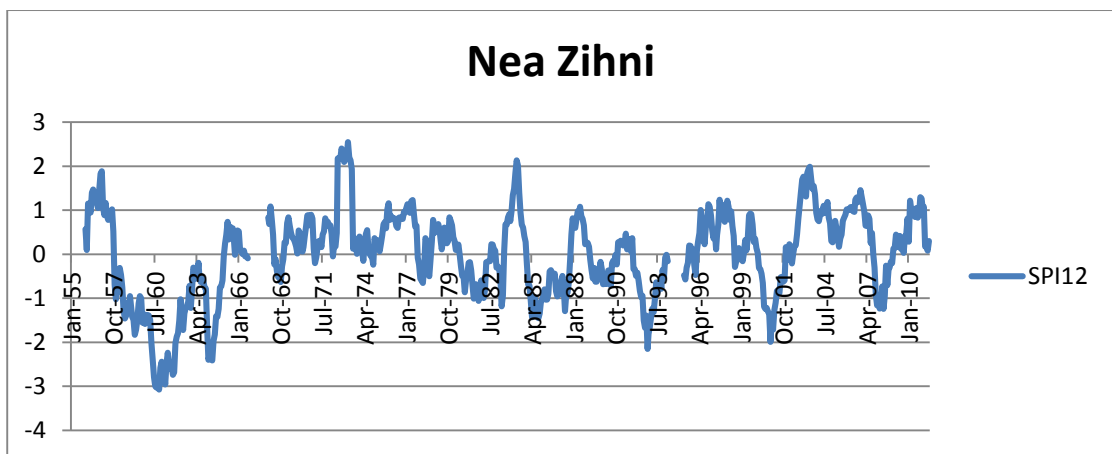
Εικόνα 2.36 Spi 1 στον σταθμό Ν.Ζιχνη



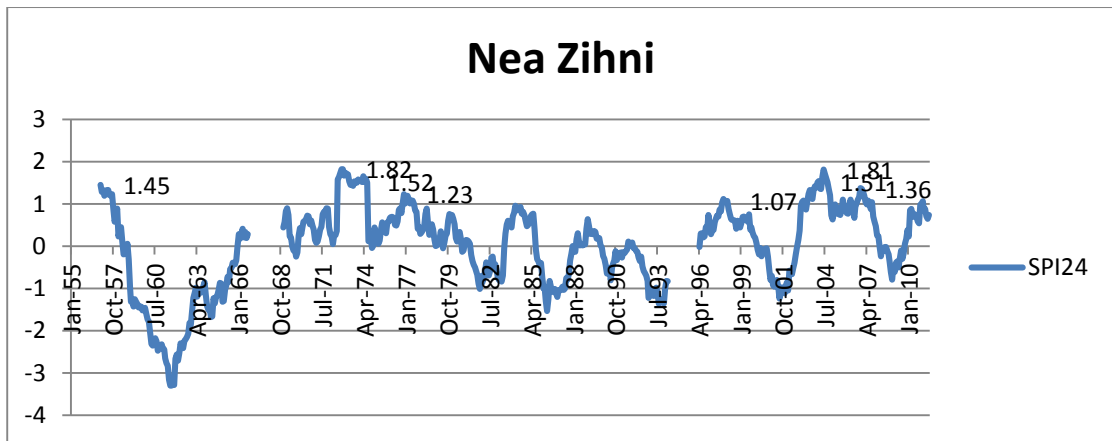
Εικόνα 2.37 Spi 3 στον σταθμό Ν.Ζίχνη



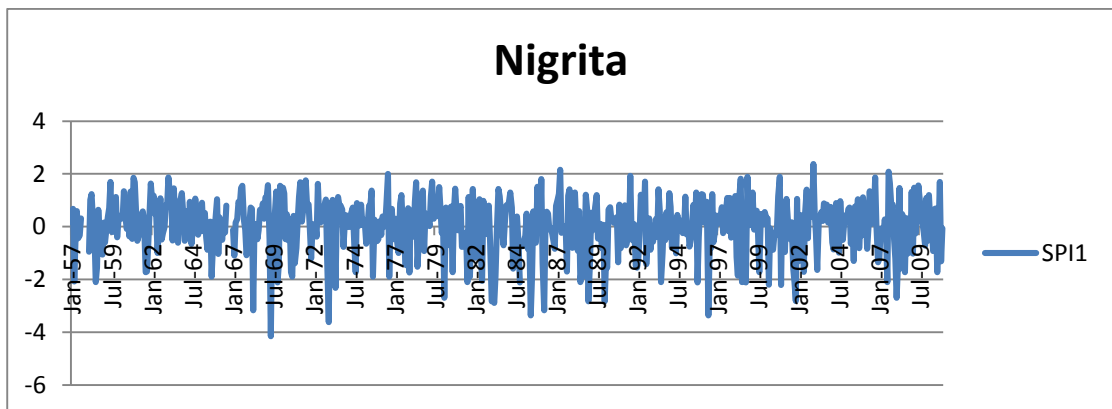
Εικόνα 2.38 Spi 6 στον σταθμό Ν.Ζίχνη



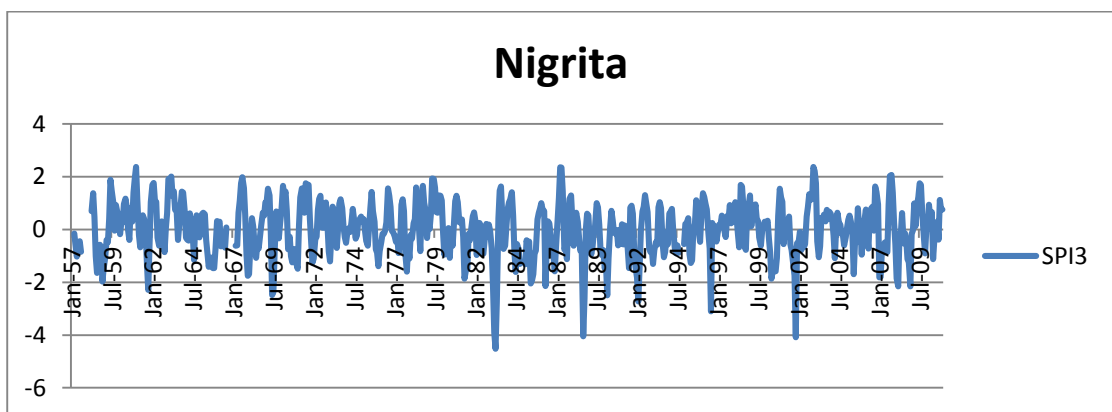
Εικόνα 2.39 Spi 12 στον σταθμό Ν.Ζίχνη



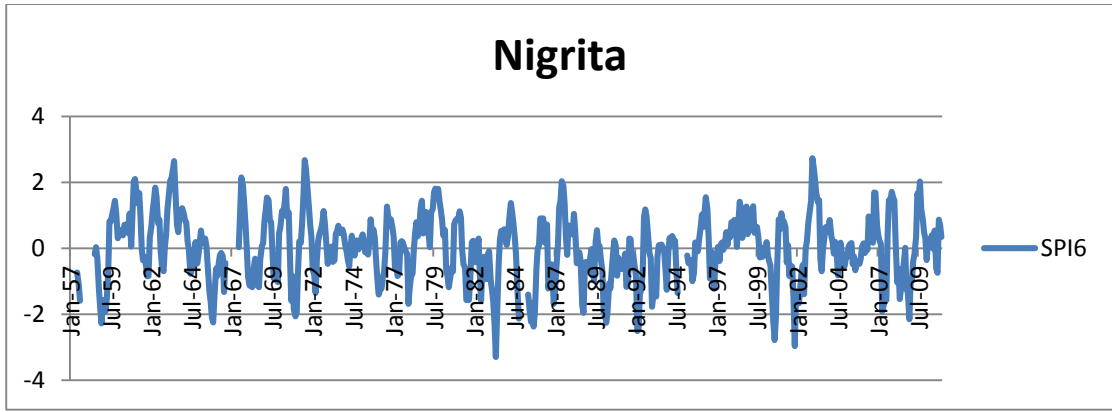
Εικόνα 2.40 Spi 24 στον σταθμό Ν.Ζίχνη



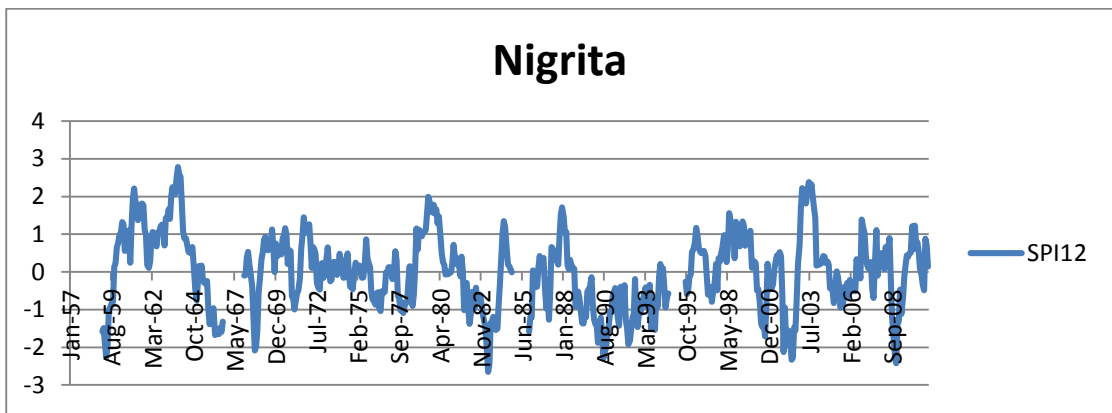
Εικόνα 2.41 Spi 1 στον σταθμό Νιγρίτα



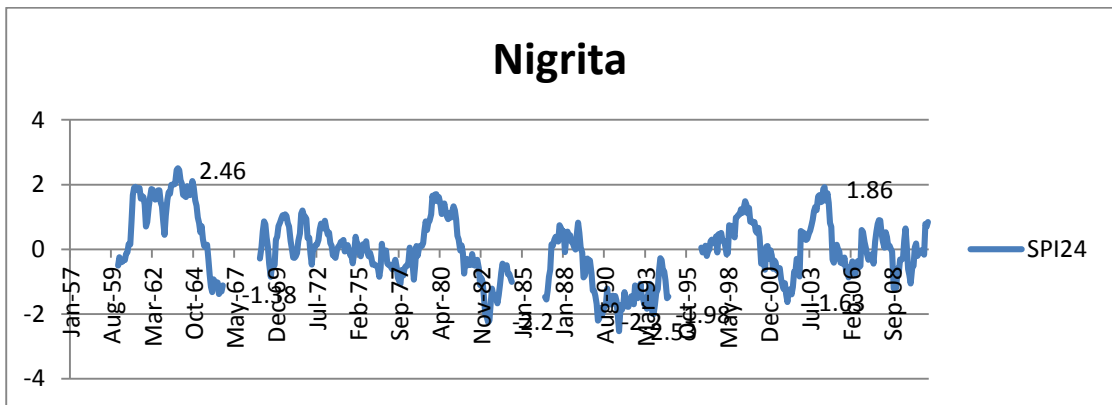
Εικόνα 2.42 Spi 3 στον σταθμό Νιγρίτα



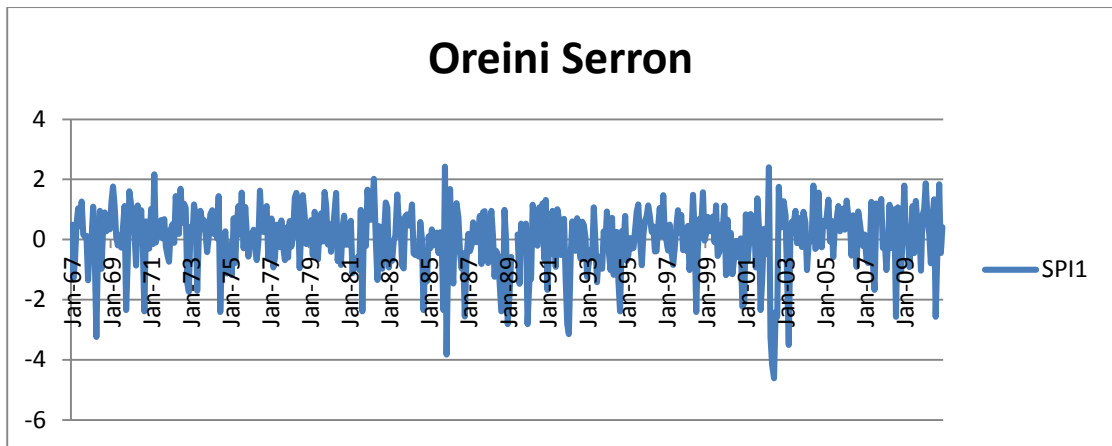
Εικόνα 2.43 Spi 6 στον σταθμό Νιγρίτα



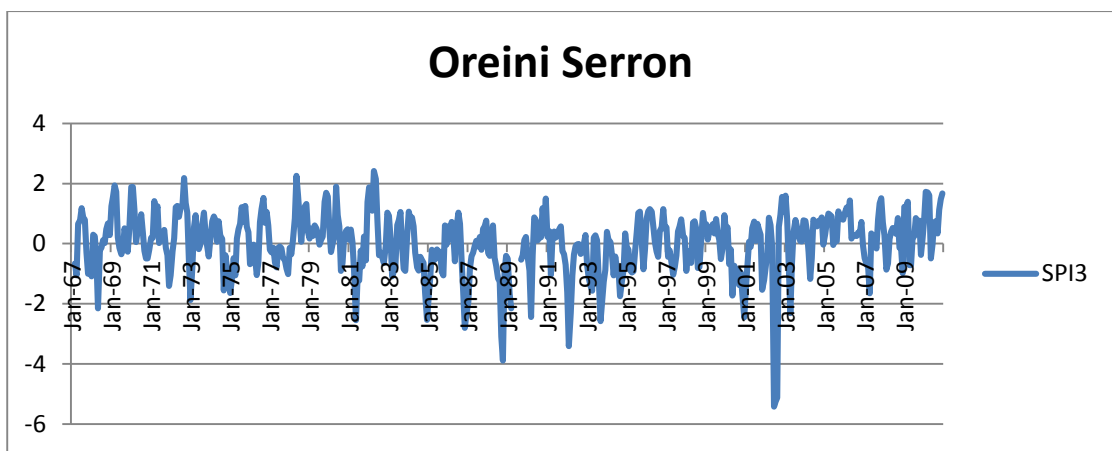
Εικόνα 2.44 Spi 12 στον σταθμό Νιγρίτα



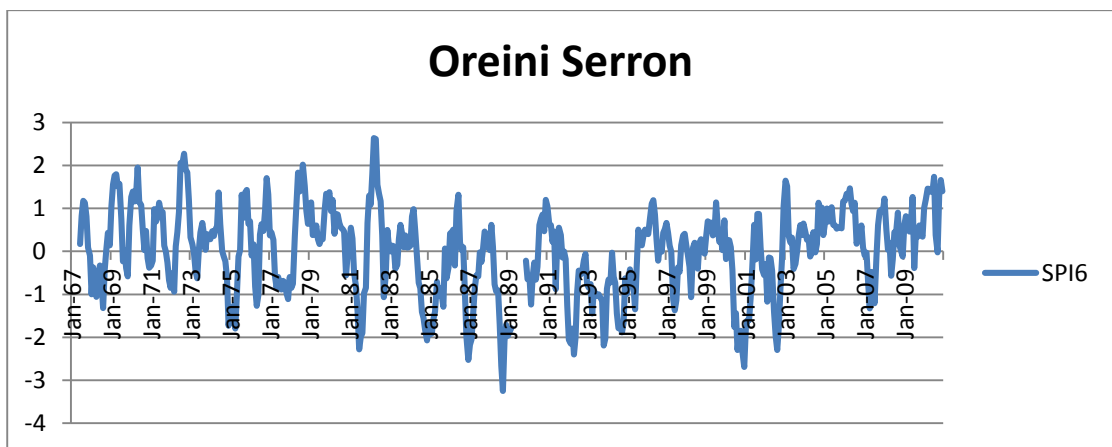
Εικόνα 2.45 Spi 24 στον σταθμό Νιγρίτα



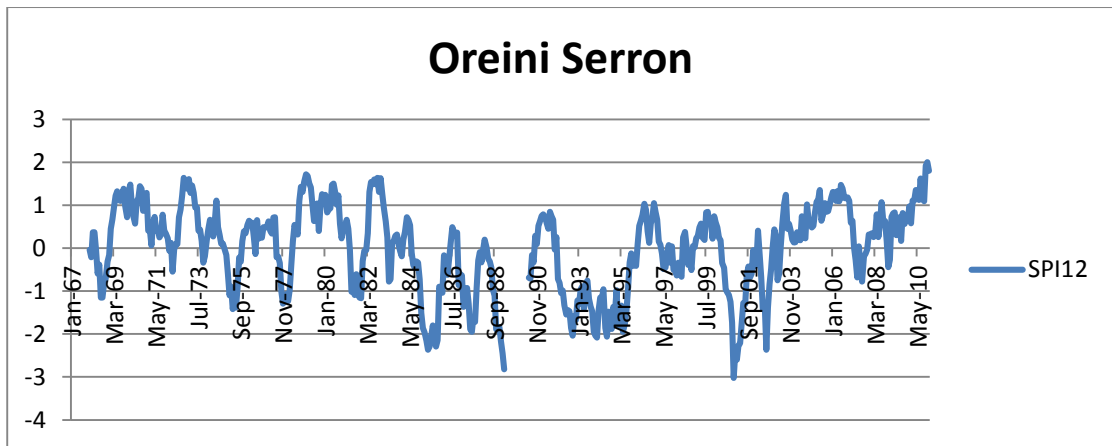
Εικόνα 2.46 Spi 1 στον σταθμό Ορεινή Σερρών



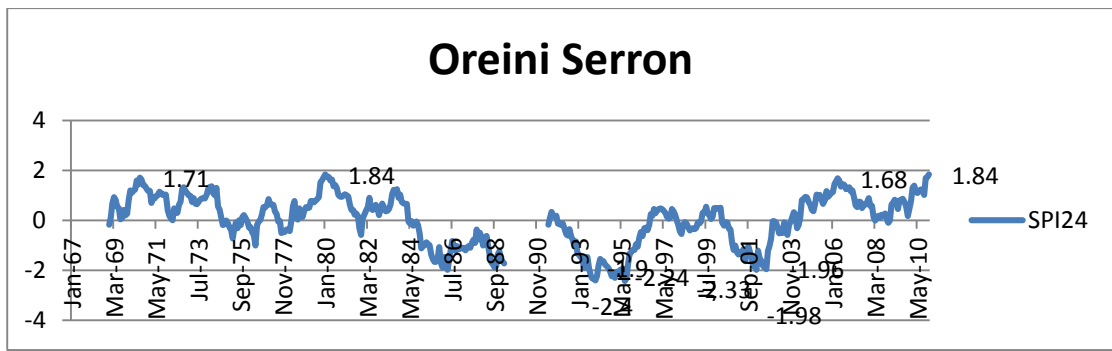
Εικόνα 2.47 Spi 3 στον σταθμό Ορεινή Σερρών



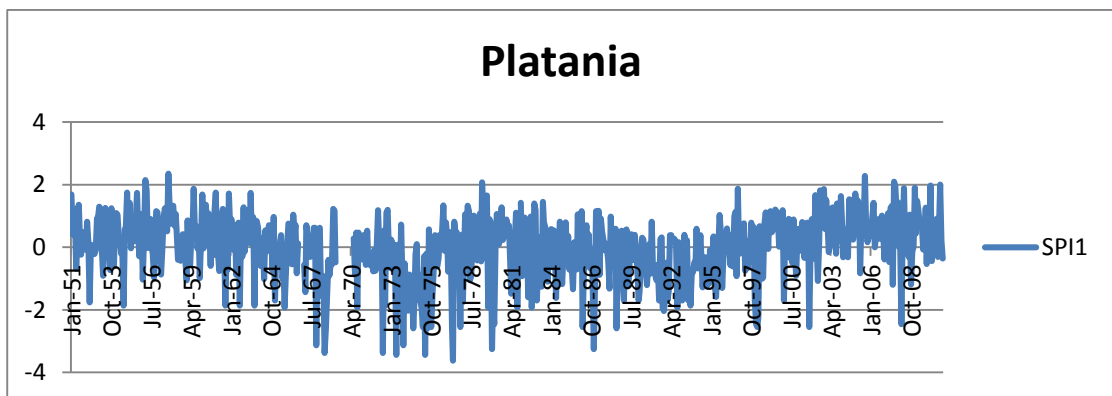
Εικόνα 2.48 Spi 6 στον σταθμό Ορεινή Σερρών



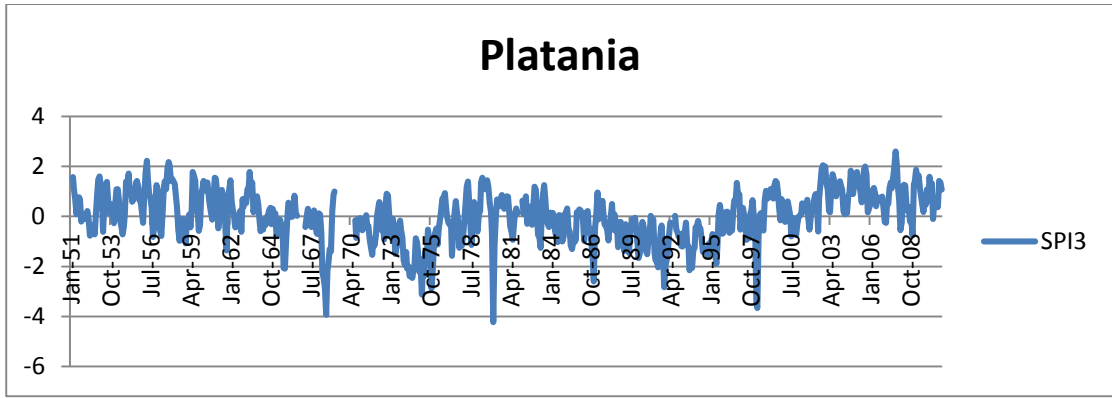
Εικόνα 2.49 Sρι 12 στον σταθμό Ορεινή Σερρών



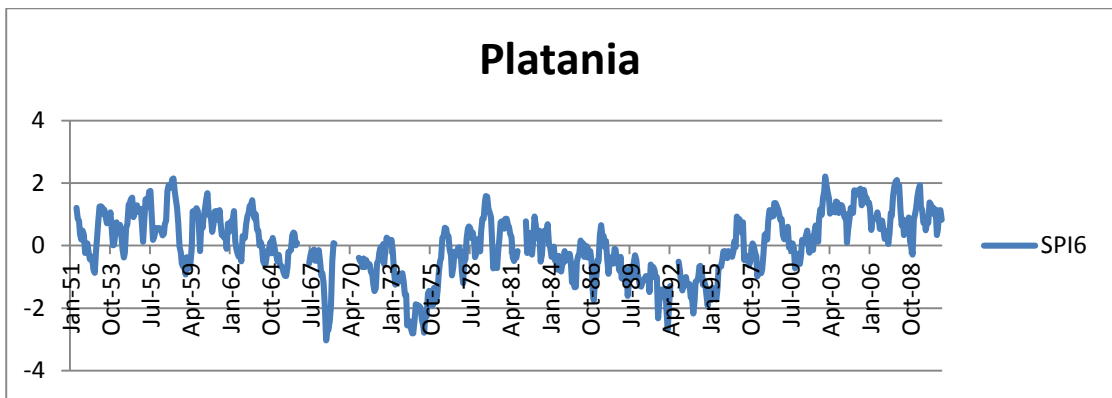
Εικόνα 2.50 Sρι 24 στον σταθμό Ορεινή Σερρών



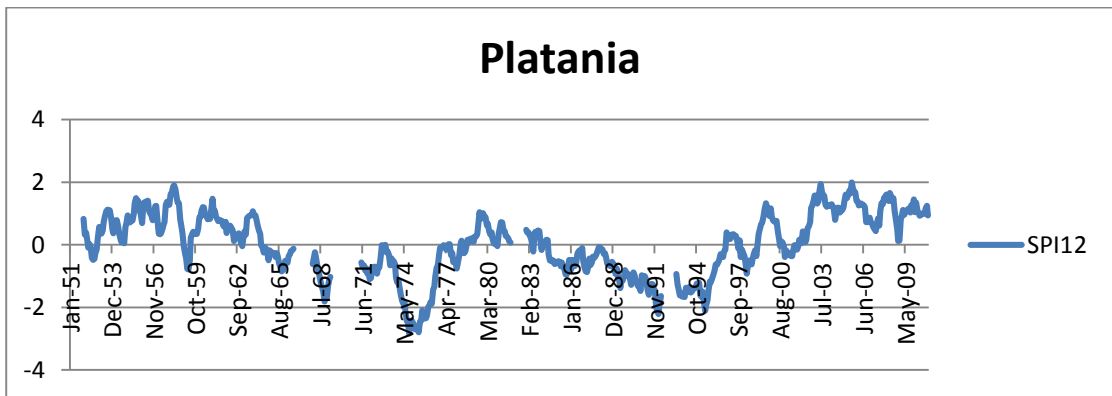
Εικόνα 2.51 Sρι 1 στον σταθμό Πλατανιά



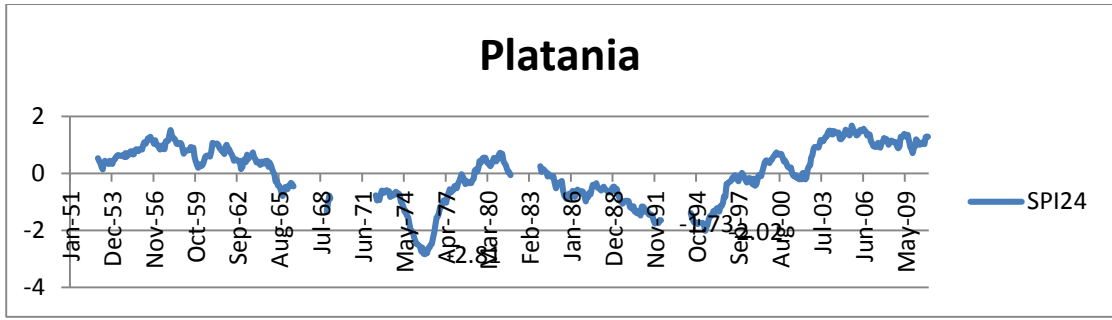
Εικόνα 2.52 Sρι 3 στον σταθμό Πλατανιά



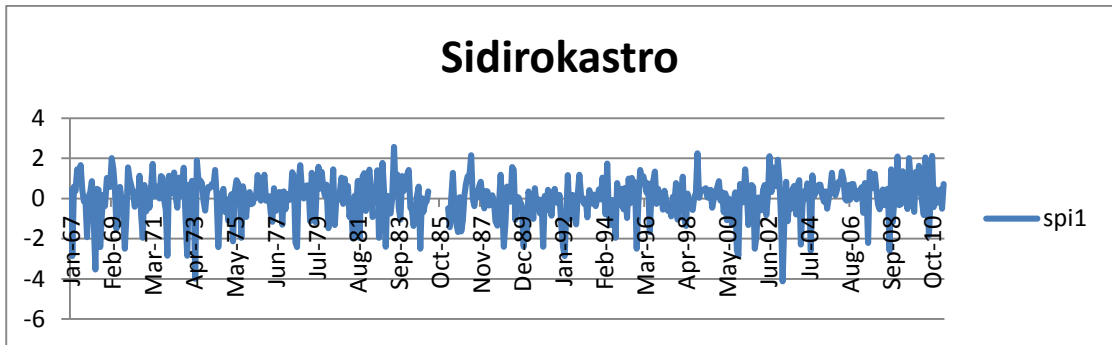
Εικόνα 2.53 Sρι 6 στον σταθμό Πλατανιά



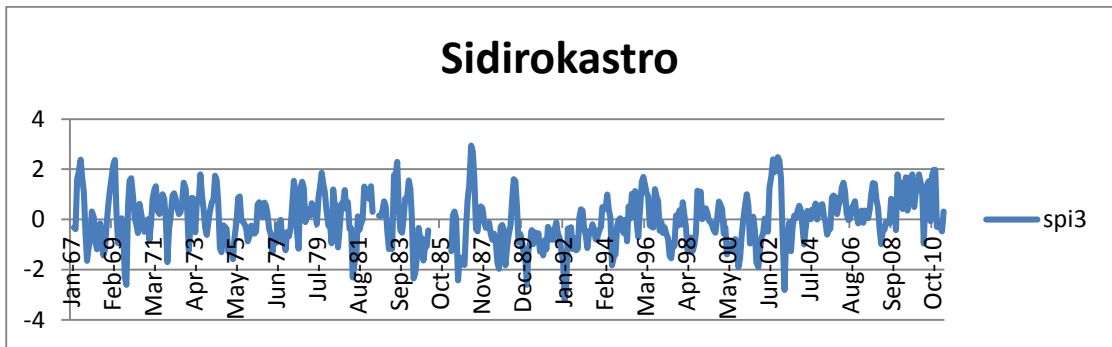
Εικόνα 2.54 Sρι 12 στον σταθμό Πλατανιά



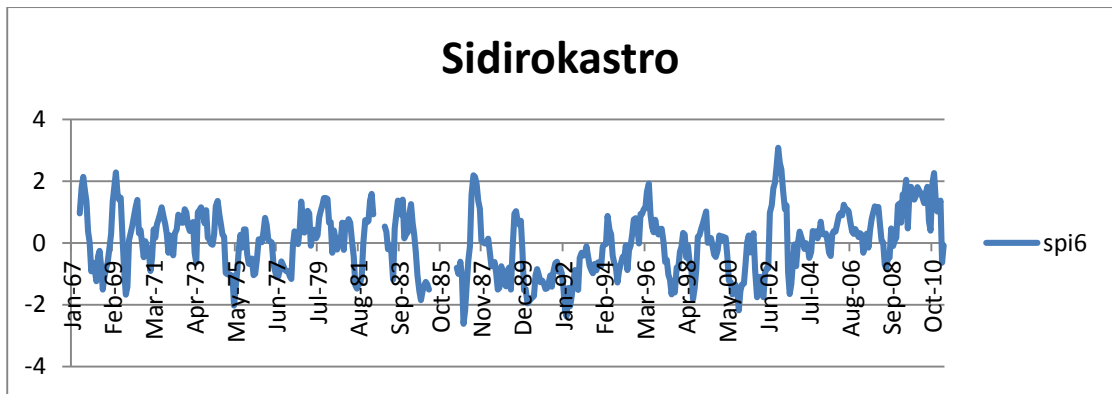
Εικόνα 2.55 Spi 24 στον σταθμό Πλατανιά



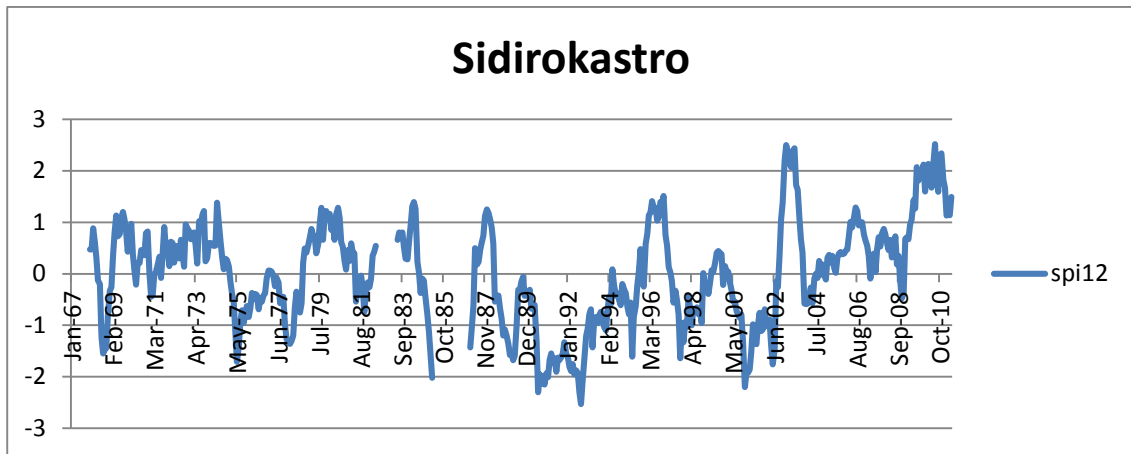
Εικόνα 2.56 Spi 1 στον σταθμό Σιδηρόκαστρο



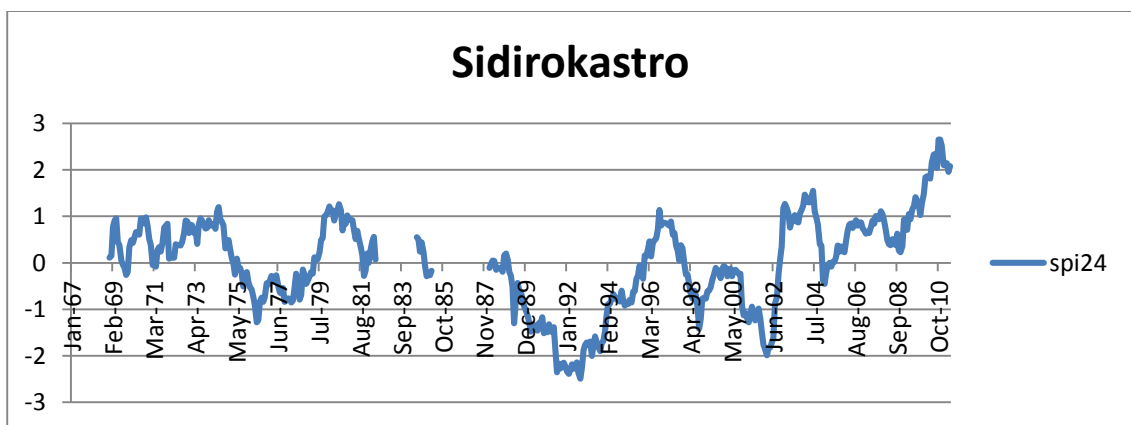
Εικόνα 2.57 Spi 3 στον σταθμό Σιδηρόκαστρο



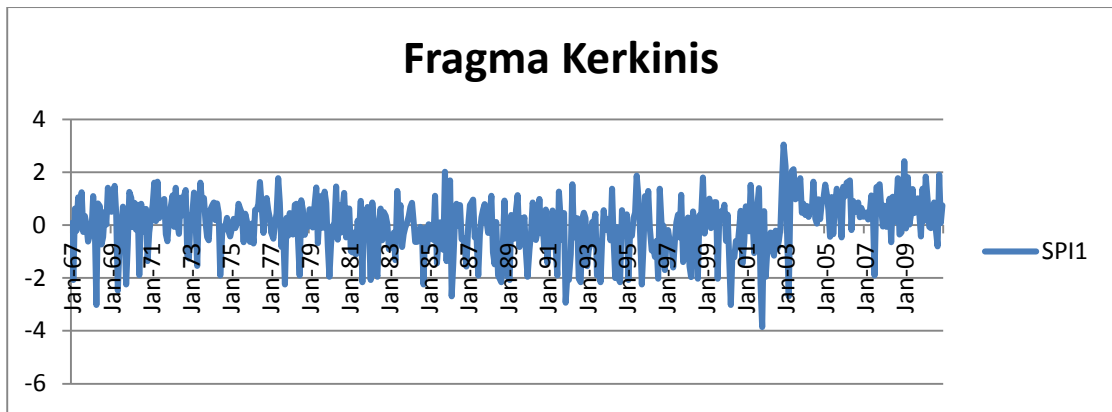
Εικόνα 2.58 Σρι 6 στον σταθμό Σιδηρόκαστρο



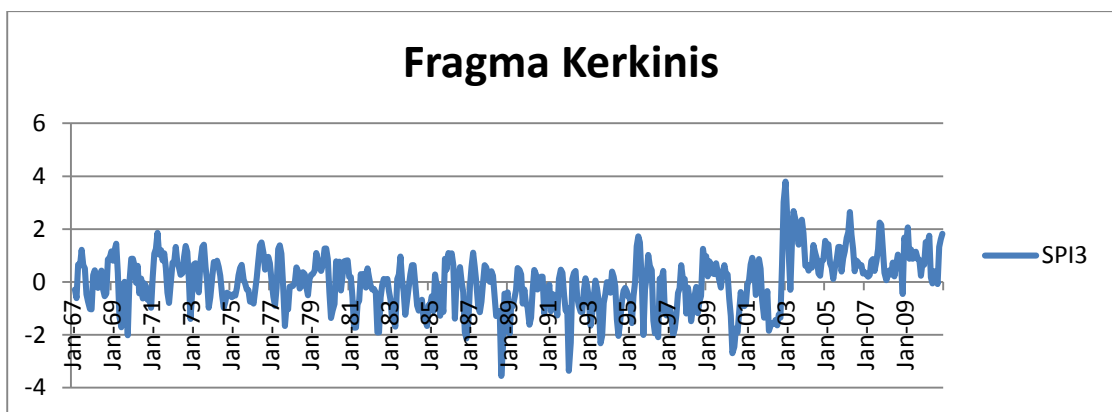
Εικόνα 2.59 Σρι 12 στον σταθμό Σιδηρόκαστρο



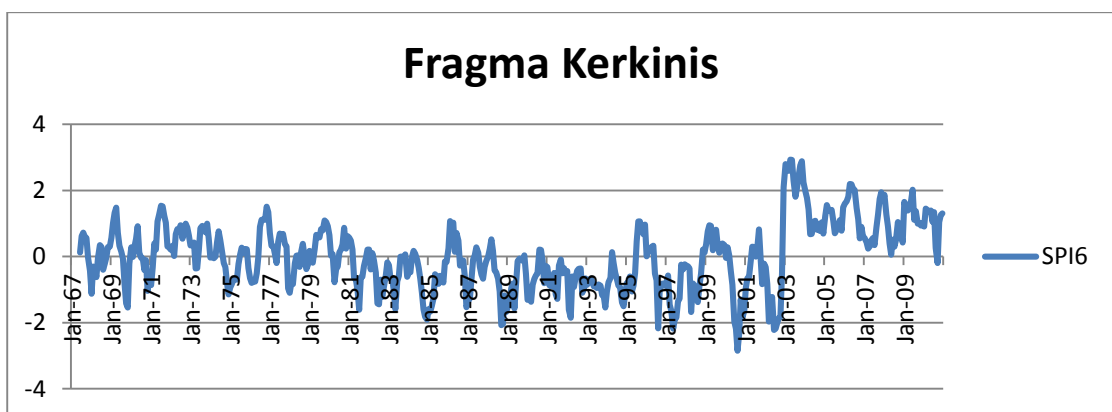
Εικόνα 2.60 Σρι 24 στον σταθμό Σιδηρόκαστρο



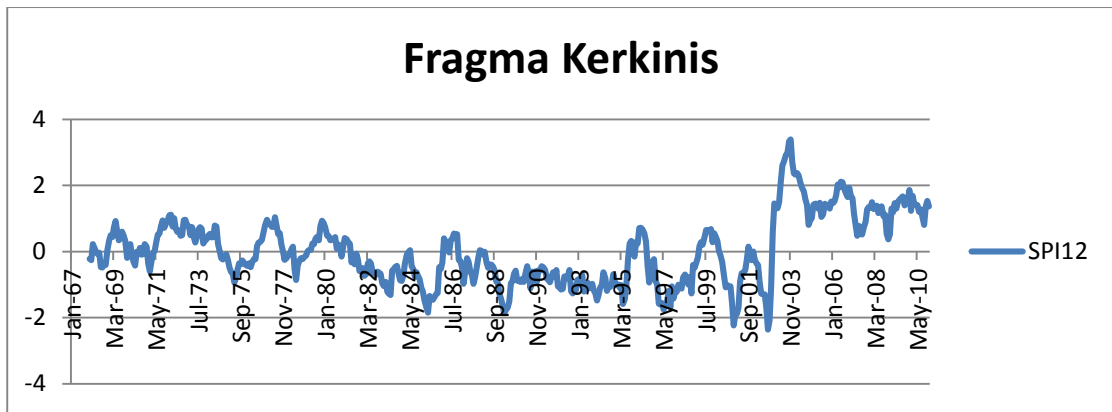
Εικόνα 2.61 Spi 1 στον σταθμό Φράγμα Κερκίνης



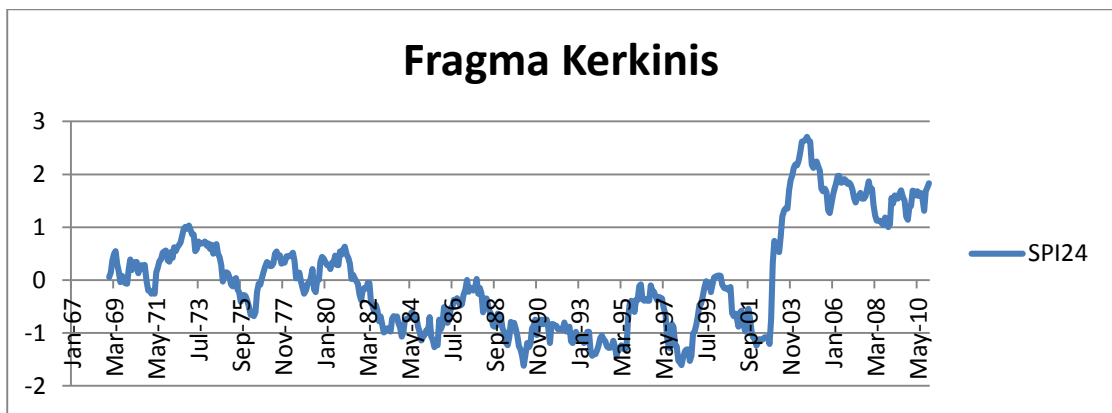
Εικόνα 2.62 Spi 3 στον σταθμό Φράγμα Κερκίνης



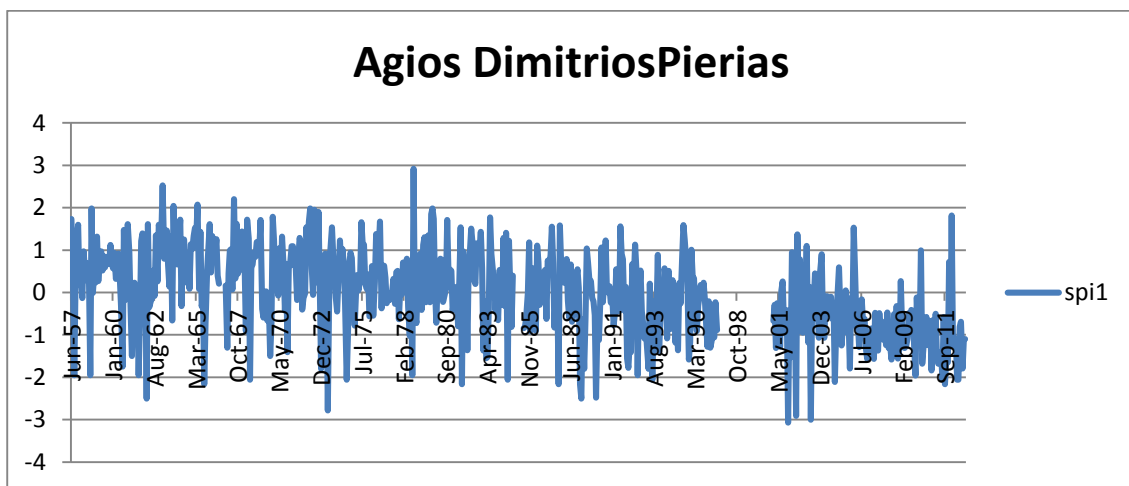
Εικόνα 2.63 Spi 6 στον σταθμό Φράγμα Κερκίνης



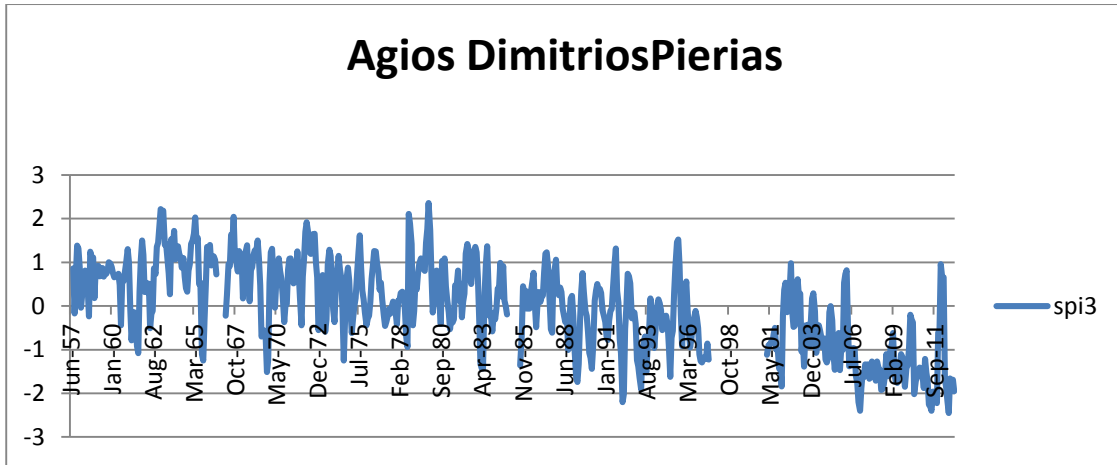
Εικόνα 2.64 Spi 12 στον σταθμό Φράγμα Κερκίνης



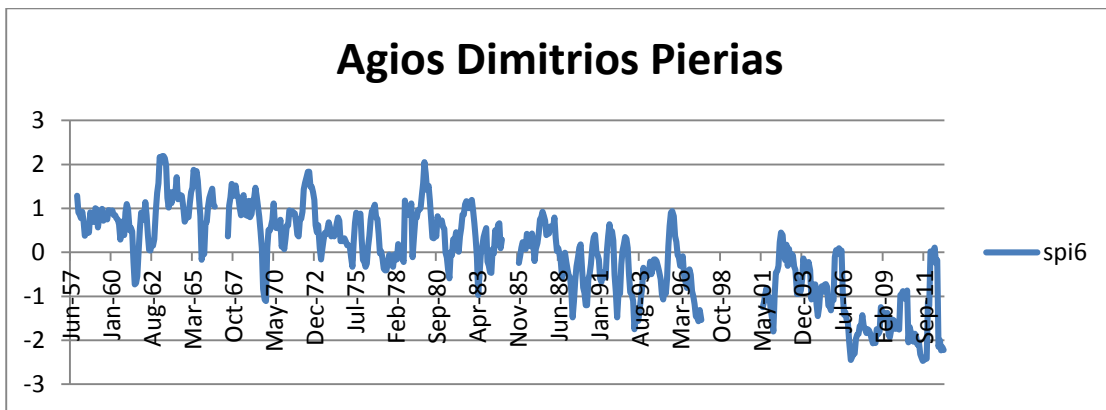
Εικόνα 2.65 Spi 24 στον σταθμό Φράγμα Κερκίνης



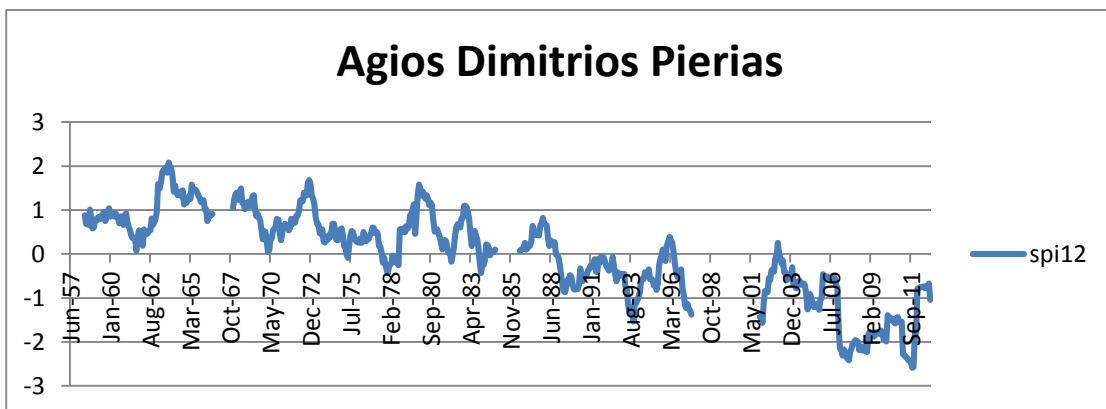
Εικόνα 2.66 Spi 1 στον σταθμό Άγιος Δημήτριος Πιερίας



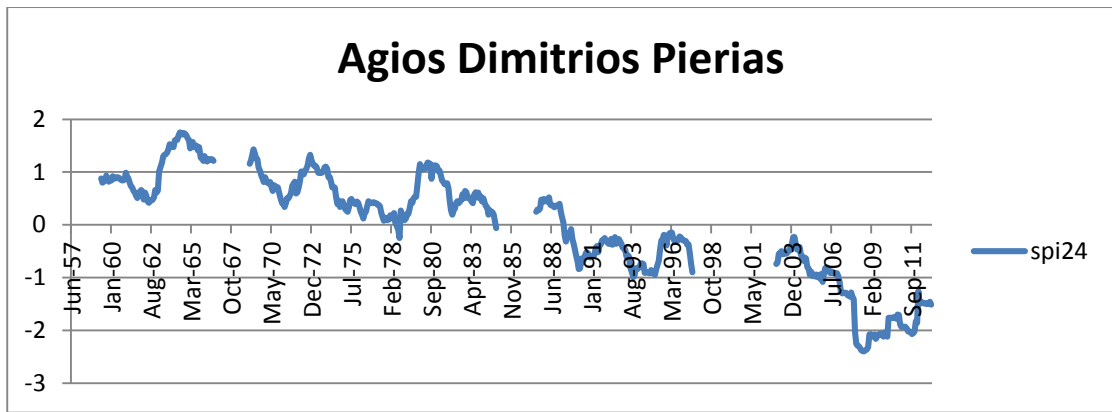
Εικόνα 2.67 Spi 3 στον σταθμό Άγιος Δημήτριος Πιερίας



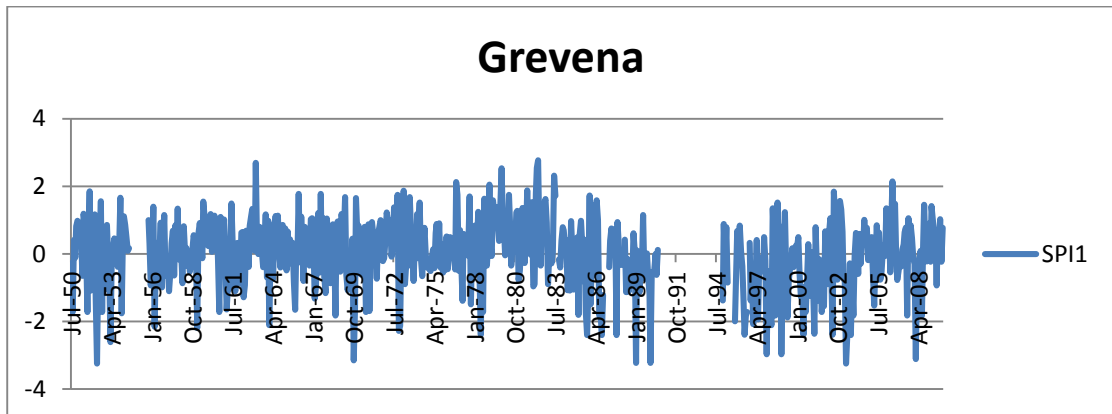
Εικόνα 2.68 Spi 6 στον σταθμό Άγιος Δημήτριος Πιερίας



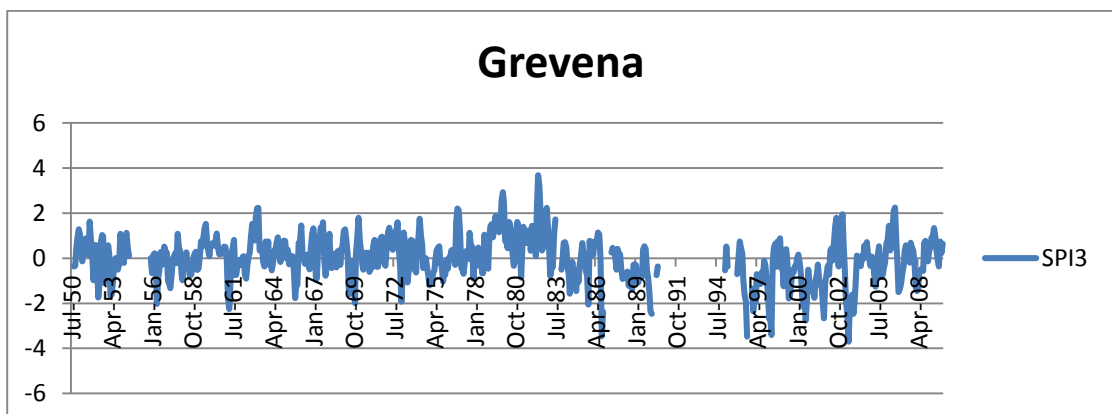
Εικόνα 2.69 Spi 12 στον σταθμό Άγιος Δημήτριος Πιερίας



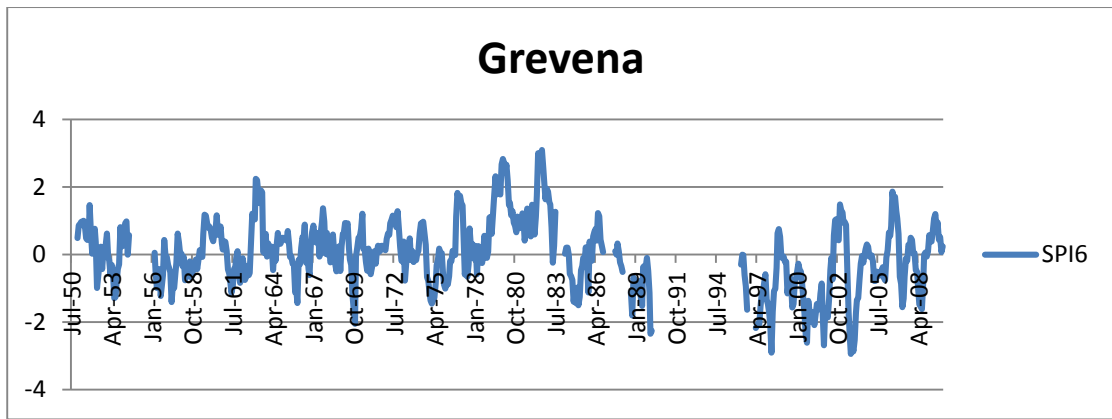
Εικόνα 2.70 Spi 24 στον σταθμό Άγιος Δημήτριος Πιερίας



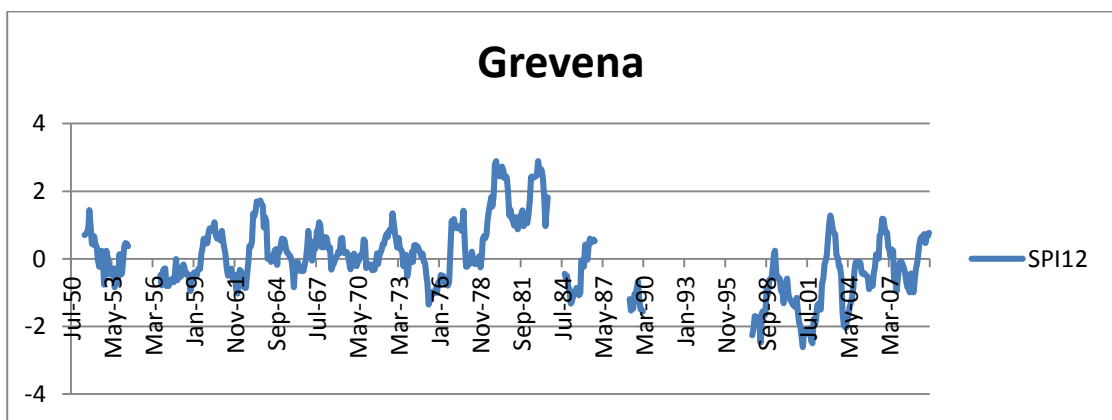
Εικόνα 2.71 Spi 1 στον σταθμό Γρεβενά



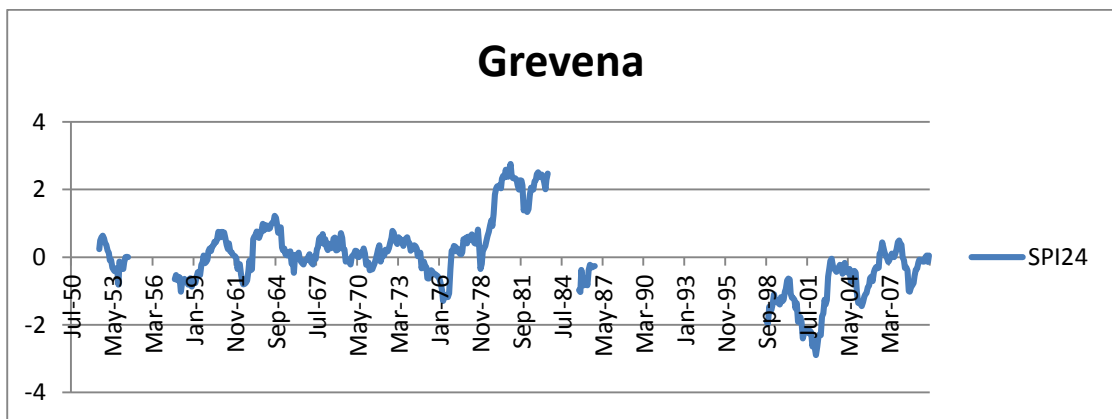
Εικόνα 2.72 Spi 3 στον σταθμό Γρεβενά



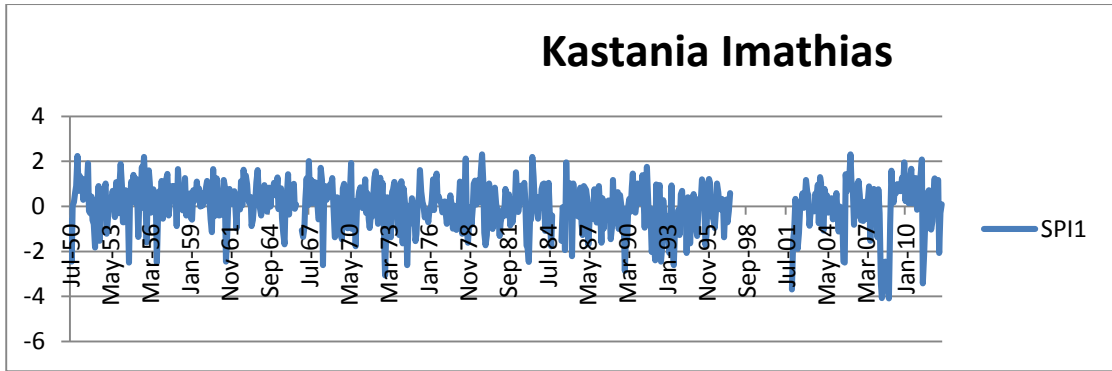
Εικόνα 2.73 Σρι 6 στον σταθμό Γρεβενά



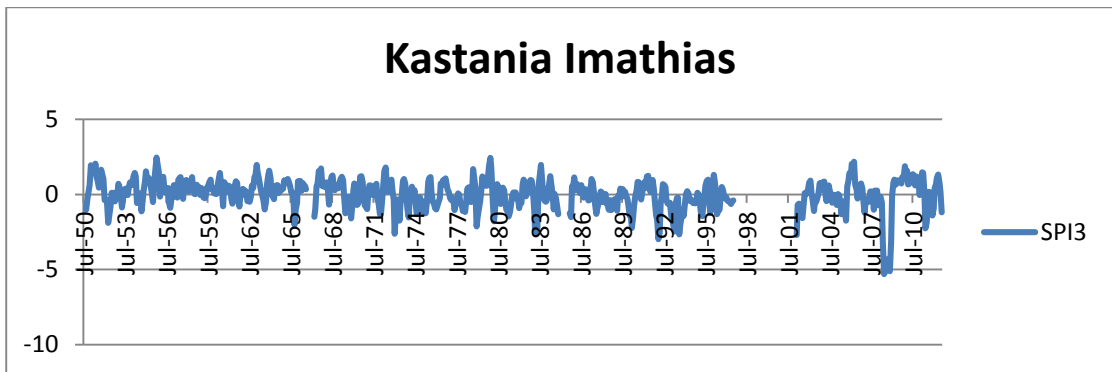
Εικόνα 2.74 Σρι 12 στον σταθμό Γρεβενά



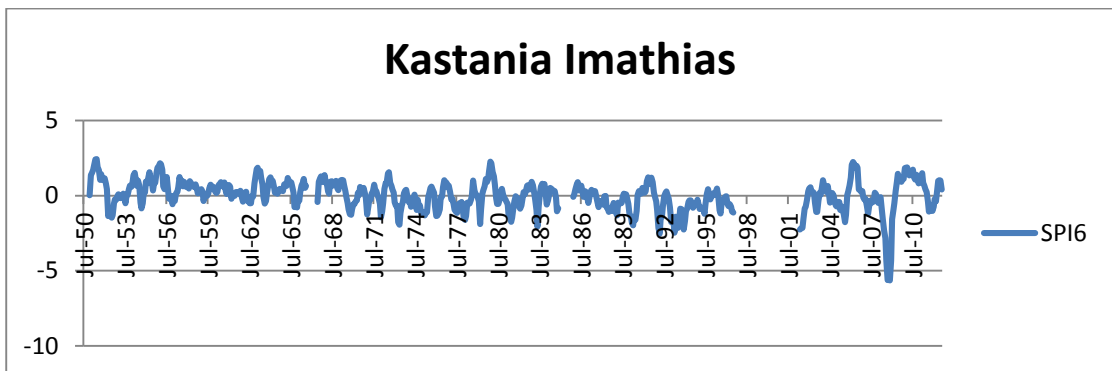
Εικόνα 2.75 Σρι 24 στον σταθμό Γρεβενά



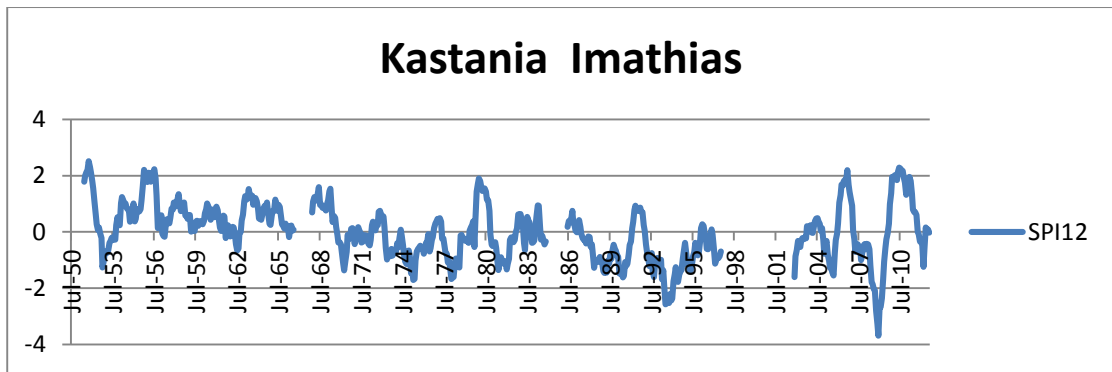
Εικόνα 2.76 Spi 1 στον σταθμό Καστανιά Ημαθίας



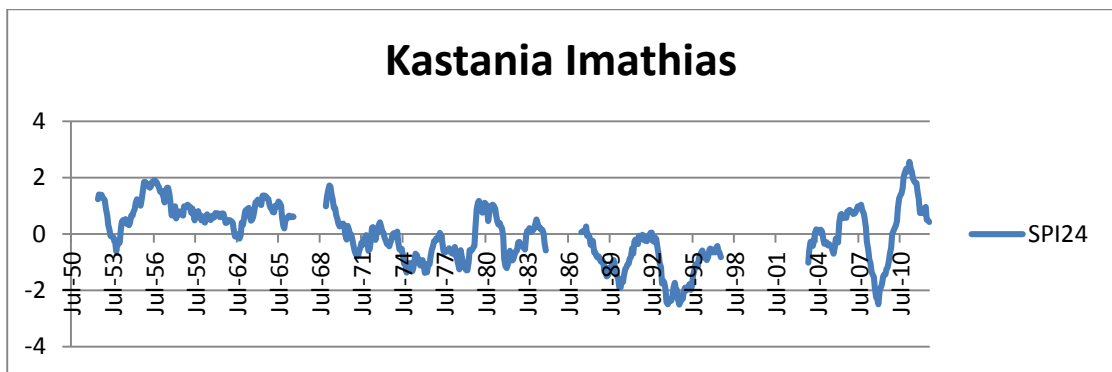
Εικόνα 2.77 Spi 3 στον σταθμό Καστανιά Ημαθίας



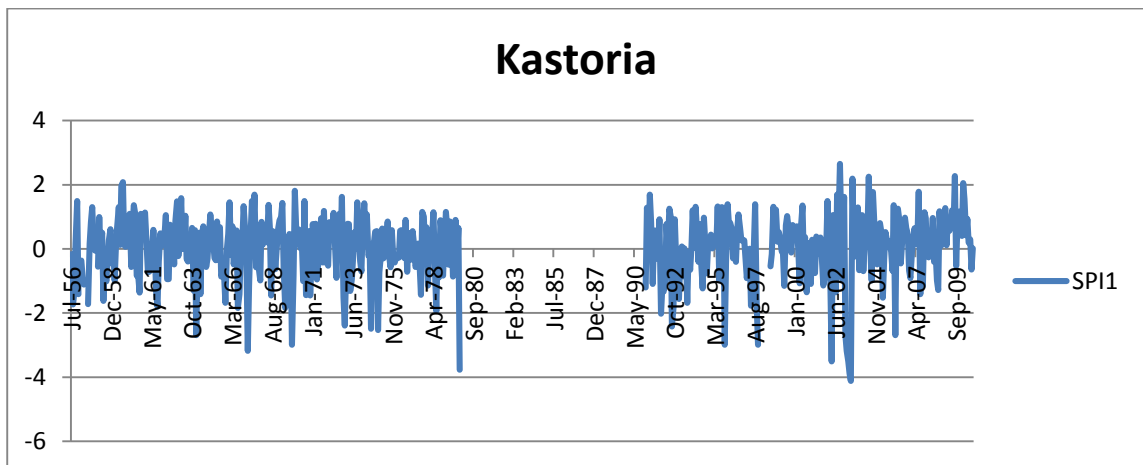
Εικόνα 2.78 Spi 6 στον σταθμό Καστανιά Ημαθίας



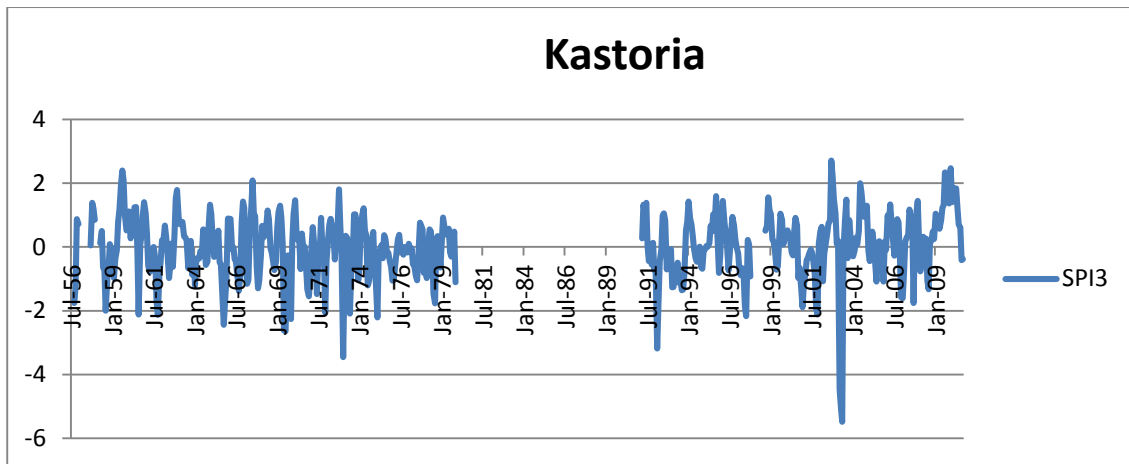
Εικόνα 2.79 Spi 12 στον σταθμό Καστανιά Ημαθίας



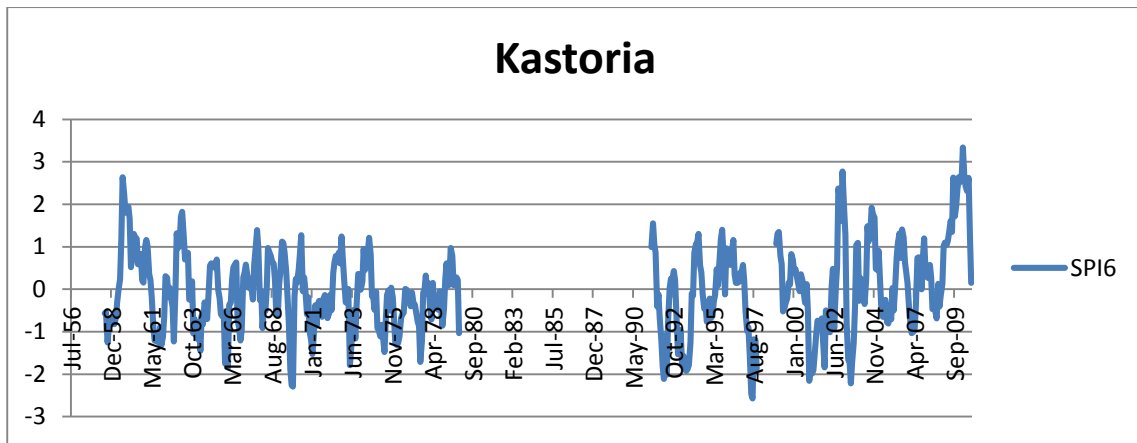
Εικόνα 2.80 Spi 24 στον σταθμό Καστανιά Ημαθίας



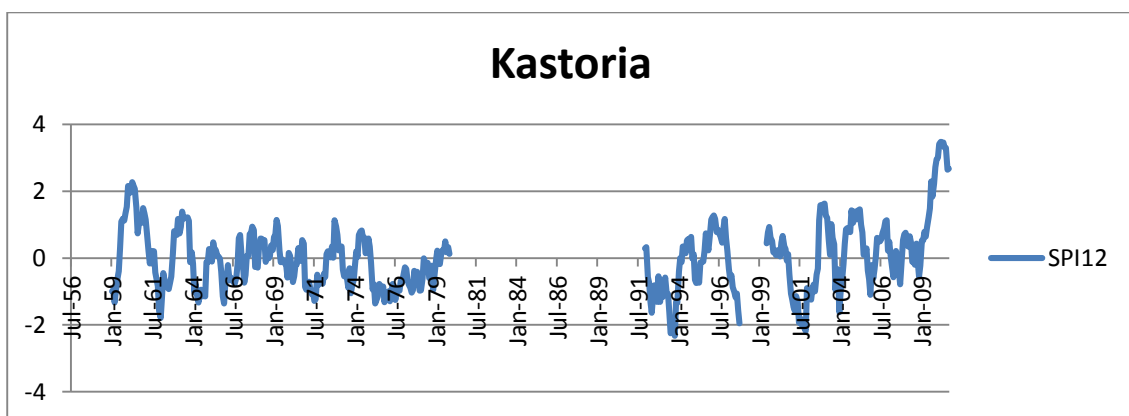
Εικόνα 2.81 Spi 1 στον σταθμό Καστοριά



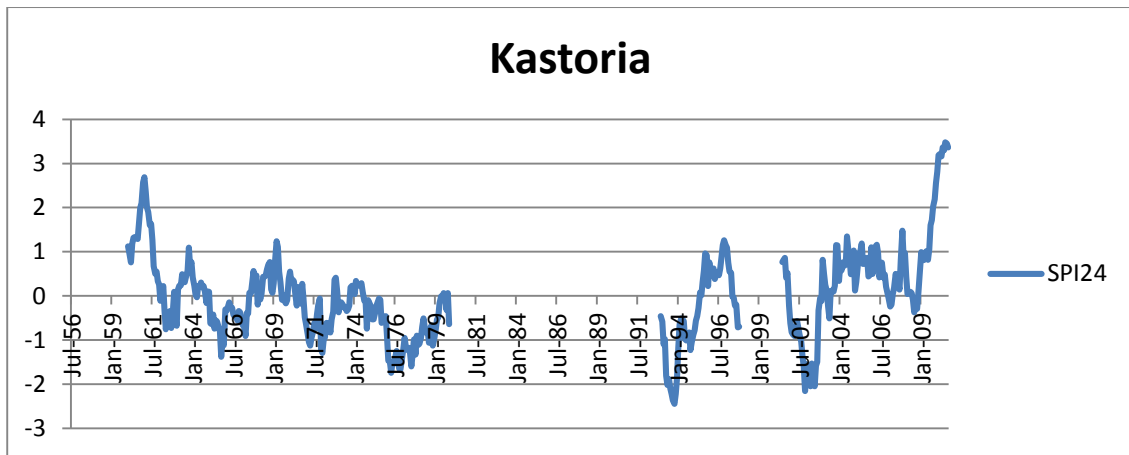
Εικόνα 2.82 Sρι 3 στον σταθμό Καστοριά



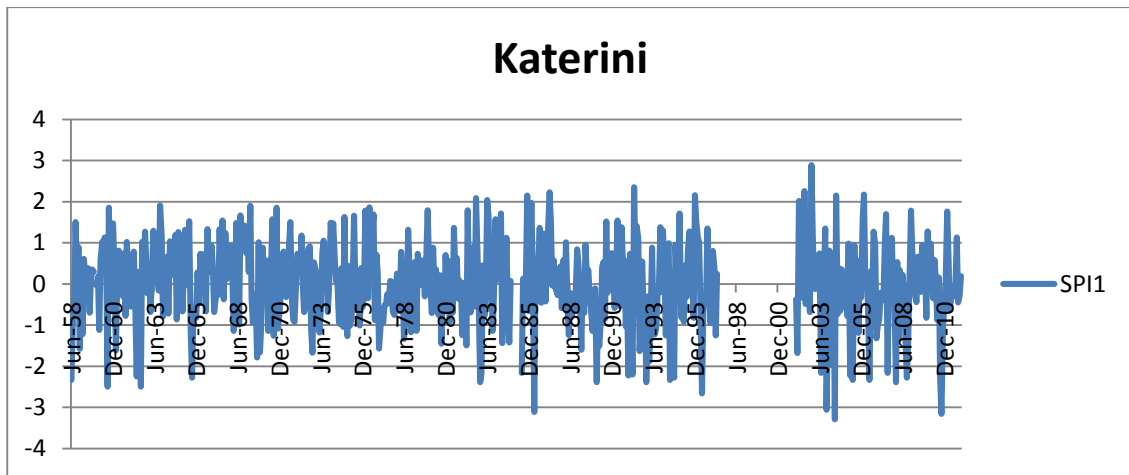
Εικόνα 2.83 Sρι 6 στον σταθμό Καστοριά



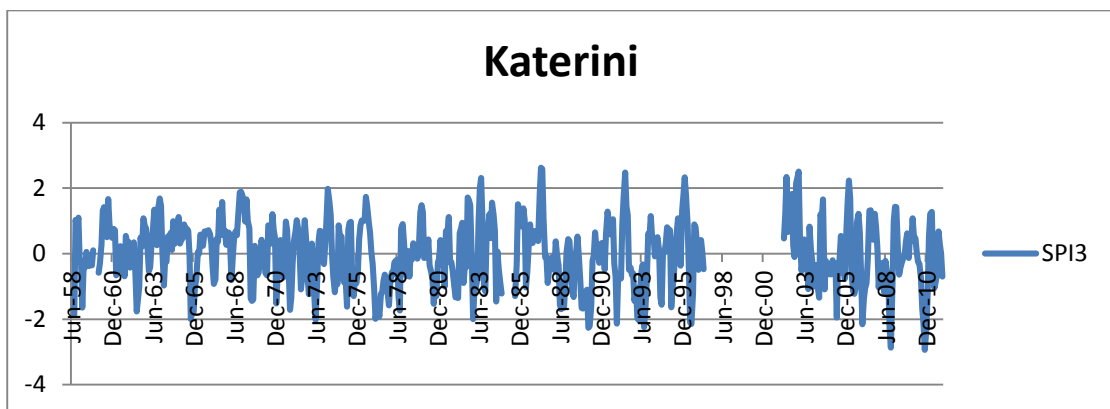
Εικόνα 2.84 Sρι 12 στον σταθμό Καστοριά



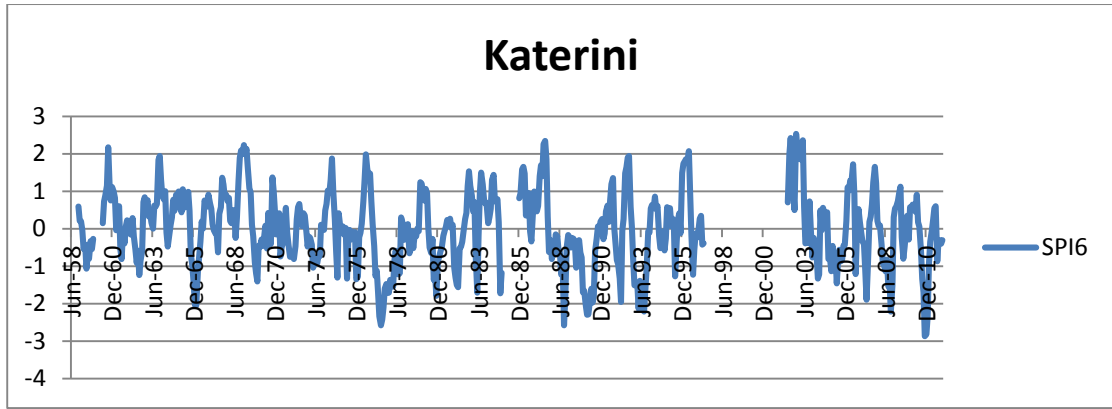
Εικόνα 2.85 Spi 24 στον σταθμό Καστοριά



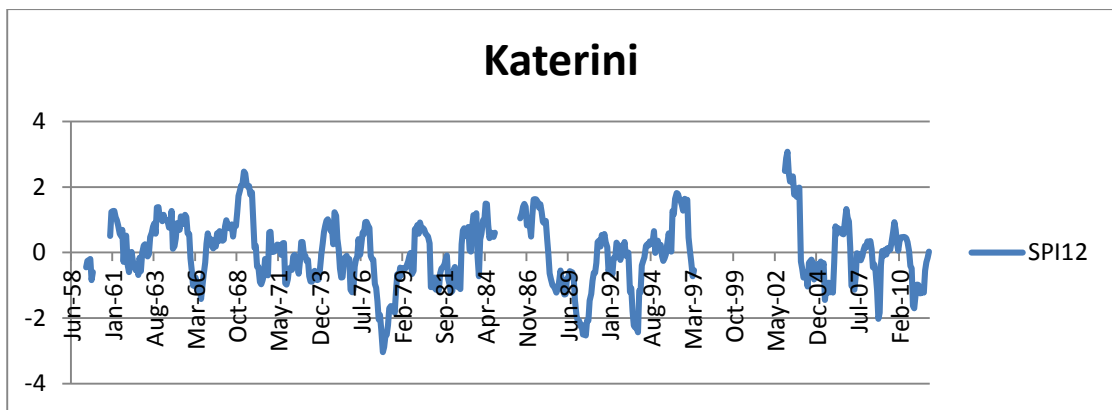
Εικόνα 2.86 Spi 1 στον σταθμό Κατερίνη



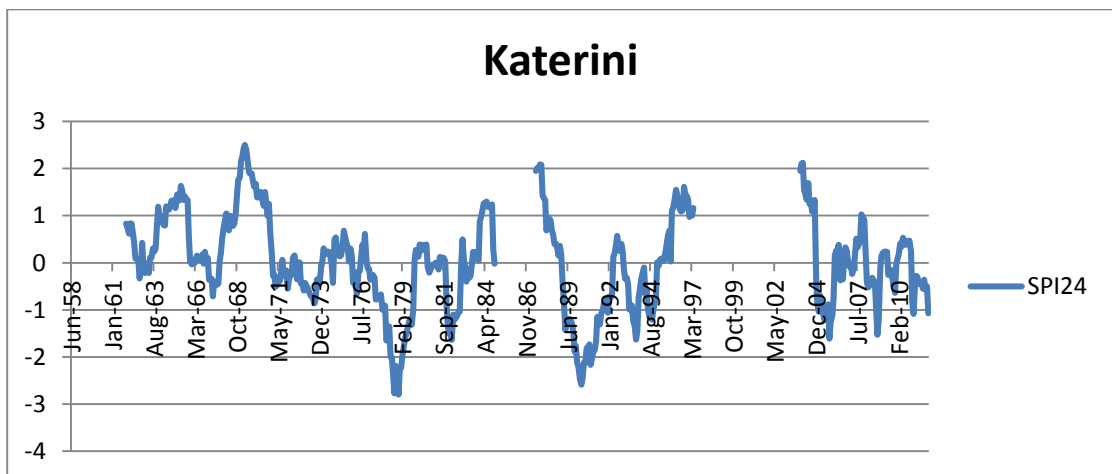
Εικόνα 2.87 Spi 3 στον σταθμό Κατερίνη



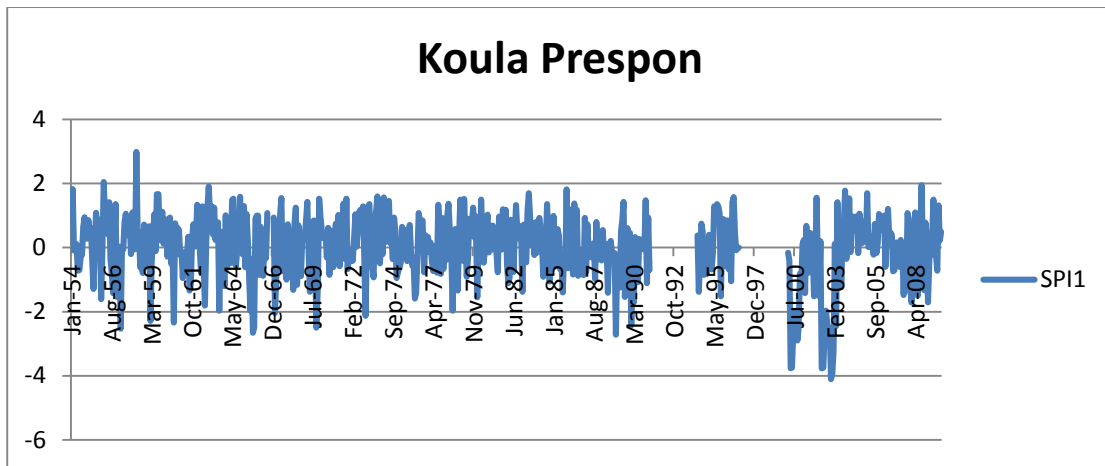
Εικόνα 2.88 Spi 6 στον σταθμό Κατερίνη



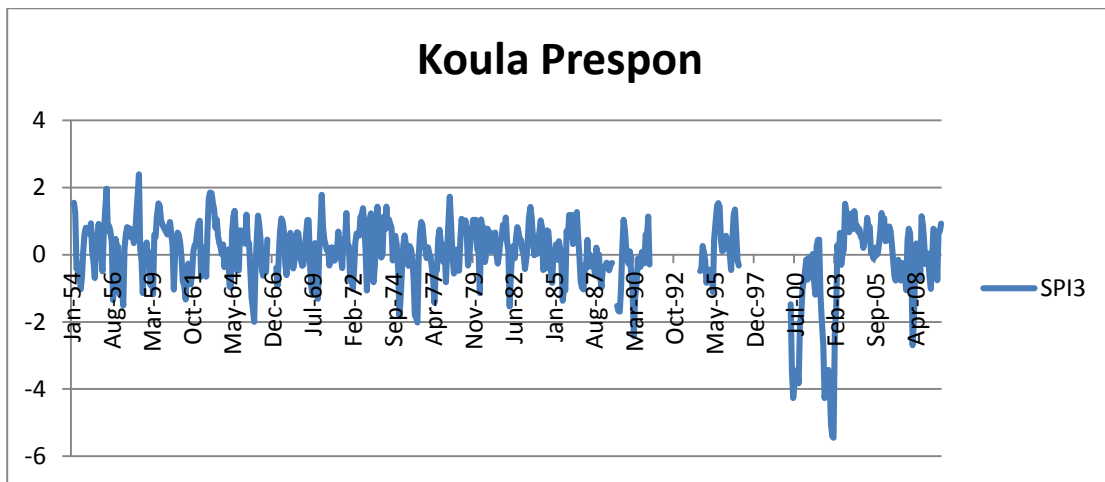
Εικόνα 2.89 Spi 12 στον σταθμό Κατερίνη



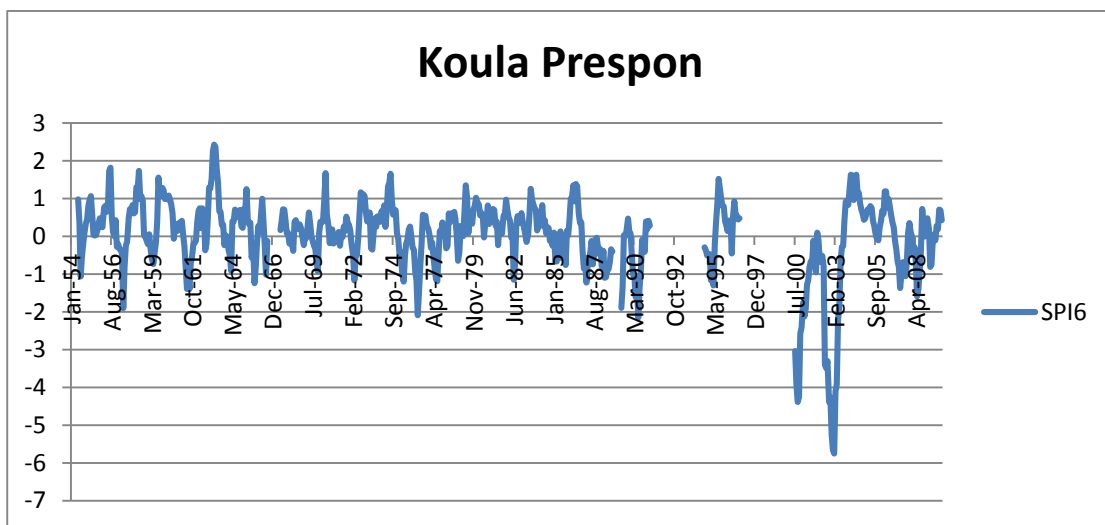
Εικόνα 2.90 Spi 24 στον σταθμό Κατερίνη



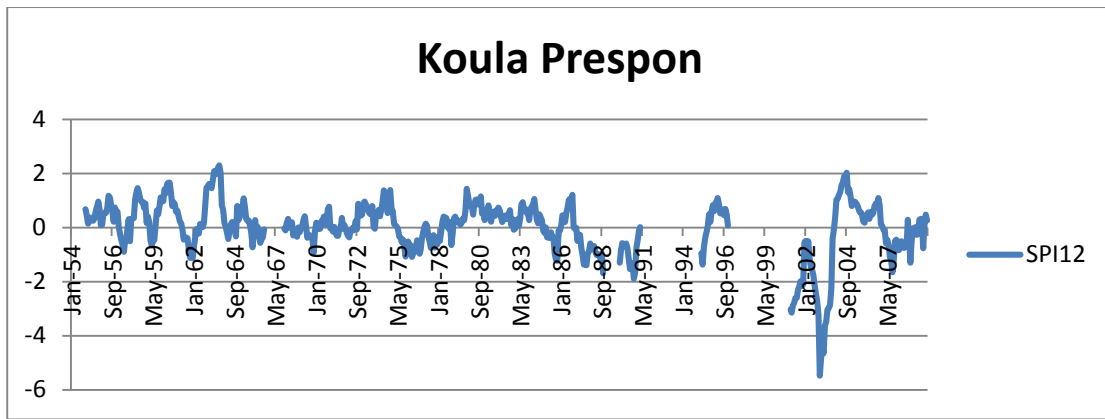
Εικόνα 2.91 Spi 1 στον σταθμό Κουλά Πρεσπών



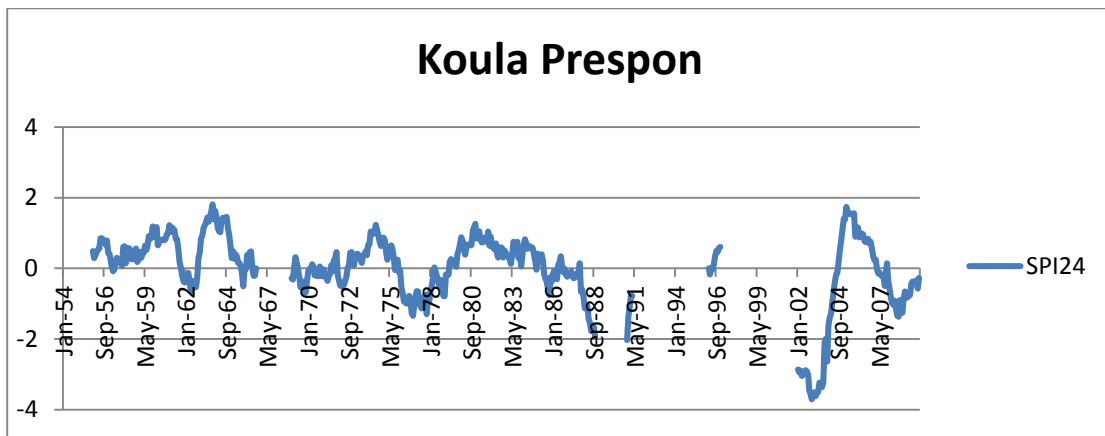
Εικόνα 2.92 Spi 3 στον σταθμό Κουλά Πρεσπών



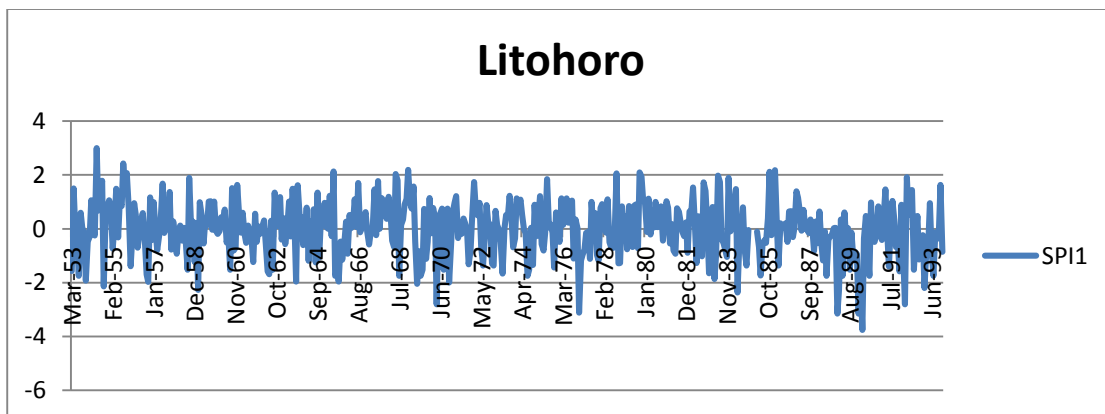
Εικόνα 2.93 Spi 6 στον σταθμό Κουλά Πρεσπών



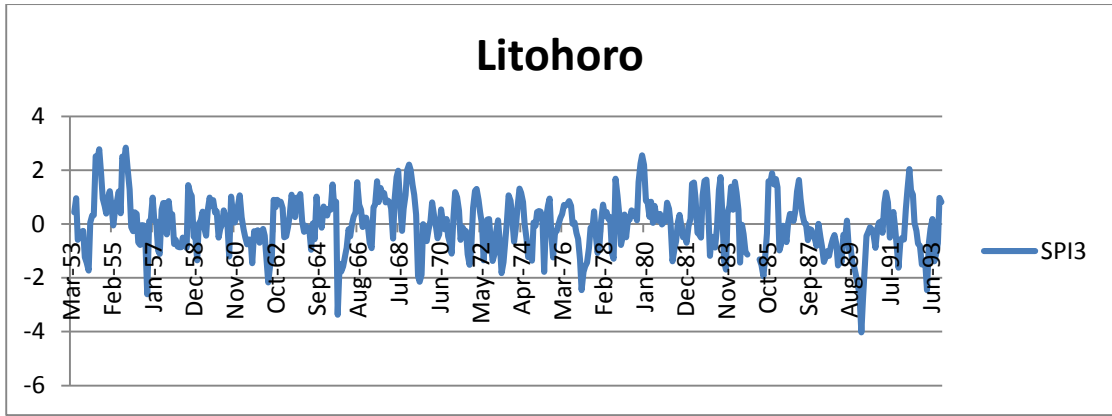
Εικόνα 2.94 Sρι 12 στον σταθμό Κουλά Πρεσπών



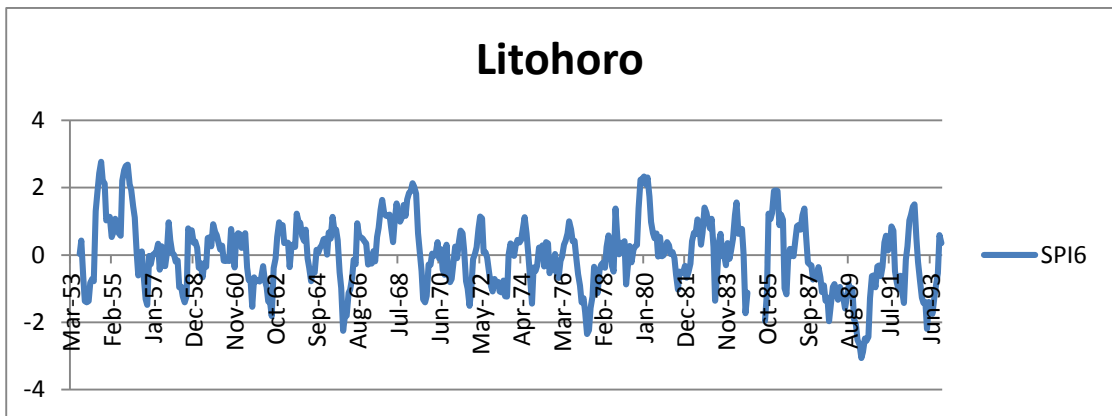
Εικόνα 2.95 Sρι 24 στον σταθμό Κουλά Πρεσπών



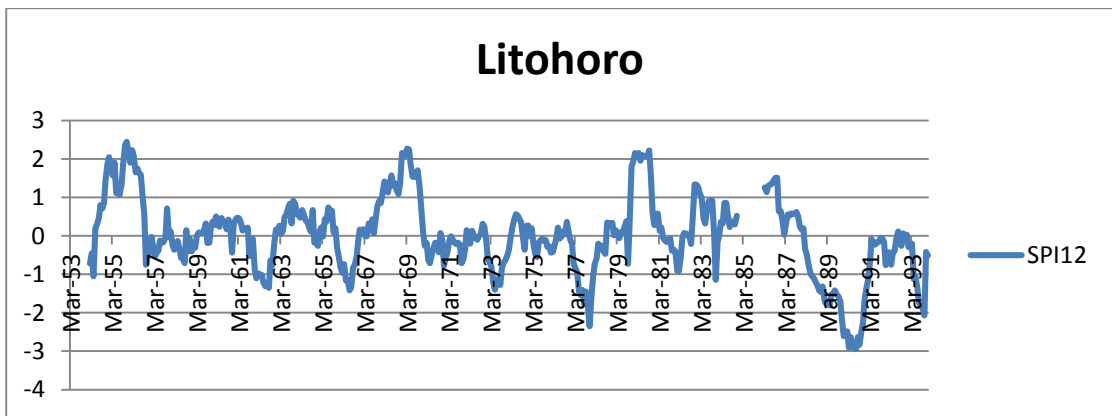
Εικόνα 2.96 Sρι 1 στον σταθμό Λιτόχωρο



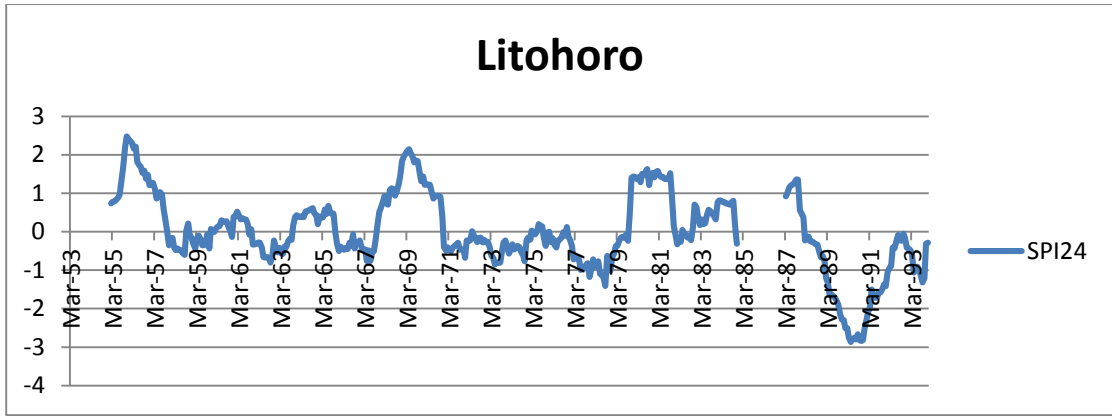
Εικόνα 2.97 Sρι 3 στον σταθμό Λιτόχωρο



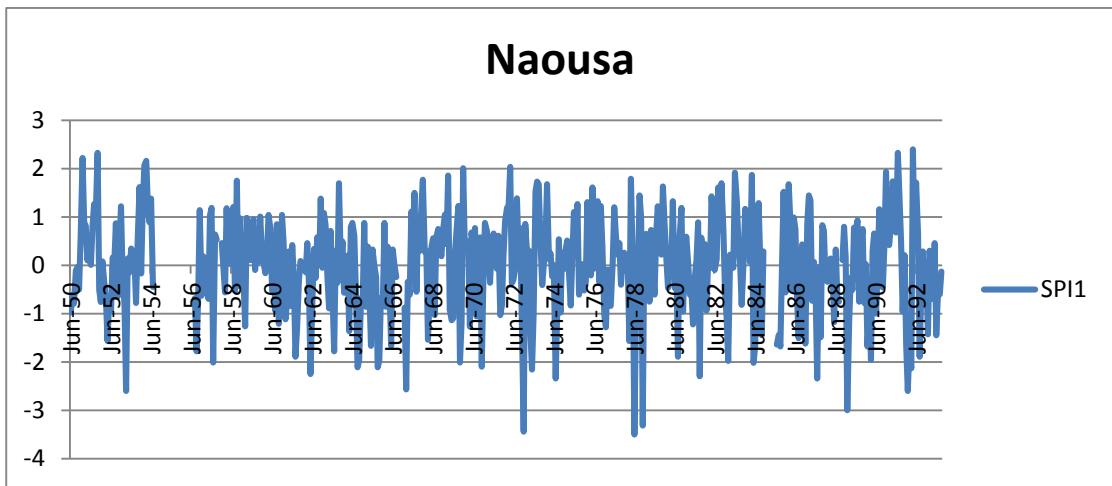
Εικόνα 2.98 Sρι 6 στον σταθμό Λιτόχωρο



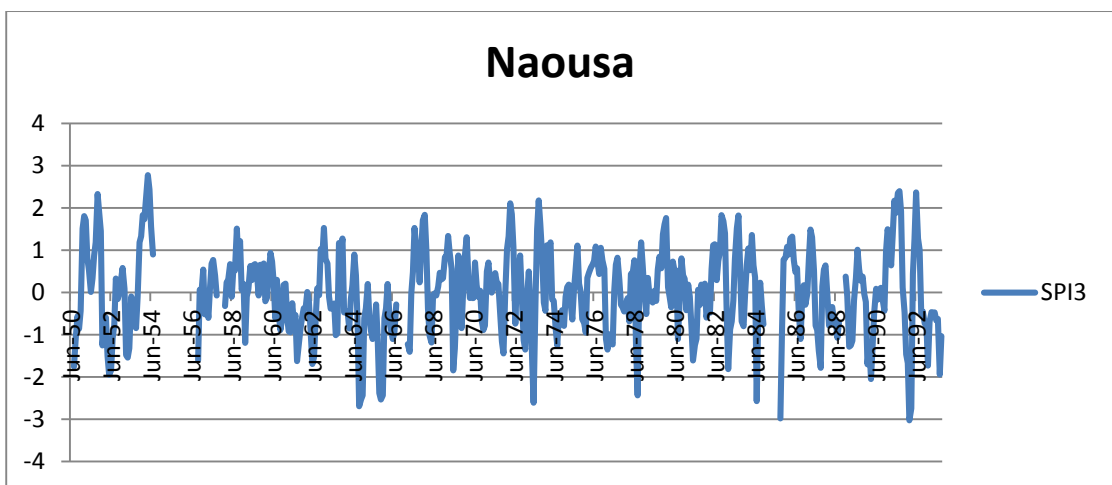
Εικόνα 2.99 Sρι 12 στον σταθμό Λιτόχωρο



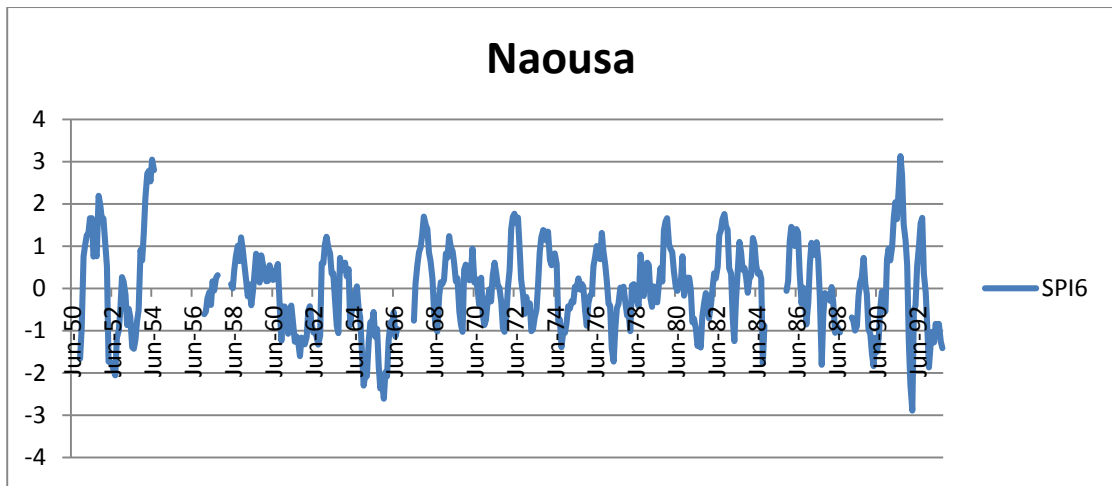
Εικόνα 2.100 Spi 24 στον σταθμό Λιτόχωρο



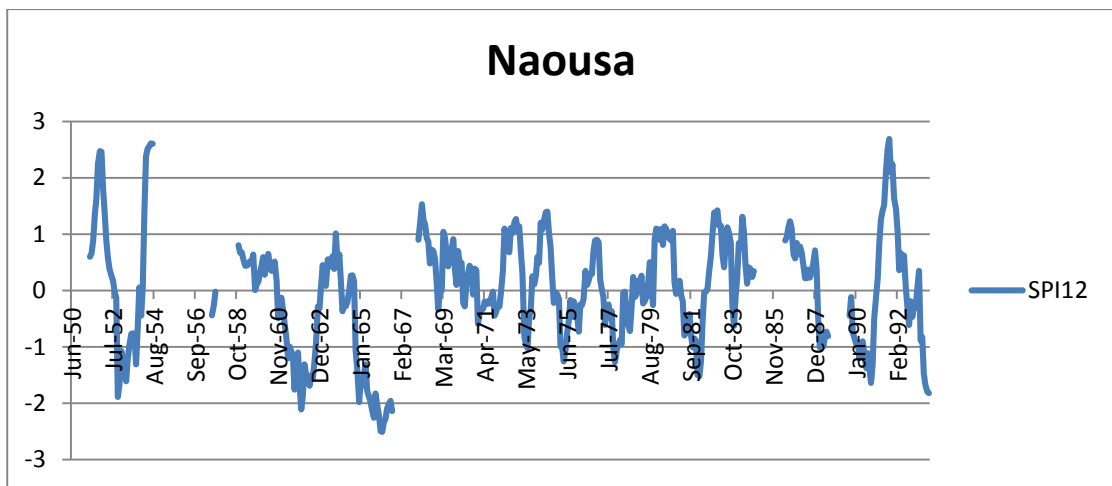
Εικόνα 2.101 Spi 1 στον σταθμό Νάουσα



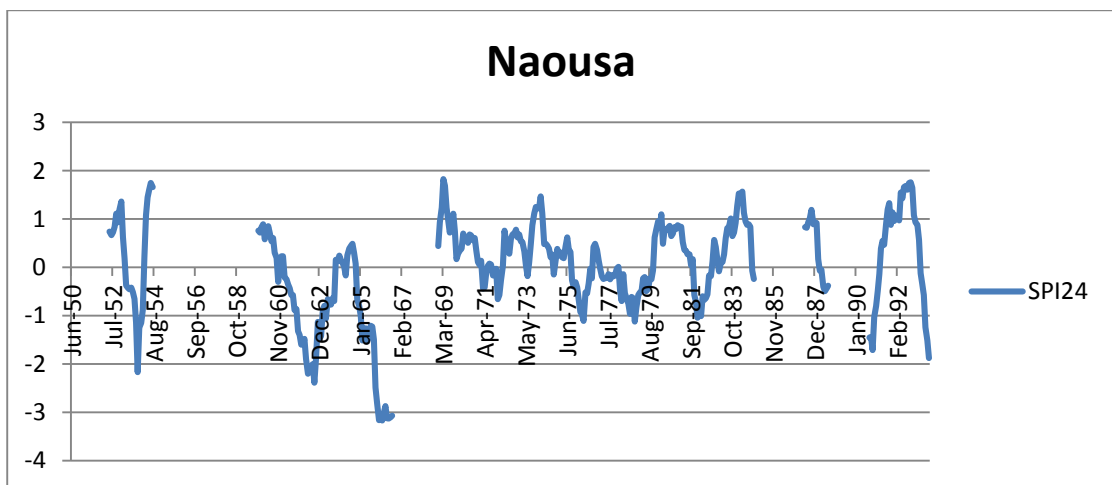
Εικόνα 2.102 Spi 3 στον σταθμό Νάουσα



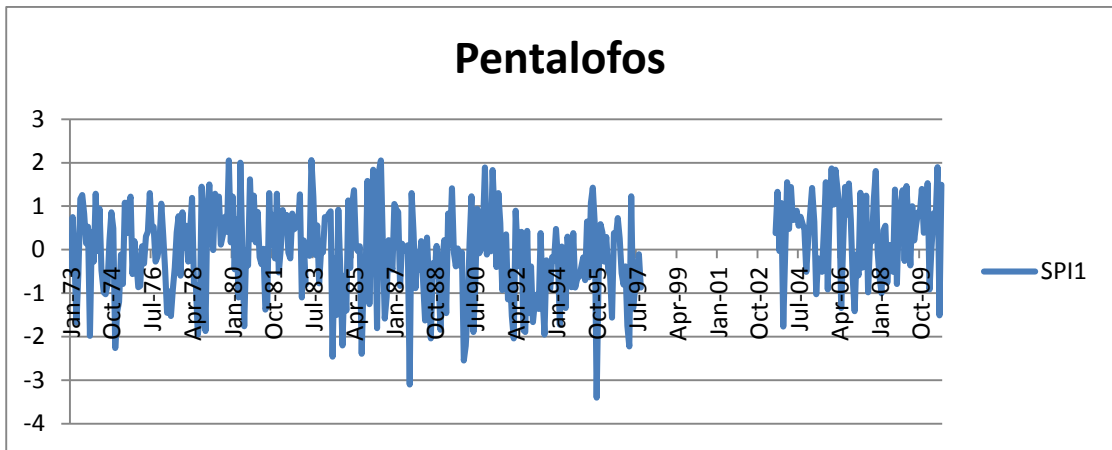
Εικόνα 2.103 Spi 6 στον σταθμό Νάουσα



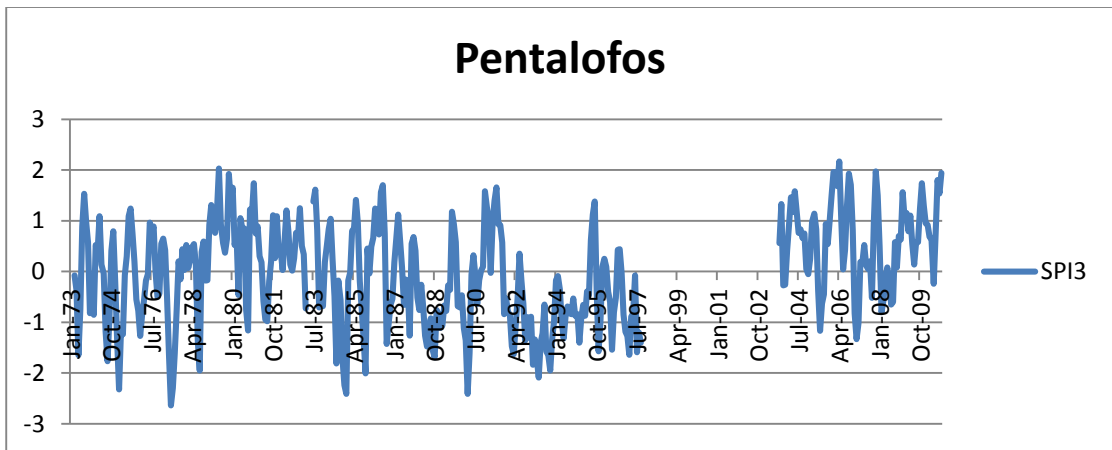
Εικόνα 2.104 Spi 12 στον σταθμό Νάουσα



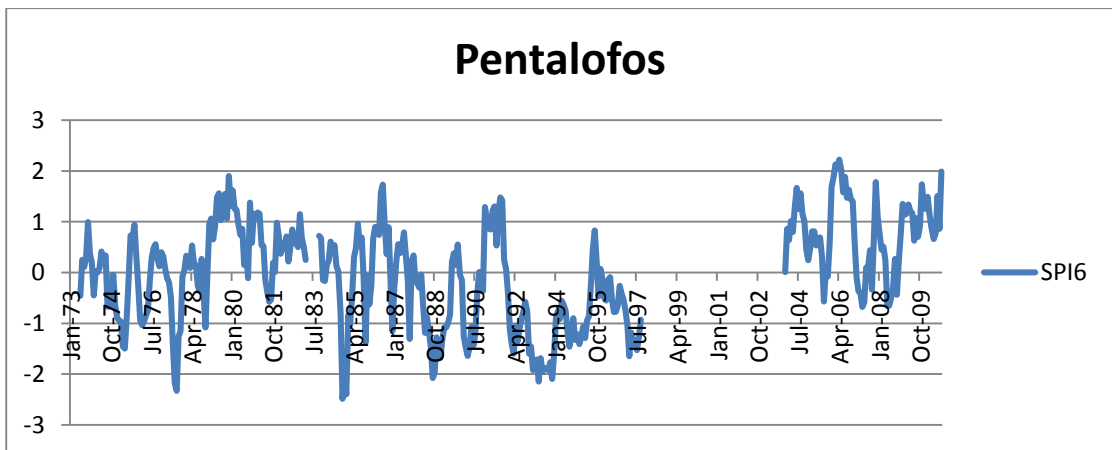
Εικόνα 2.105 Spi 24 στον σταθμό Νάουσα



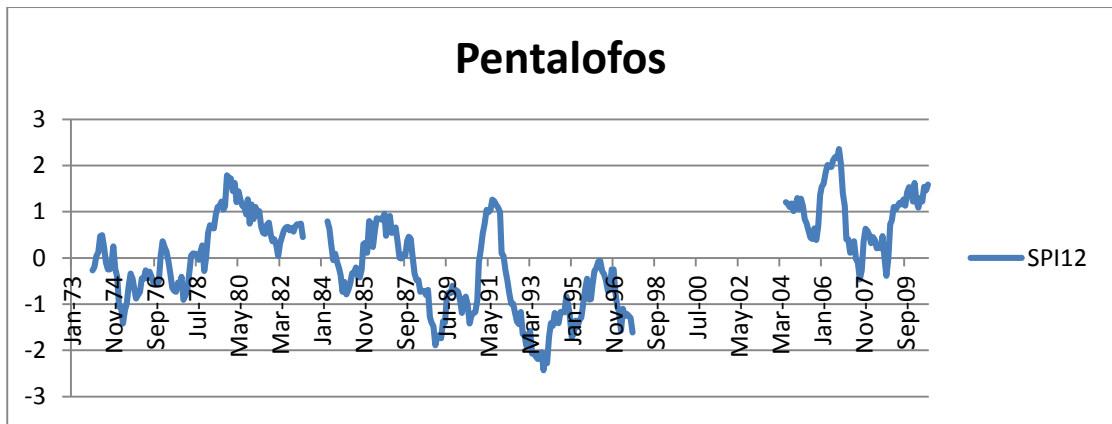
Εικόνα 2.106 Spi 1 στον σταθμό Πεντάλοφος



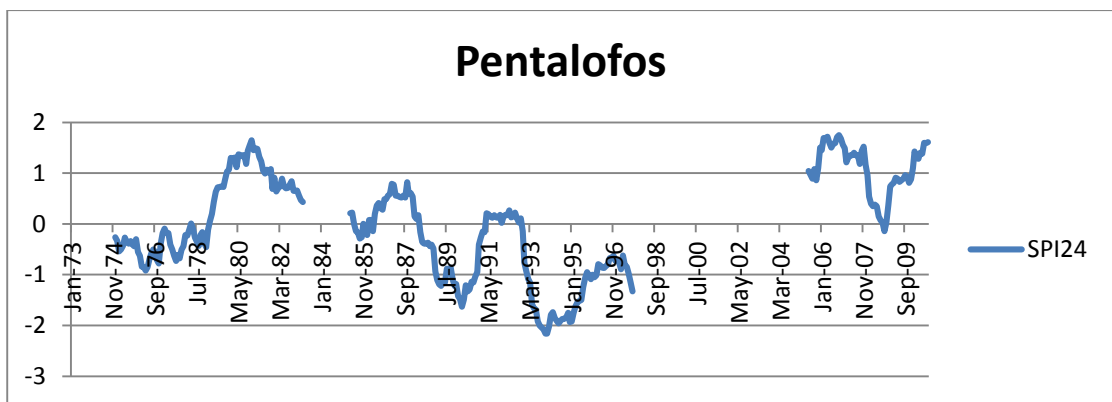
Εικόνα 2.107 Spi 3 στον σταθμό Πεντάλοφος



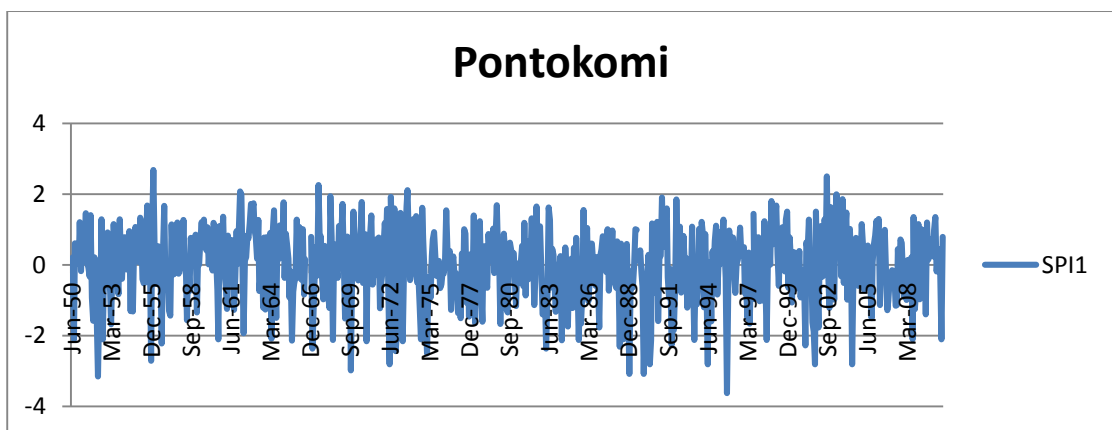
Εικόνα 2.108 Spi 6 στον σταθμό Πεντάλοφος



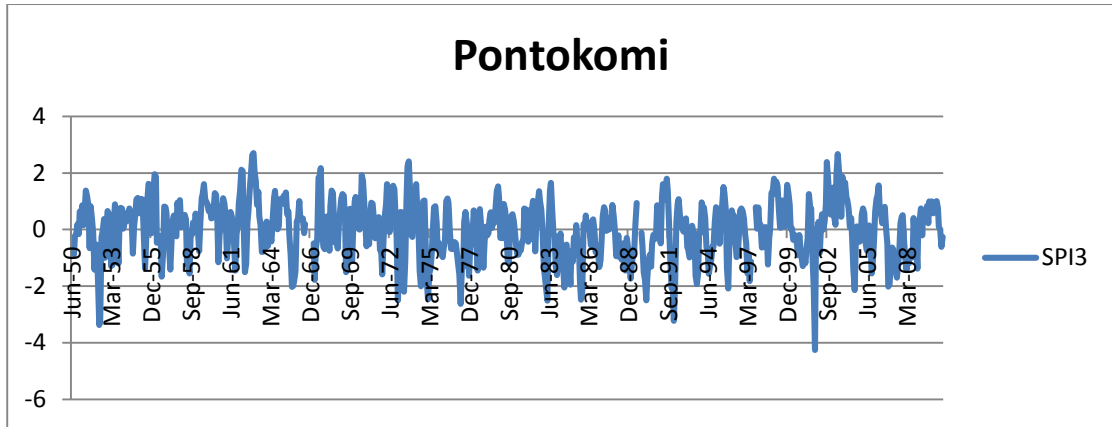
Εικόνα 2.109 Sρι 12 στον σταθμό Πεντάλοφος



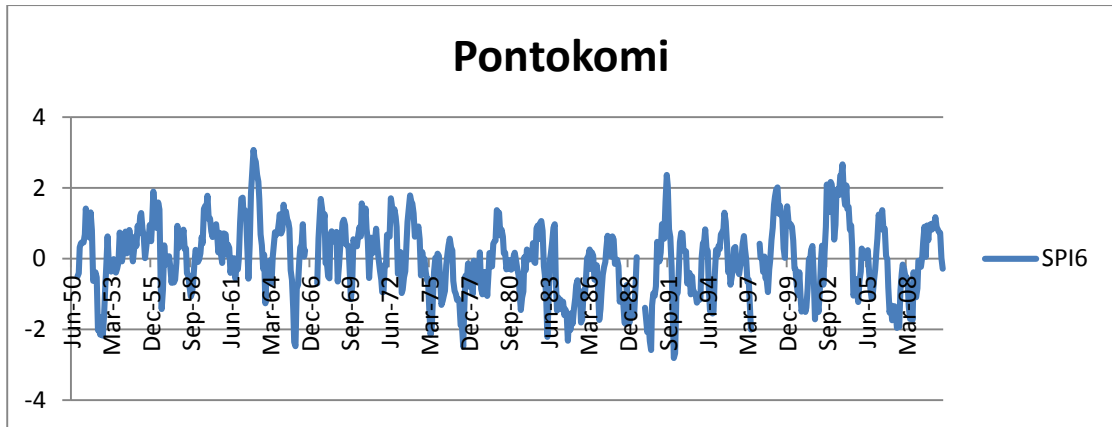
Εικόνα 2.110 Sρι 24 στον σταθμό Πεντάλοφος



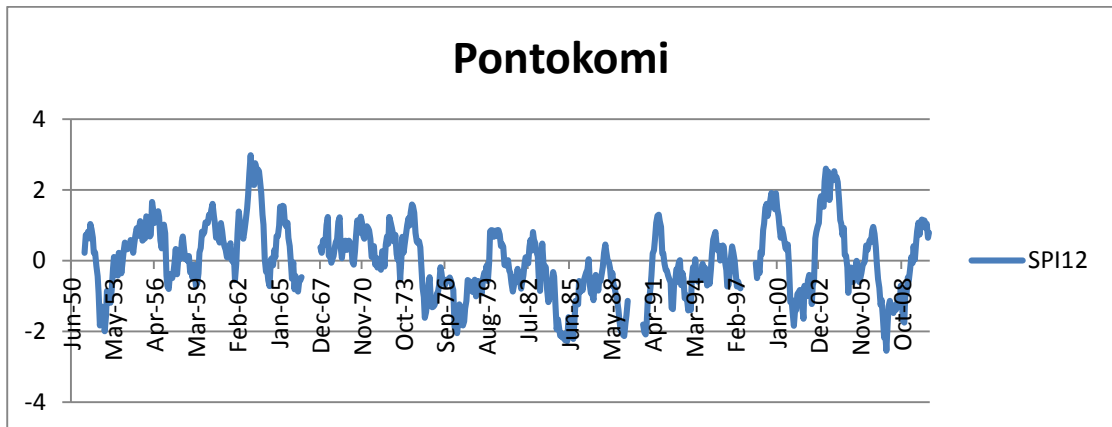
Εικόνα 2.111 Sρι 1 στον σταθμό Ποντοκώμη



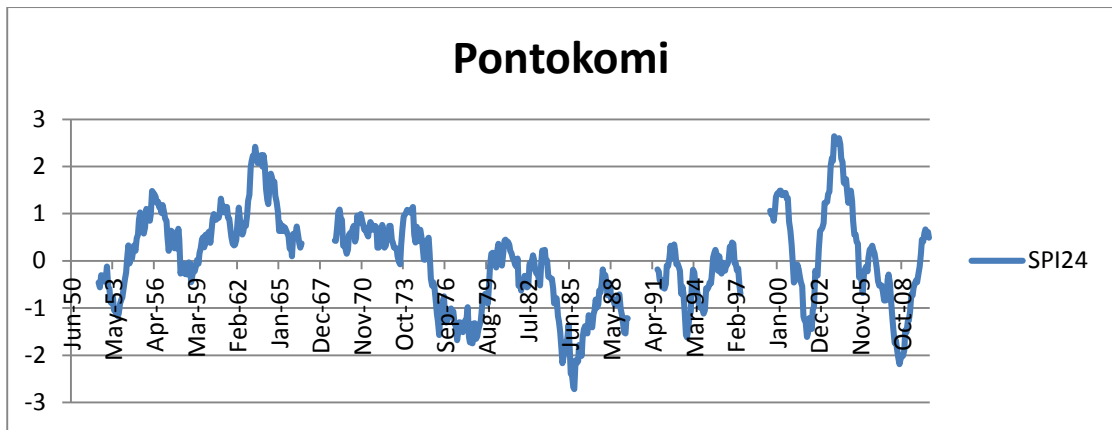
Εικόνα 2.112 Σρι 3 στον σταθμό Ποντοκώμη



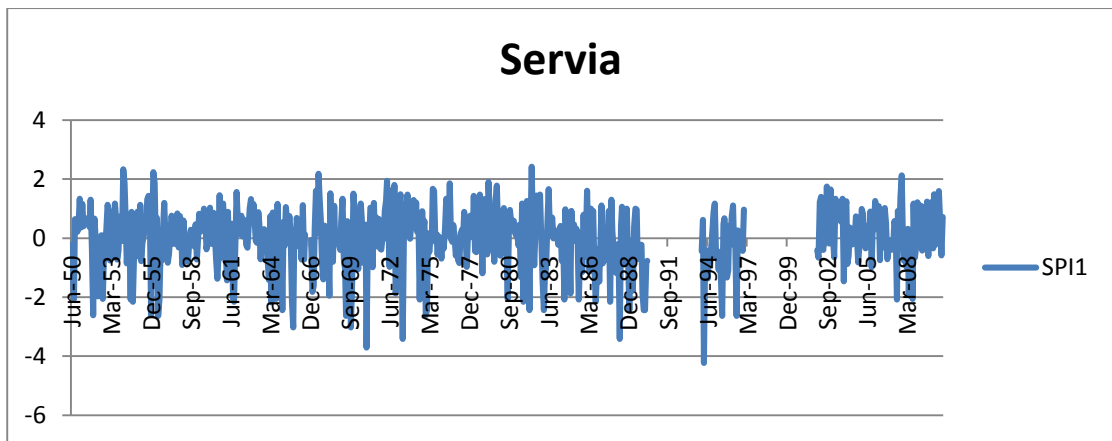
Εικόνα 2.113 Σρι 6 στον σταθμό Ποντοκώμη



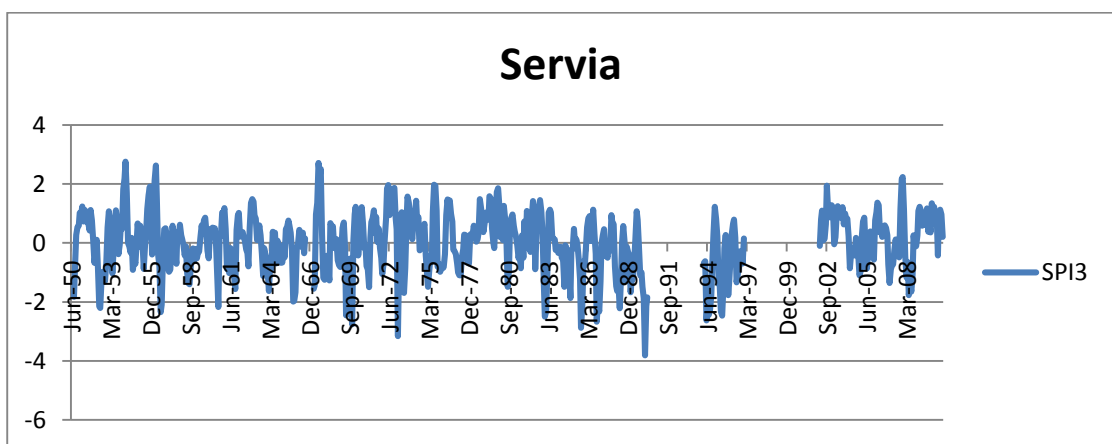
Εικόνα 2.114 Σρι 12 στον σταθμό Ποντοκώμη



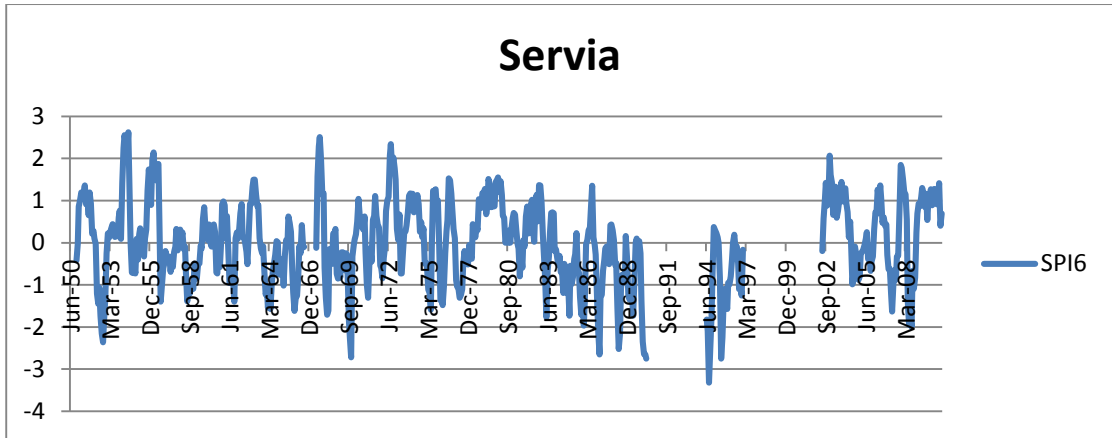
Εικόνα 2.115 Spi 24 στον σταθμό Ποντοκώμη



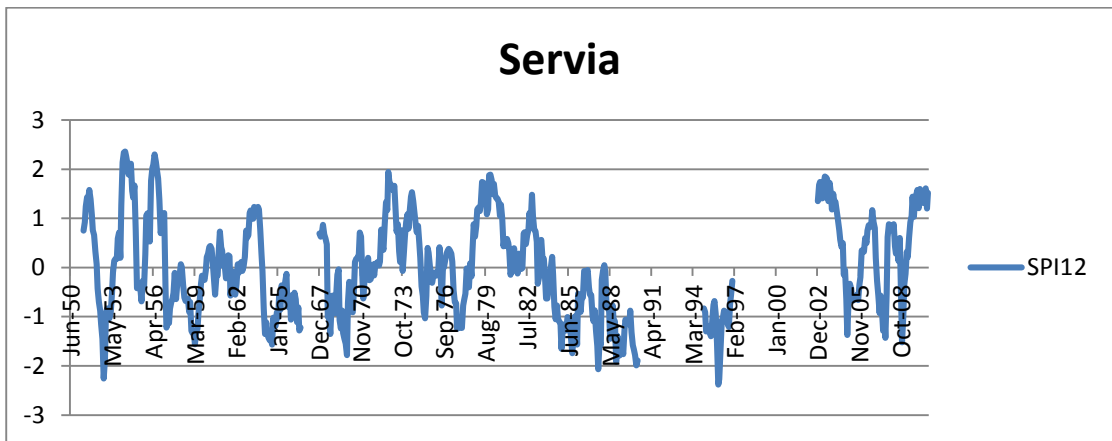
Εικόνα 2.116 Spi 1 στον σταθμό Σερβια



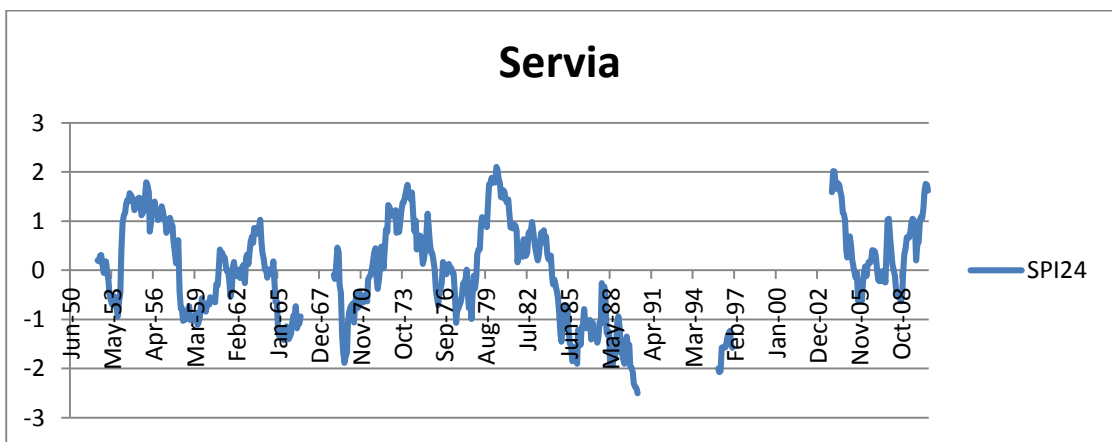
Εικόνα 2.117 Spi 3 στον σταθμό Σερβια



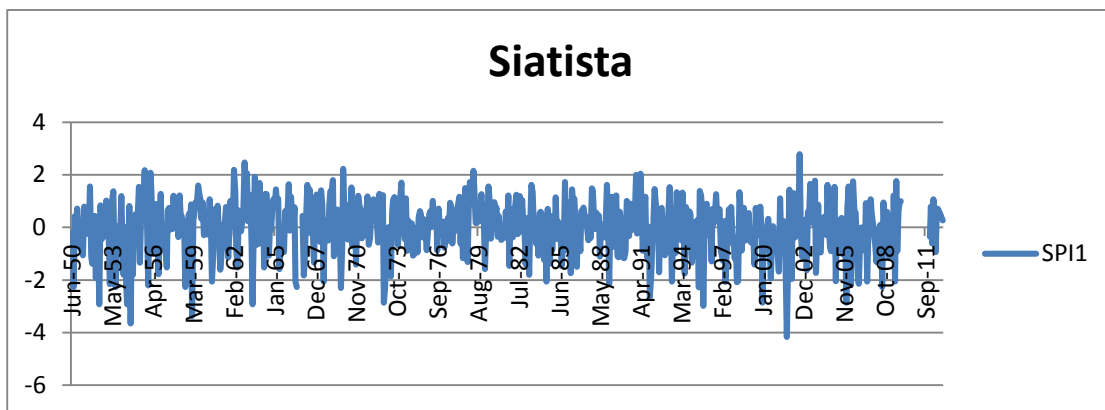
Εικόνα 2.118 Σρι 6 στον σταθμό Σερβια



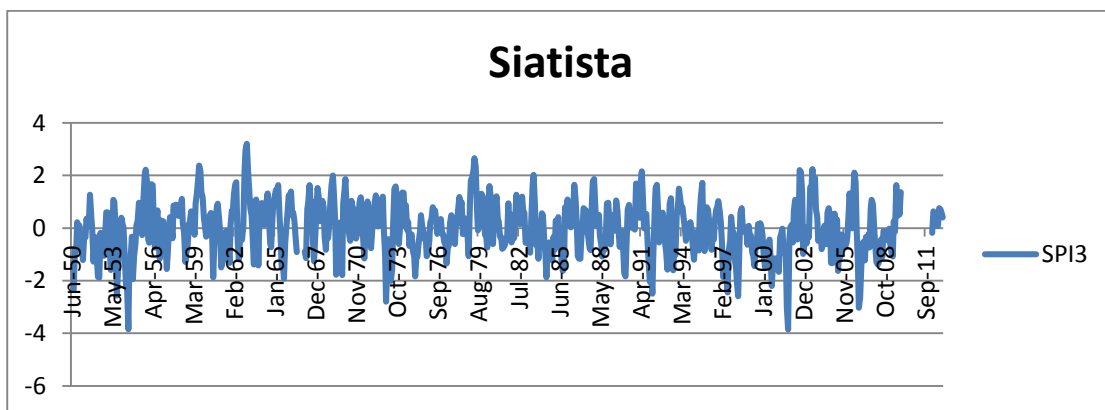
Εικόνα 2.119 Σρι 12 στον σταθμό Σερβια



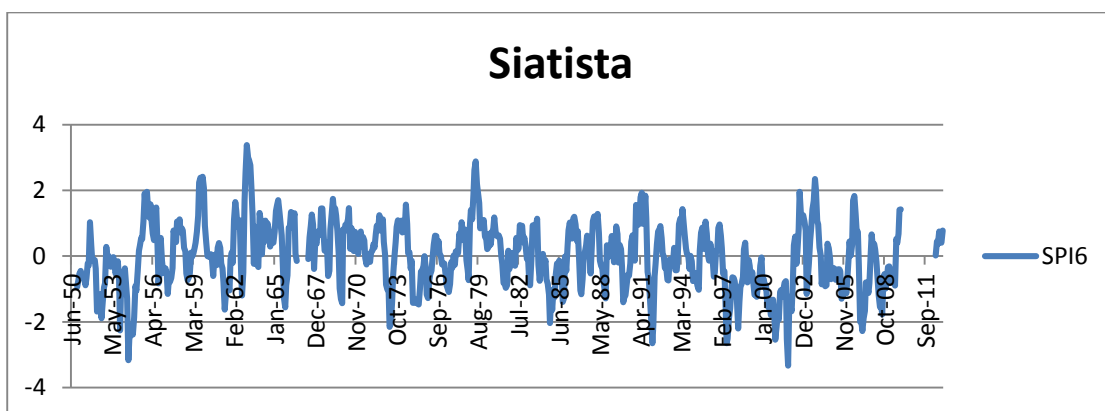
Εικόνα 2.120 Σρι 24 στον σταθμό Σερβια



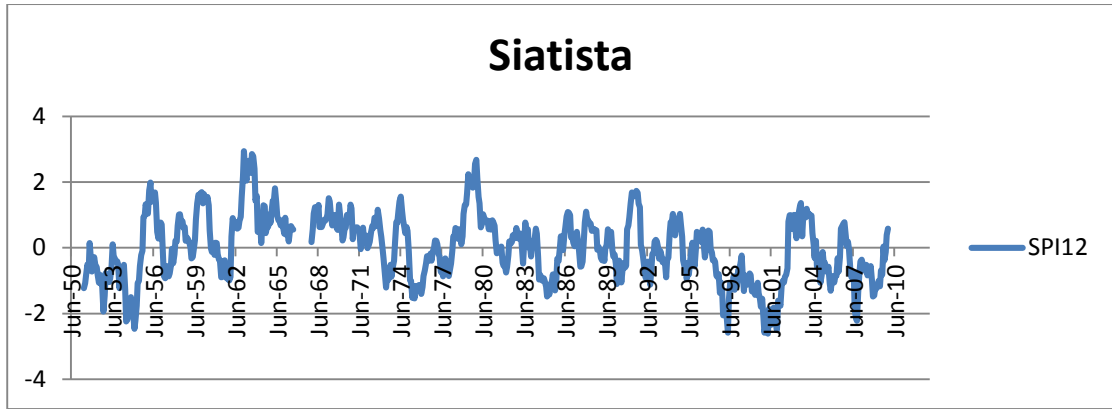
Εικόνα 2.121 Spi 1 στον σταθμό Σιάτιστα



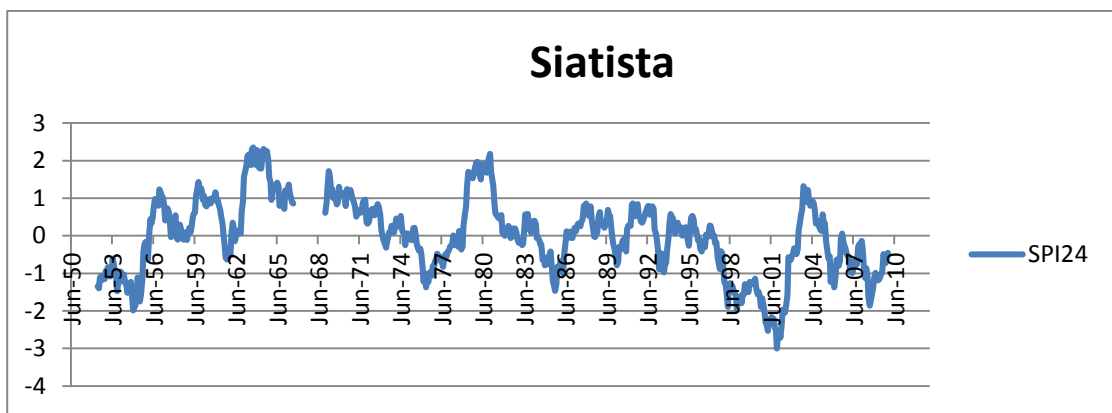
Εικόνα 2.122 Spi 3 στον σταθμό Σιάτιστα



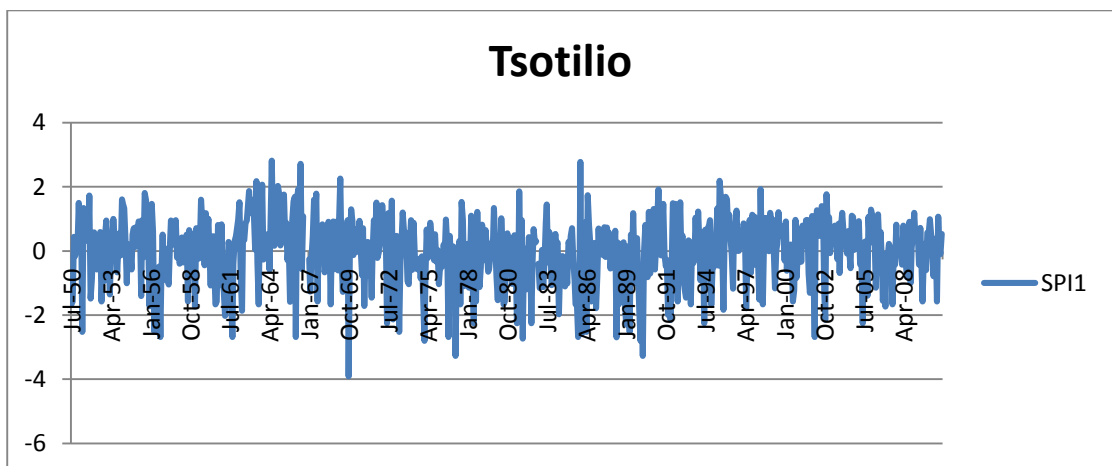
Εικόνα 2.123 Spi 6 στον σταθμό Σιάτιστα



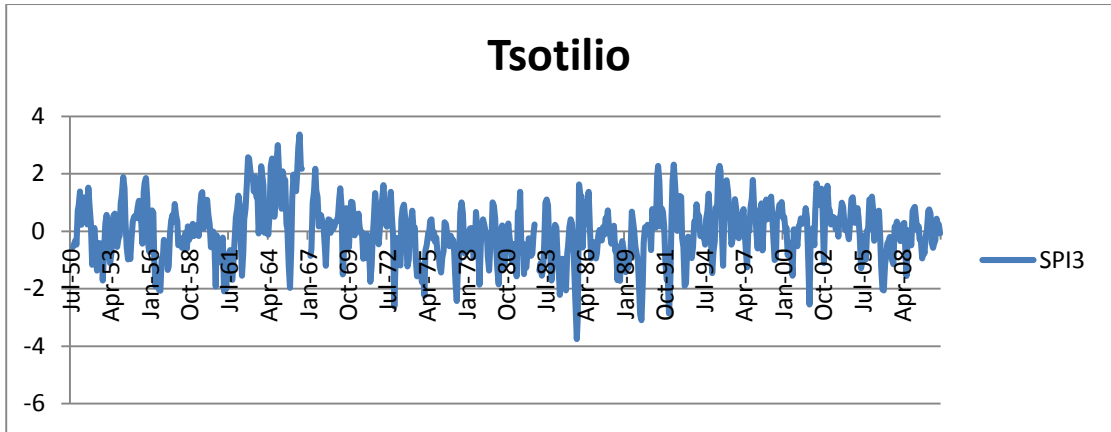
Εικόνα 2.124 Spi 12 στον σταθμό Σιάτιστα



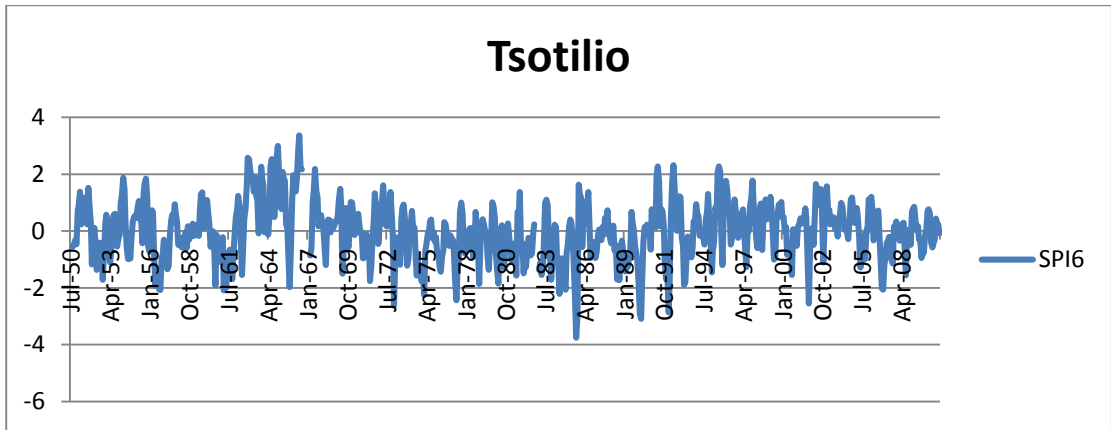
Εικόνα 2.125 Spi 24 στον σταθμό Σιάτιστα



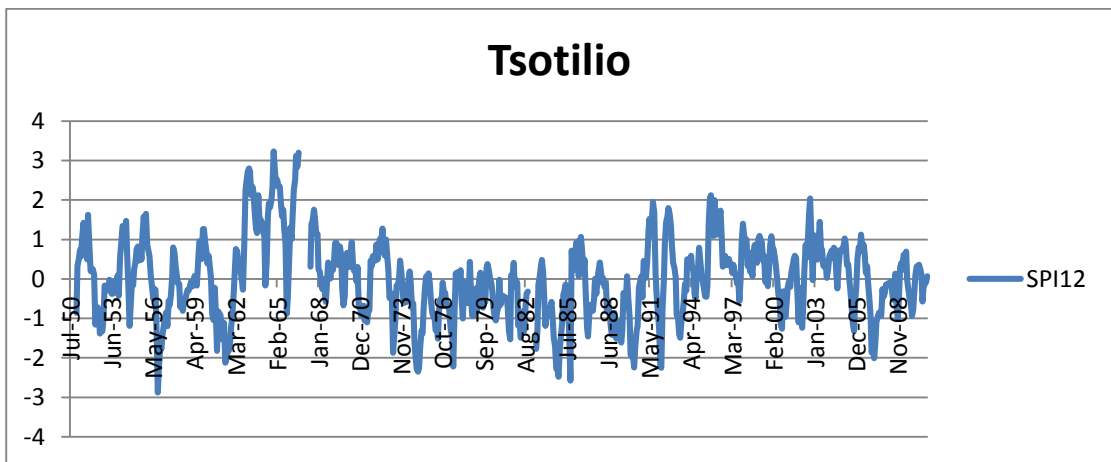
Εικόνα 2.126 Spi 1 στον σταθμό Τσοτύλιο



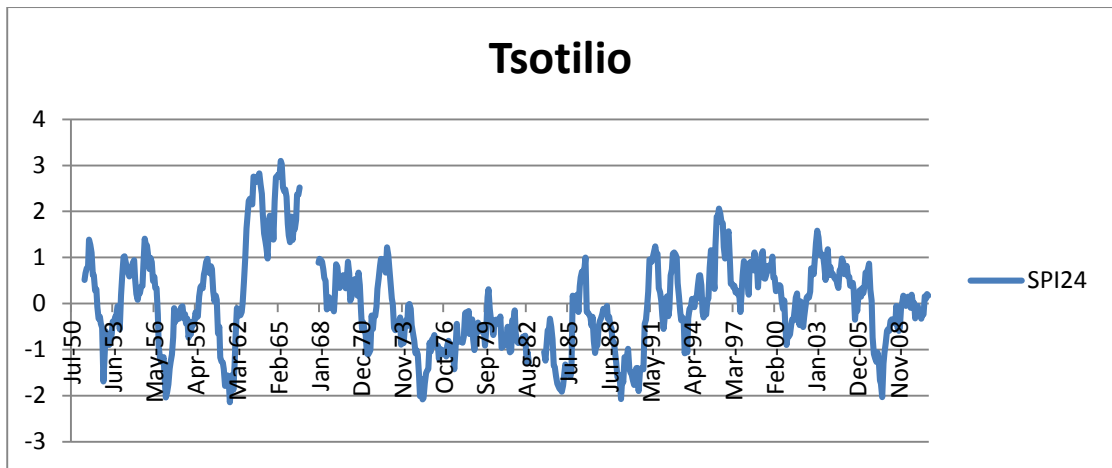
Εικόνα 2.127 Spi 3 1 στον σταθμό Τσοτύλιο



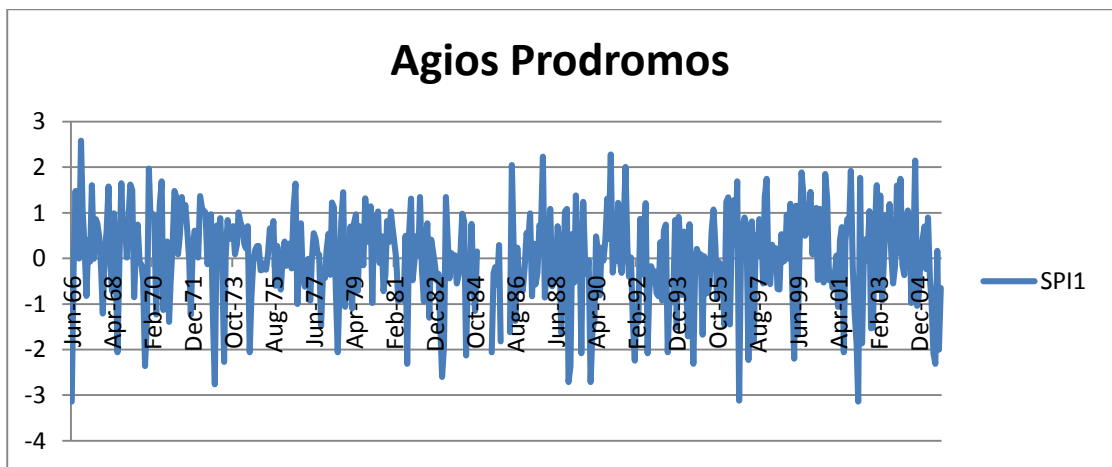
Εικόνα 2.128 Spi 6 1 στον σταθμό Τσοτύλιο



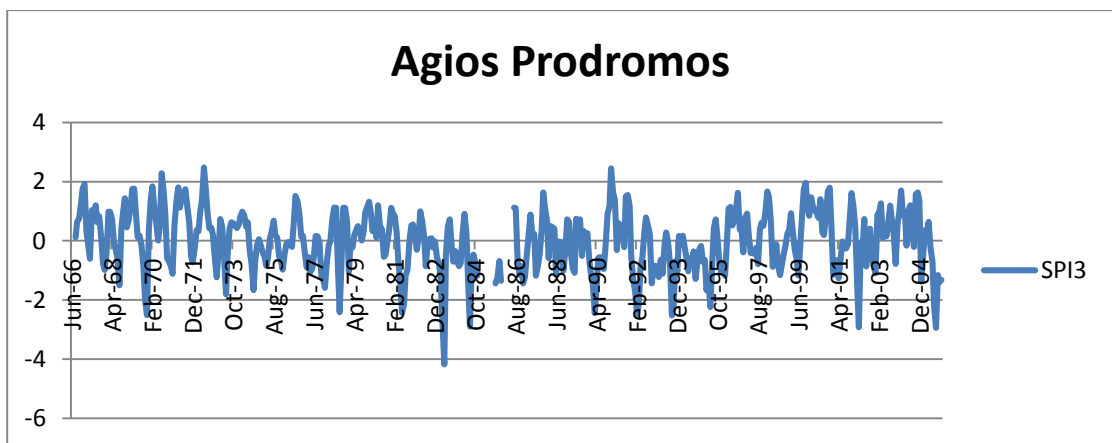
Εικόνα 2.129 Spi 12 στον σταθμό Τσοτύλιο



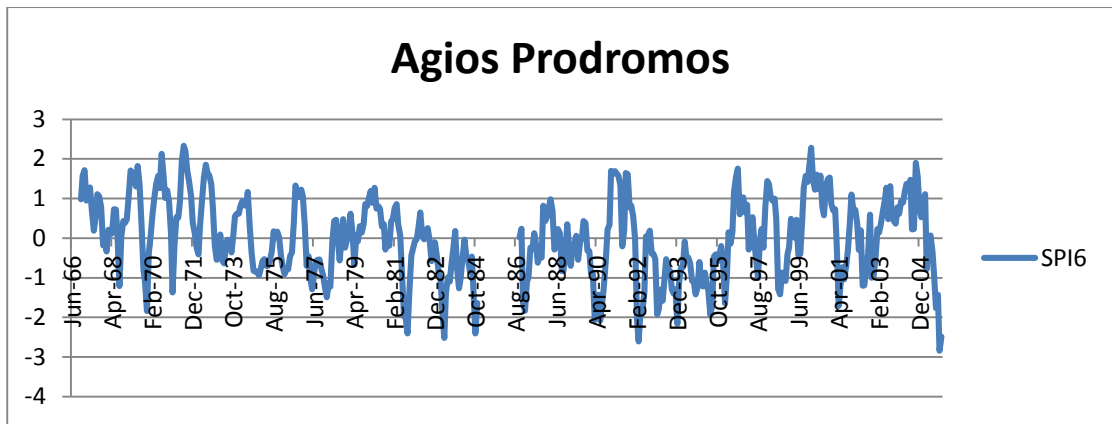
Εικόνα 2.130 Spi 24 στον σταθμό Τσοτύλιο



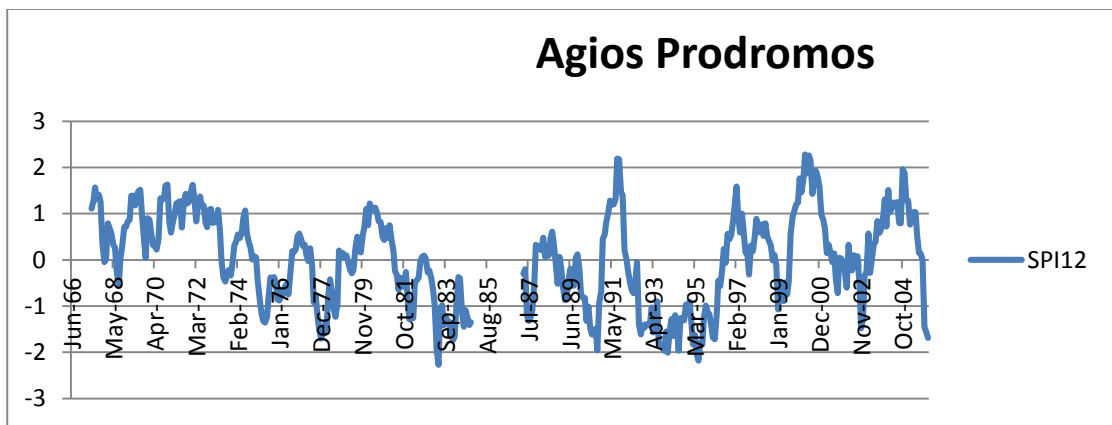
Εικόνα 2.131 Spi 1 στον σταθμό Αγ.Πρόδρομος



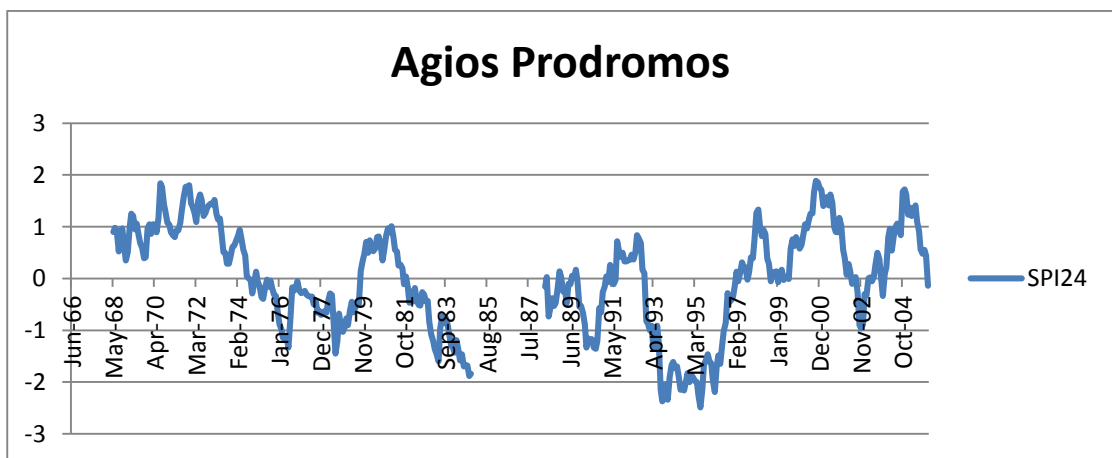
Εικόνα 2.132 Spi 3 στον σταθμό Αγ.Πρόδρομος



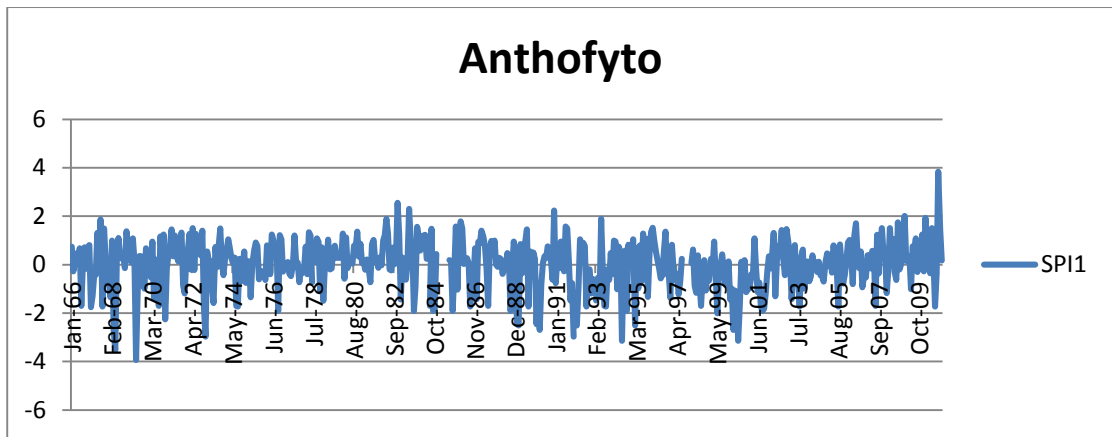
Εικόνα 2.133 Spi 6 στον σταθμό Αγ.Πρόδρομος



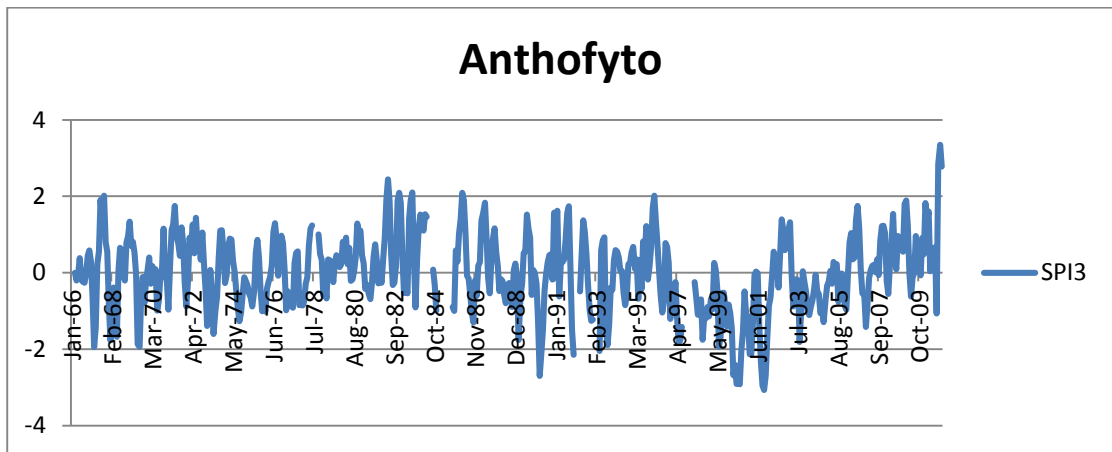
Εικόνα 2.134 Spi 12 στον σταθμό Αγ.Πρόδρομος



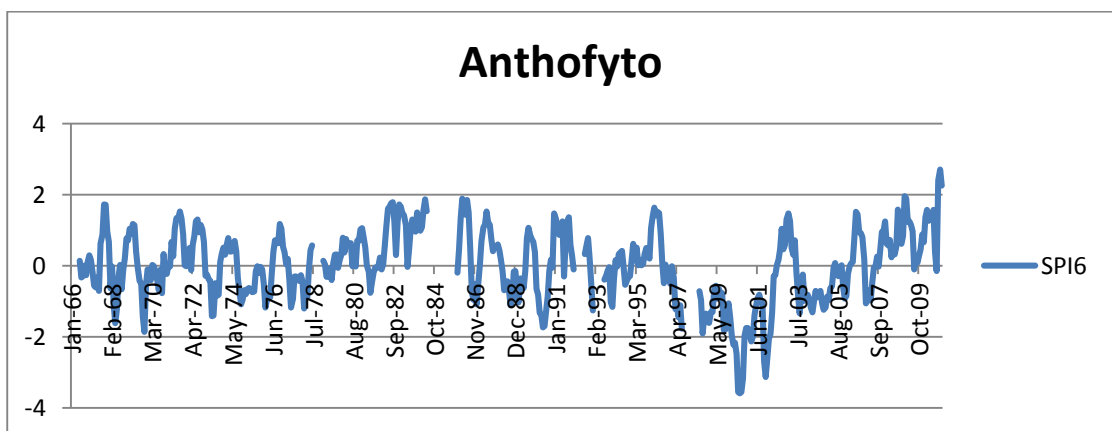
Εικόνα 2.135 Spi 24 στον σταθμό Αγ.Πρόδρομος



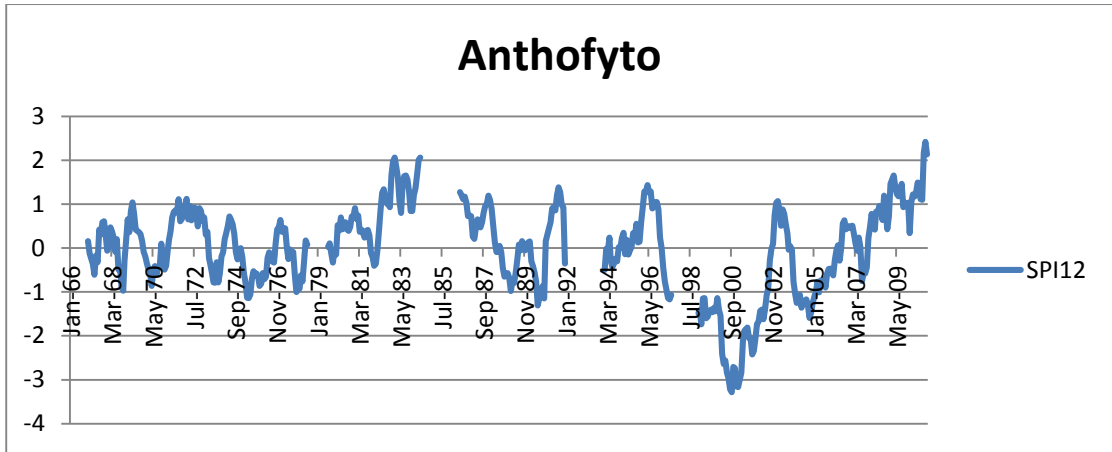
Εικόνα 2.136 Spi 1 στον σταθμό Ανθόφυτο



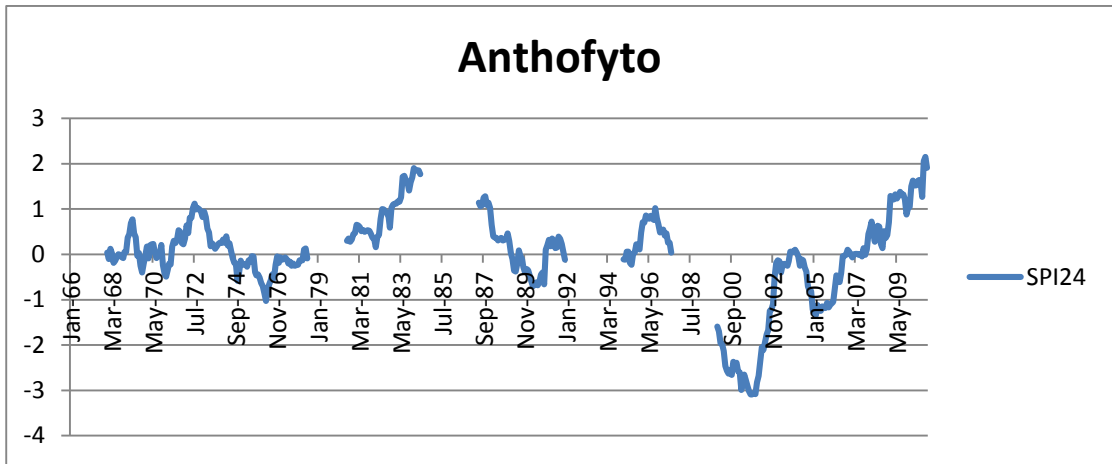
Εικόνα 2.137 Spi 3 στον σταθμό Ανθόφυτο



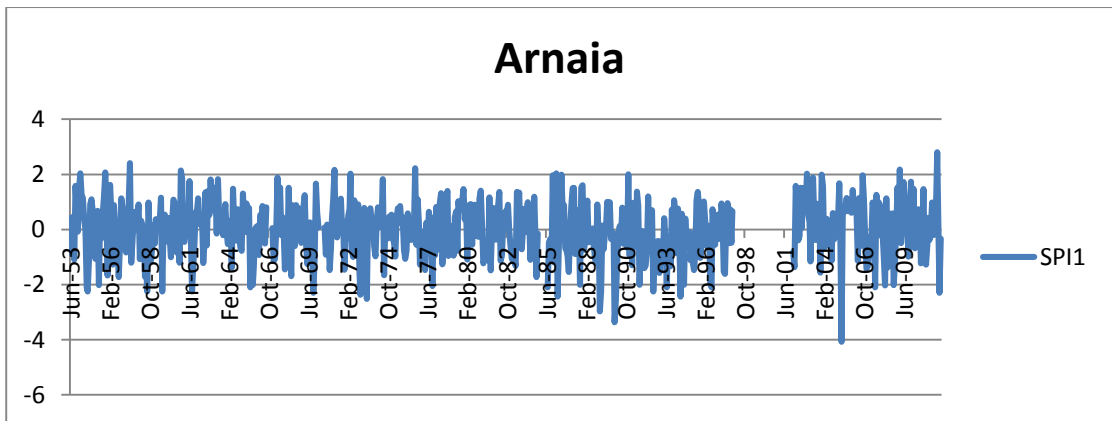
Εικόνα 2.138 Spi 6 στον σταθμό Ανθόφυτο



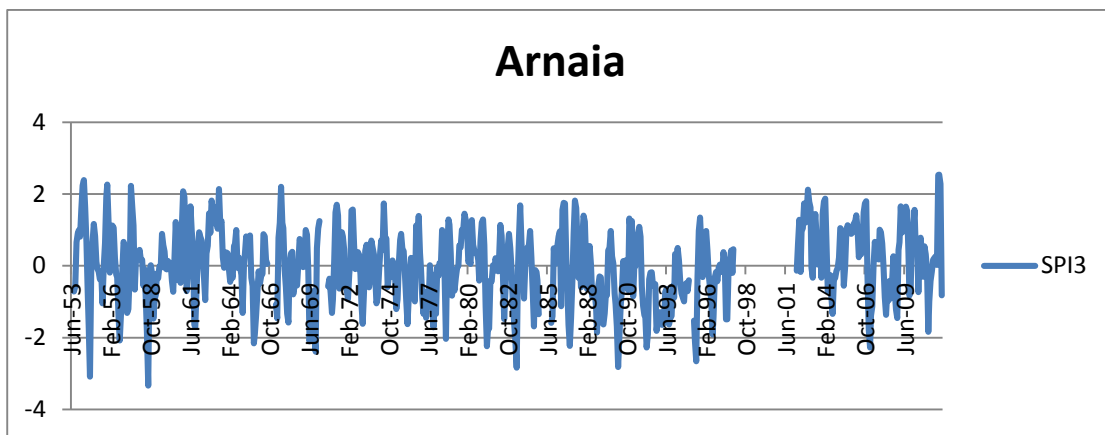
Εικόνα 2.139 Spi 12 στον σταθμό Ανθόφυτο



Εικόνα 2.140 Spi 24 στον σταθμό Ανθόφυτο

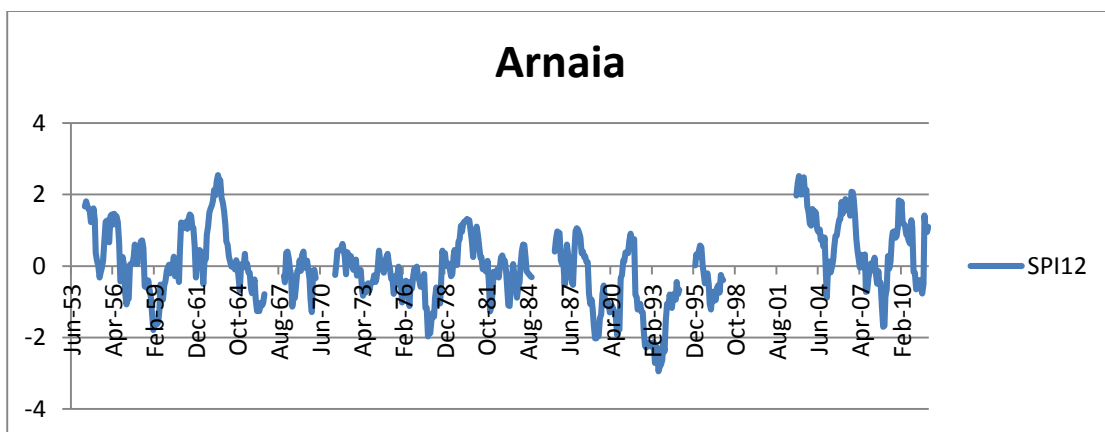


Εικόνα 2.141 Spi 1 στον σταθμό Αρναία

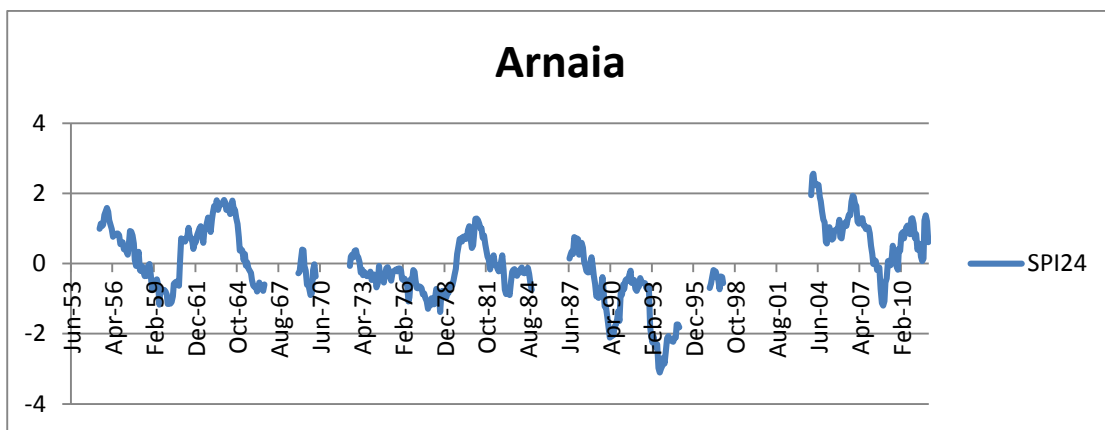


Εικόνα 2.142 Spi 3 στον σταθμό Αρναία

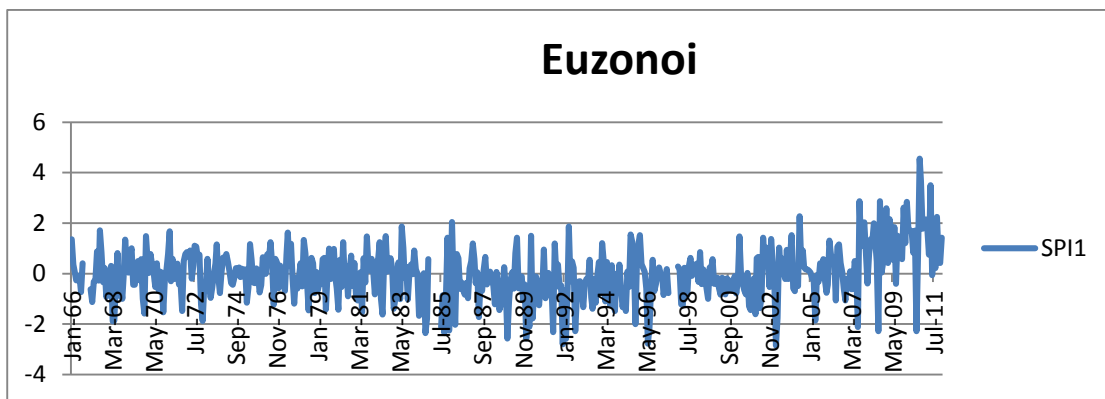
Εικόνα 2.143 Spi 6 στον σταθμό Αρναία



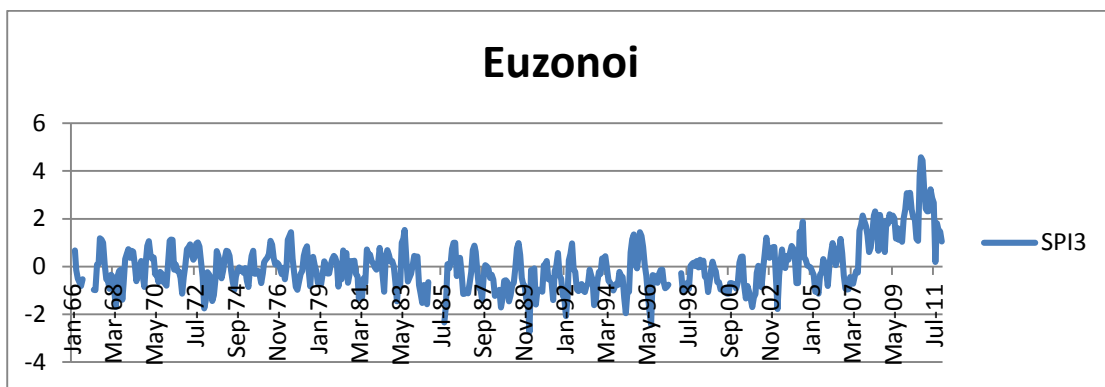
Εικόνα 2.144 Spi 12 στον σταθμό Αρναία



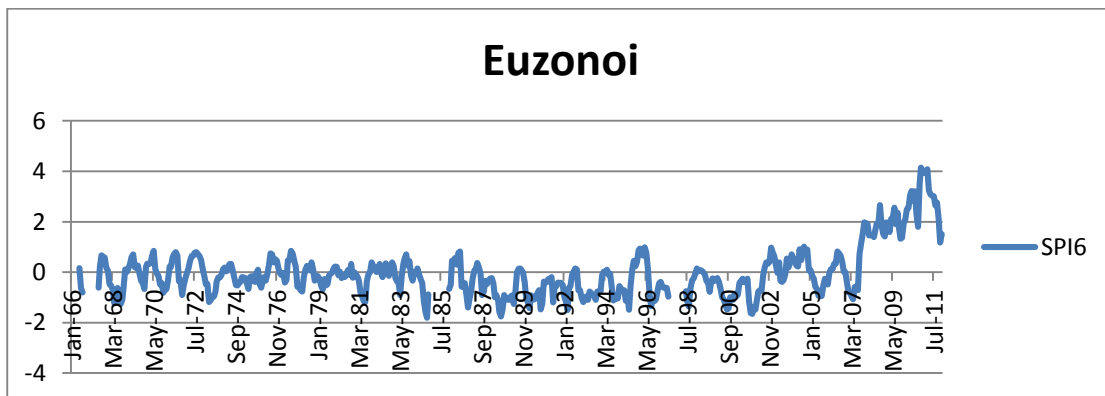
Εικόνα 2.145 Spi 24 στον σταθμό Αρναία



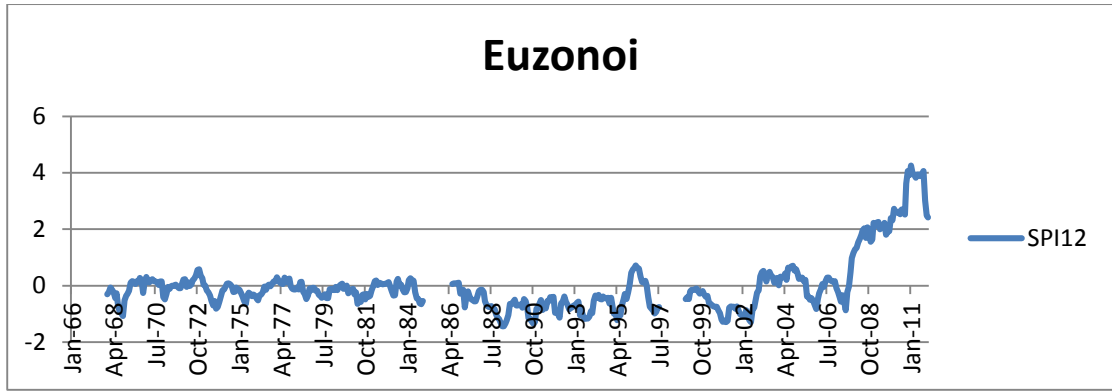
Εικόνα 2.146 Spi 1 στον σταθμό Εύζωνοι



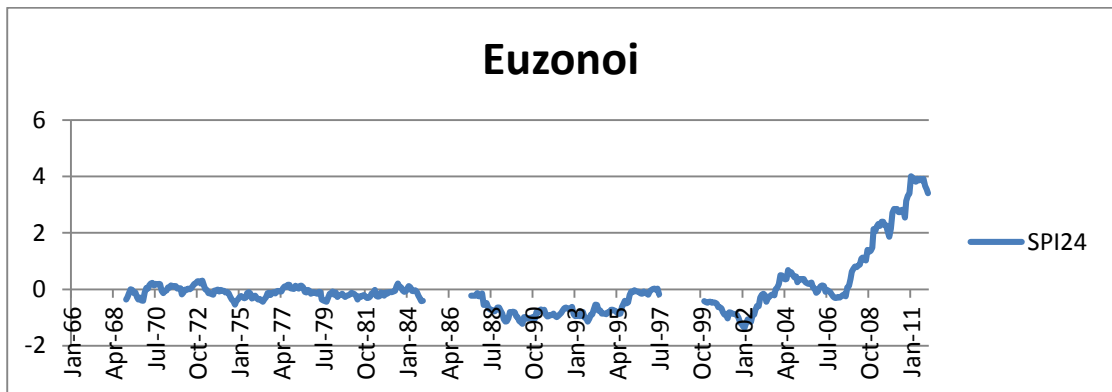
Εικόνα 2.147 Spi 3 στον σταθμό Εύζωνοι



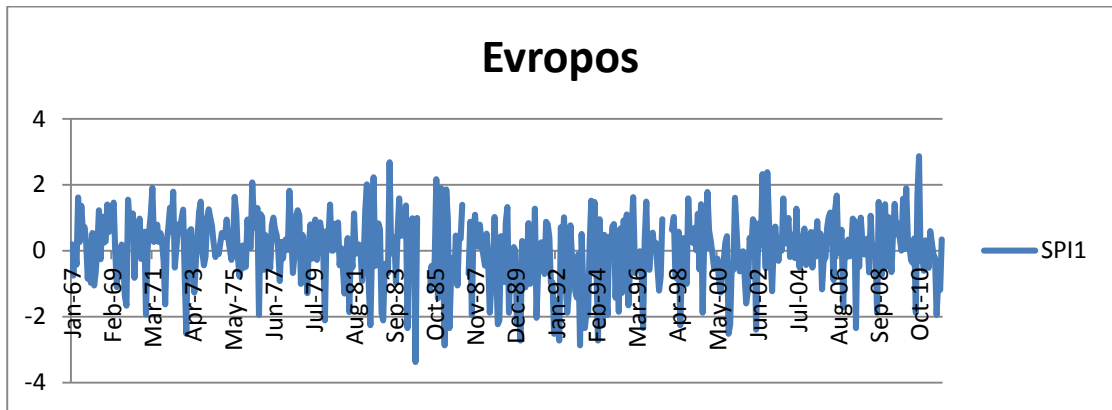
Εικόνα 2.148 Spi 6 στον σταθμό Εύζωνοι



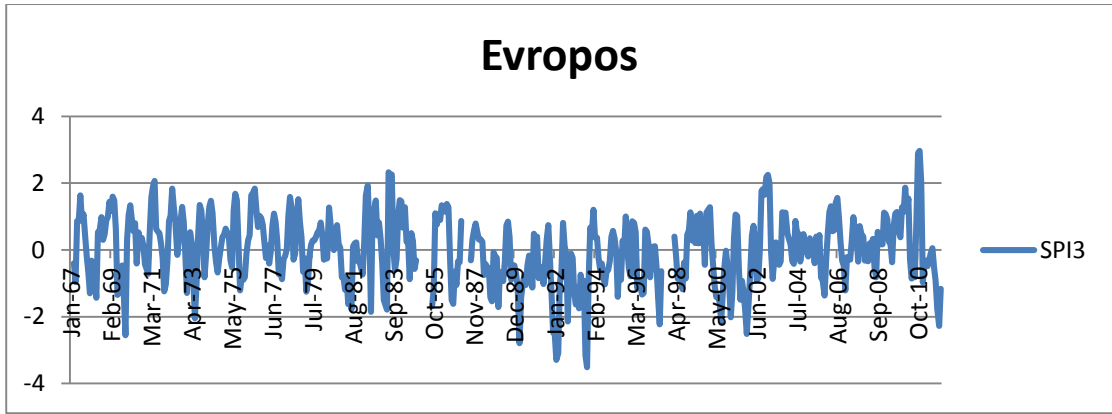
Εικόνα 2.149 Spi 12 στον σταθμό Εύζωνοι



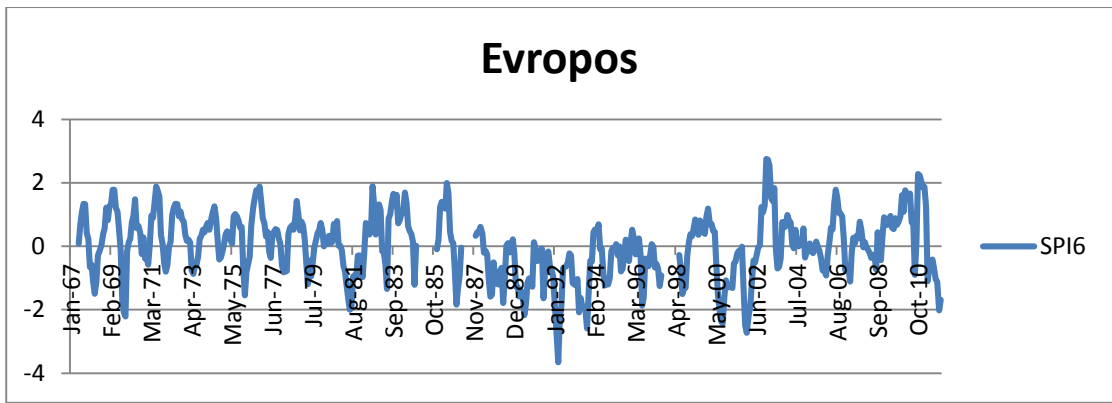
Εικόνα 2.150 Spi 24 στον σταθμό Εύζωνοι



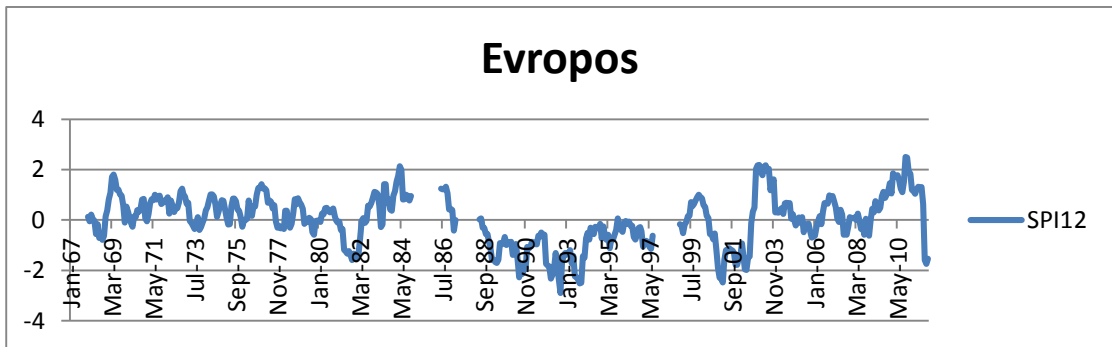
Εικόνα 2.151 Spi 1 στον σταθμό Ευρώπος



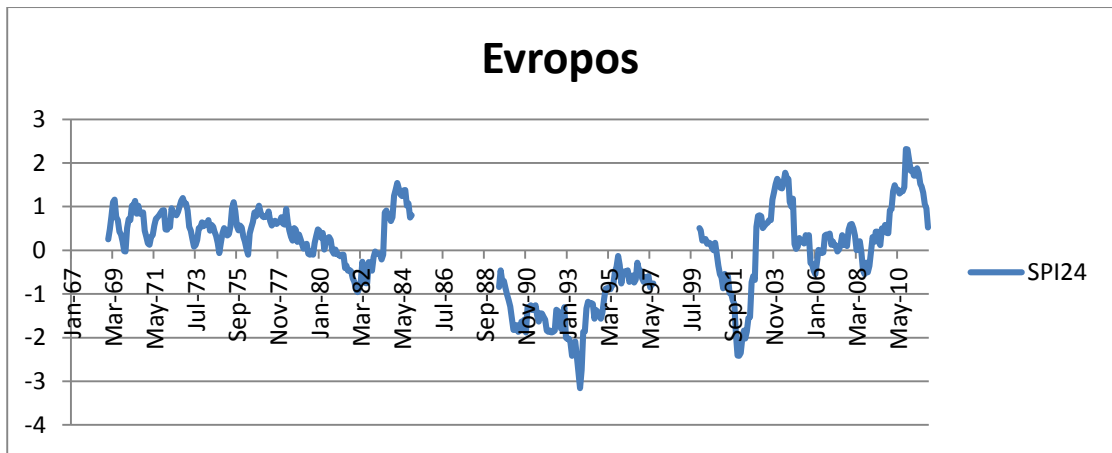
Εικόνα 2.152 Sρι 3 1 στον σταθμό Ευρωπός



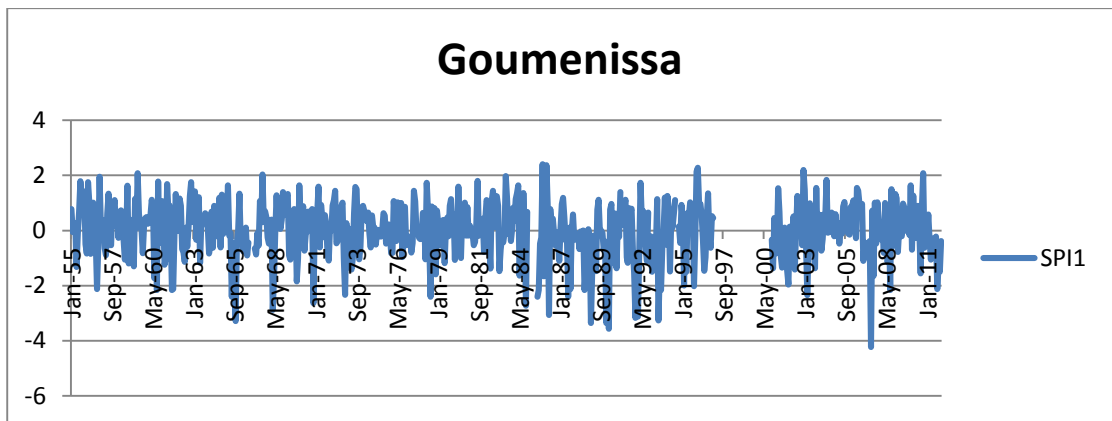
Εικόνα 2.153 Sρι 6 στον σταθμό Ευρωπός



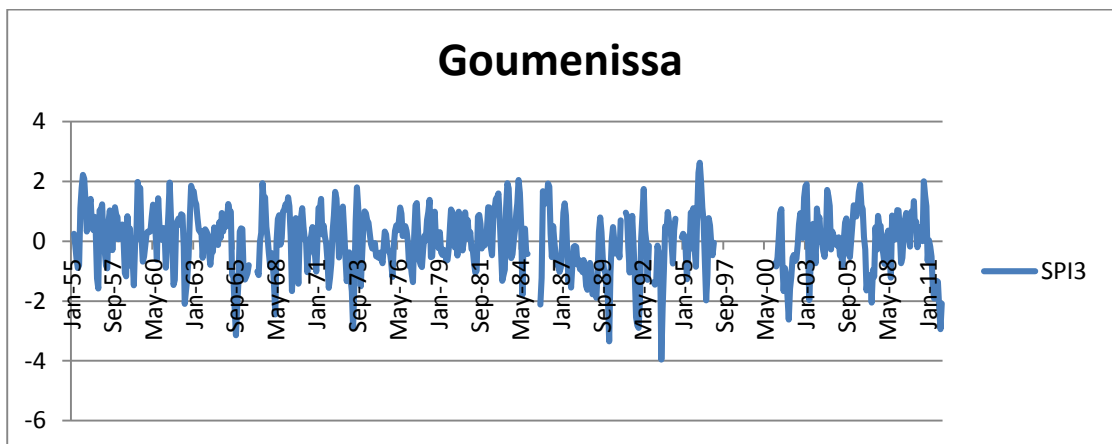
Εικόνα 2.154 Sρι 12 στον σταθμό Ευρωπός



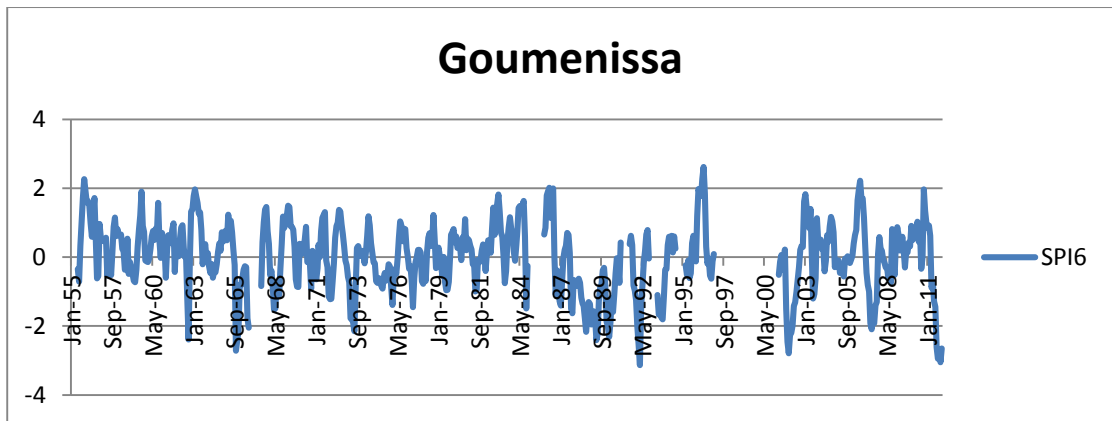
Εικόνα 2.155 Spi 24 στον σταθμό Ευρωπός



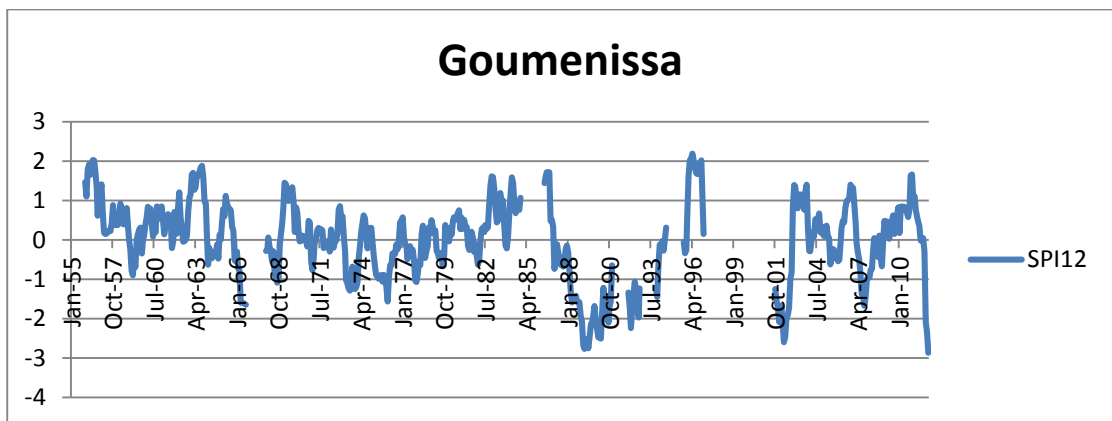
Εικόνα 2.156 Spi 1 στον σταθμό Γουμένισσα



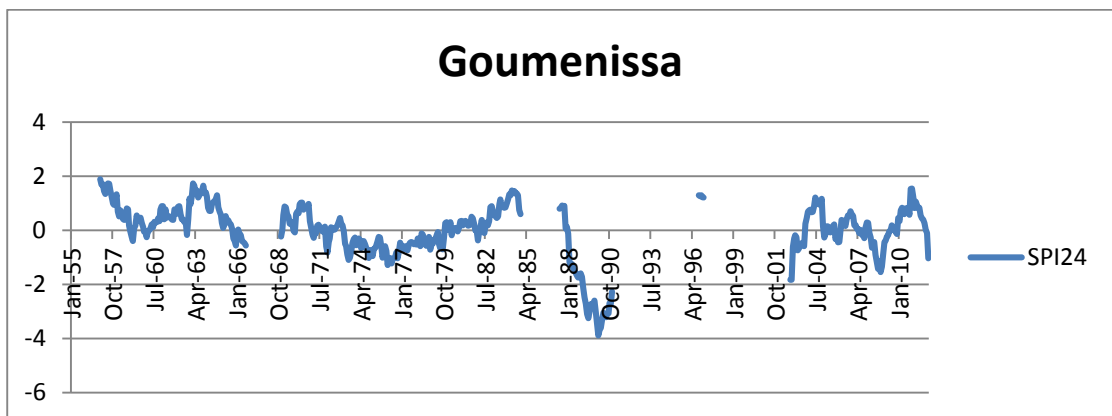
Εικόνα 2.157 Spi 3 στον σταθμό Γουμένισσα



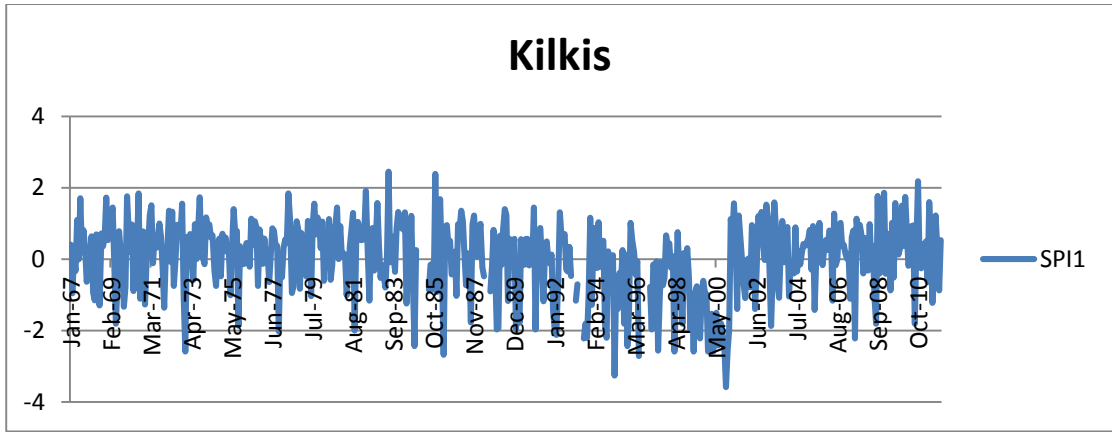
Εικόνα 2.158 Sρι 6 στον σταθμό Γουμένισσα



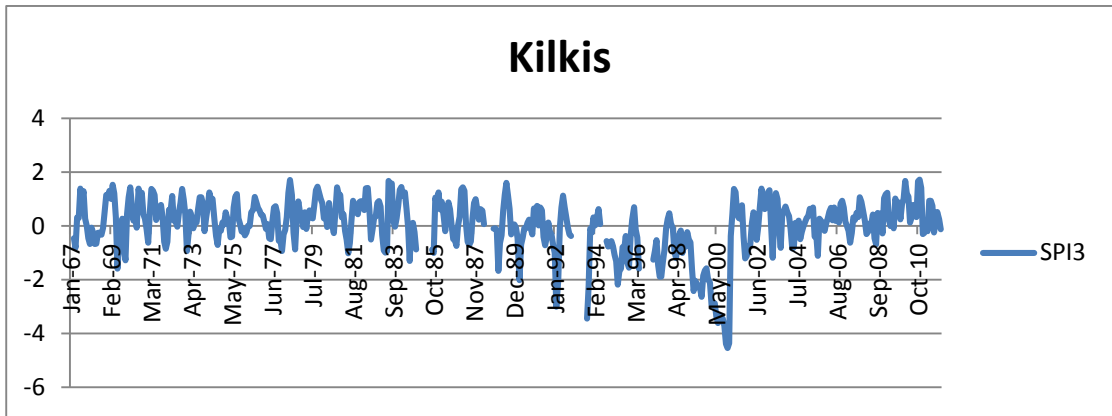
Εικόνα 2.159 Sρι12 στον σταθμό Γουμένισσα



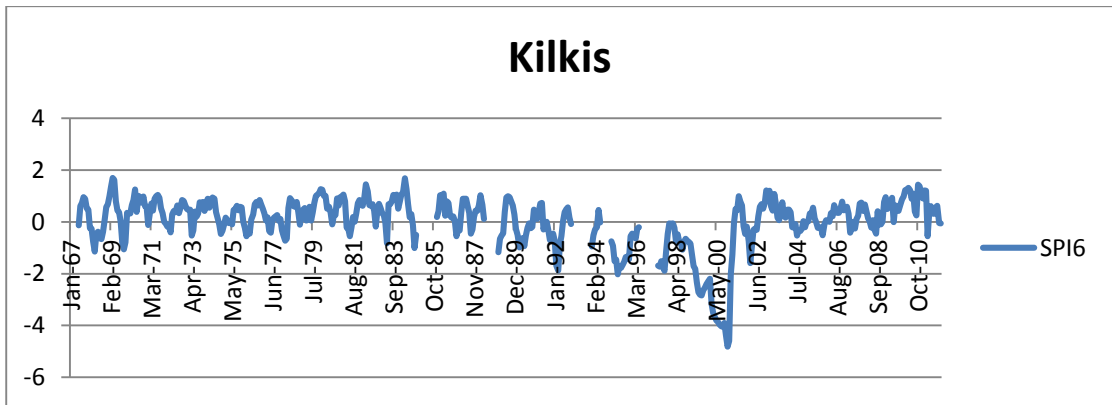
Εικόνα 2.160 Sρι 24 στον σταθμό Γουμένισσα



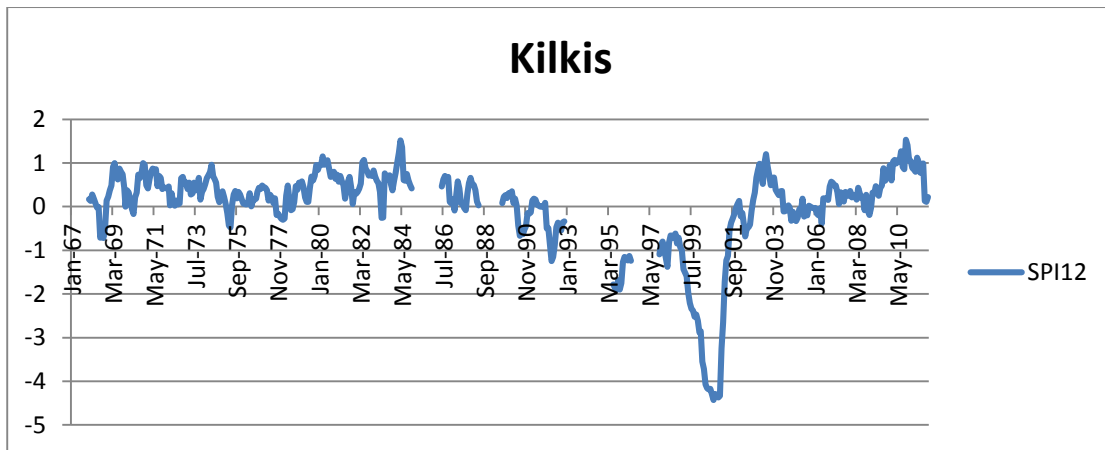
Εικόνα 2.161 Spi 1 στον σταθμό Κιλκίς



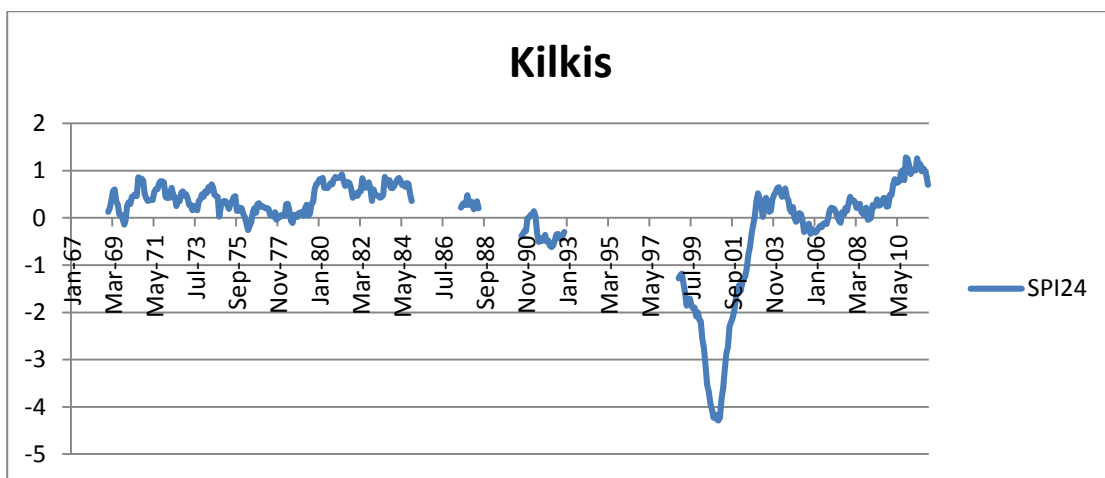
Εικόνα 2.162 Spi 3 στον σταθμό Κιλκίς



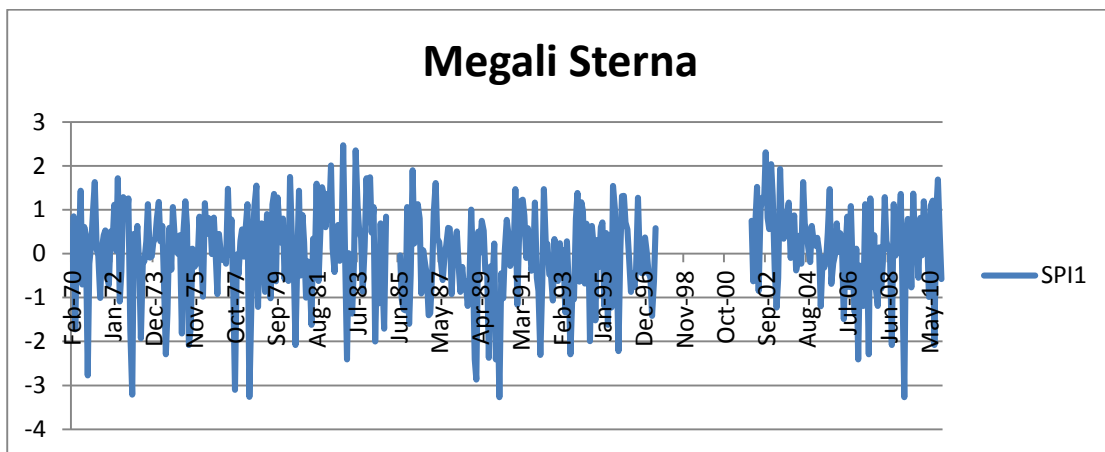
Εικόνα 2.163 Spi 6 στον σταθμό Κιλκίς



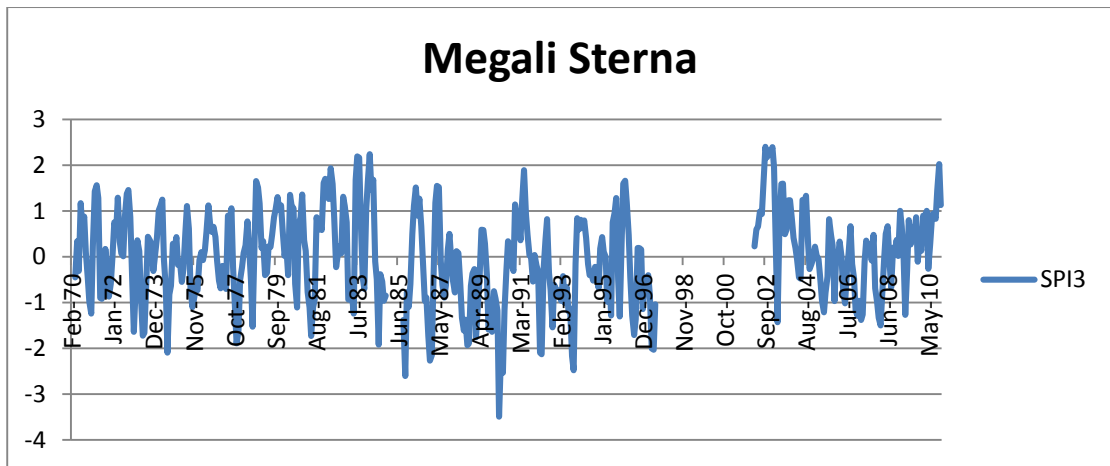
Εικόνα 2.164 Spi 12 στον σταθμό Κιλκίς



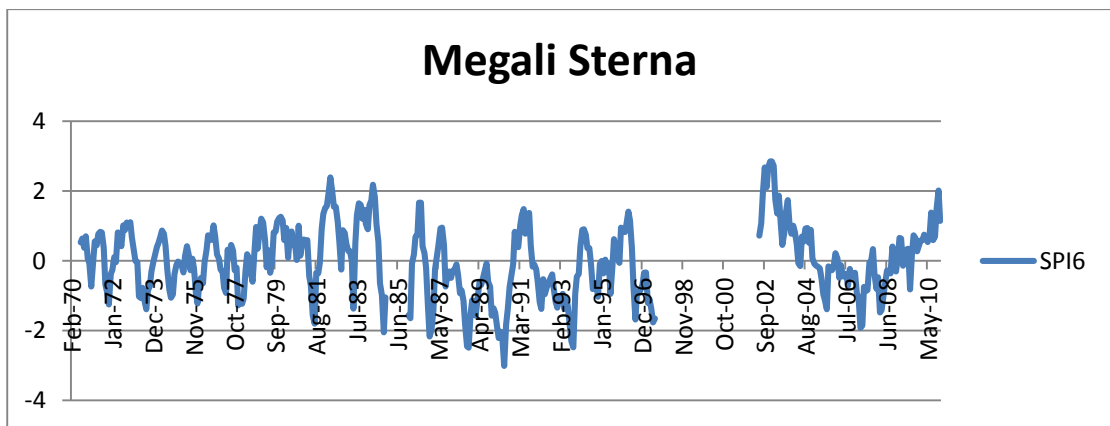
Εικόνα 2.165 Spi 24 στον σταθμό Κιλκίς



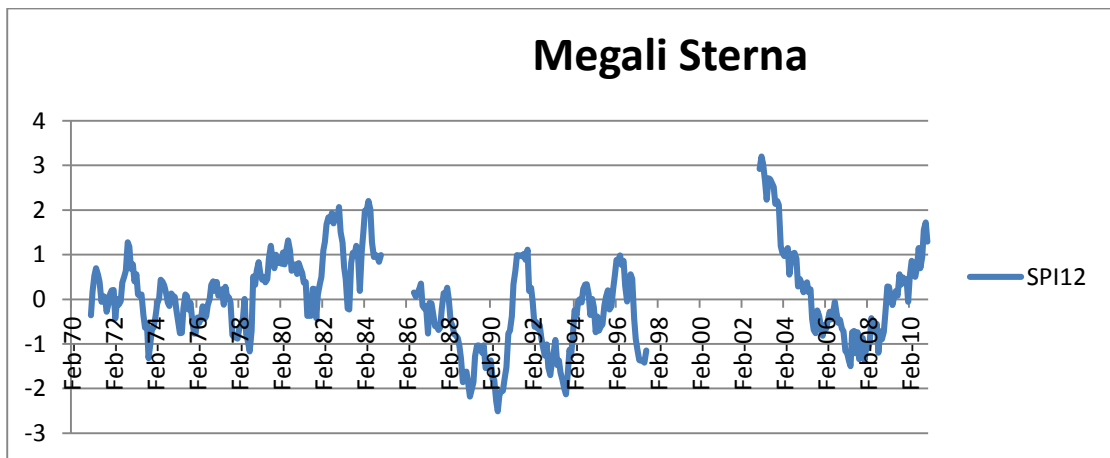
Εικόνα 2.166 Spi 1 στον σταθμό Μεγάλη Στέρνα



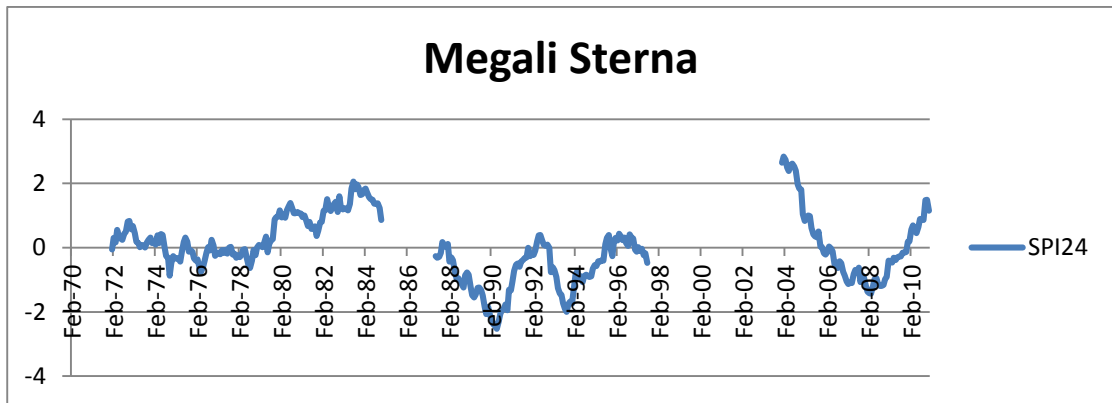
Εικόνα 2.167 Spi 3 στον σταθμό Μεγάλη Στέρνα



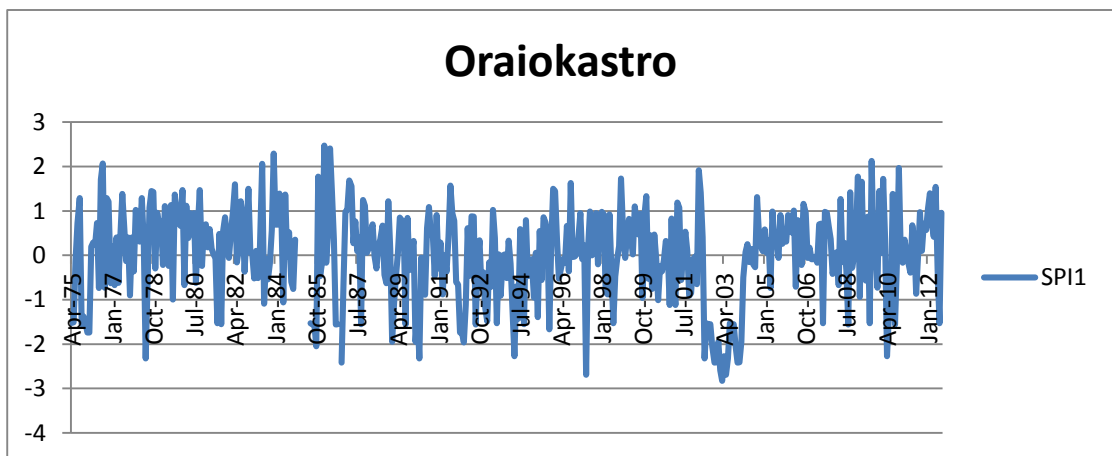
Εικόνα 2.168 Spi 6 στον σταθμό Μεγάλη Στέρνα



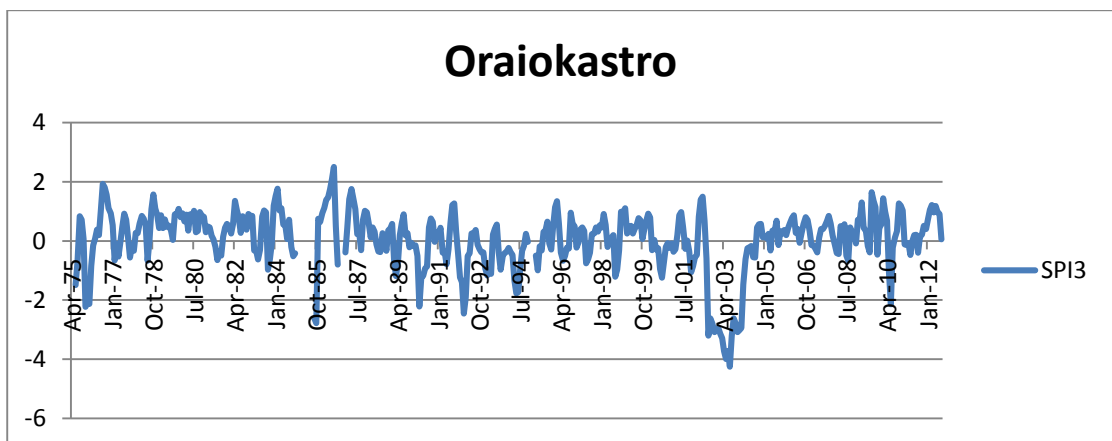
Εικόνα 2.169 Spi 12 στον σταθμό Μεγάλη Στέρνα



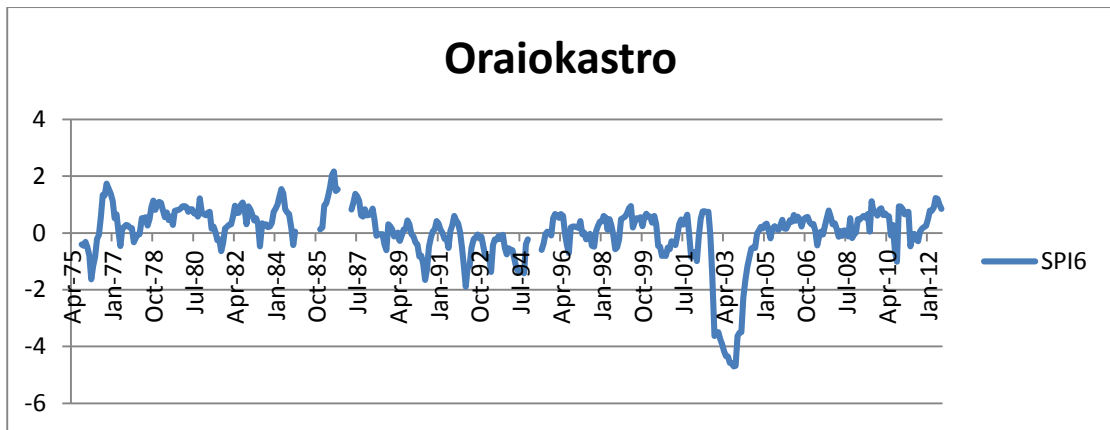
Εικόνα 2.170 Spi24 στον σταθμό Μεγάλη Στέρνα



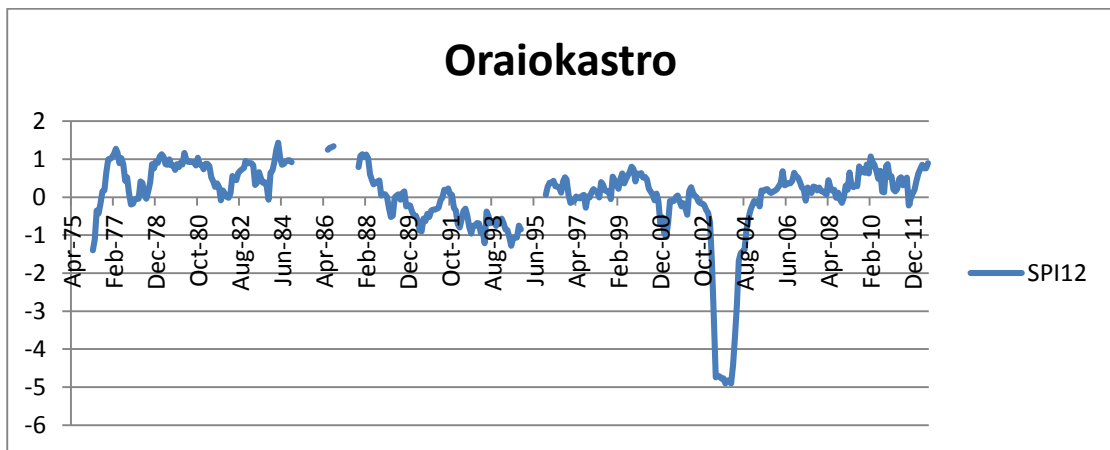
Εικόνα 2.171 Spi 1 στον σταθμό στον σταθμό Ωραιόκαστρο



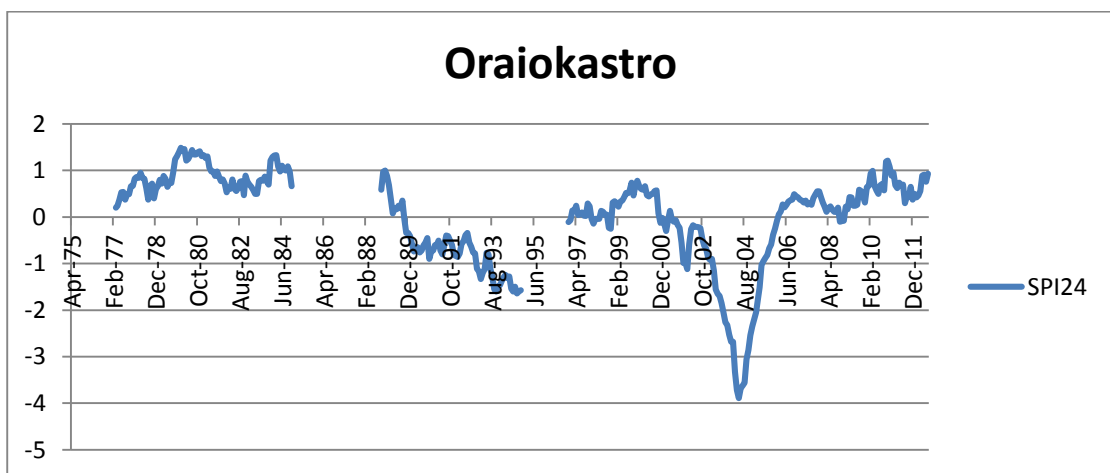
Εικόνα 2.172 Spi 3 στον σταθμό Ωραιόκαστρο



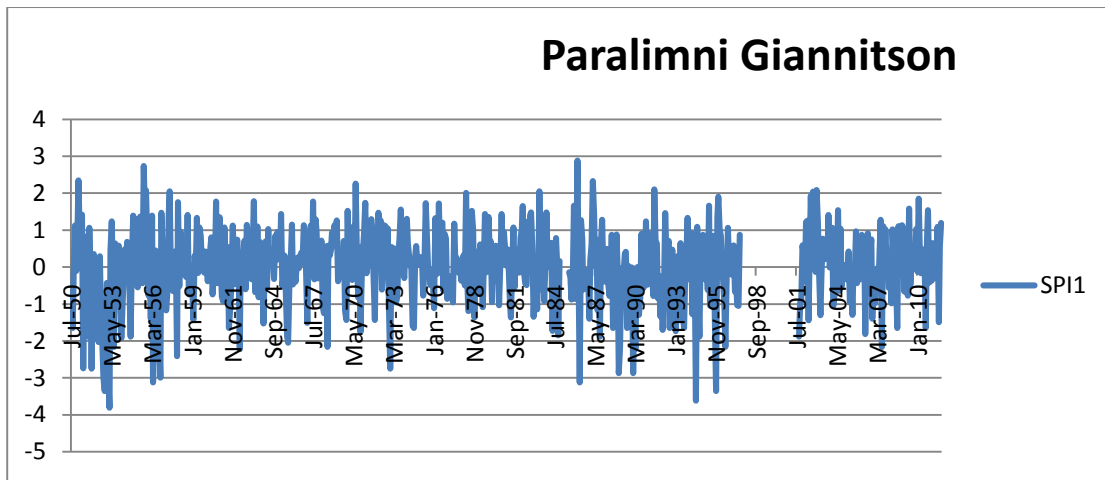
Εικόνα 2.173 Spi 6 στον σταθμό Ωραιόκαστρο



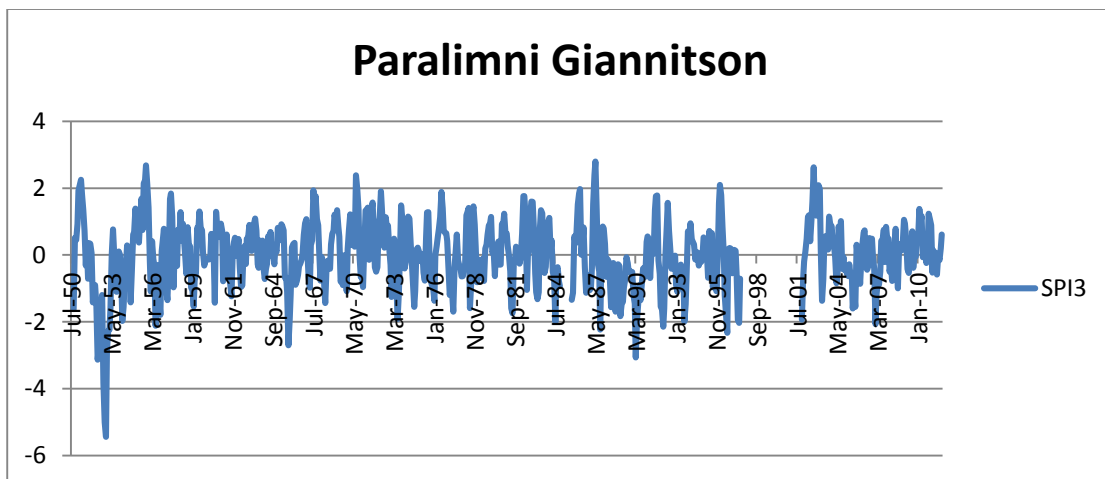
Εικόνα 2.174 Spi 12 στον σταθμό Ωραιόκαστρο



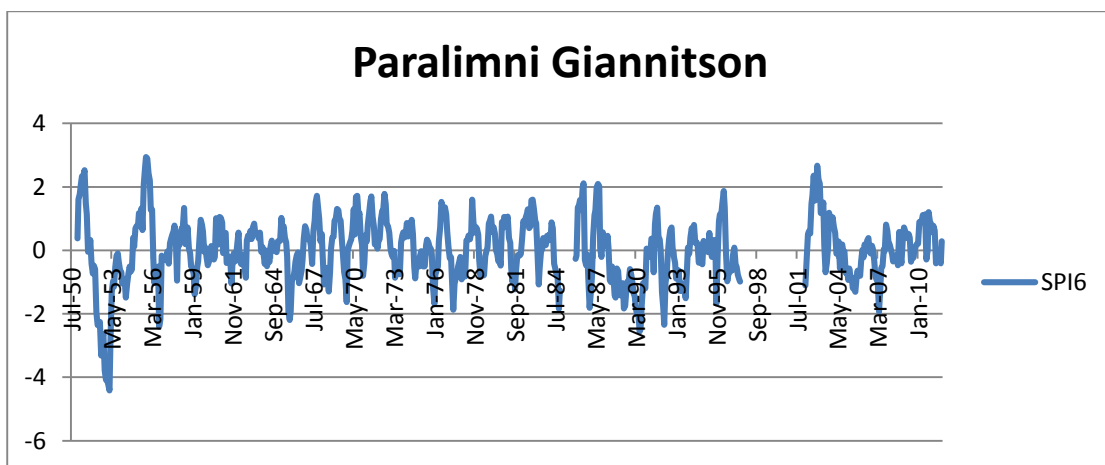
Εικόνα 2.175 Spi 24 στον σταθμό Ωραιόκαστρο



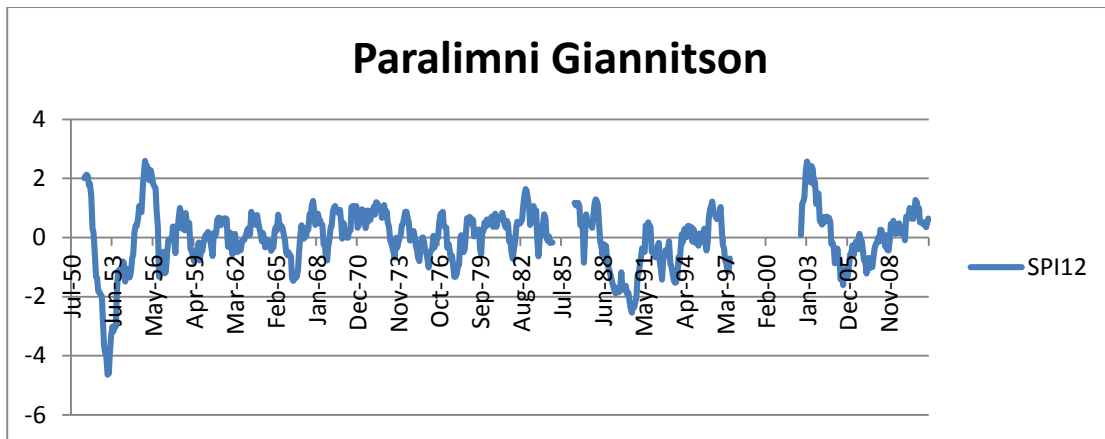
Εικόνα 2.176 Spi 1 στον σταθμό Παραλίμνη Γιαννιτσών



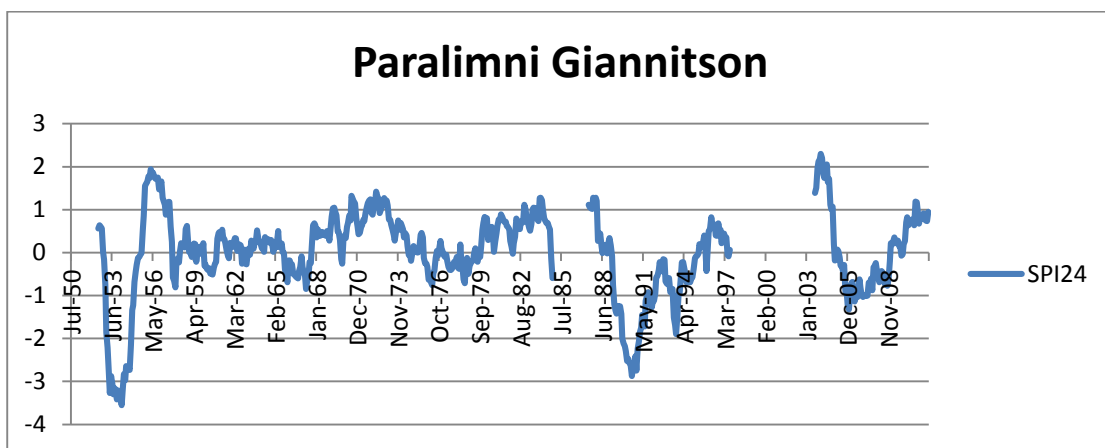
Εικόνα 2.177 Spi 3 στον σταθμό Παραλίμνη Γιαννιτσών



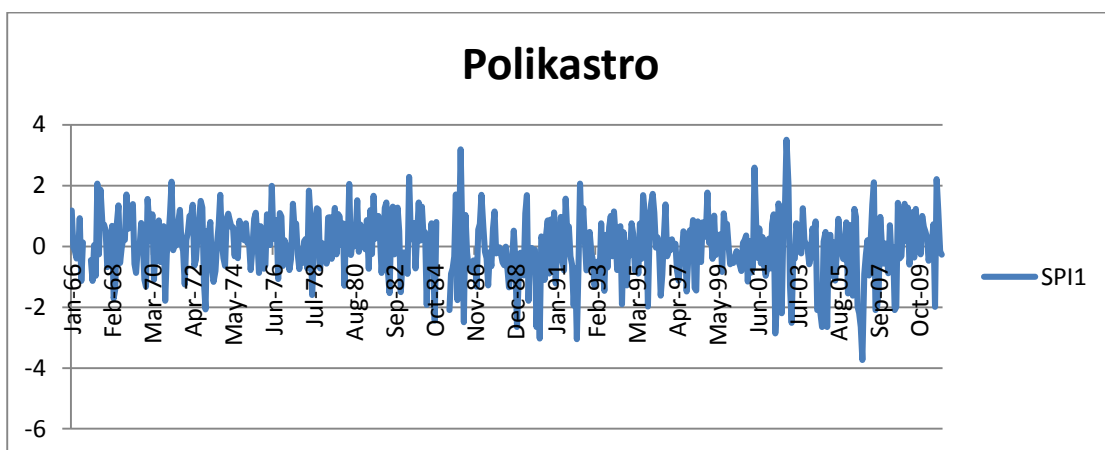
Εικόνα 2.178 Spi 6 στον σταθμό Παραλίμνη Γιαννιτσών



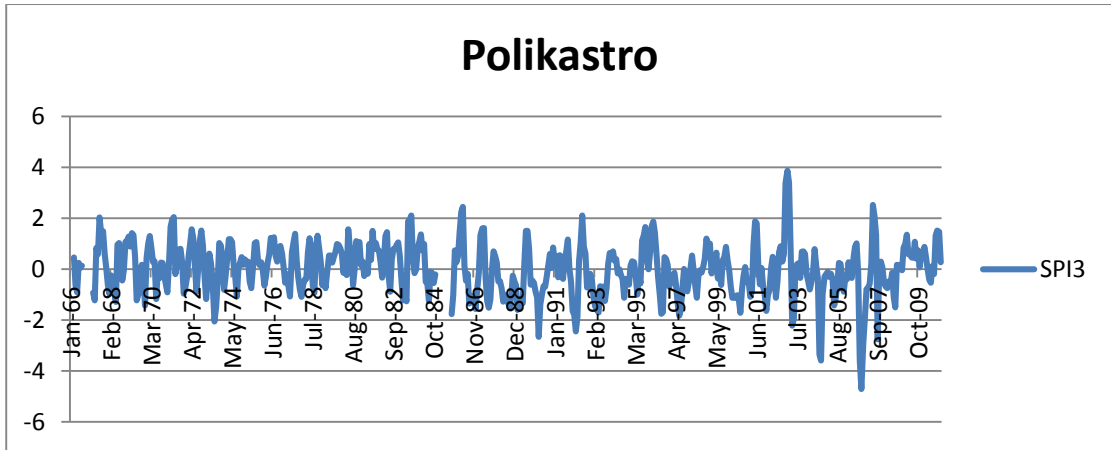
Εικόνα 2.179 Spi 12 στον σταθμό Παραλίμνη Γιαννιτών



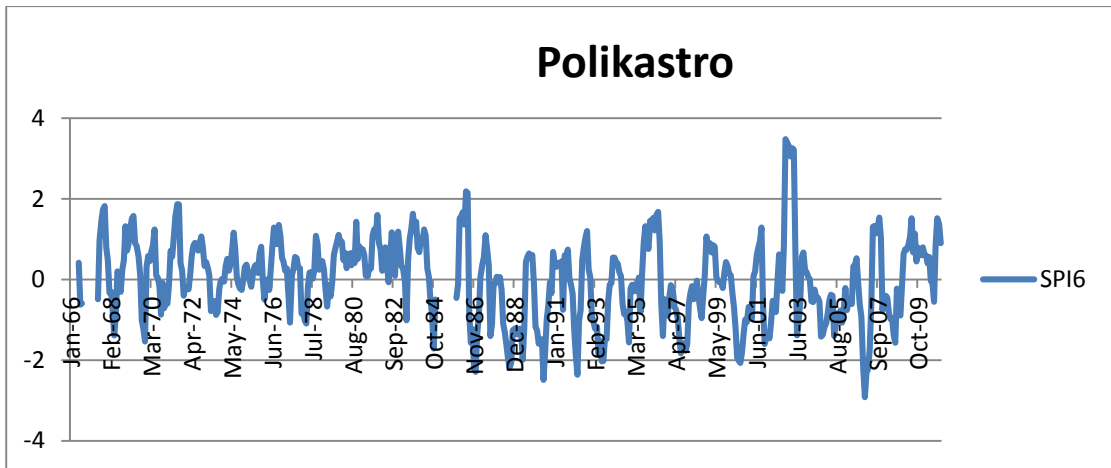
Εικόνα 2.180 Spi 24 στον σταθμό Παραλίμνη Γιαννιτών



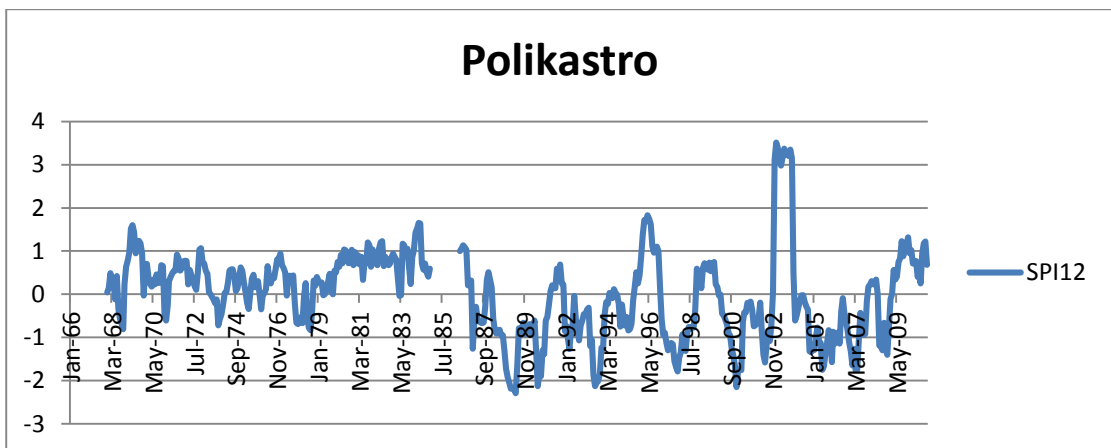
Εικόνα 2.181 Spi 1 στον σταθμό Πολύκαστρο



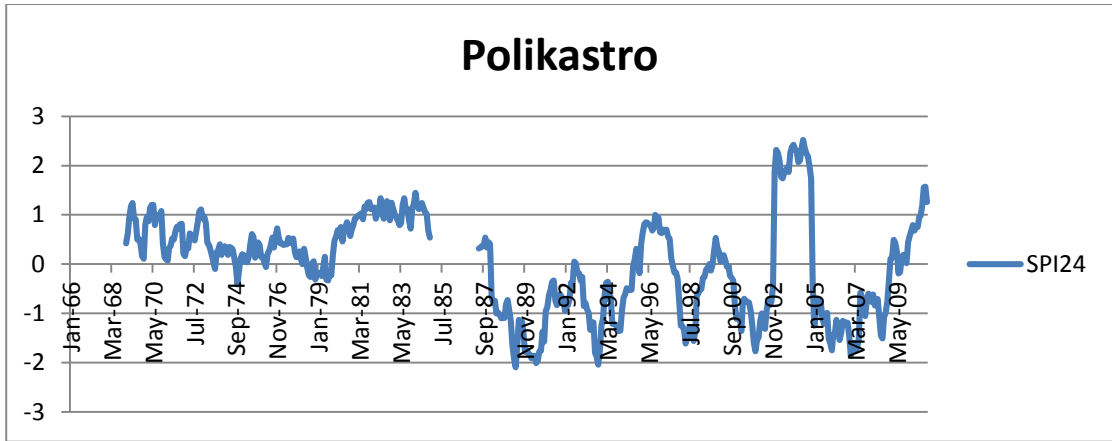
Εικόνα 2.182 Spi 3 στον σταθμό Πολύκαastro



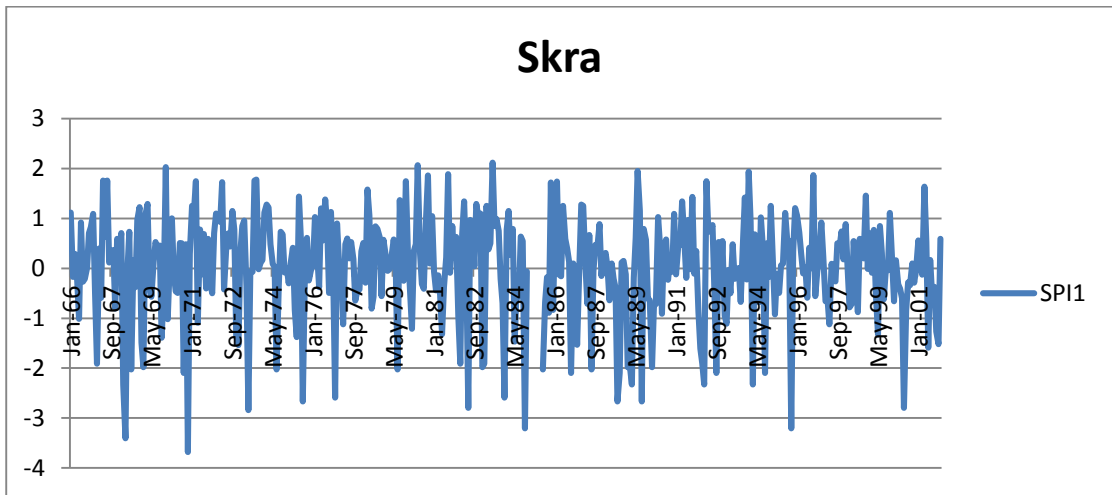
Εικόνα 2.183 Spi 6 στον σταθμό Πολύκαastro



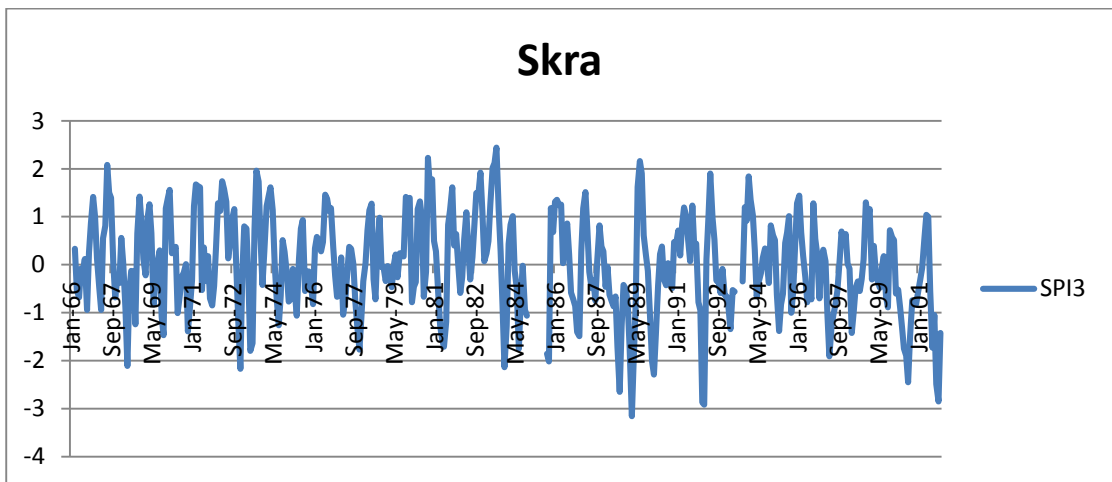
Εικόνα 2.184 Spi 12 στον σταθμό Πολύκαastro



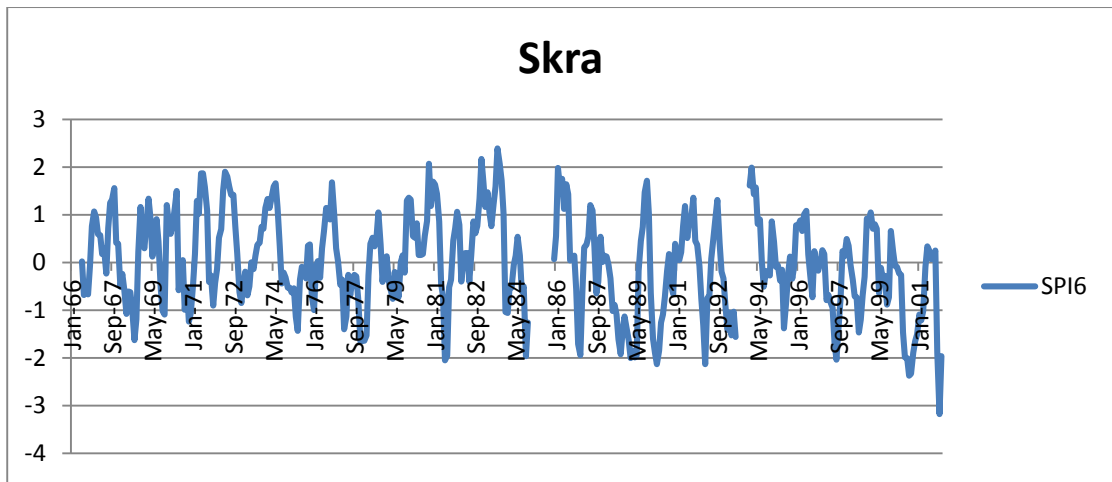
Εικόνα 2.185 Sρι 24 στον σταθμό Πολύκαστρο



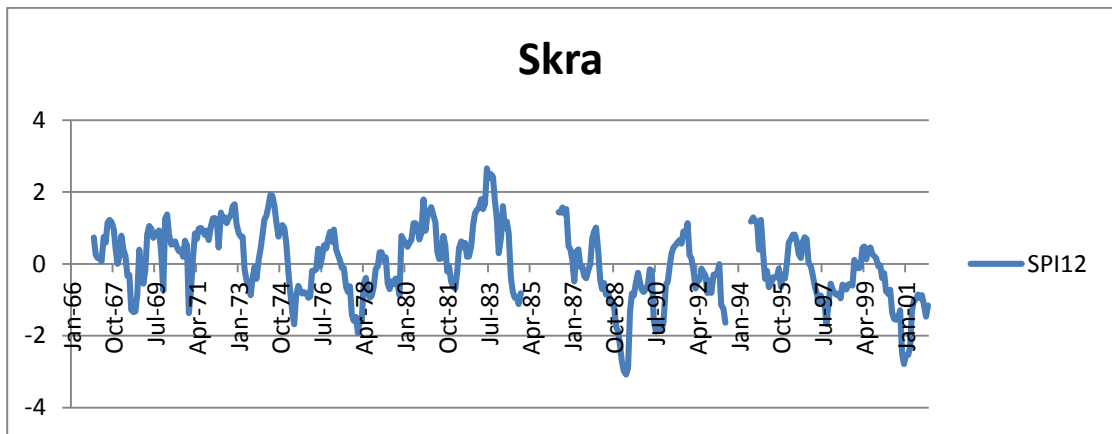
Εικόνα 2.186 Sρι 1 στον σταθμό Σκρα



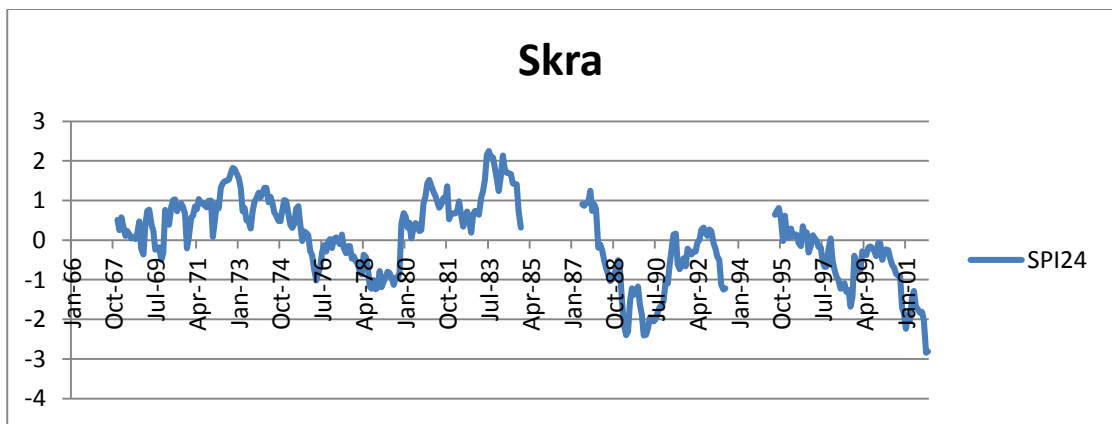
Εικόνα 2.187 Sρι 3 στον σταθμό Σκρα



Εικόνα 2.188 Spi 6 στον σταθμό Σκρα



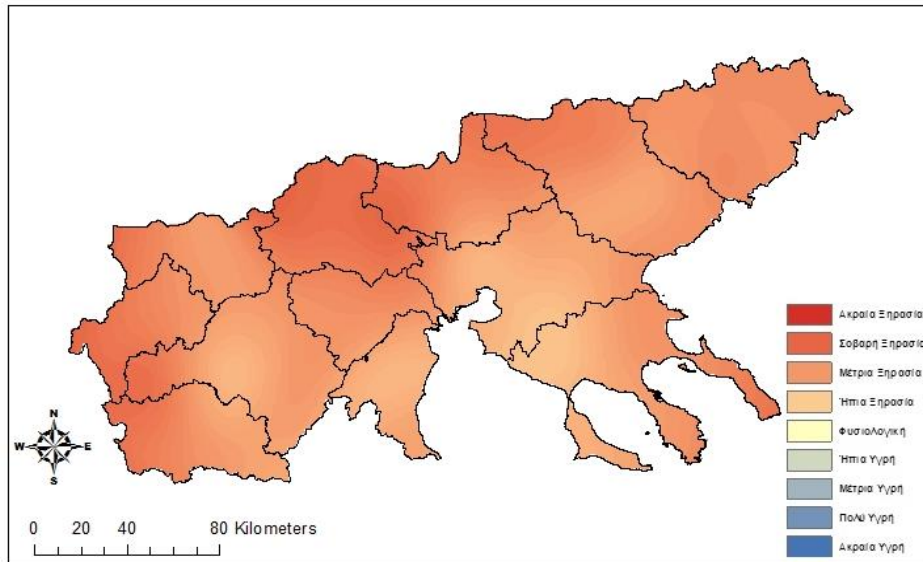
Εικόνα 2.189 Spi 12 στον σταθμό Σκρα



Εικόνα 2.190 Spi 24 στον σταθμό Σκρα

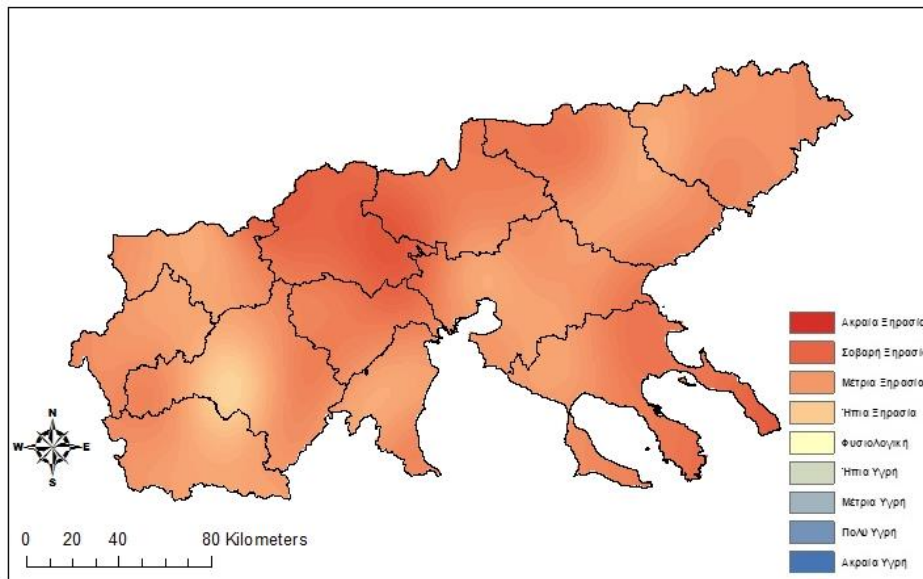
Παράρτημα 3 Χάρτες

SPI 6 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1989



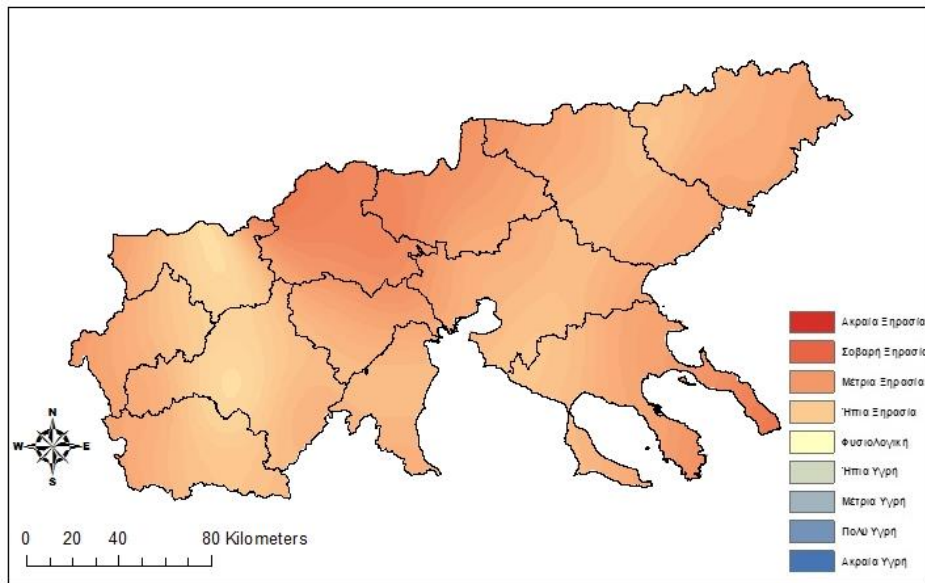
Εικόνα 3 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιανουάριο 1989

SPI 6 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1989



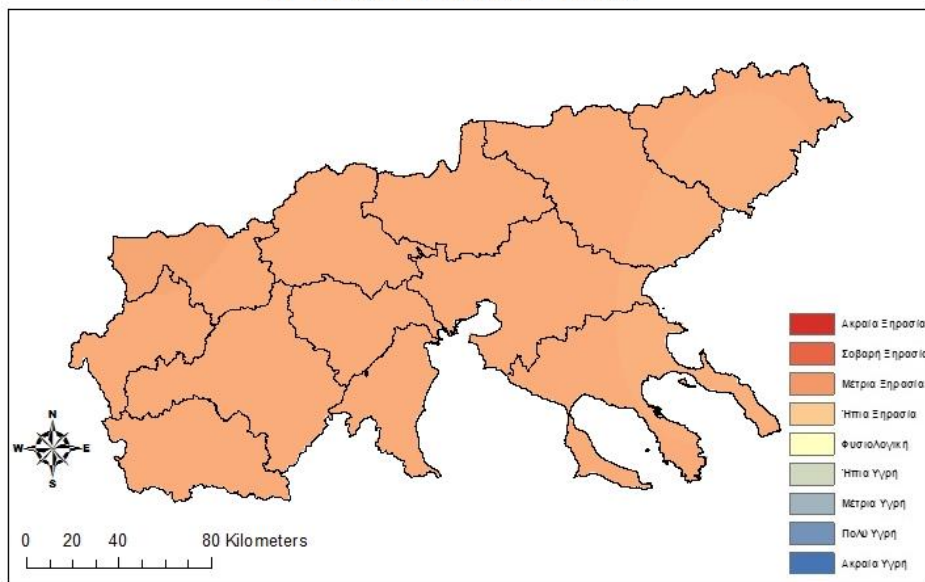
Εικόνα 4 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Φεβρουάριο 1989

SPI 6 ΜΑΡΤΙΟΣ 1989



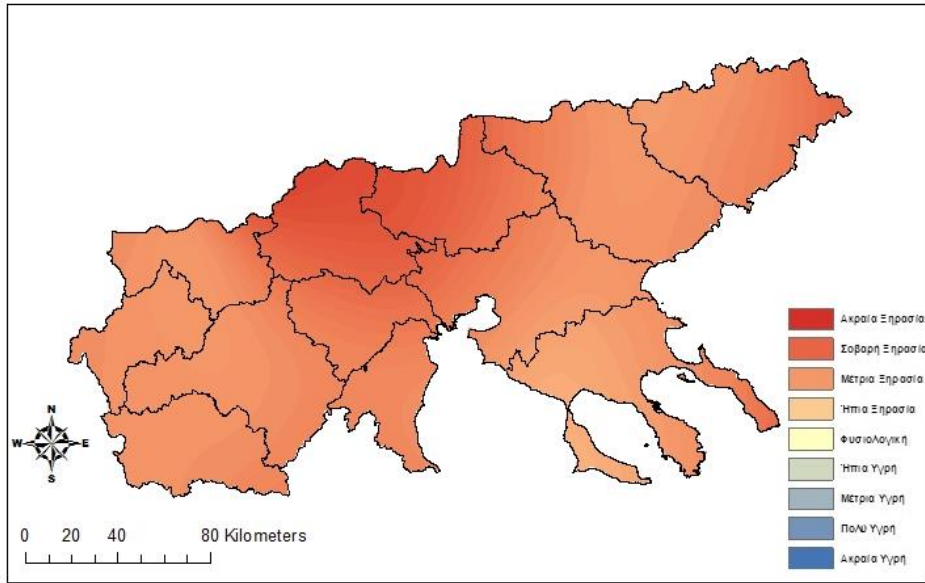
Εικόνα 5 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάρτιο 1989

SPI 6 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1989



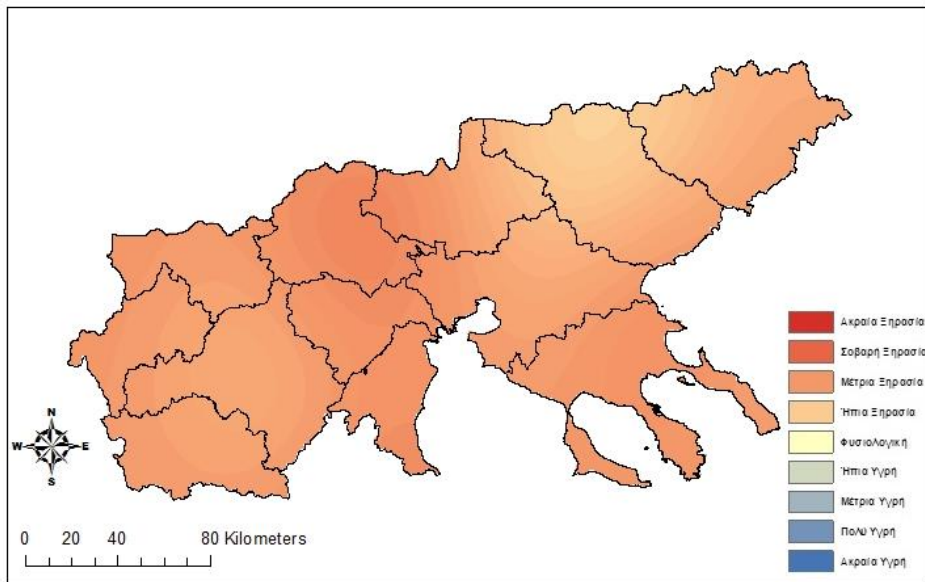
Εικόνα 6 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Απρίλιο 1989

SPI 6 ΜΑΙΟΣ 1989



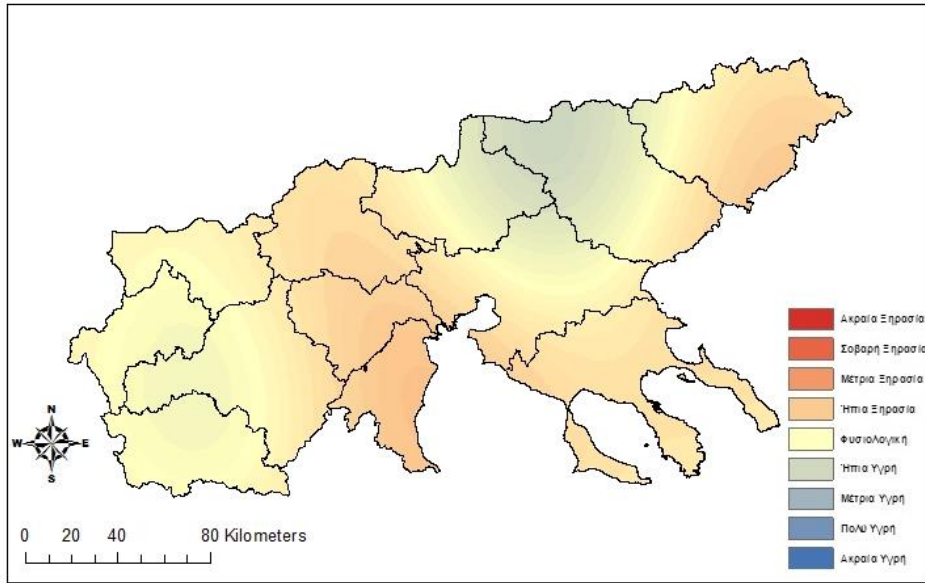
Εικόνα 7 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάιο 1989

SPI 6 ΙΟΥΝΙΟΣ 1989



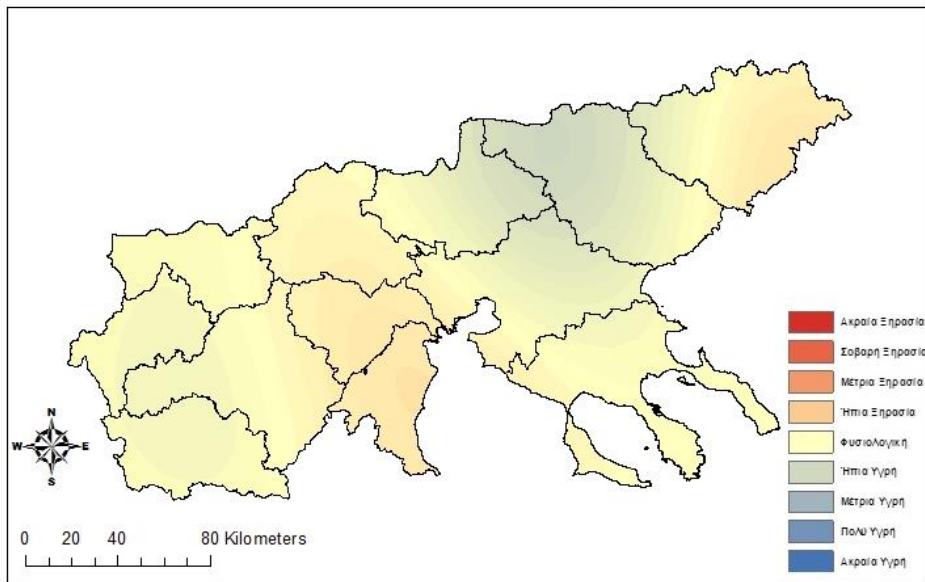
Εικόνα 8 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούνιο 1989

SPI 6 ΙΟΥΛΙΟΣ 1989



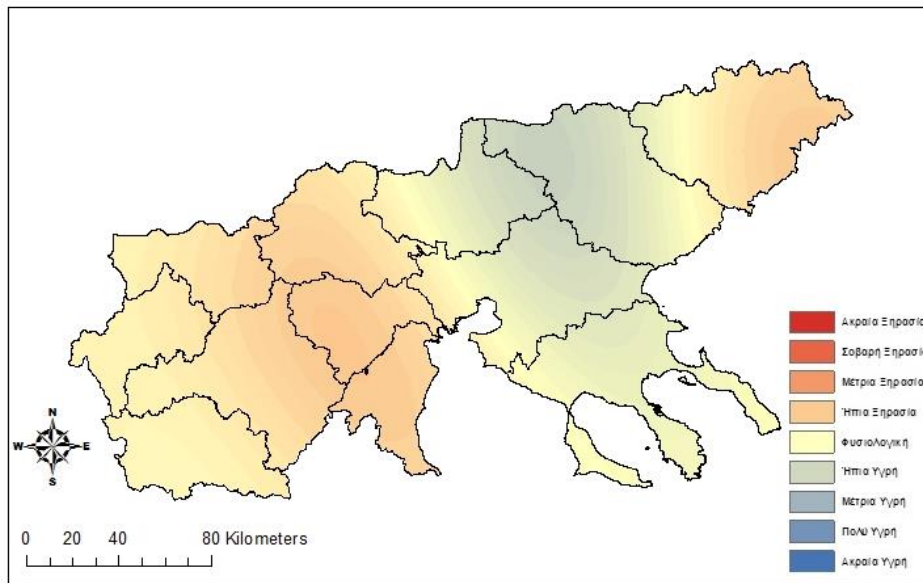
Εικόνα 9 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούλιο 1989

SPI 6 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 1989



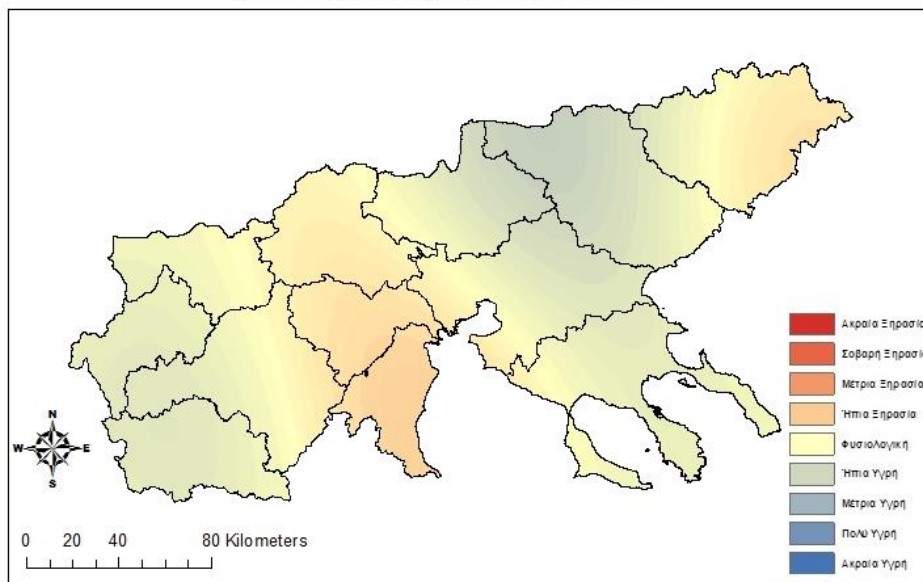
Εικόνα 10 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Αύγουστο 1989

SPI 6 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1989



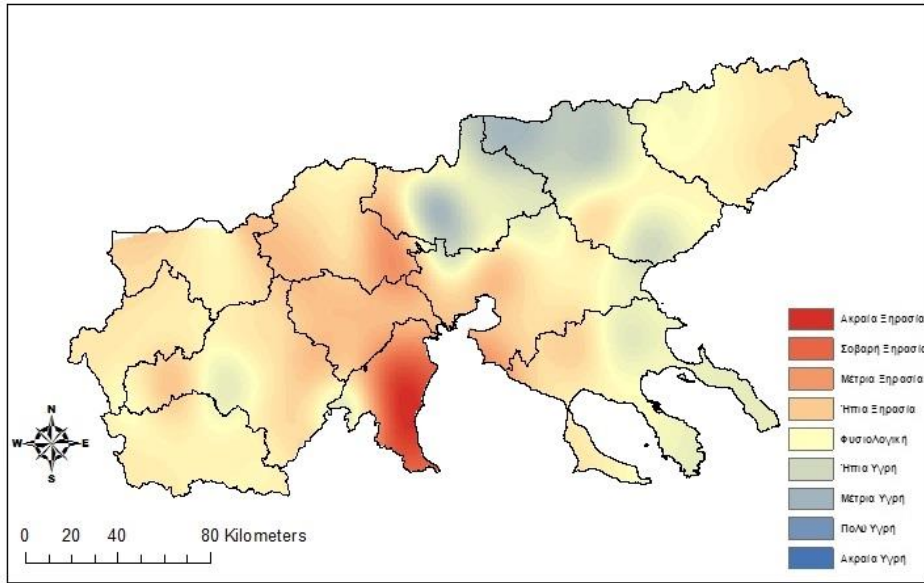
Εικόνα 11 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Σεπτέμβριο 1989

SPI 6 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1989



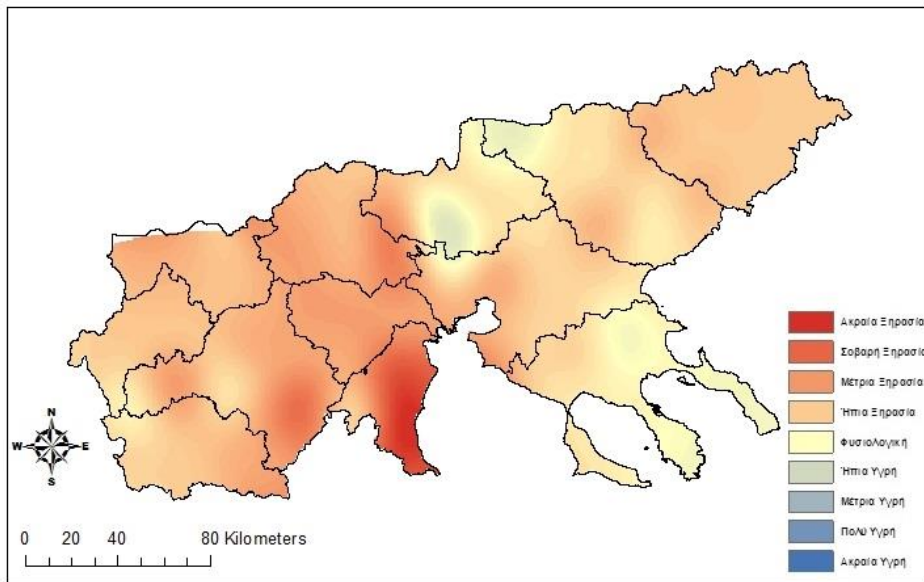
Εικόνα 12 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Οκτώβριο 1989

SPI 6 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1989



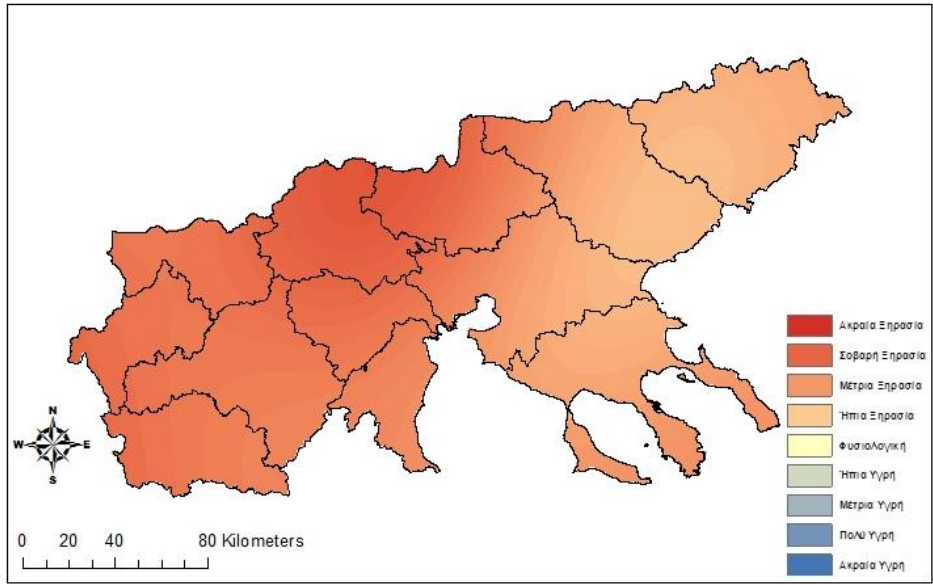
Εικόνα 13 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Νοέμβριο 1989

SPI 6 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1989



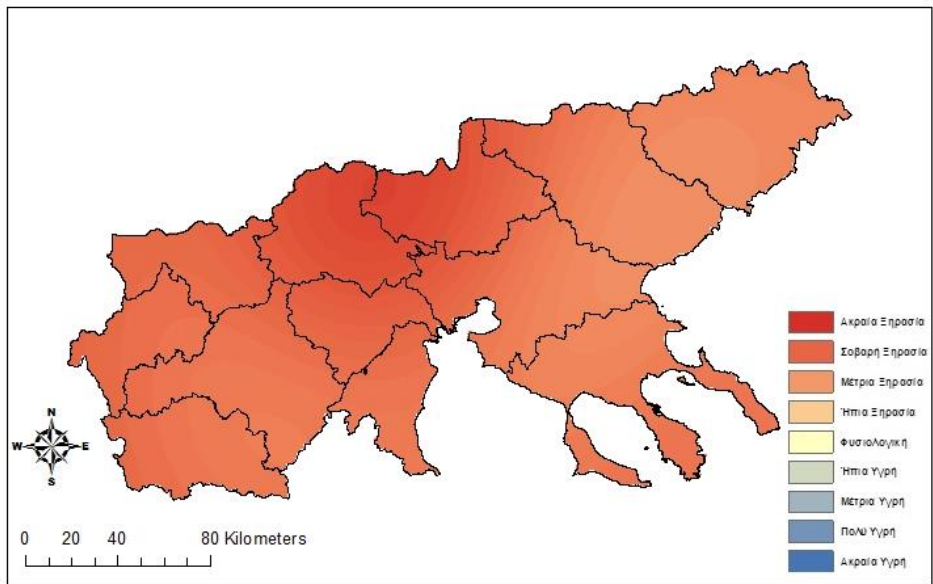
Εικόνα 14 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Δεκέμβριο 1989

SPI 12 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1989



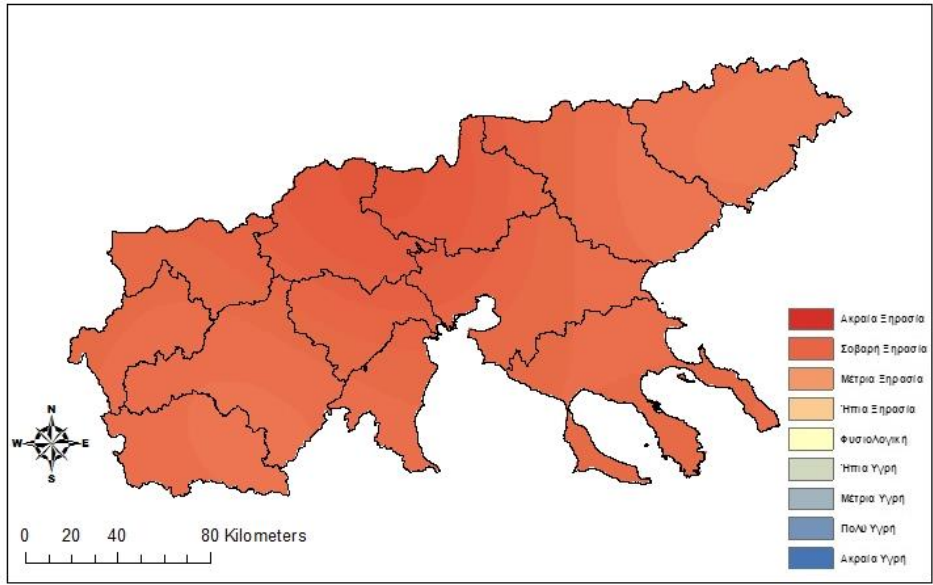
Εικόνα 15 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιανουάριο 1989

SPI 12 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1989



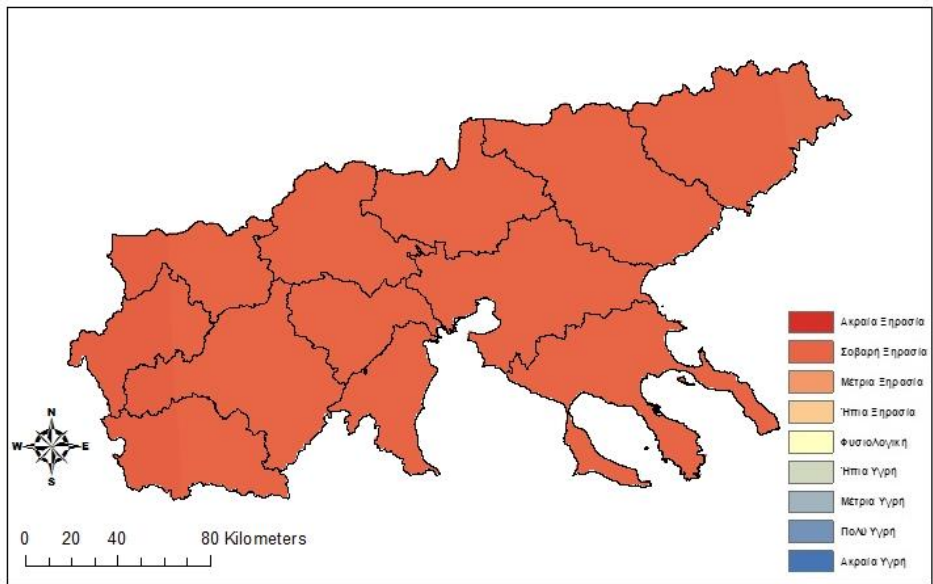
Εικόνα 16 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Φεβρουάριο 1989

SPI 12 ΜΑΡΤΙΟΣ 1989



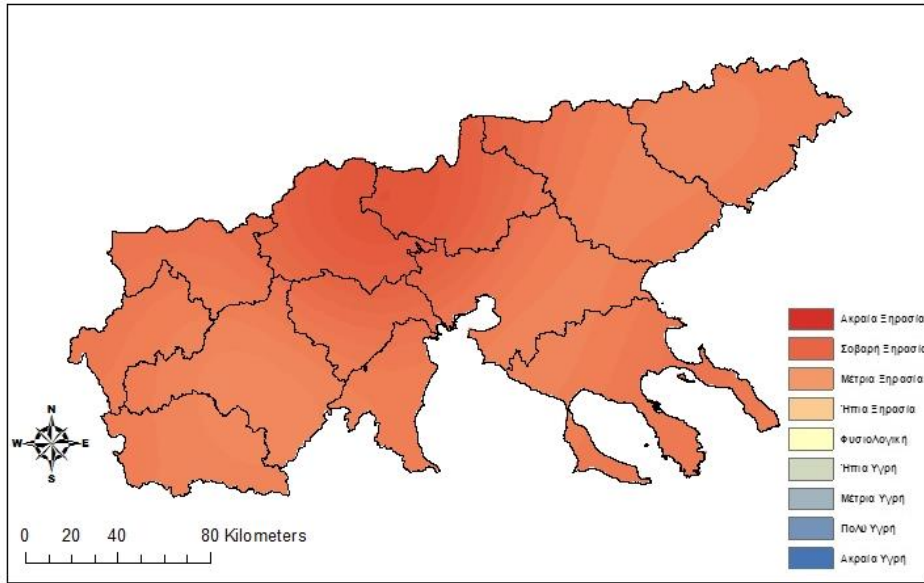
Εικόνα 17 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάρτιο 1989

SPI 12 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1989



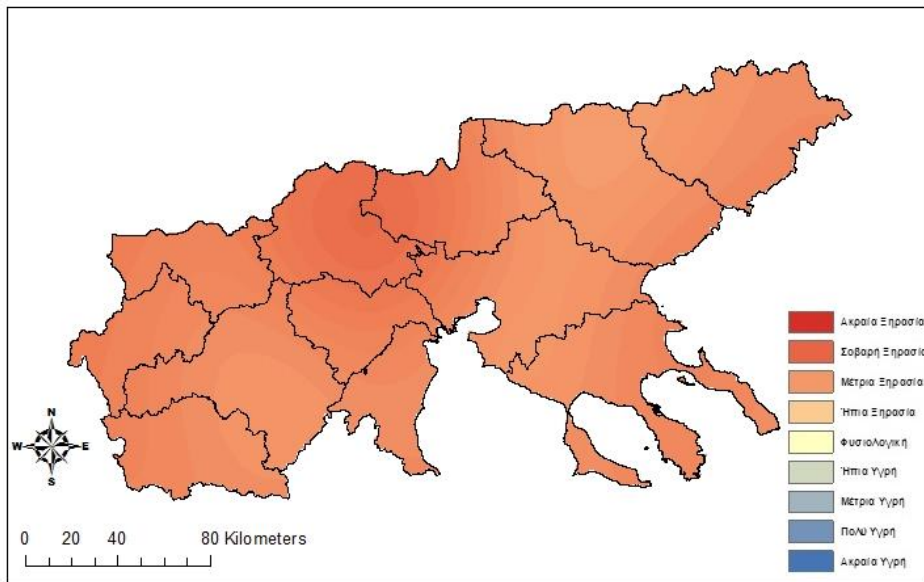
Εικόνα 18 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Απρίλιο 1989

SPI 12 ΜΑΙΟΣ 1989



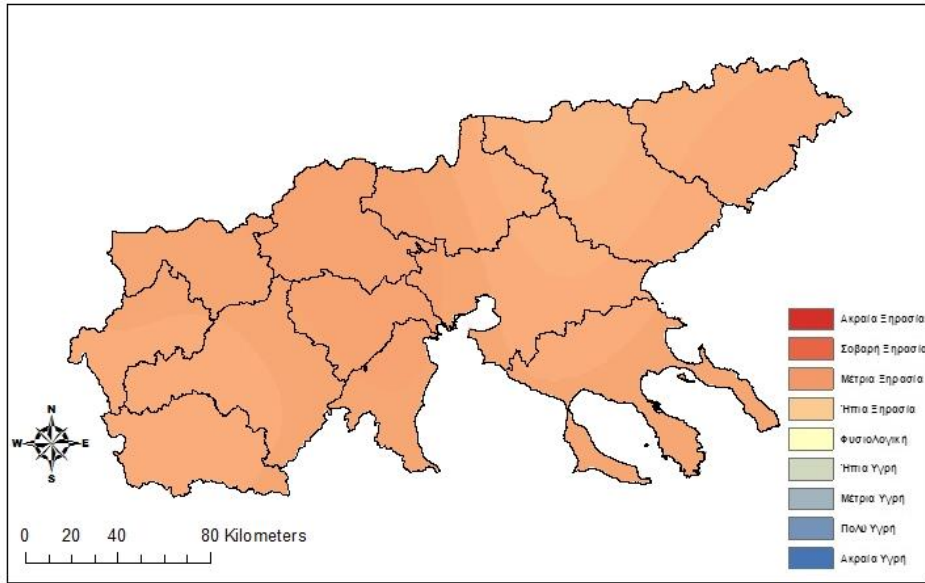
Εικόνα 19 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάιο 1989

SPI 12 ΙΟΥΝΙΟΣ 1989



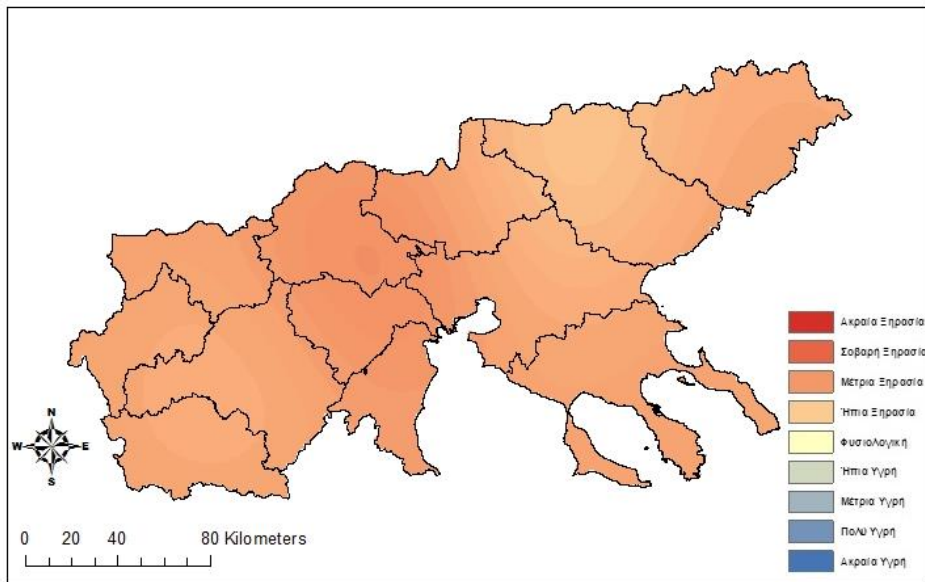
Εικόνα 20 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούνιο 1989

SPI 12 ΙΟΥΛΙΟΣ 1989



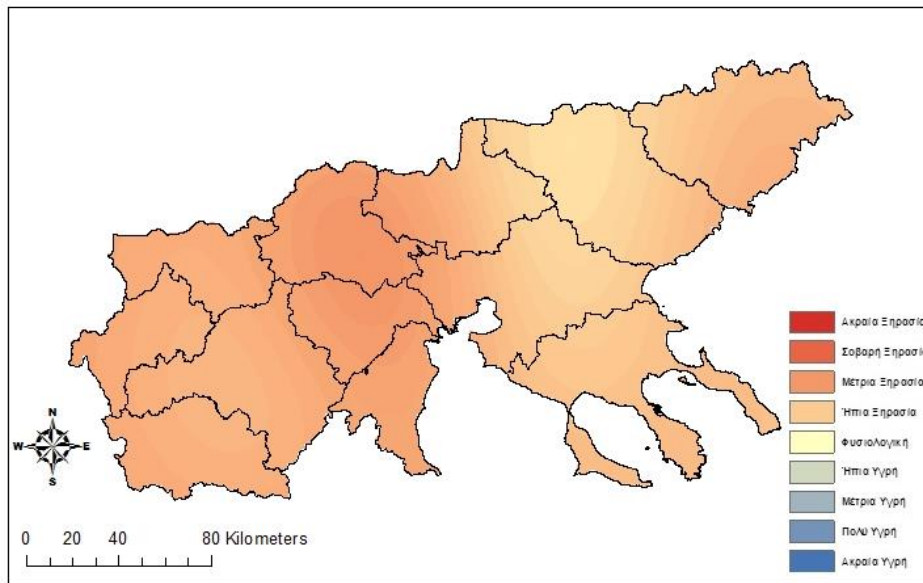
Εικόνα 21 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούλιο 1989

SPI 12 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 1989



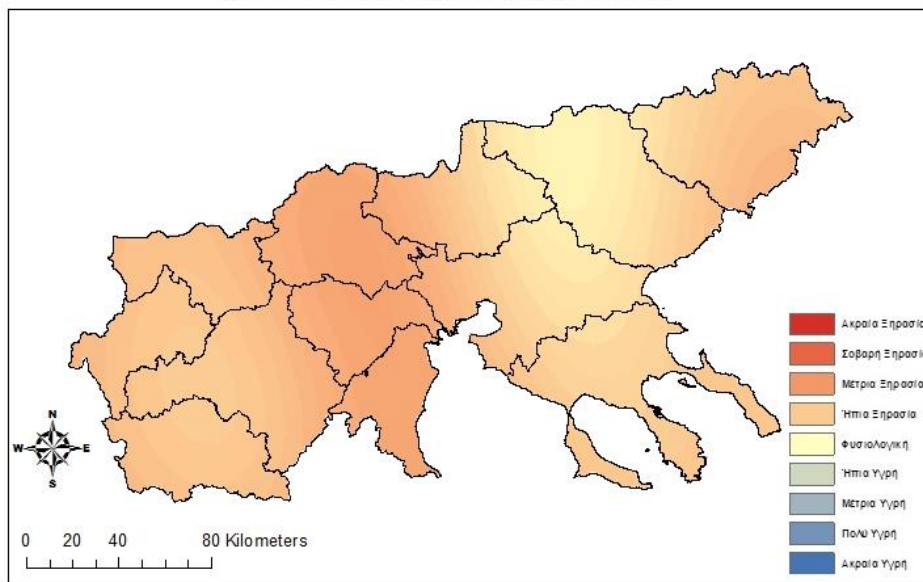
Εικόνα 22 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Αύγουστο 1989

SPI 12 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1989



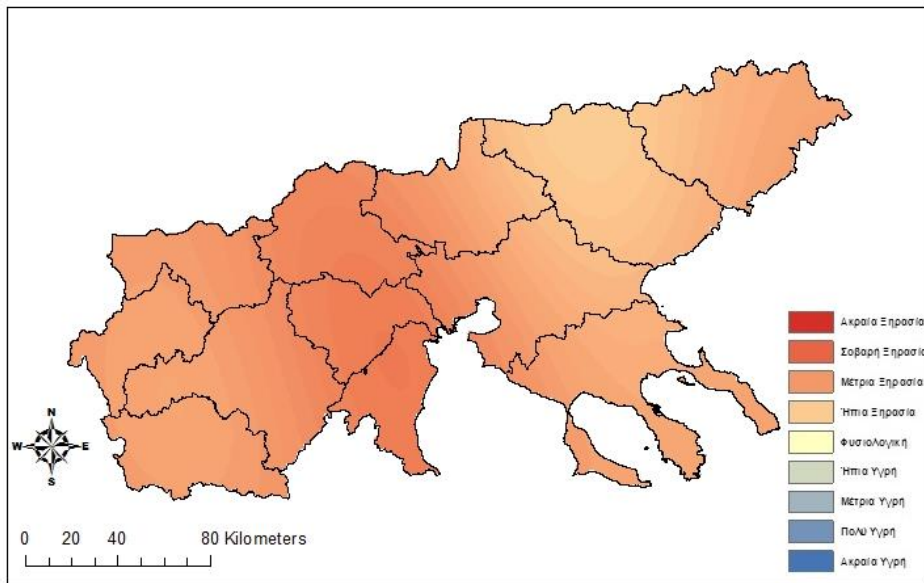
Εικόνα 23 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Σεπτέμβριο 1989

SPI 12 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1989



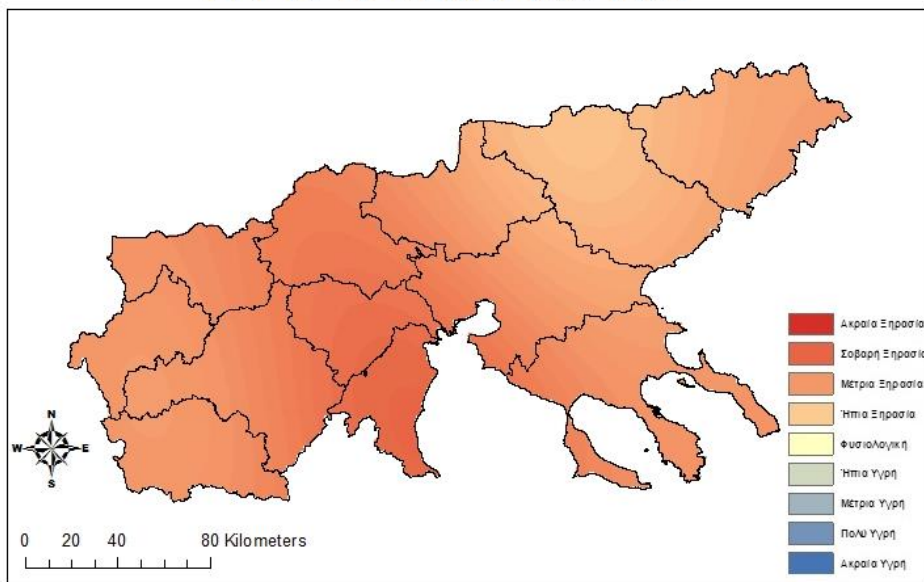
Εικόνα 24 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Οκτώβριο 1989

SPI 12 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1989



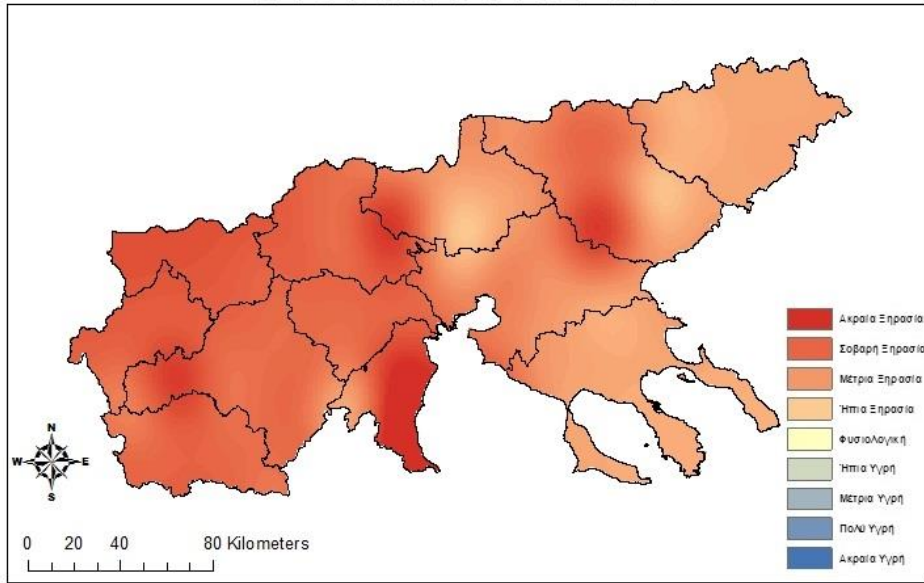
Εικόνα 25 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Νοέμβριο 1989

SPI 12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1989



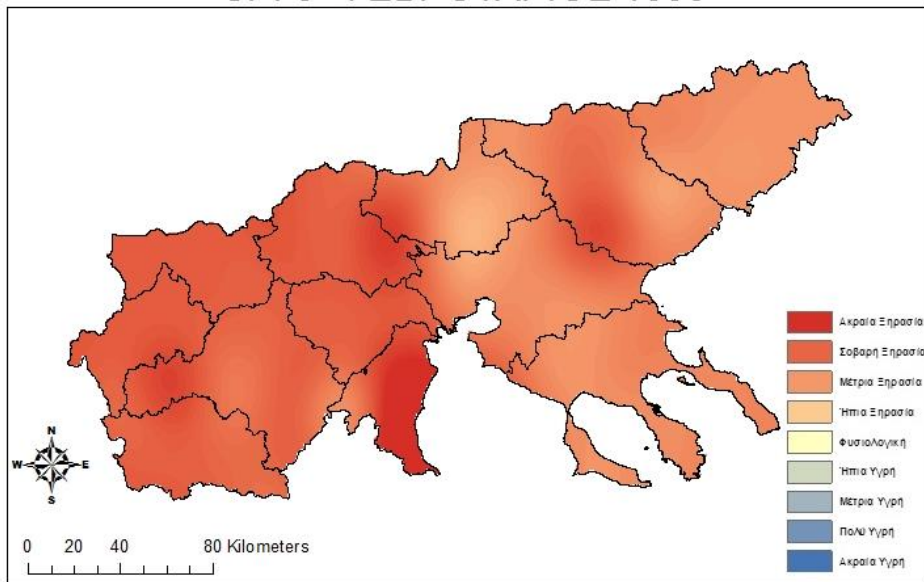
Εικόνα 26 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Δεκέμβριο 1989

SPI 6 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1990



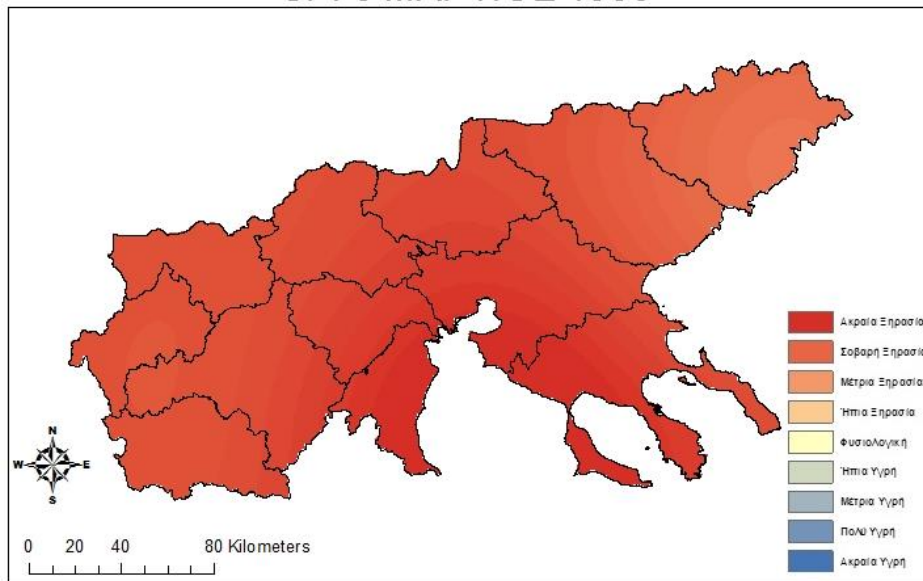
Εικόνα 27 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιανουάριο 1990

SPI 6 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1990



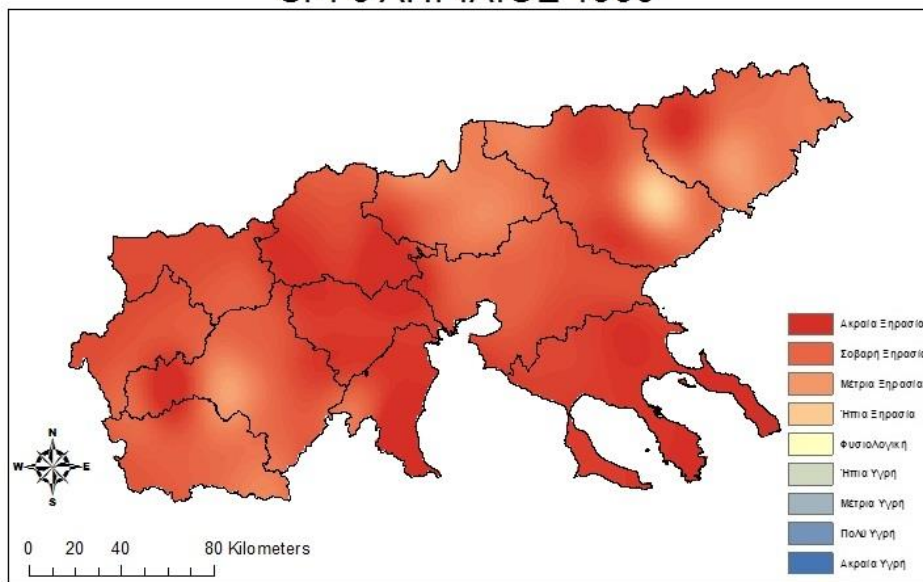
Εικόνα 28 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Φεβρουάριο 1990

SPI 6 ΜΑΡΤΙΟΣ 1990



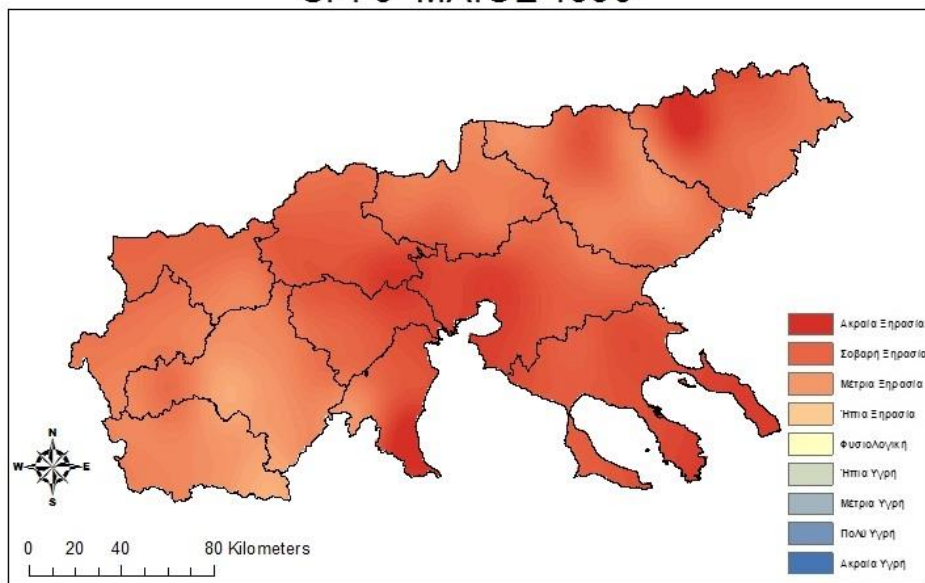
Εικόνα 29 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάρτιο 1990

SPI 6 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1990



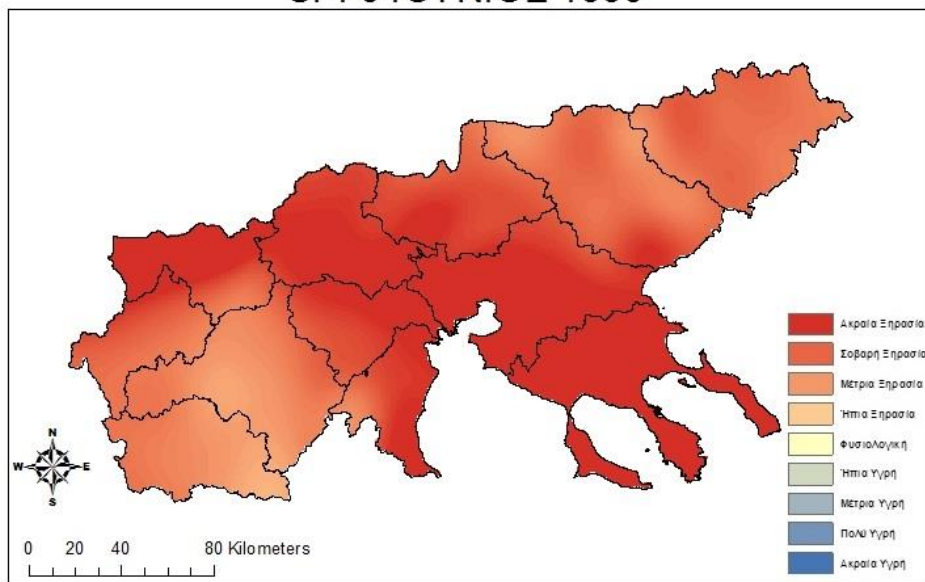
Εικόνα 30 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Απρίλιο 1990

SPI 6 ΜΑΙΟΣ 1990



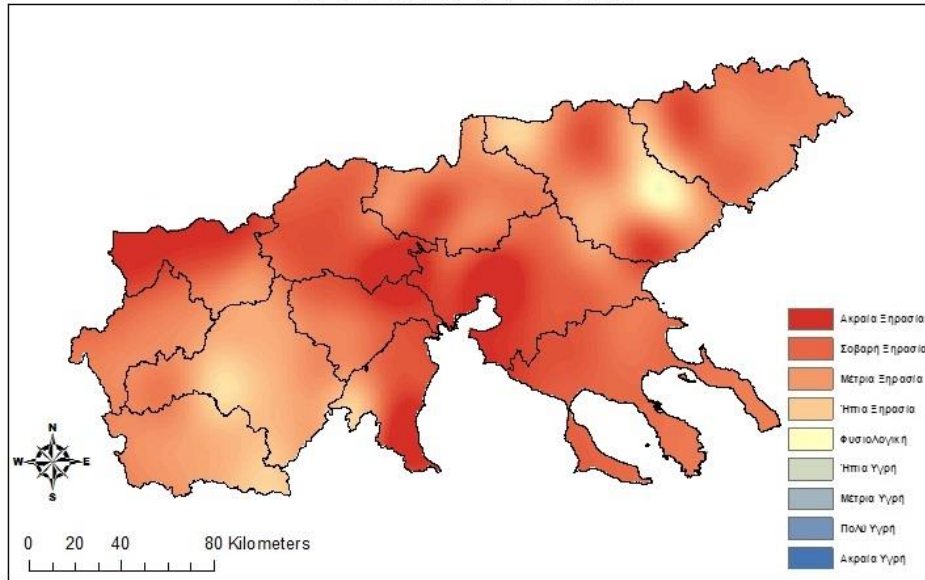
Εικόνα 31 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάιο 1990

SPI 6 ΙΟΥΝΙΟΣ 1990



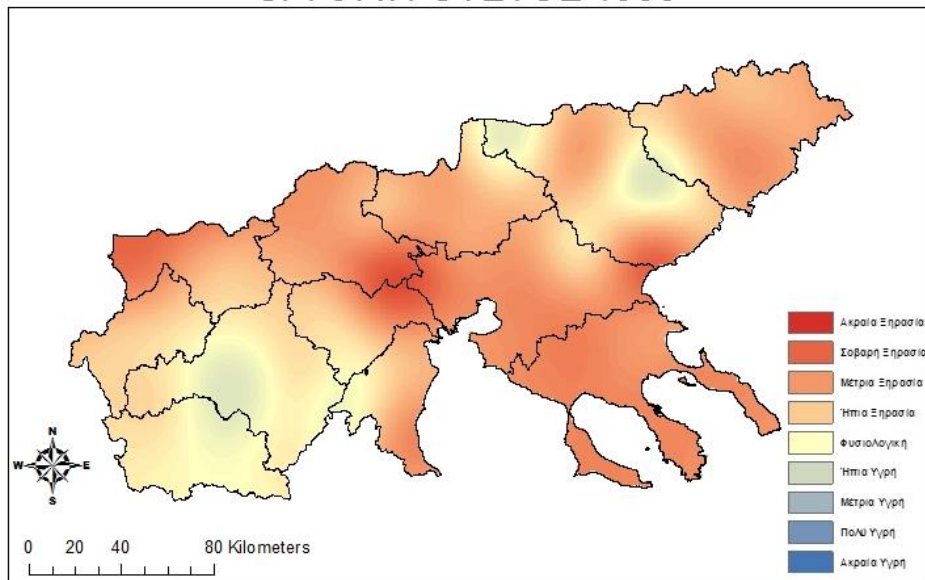
Εικόνα 32 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούνιο 1990

SPI 6 ΙΟΥΛΙΟΣ 1990



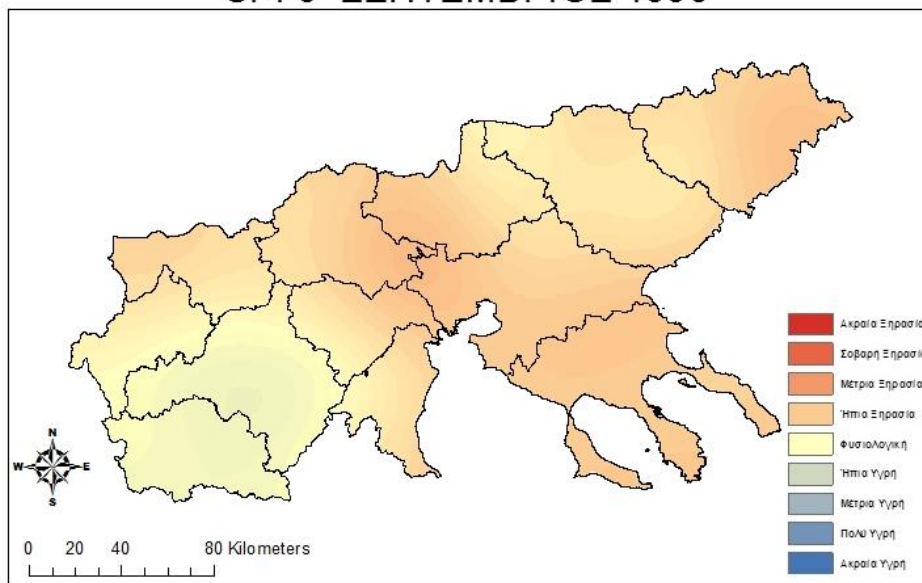
Εικόνα 33 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούλιο 1990

SPI 6 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 1990



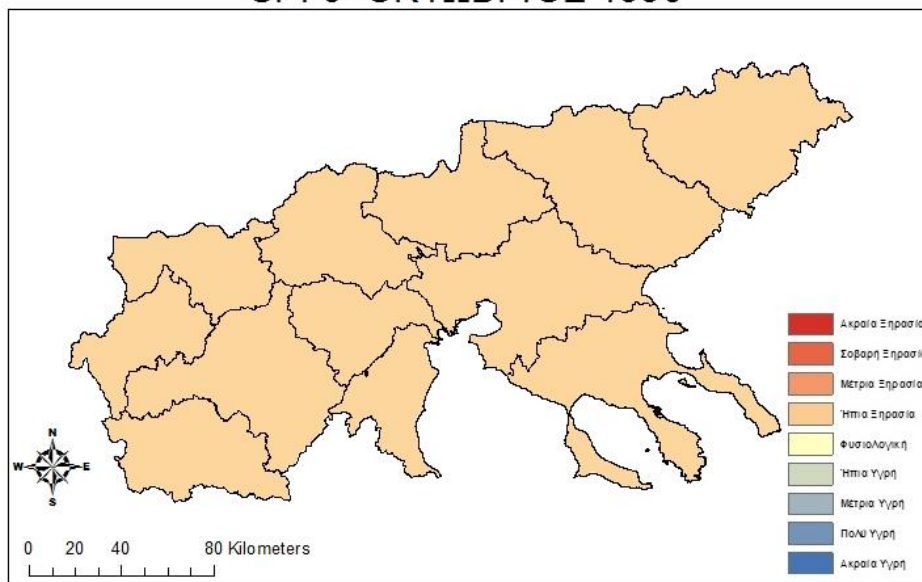
Εικόνα 34 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Αύγουστο 1990

SPI 6 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1990



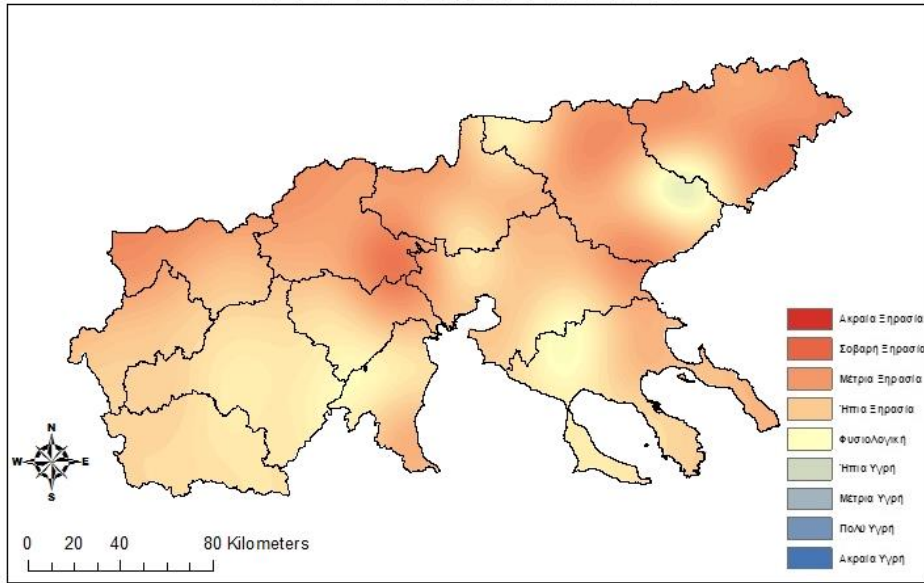
Εικόνα 35 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Σεπτέμβριο 1990

SPI 6 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1990



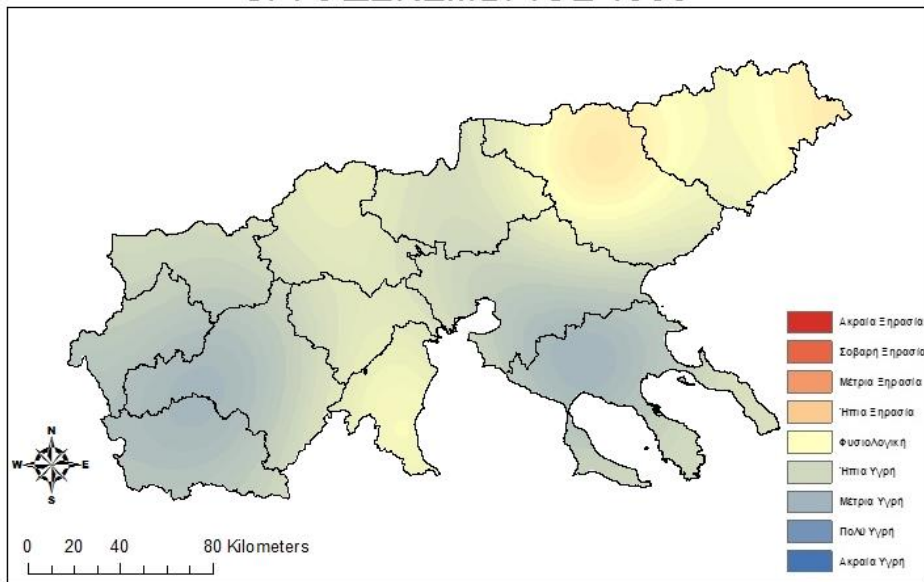
Εικόνα 36 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Οκτώβριο 1990

SPI 6 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1990



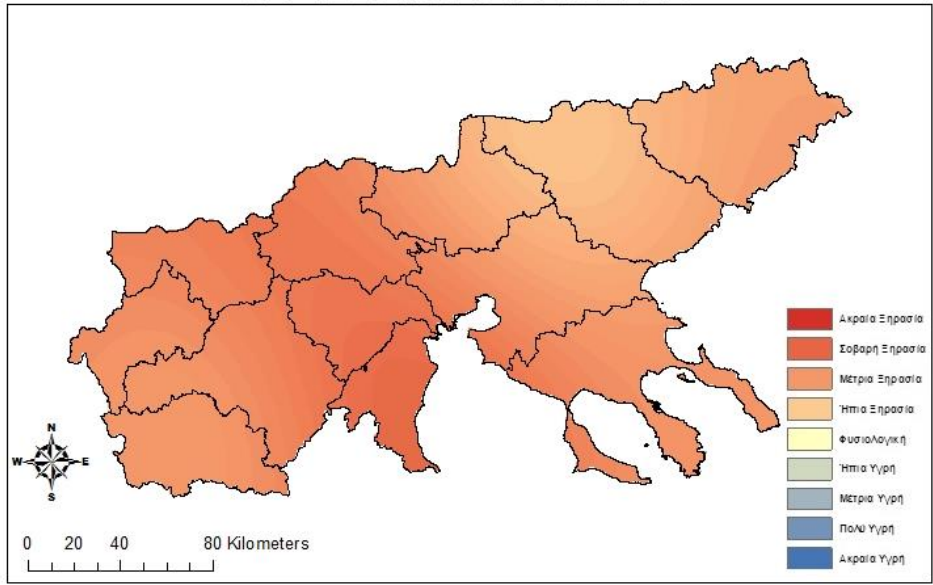
Εικόνα 37 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Νοέμβριο 1990

SPI 6 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1990



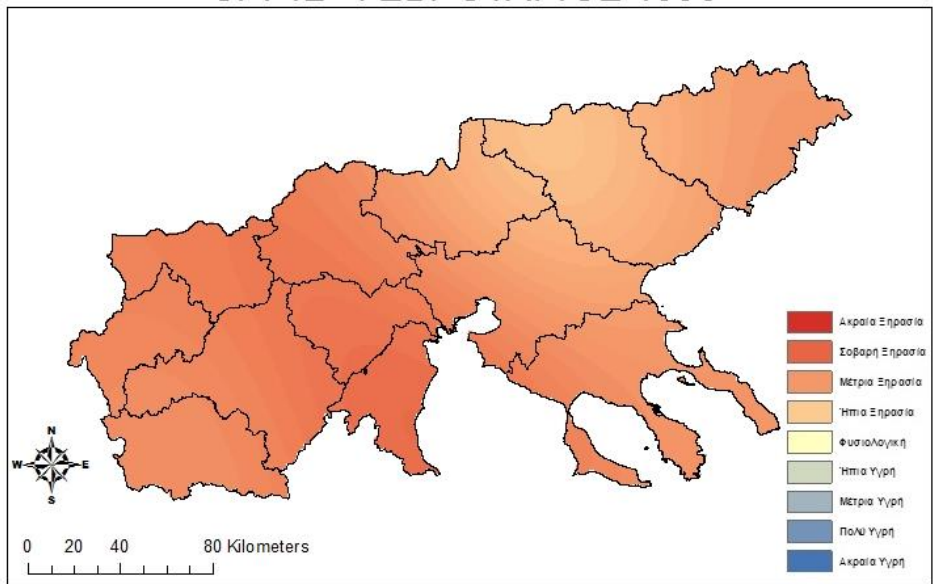
Εικόνα 38 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Δεκέμβριο 1990

SPI 12 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1990



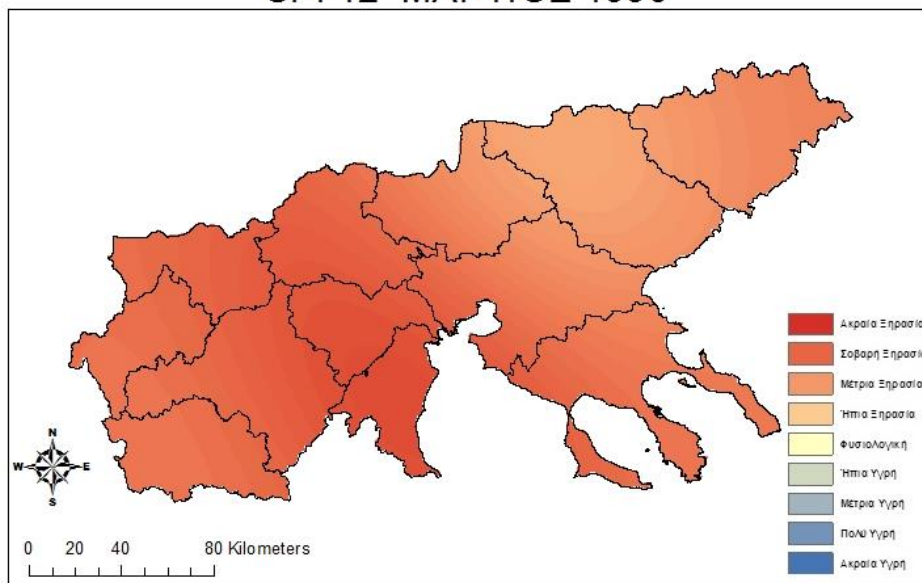
Εικόνα 39 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιανουάριο 1990

SPI 12 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1990



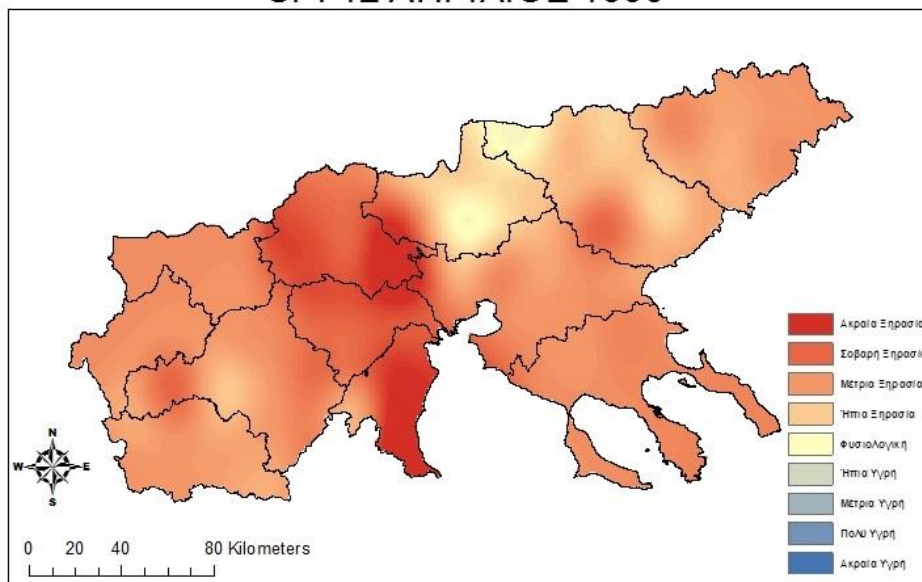
Εικόνα 40 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Φεβρουάριο 1990

SPI 12 ΜΑΡΤΙΟΣ 1990



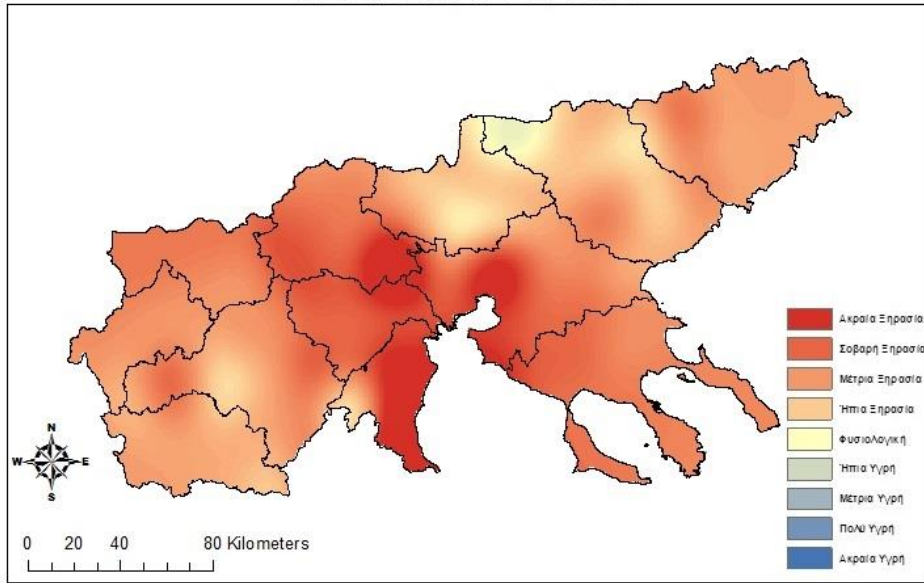
Εικόνα 41 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάρτιο 1990

SPI 12 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1990



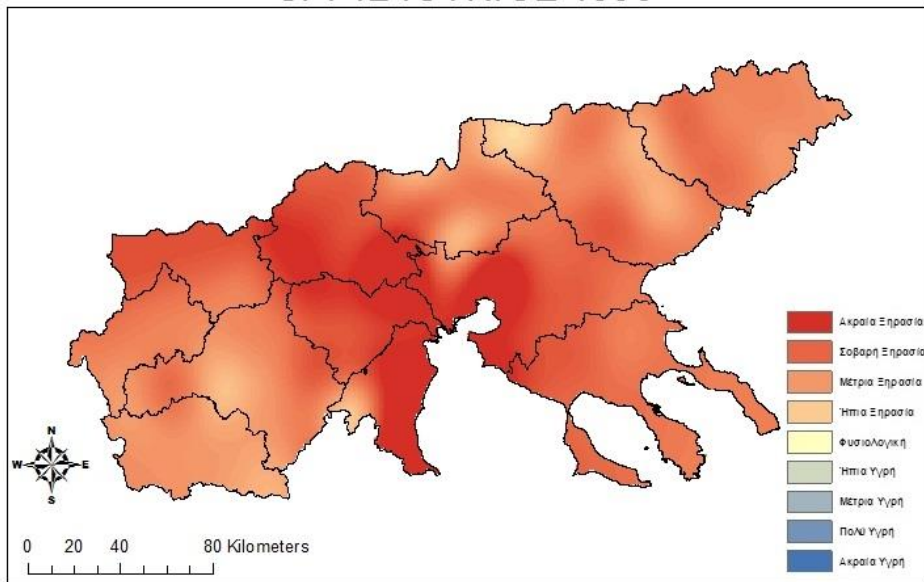
Εικόνα 42 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Απρίλιο 1990

SPI 12 ΜΑΙΟΣ 1990



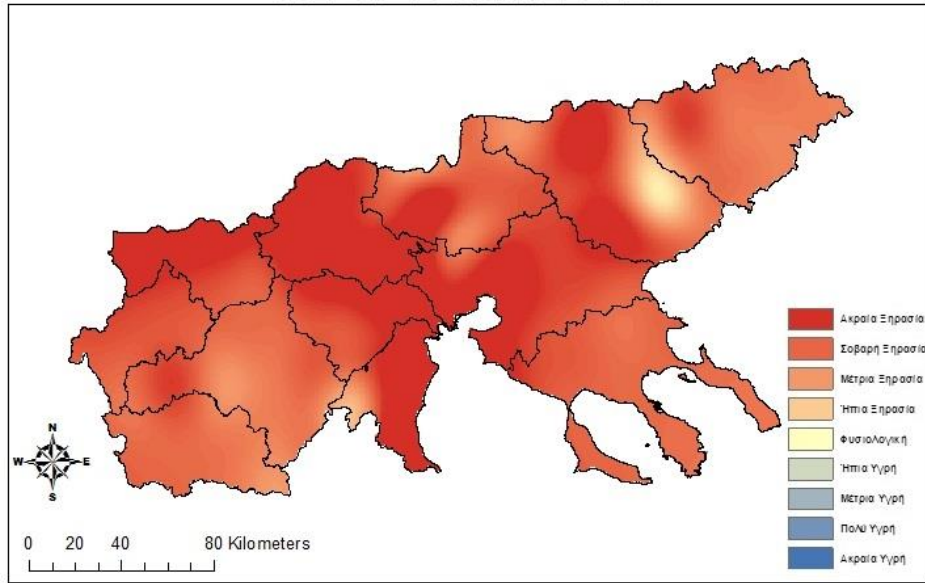
Εικόνα 43 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάιο 1990

SPI 12 ΙΟΥΝΙΟΣ 1990



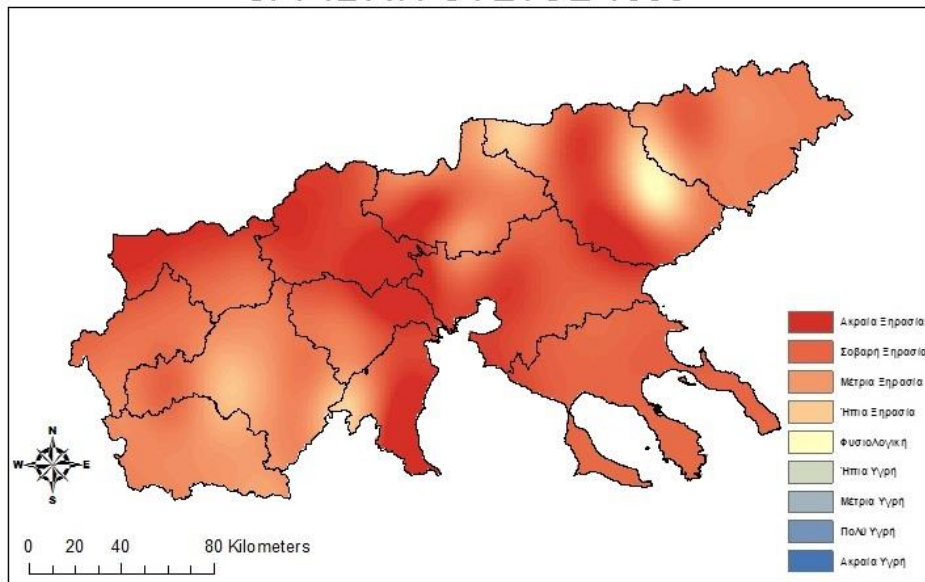
Εικόνα 44 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούνιο 1990

SPI 12 ΙΟΥΛΙΟΣ 1990



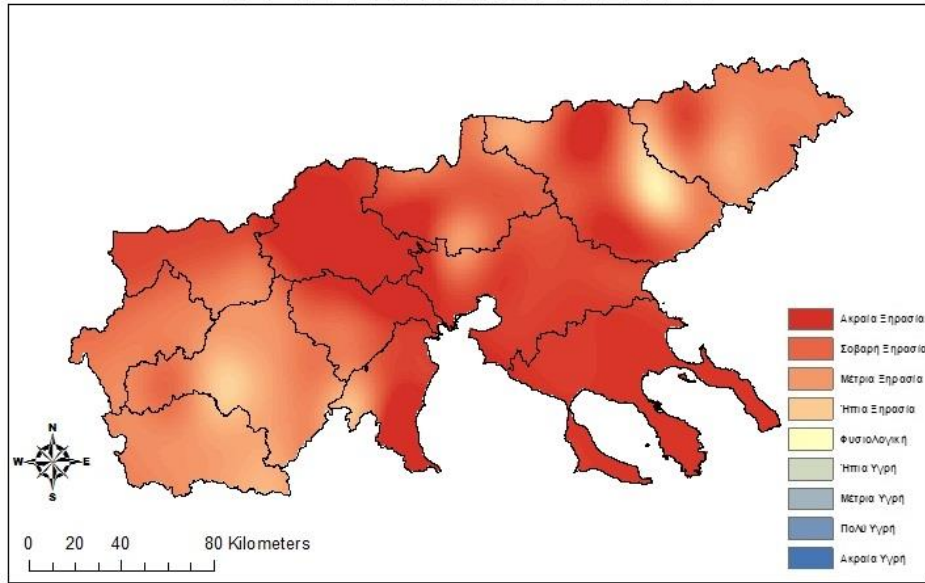
Εικόνα 45 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούλιο 1990

SPI 12 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 1990



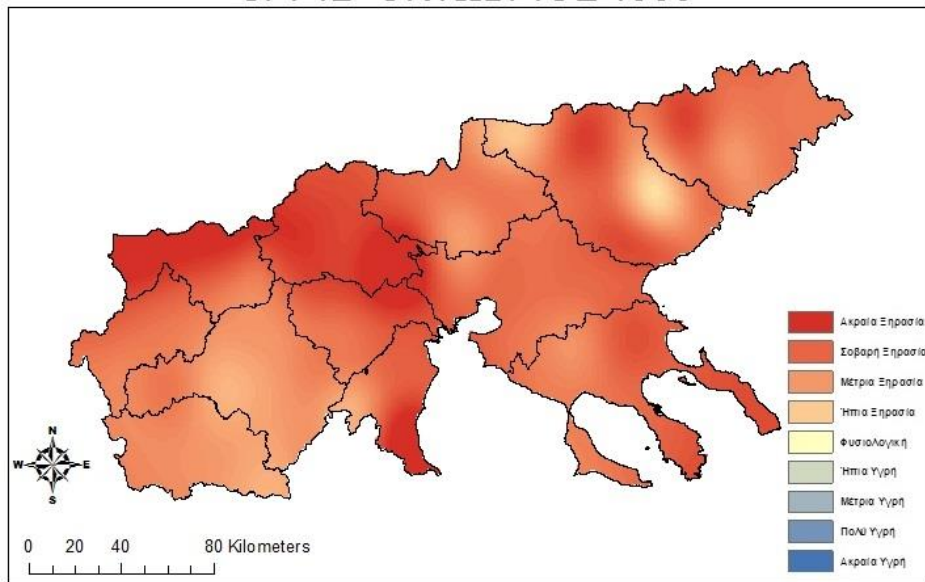
Εικόνα 46 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Αύγουστο 1990

SPI 12 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1990



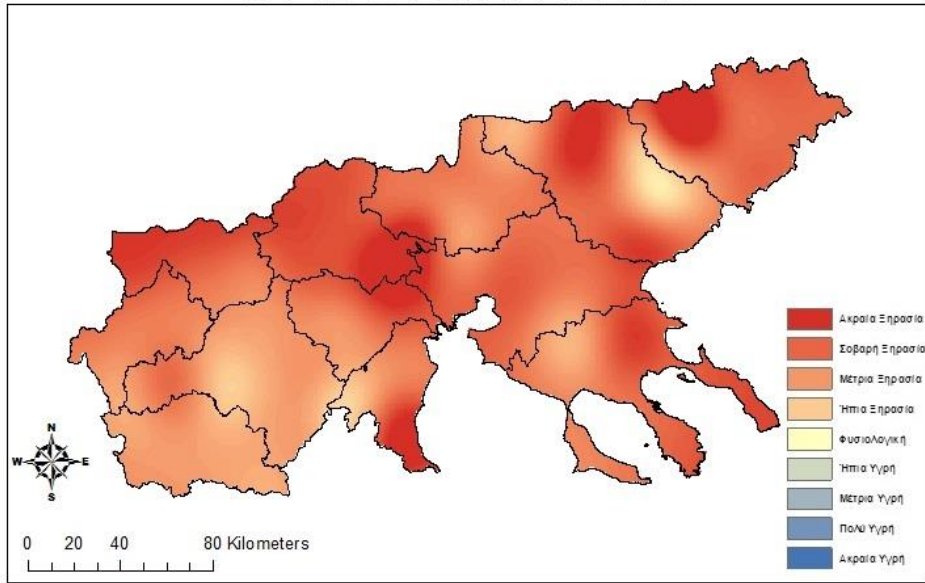
Εικόνα 47 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Σεπτέμβριο 1990

SPI 12 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1990



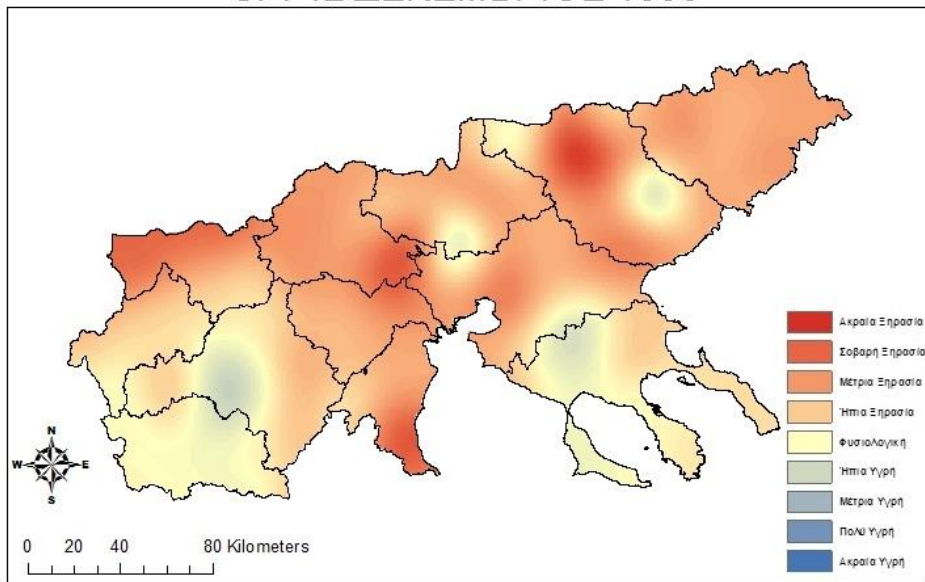
Εικόνα 48 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Οκτώβριο 1990

SPI 12 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1990



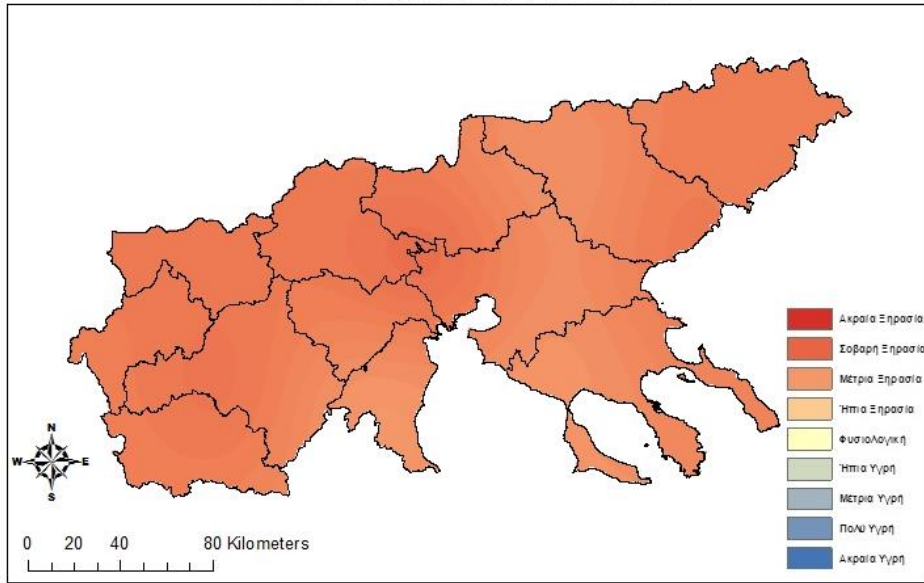
Εικόνα 49 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Νοέμβριο 1990

SPI 12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1990



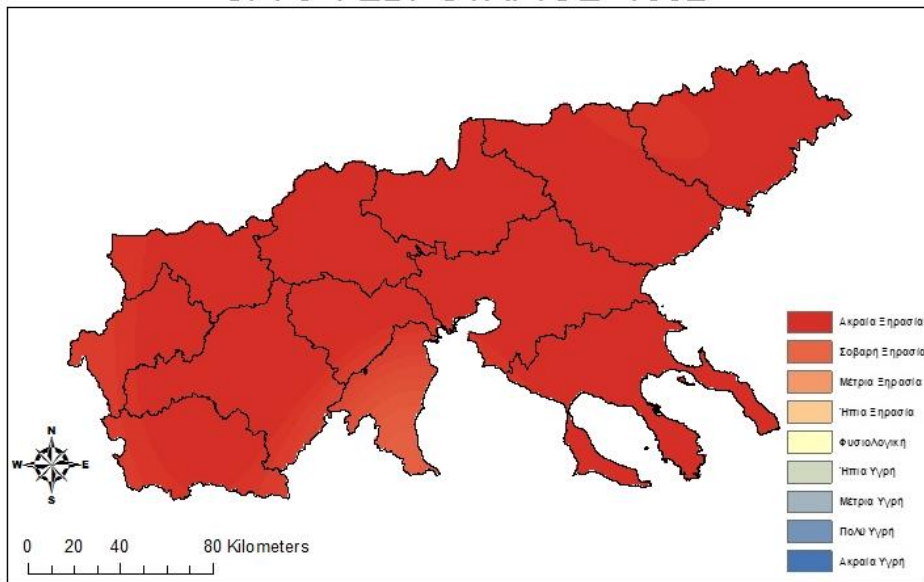
Εικόνα 50 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Δεκέμβριο 1990

SPI 6 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1992



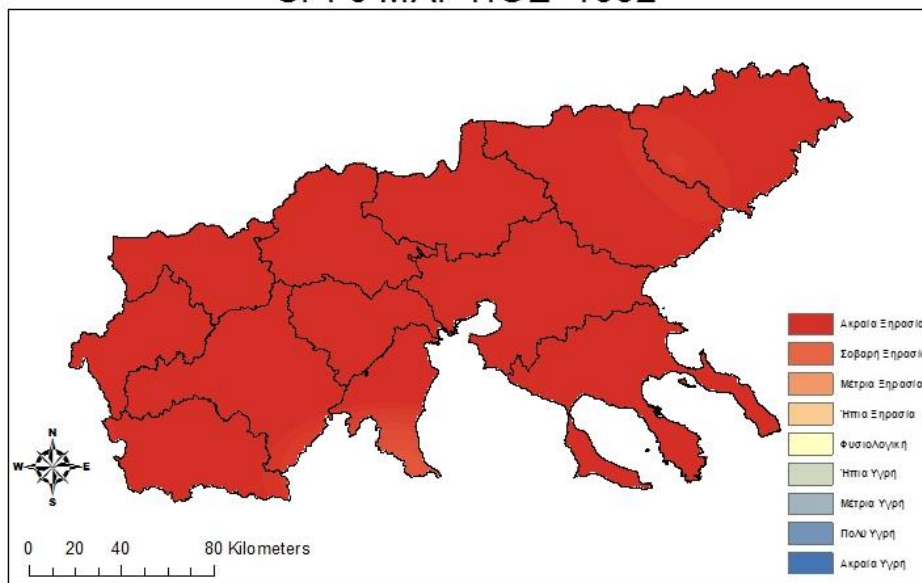
Εικόνα 51 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιανουάριο 1992

SPI 6 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1992



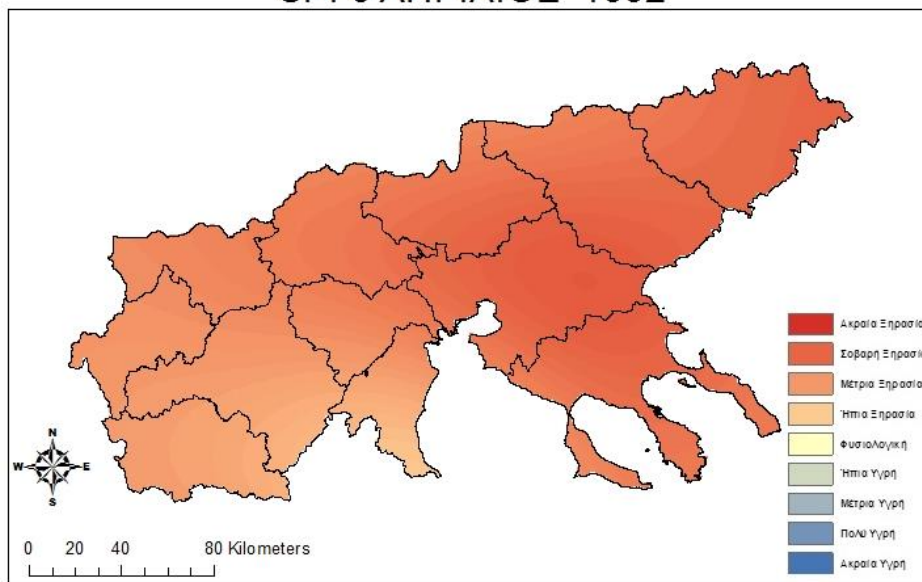
Εικόνα 52 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Φεβρουάριος 1992

SPI 6 ΜΑΡΤΙΟΣ 1992



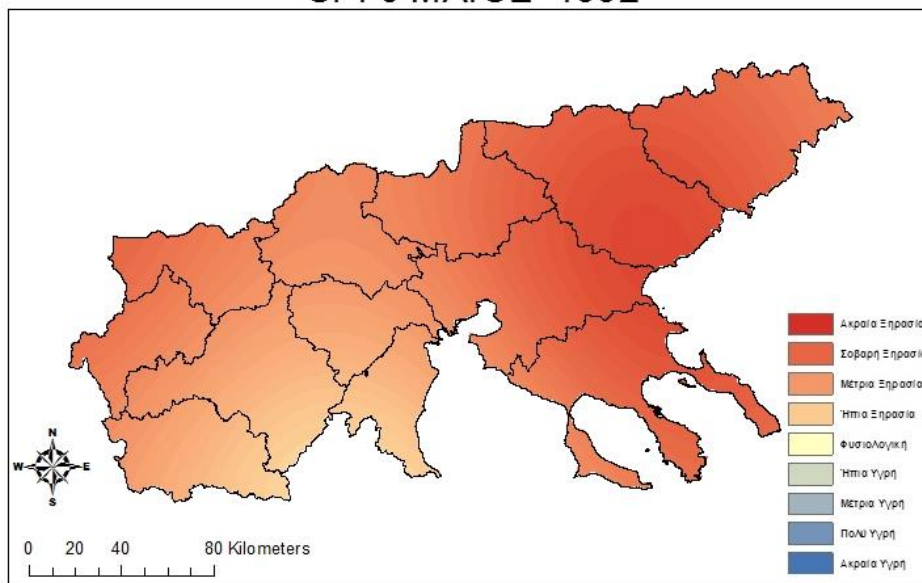
Εικόνα 53 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάρτιο 1992

SPI 6 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1992



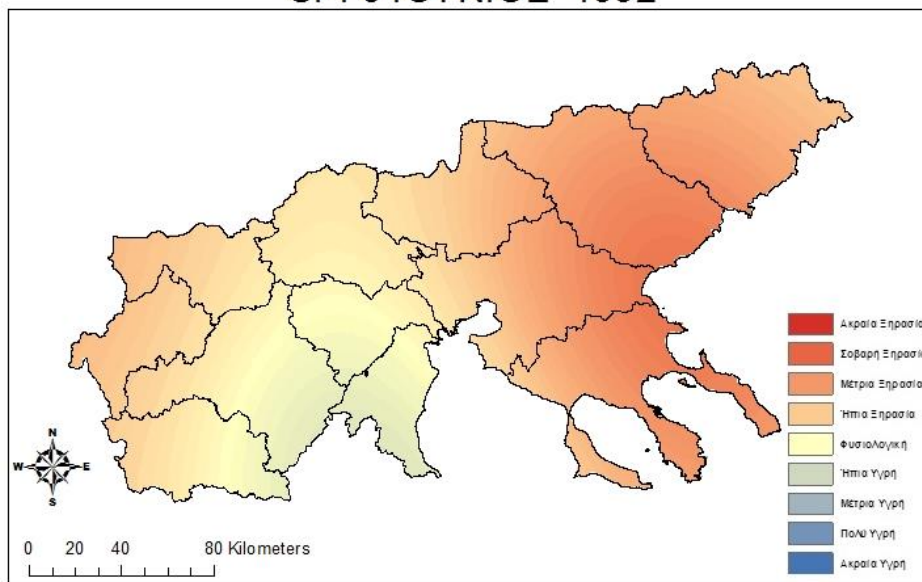
Εικόνα 54 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Απρίλιο 1992

SPI 6 ΜΑΙΟΣ 1992



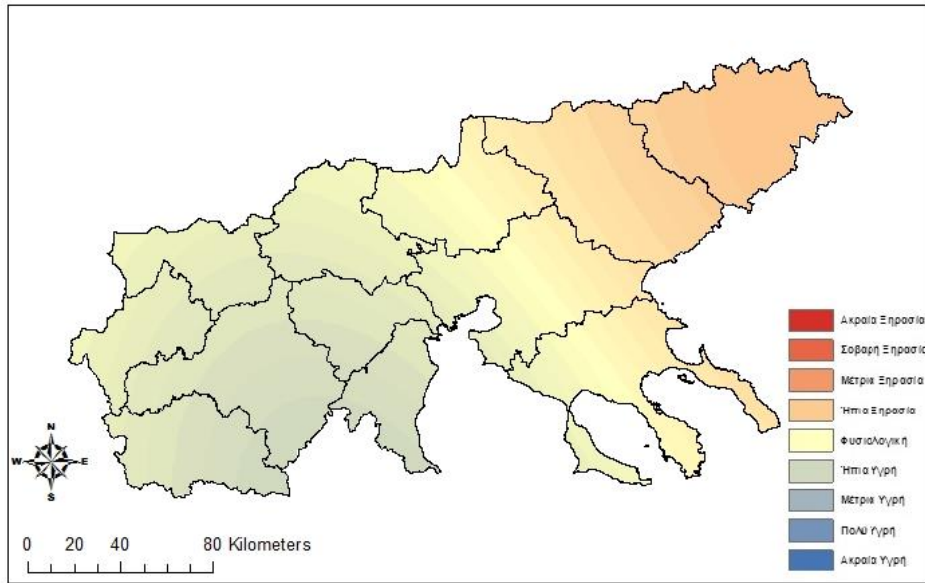
Εικόνα 55 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάιο 1992

SPI 6 ΙΟΥΝΙΟΣ 1992



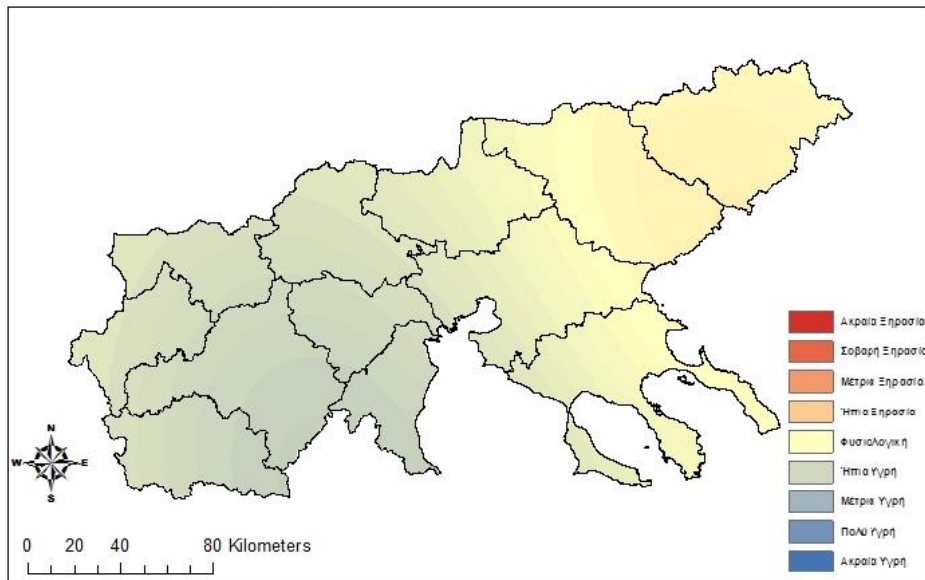
Εικόνα 56 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούνιο 1992

SPI 6 ΙΟΥΛΙΟΣ 1992



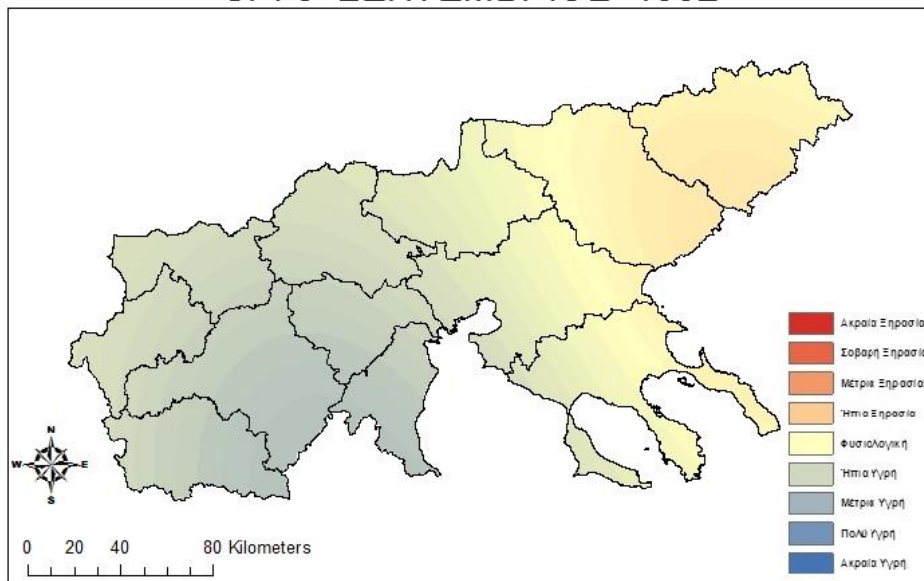
Εικόνα 57 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούλιο 1992

SPI 6 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 1992



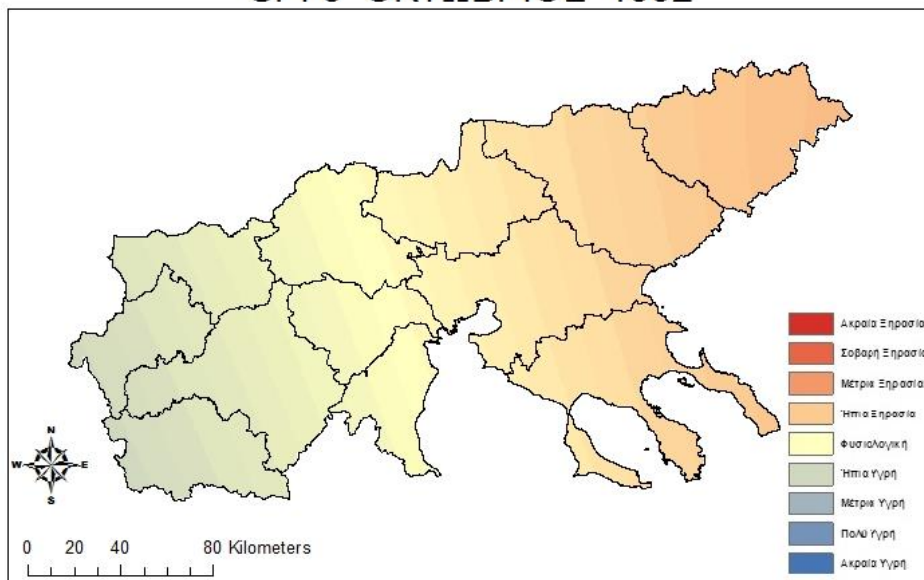
Εικόνα 58 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Αύγουστο 1992

SPI 6 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1992



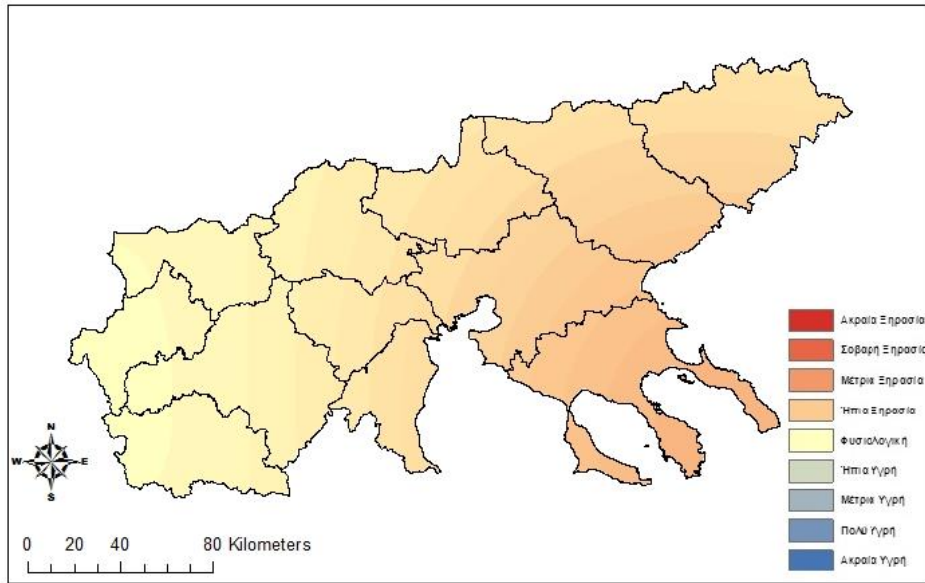
Εικόνα 59 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Σεπτέμβριο 1992

SPI 6 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1992



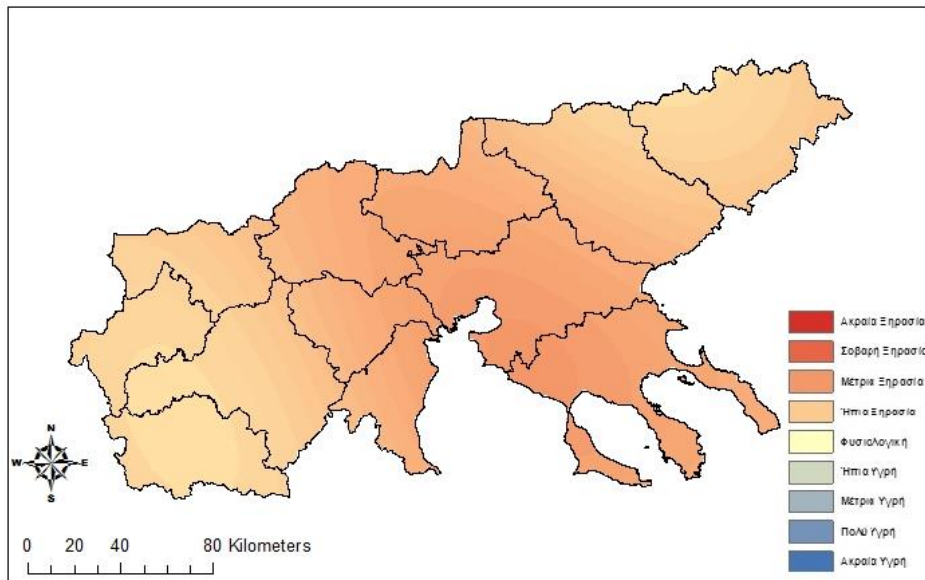
Εικόνα 60 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Οκτώβριο 1992

SPI 6 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1992



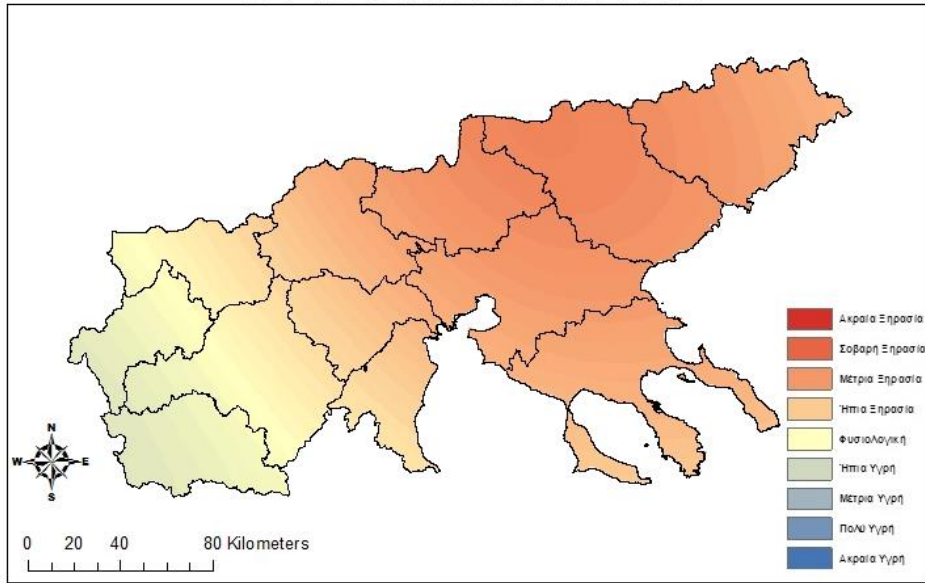
Εικόνα 61 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Νοέμβριο 1992

SPI 6 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1992



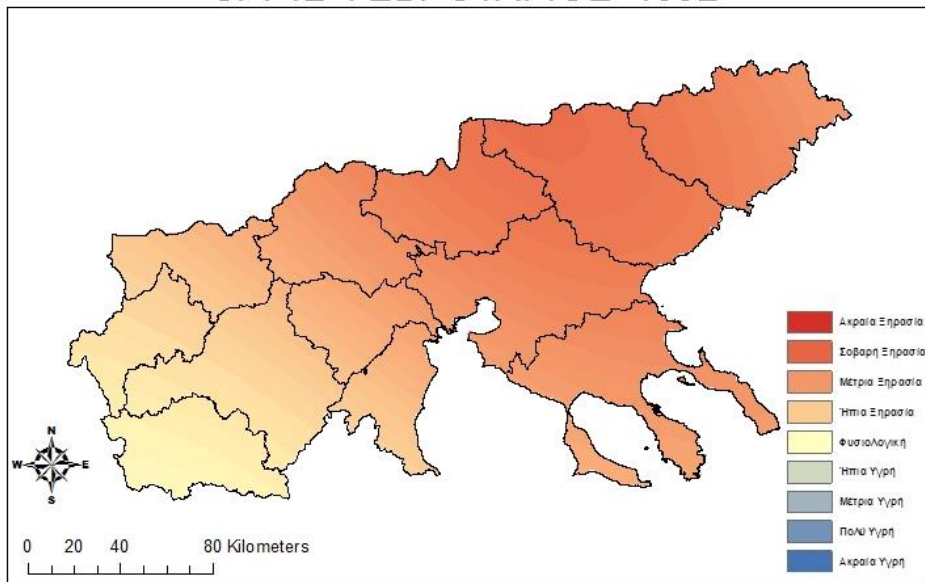
Εικόνα 62 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Δεκέμβριο 1992

SPI 12 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1992



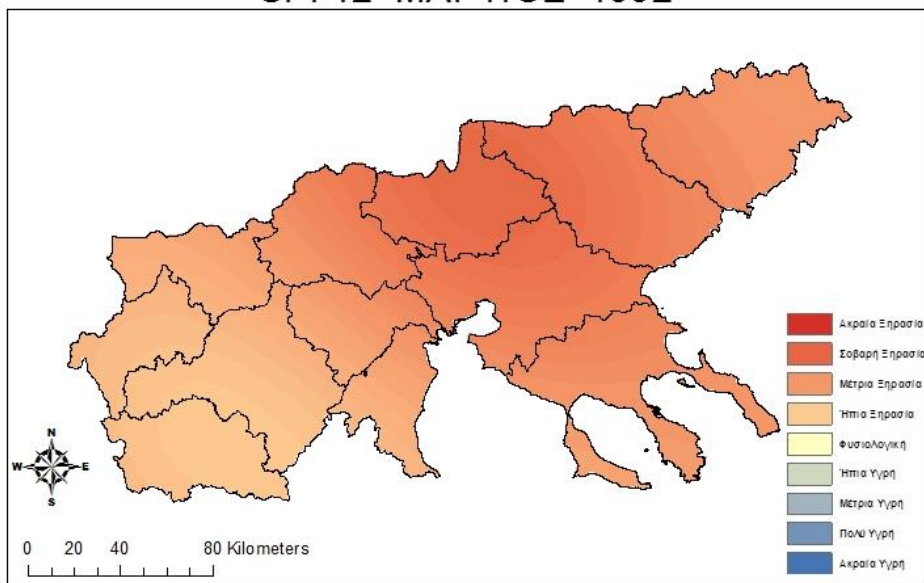
Εικόνα 63 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιανουάριο 1992

SPI 12 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1992



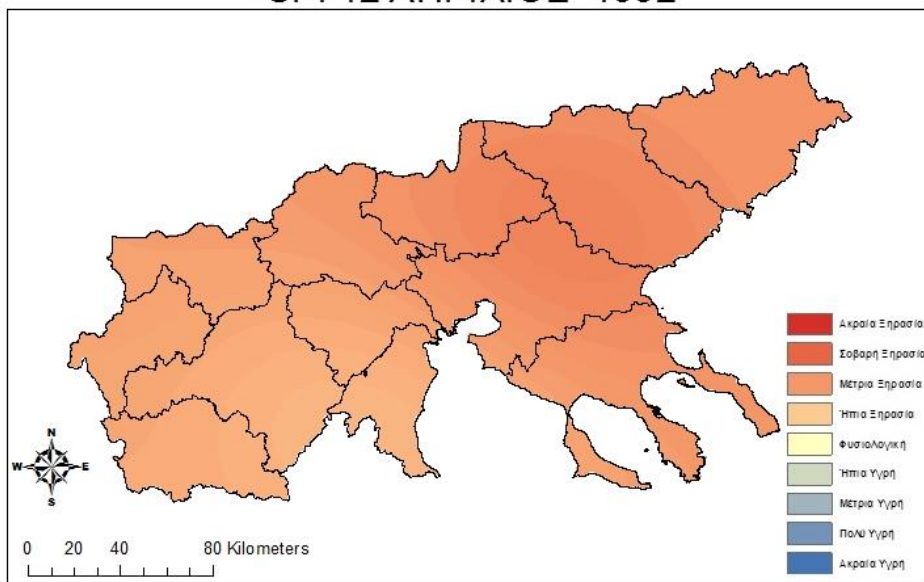
Εικόνα 64 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Φεβρουάριο 1992

SPI 12 ΜΑΡΤΙΟΣ 1992



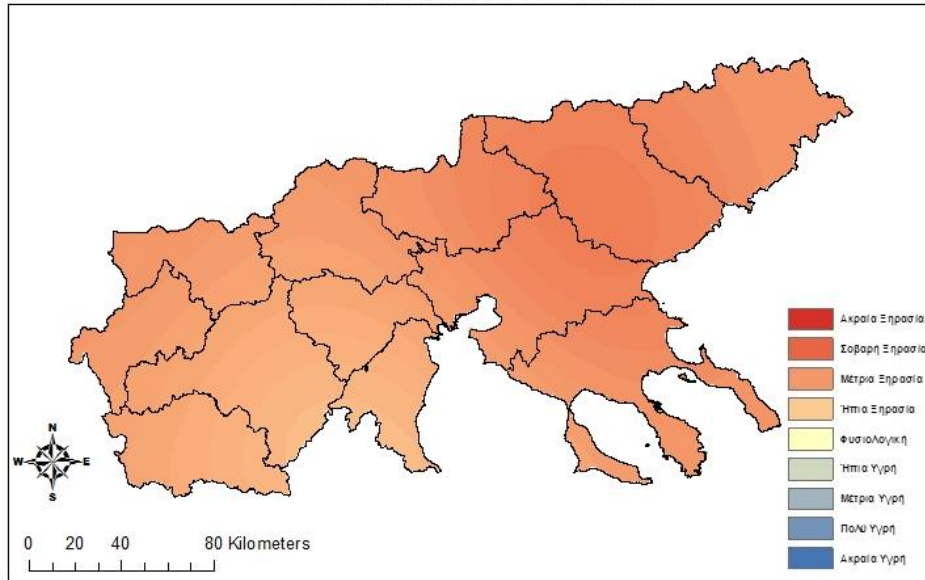
Εικόνα 65 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάρτιο 1992

SPI 12 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1992



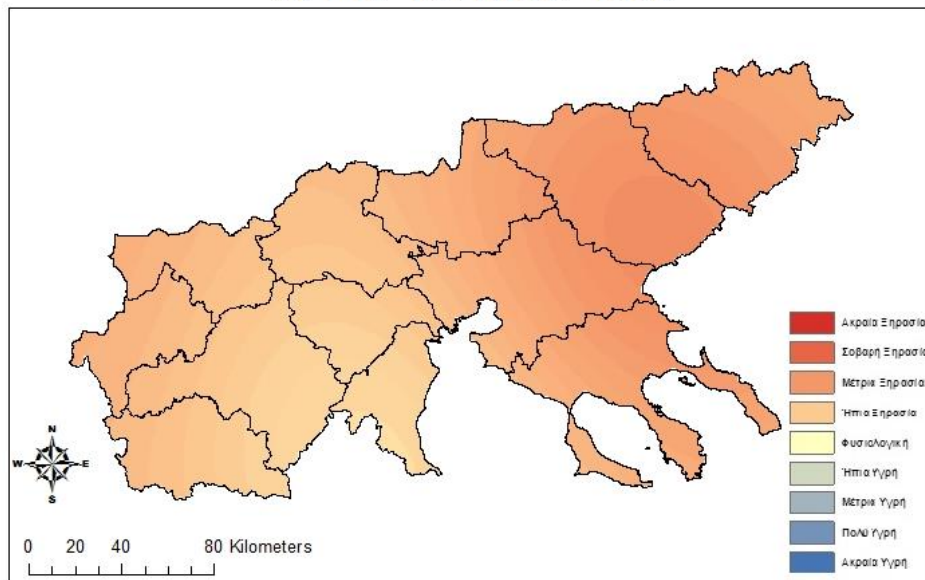
Εικόνα 66 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Απρίλιο 1992

SPI 12 ΜΑΙΟΣ 1992



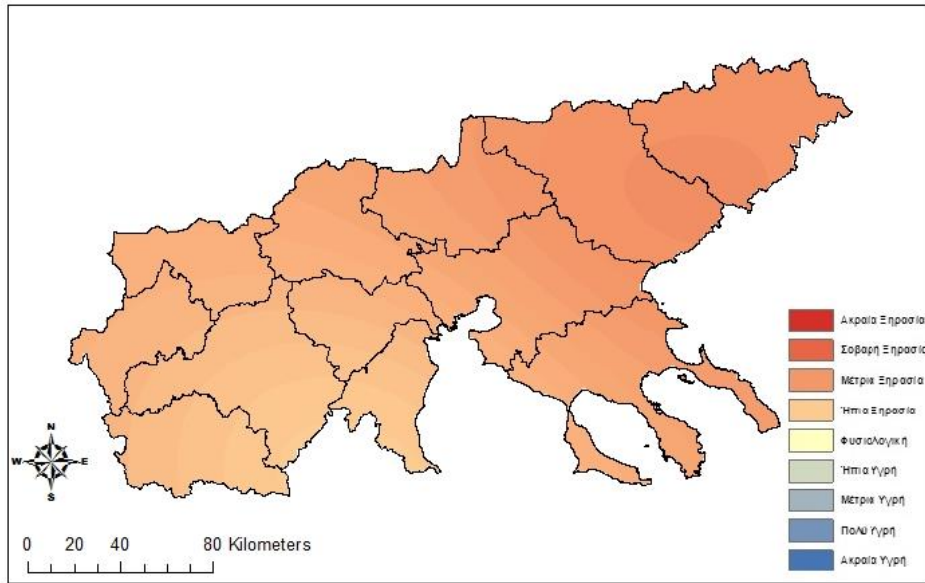
Εικόνα 67 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάιο 1992

SPI 12 ΙΟΥΝΙΟΣ 1992



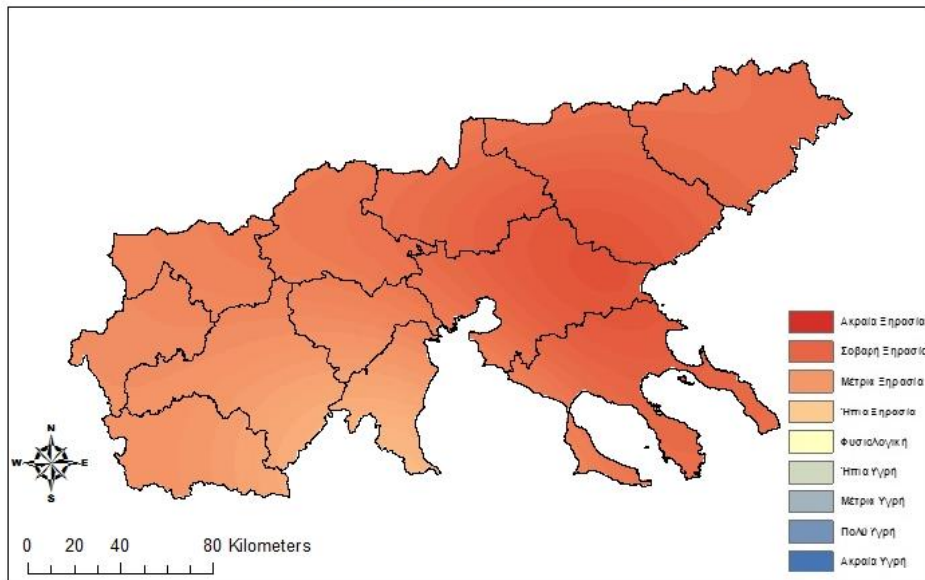
Εικόνα 68 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούνιο 1992

SPI 12 ΙΟΥΛΙΟΣ 1992



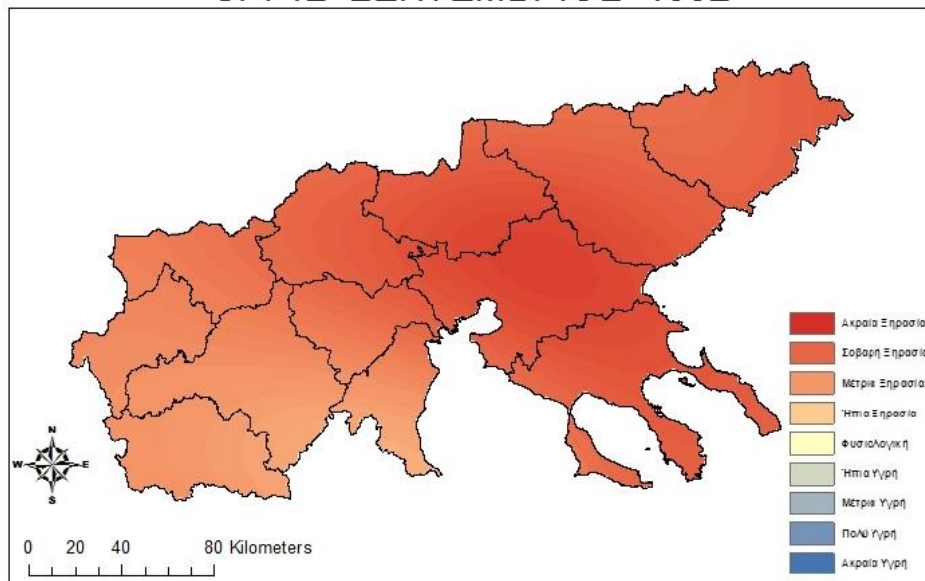
Εικόνα 69 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούλιο 1992

SPI 12 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 1992



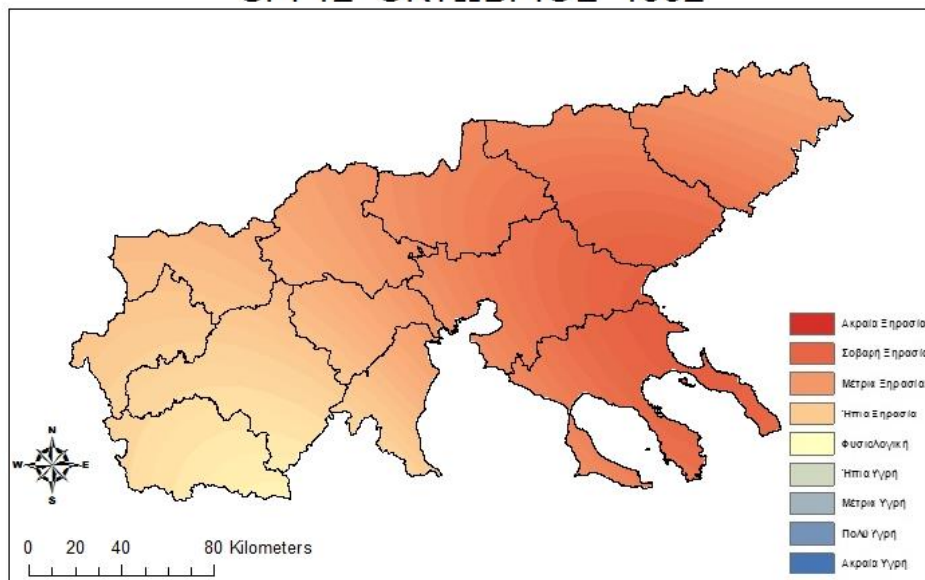
Εικόνα 70 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Αύγουστο 1992

SPI 12 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1992



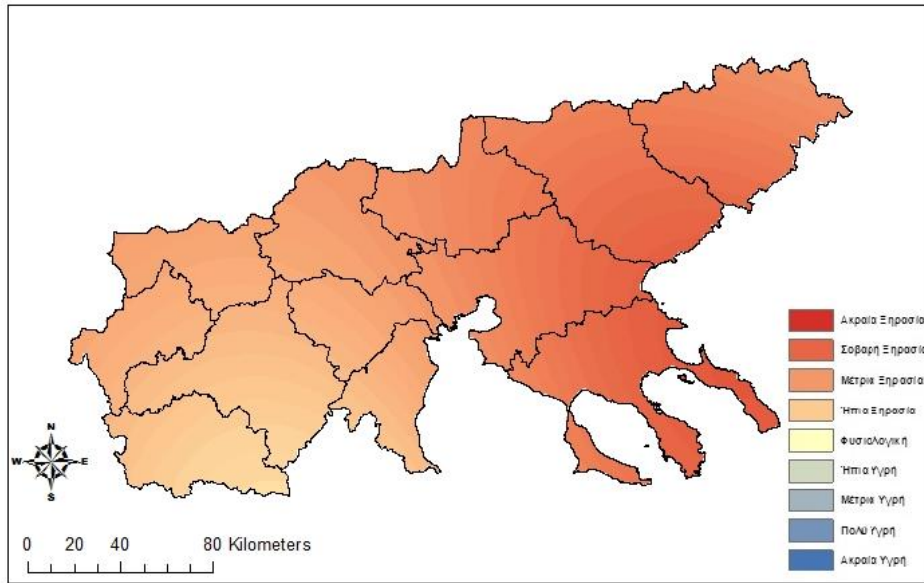
Εικόνα 71 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Σεπτέμβριο 1992

SPI 12 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1992



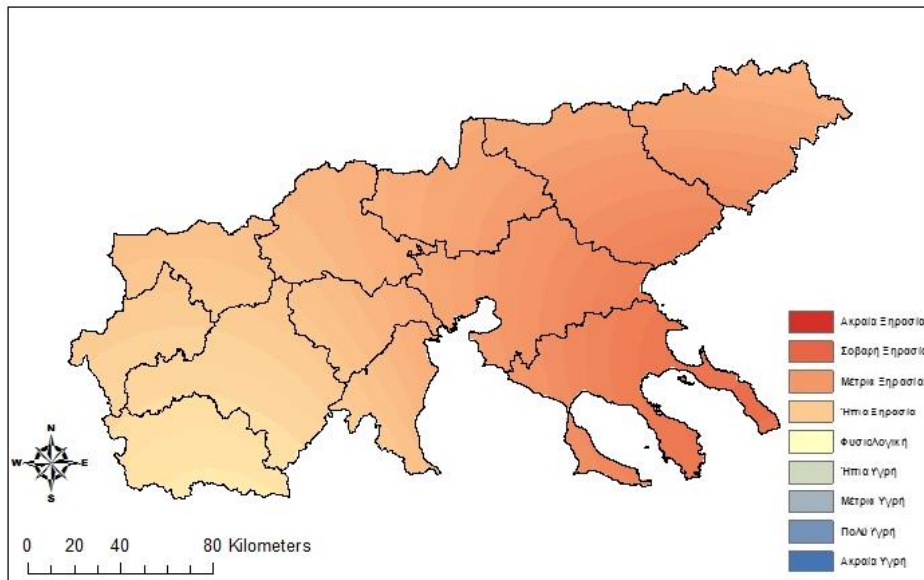
Εικόνα 72 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Οκτώβριο 1992

SPI 12 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1992



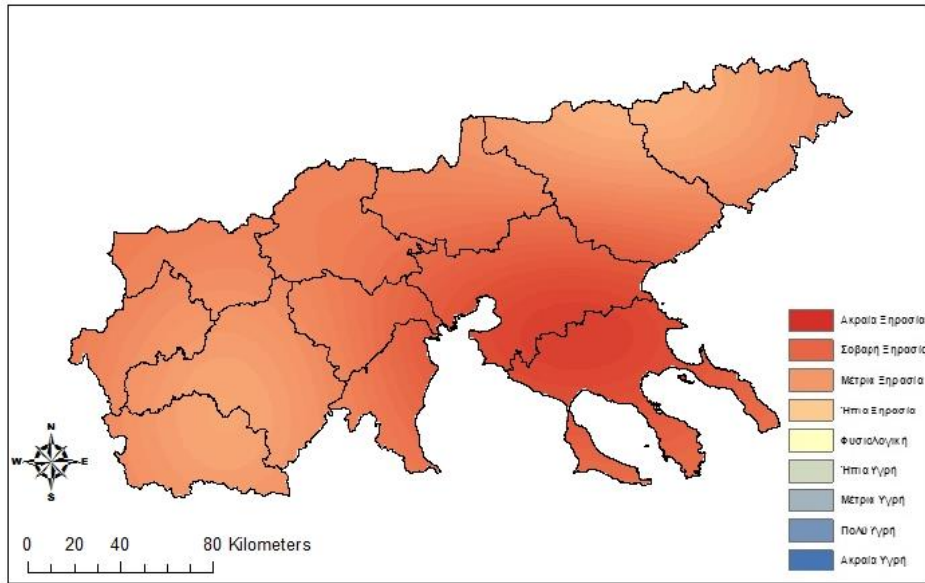
Εικόνα 73 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Νοέμβριο 1992

SPI 12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1992



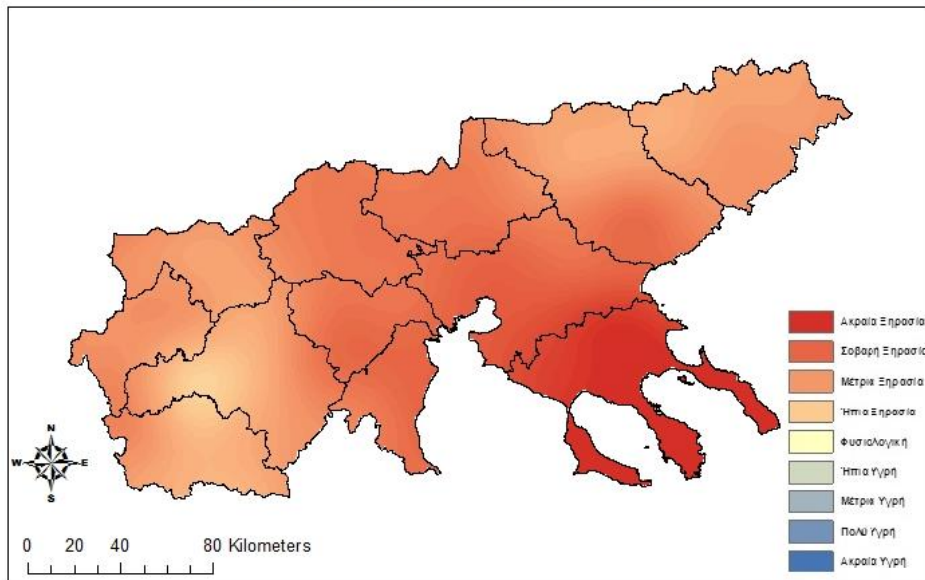
Εικόνα 74 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Δεκέμβριο 1992

SPI 6 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1993



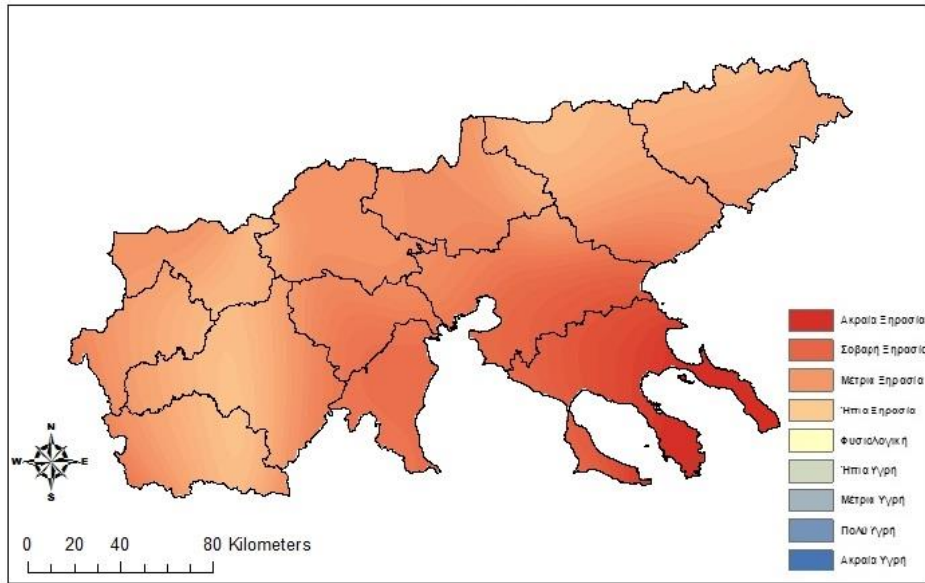
Εικόνα 75 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιανουάριο 1993

SPI 6 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1993



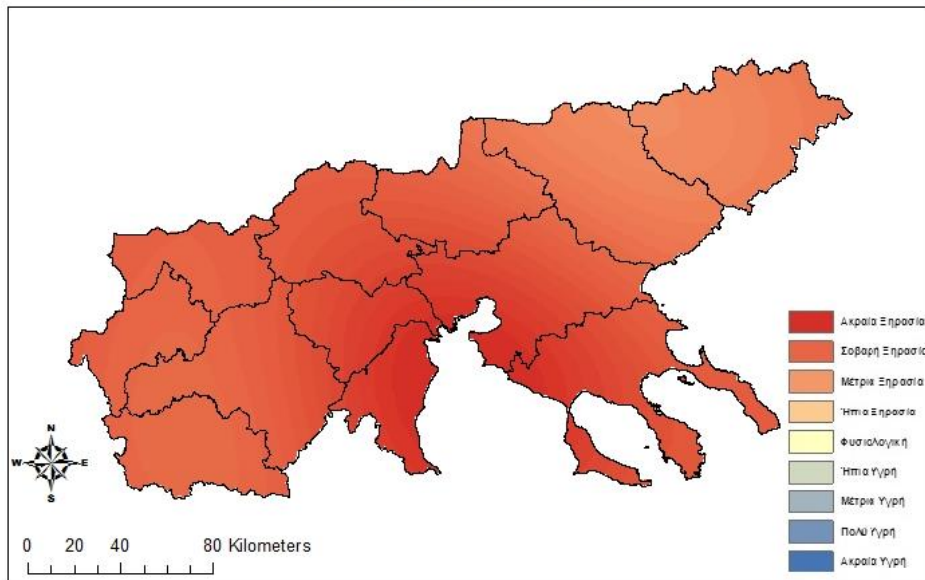
Εικόνα 76 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Φεβρουάριο 1993

SPI 6 ΜΑΡΤΙΟΣ 1993



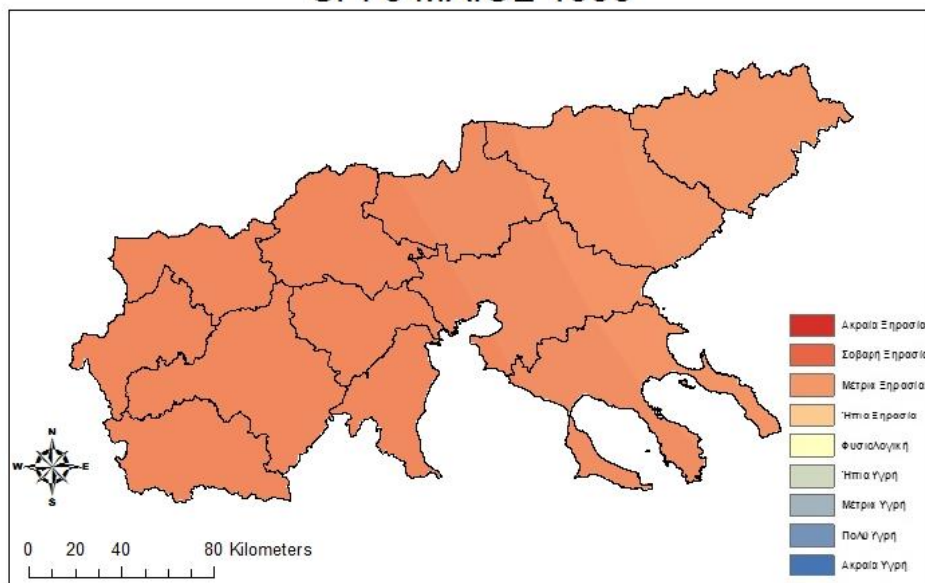
Εικόνα 77 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάρτιο 1993

SPI 6 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1993



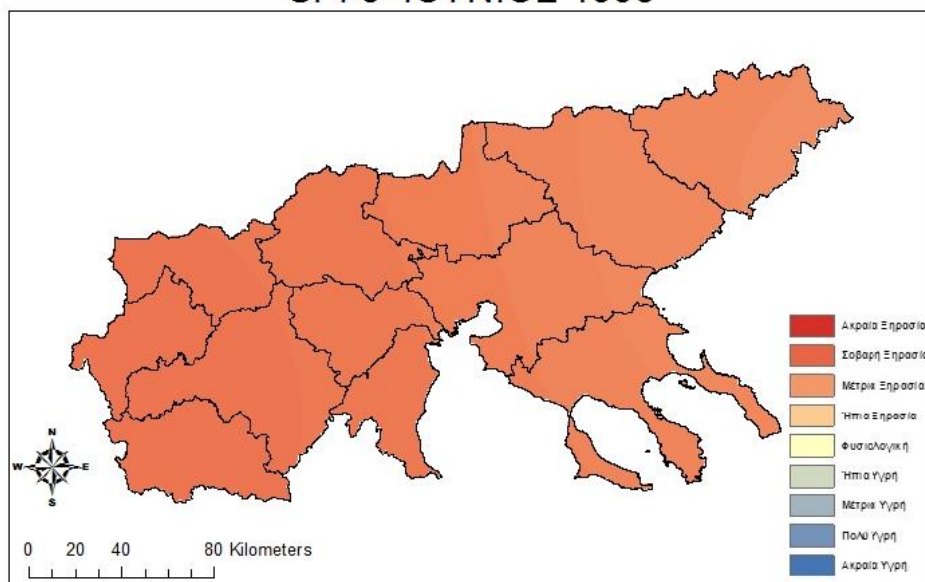
Εικόνα 78 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Απρίλιο 1993

SPI 6 ΜΑΙΟΣ 1993



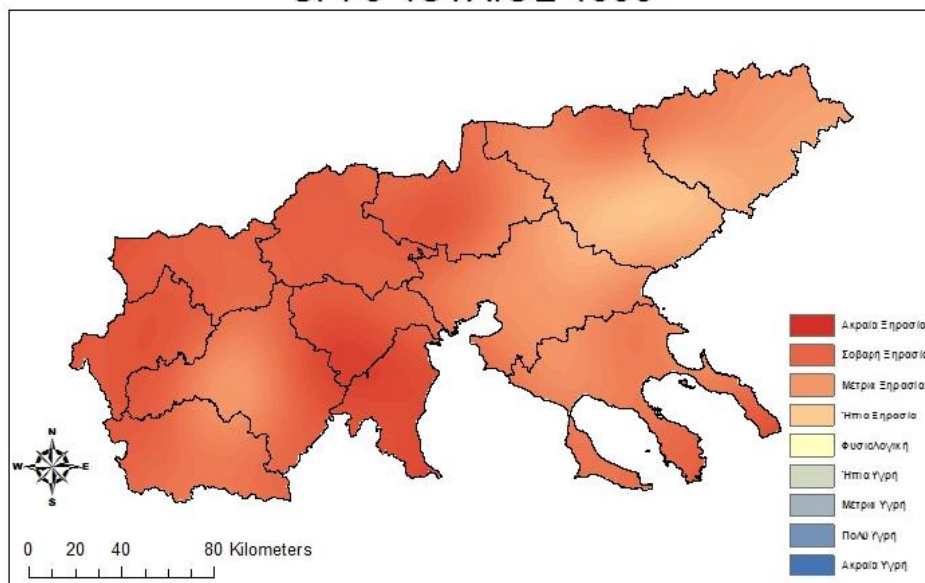
Εικόνα 79 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάιο 1993

SPI 6 ΙΟΥΝΙΟΣ 1993



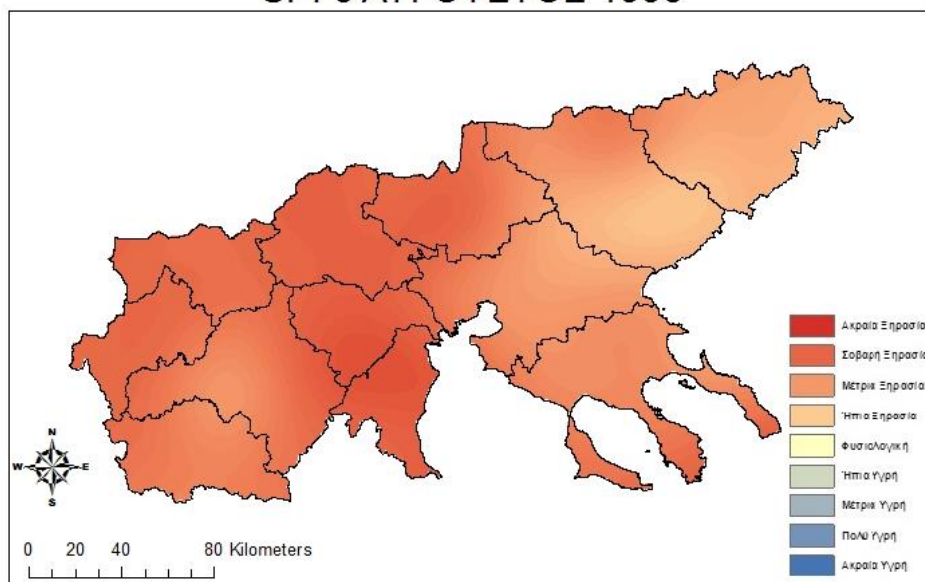
Εικόνα 80 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούνιο 1993

SPI 6 ΙΟΥΛΙΟΣ 1993



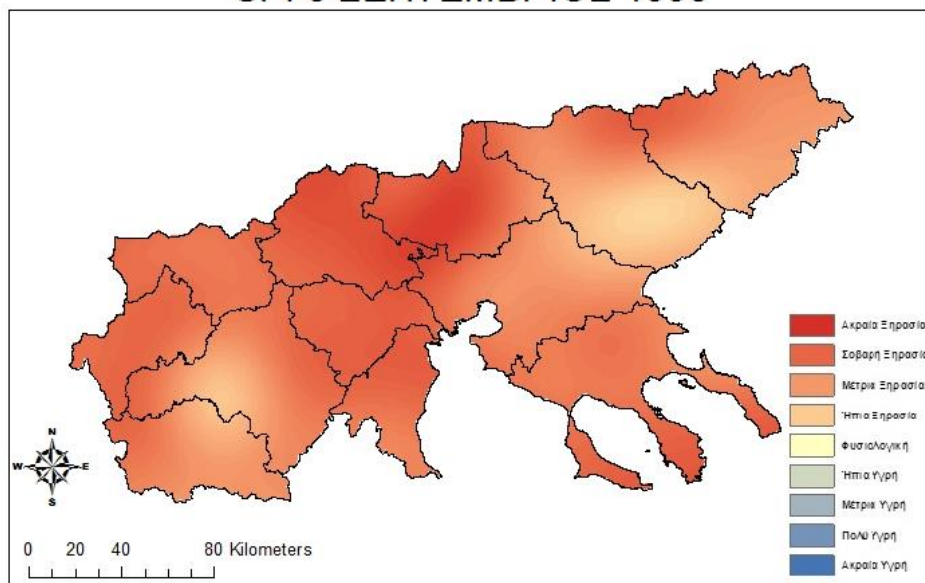
Εικόνα 81 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούλιο 1993

SPI 6 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 1993



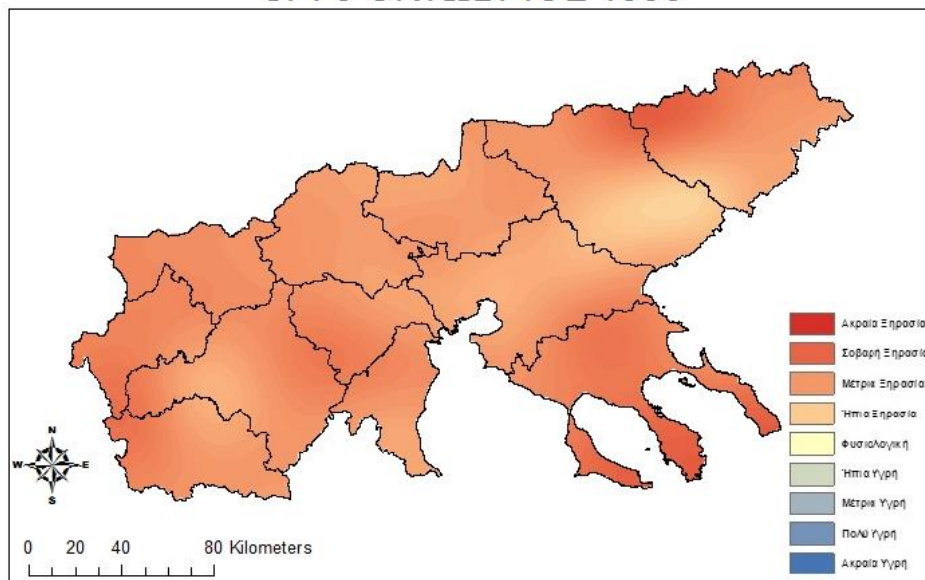
Εικόνα 82 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Αύγουστο 1993

SPI 6 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1993



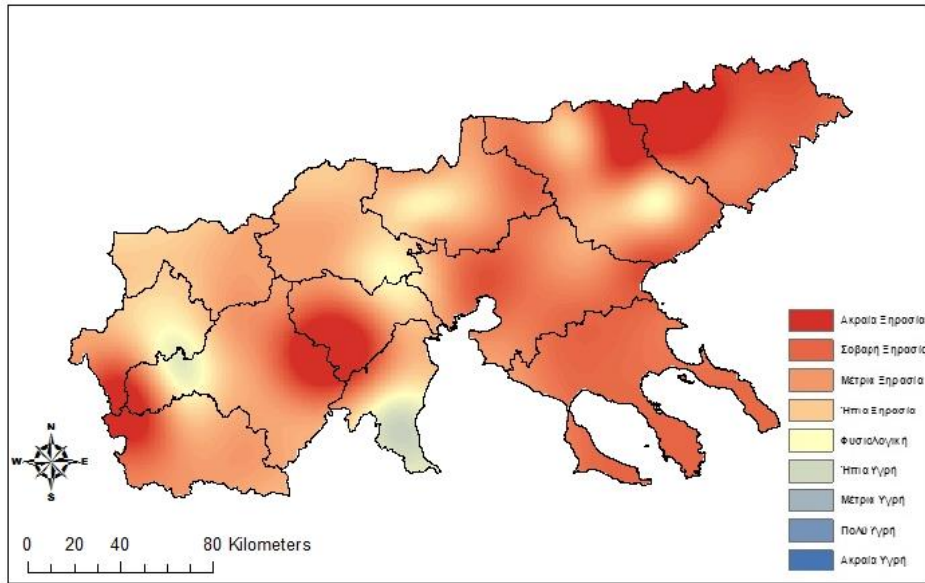
Εικόνα 83 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Σεπτέμβριο 1993

SPI 6 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1993



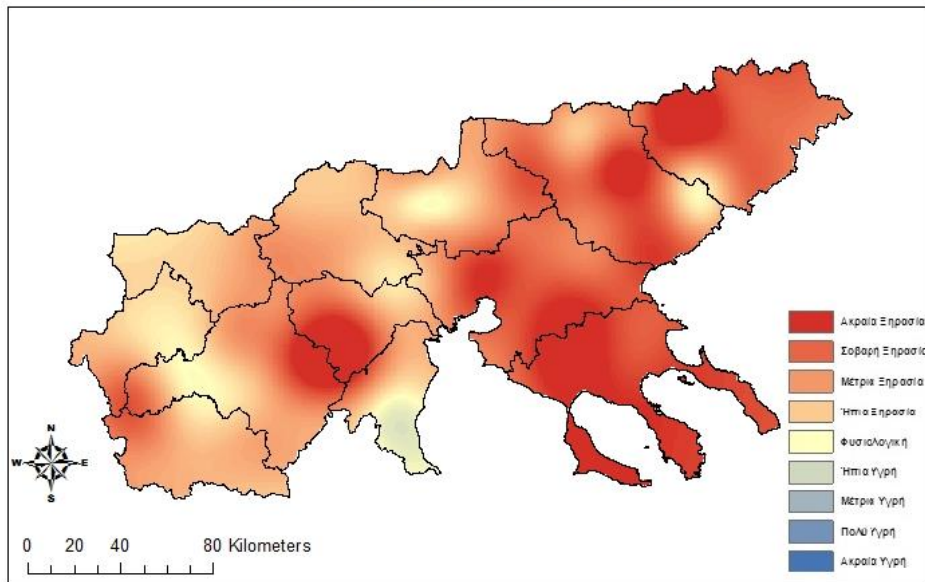
Εικόνα 84 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Οκτώβριο 1993

SPI 6 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1993



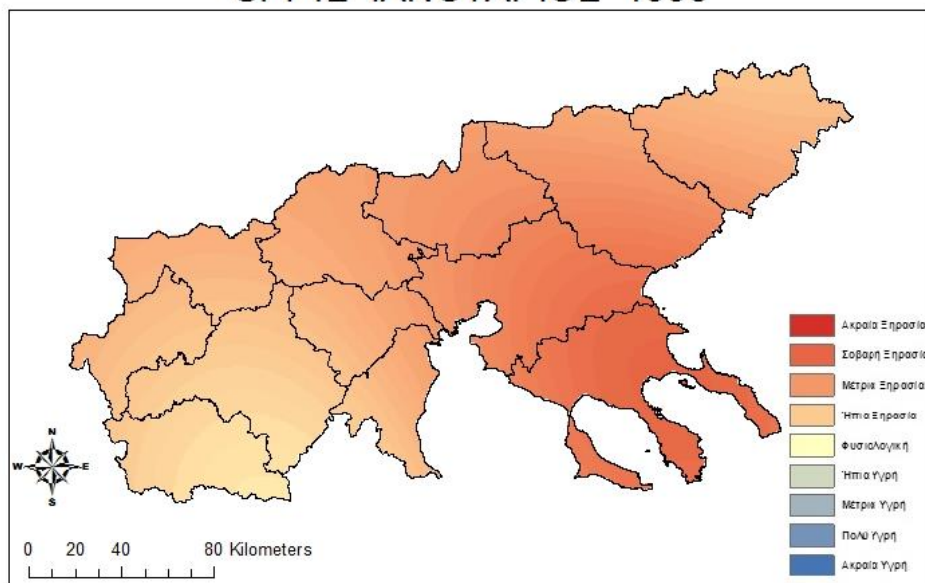
Εικόνα 85 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Νοέμβριο 1993

SPI 6 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1993



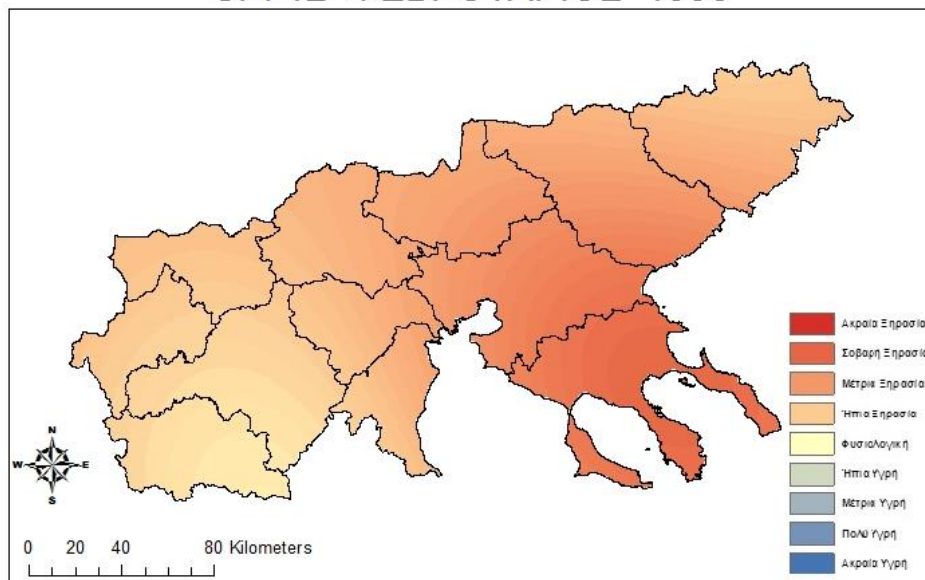
Εικόνα 86 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Δεκέμβριο 1993

SPI 12 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 1993



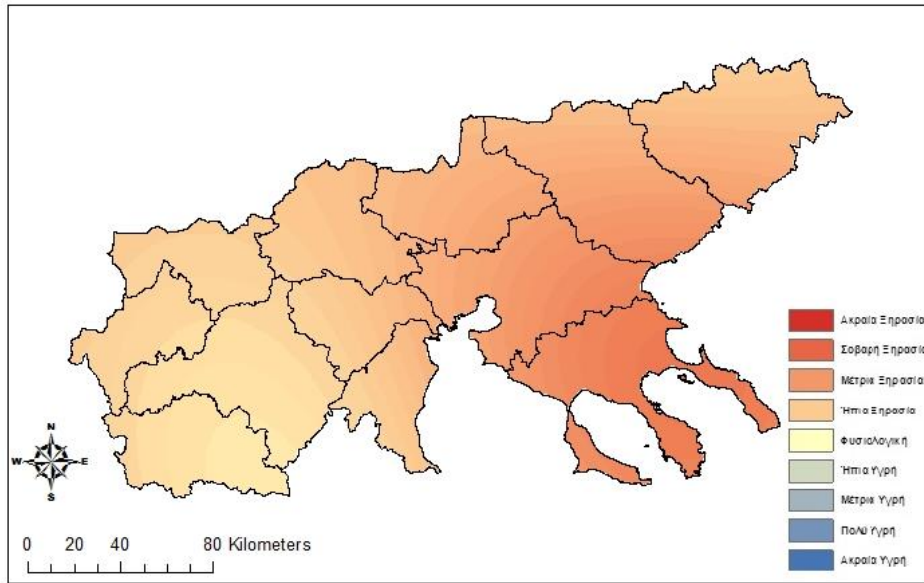
Εικόνα 87 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιανουάριο 1993

SPI 12 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 1993



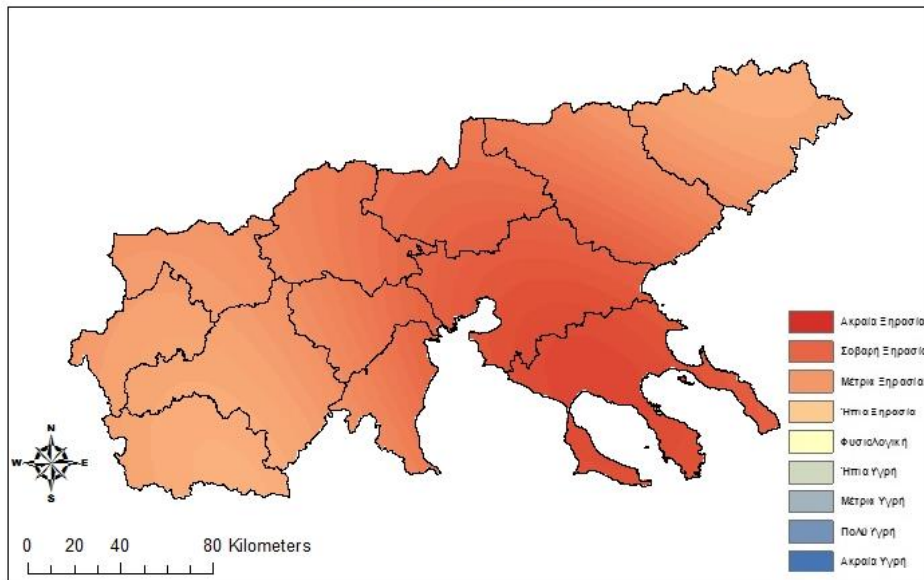
Εικόνα 88 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Φεβρουάριο 1993

SPI 12 ΜΑΡΤΙΟΣ 1993



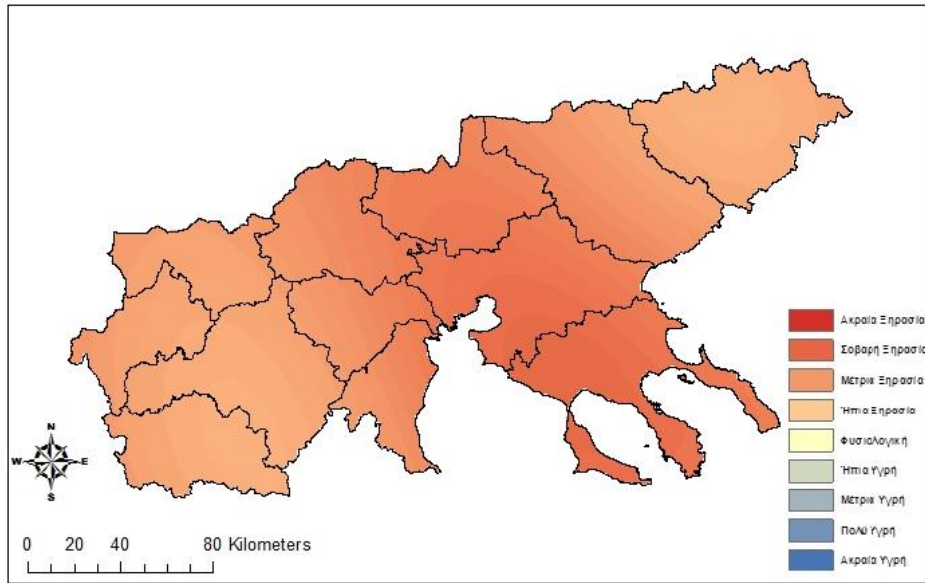
Εικόνα 89 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάρτιο 1993

SPI 12 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 1993



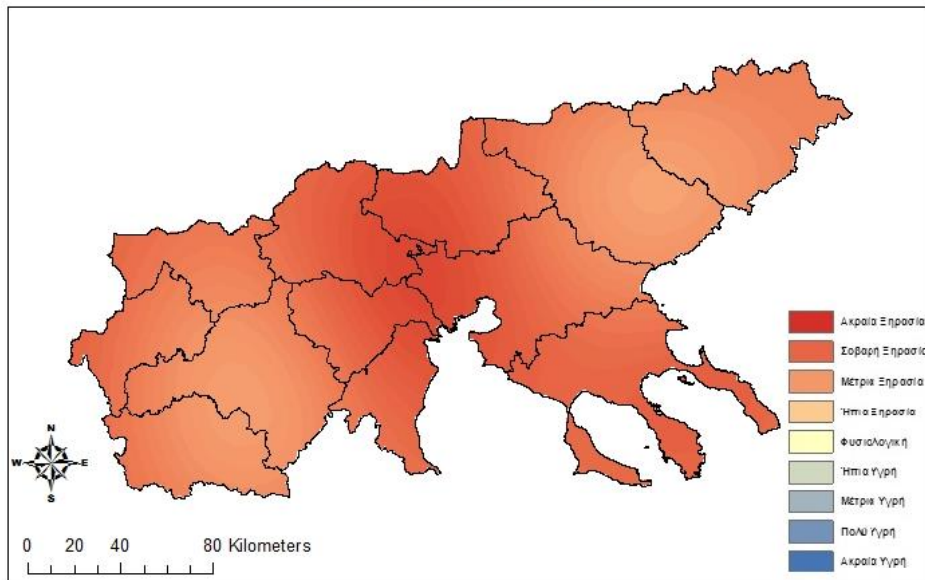
Εικόνα 90 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Απρίλιο 1993

SPI 12 ΜΑΙΟΣ 1993



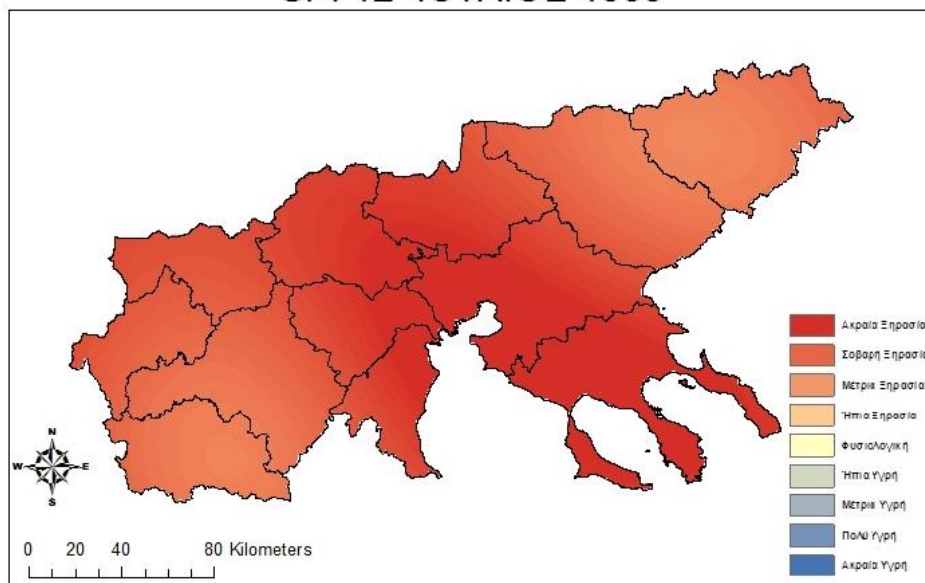
Εικόνα 91 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάιο 1993

SPI 12 ΙΟΥΝΙΟΣ 1993



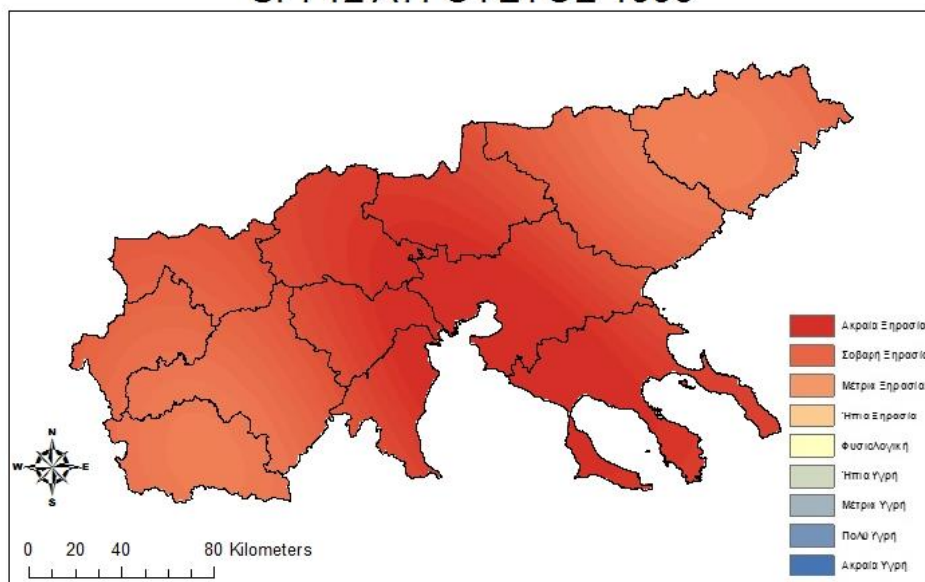
Εικόνα 92 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούνιο 1993

SPI 12 ΙΟΥΛΙΟΣ 1993



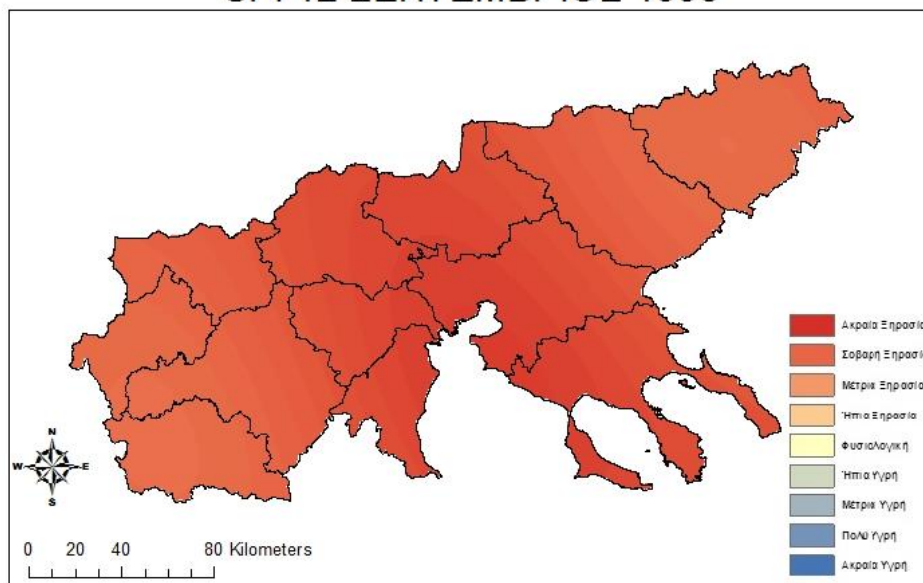
Εικόνα 93 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούλιο 1993

SPI 12 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 1993



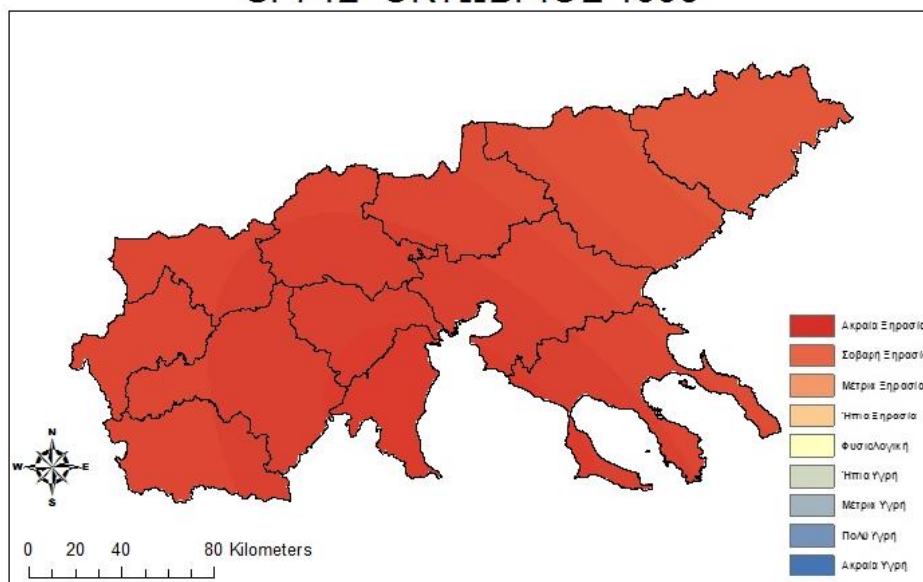
Εικόνα 94 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Αύγουστο 1993

SPI 12 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1993



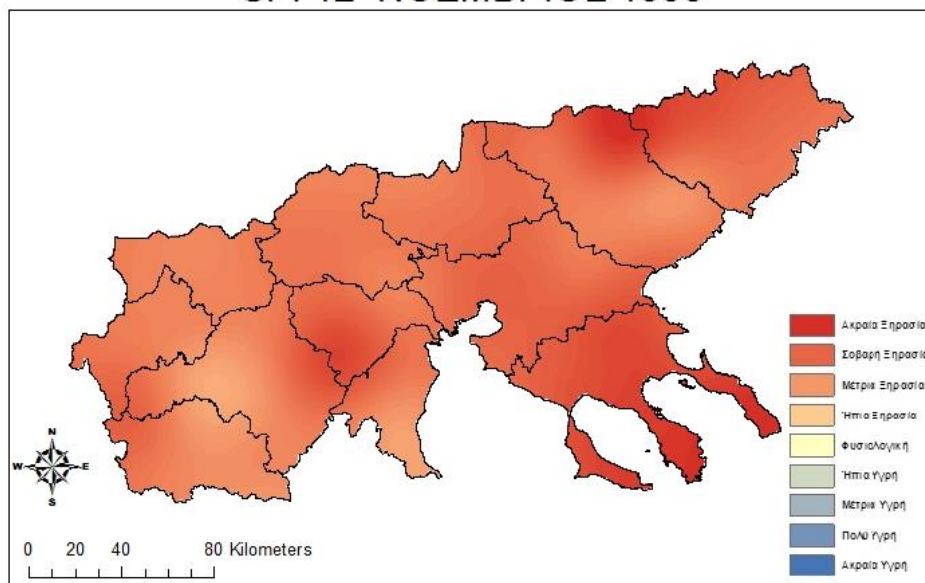
Εικόνα 95 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Σεπτέμβριο 1993

SPI 12 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 1993



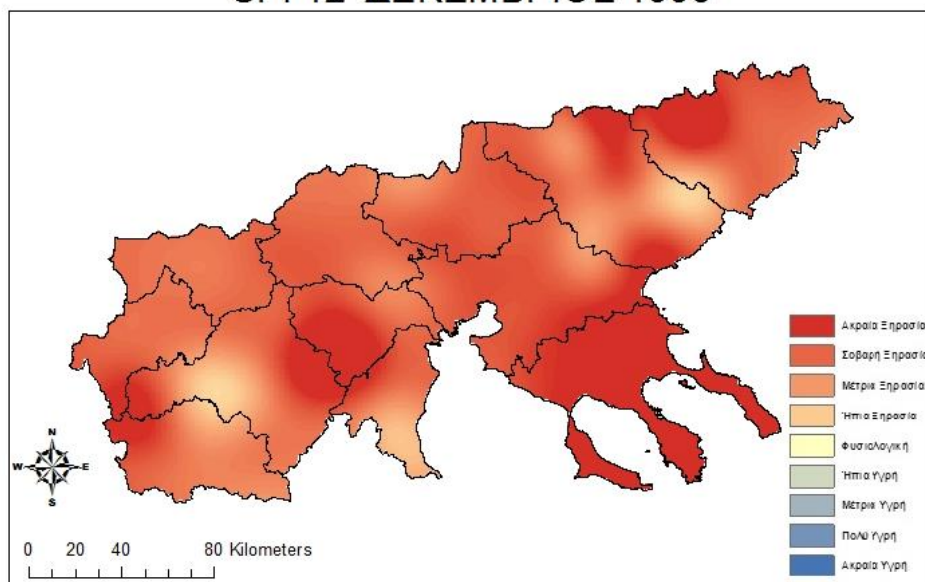
Εικόνα 96 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Οκτώβριο 1993

SPI 12 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1993



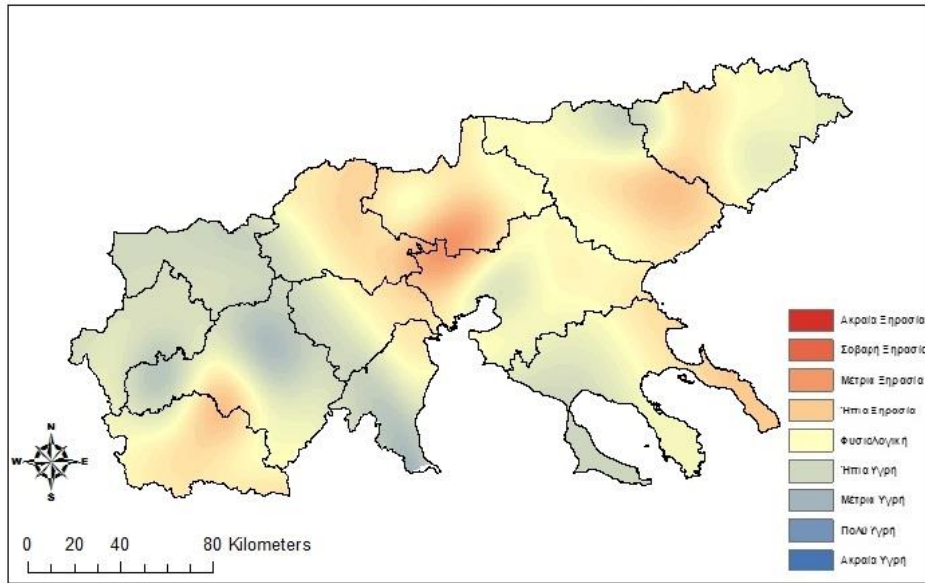
Εικόνα 97 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Νοέμβριο 1993

SPI 12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1993



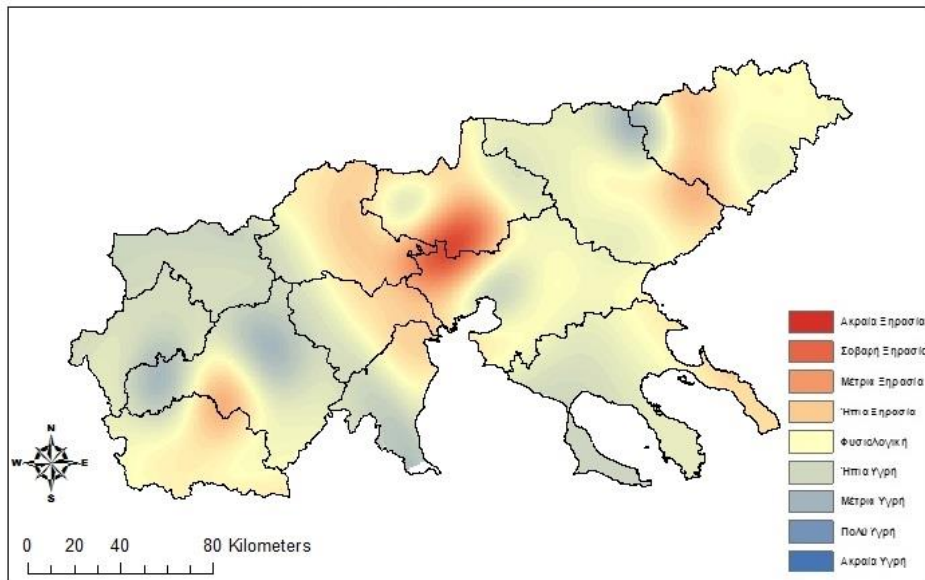
Εικόνα 98 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Δεκέμβριο 1993

SPI 6 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2000



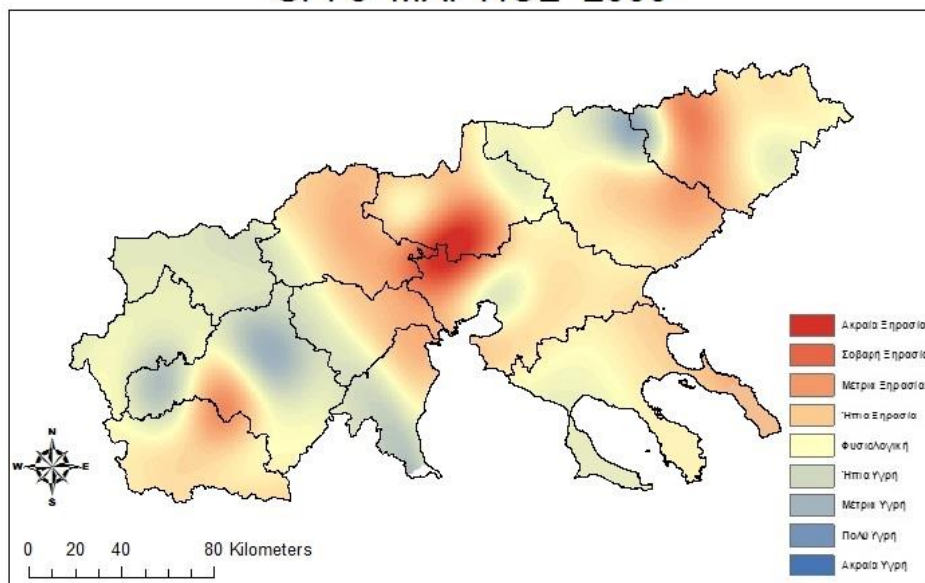
Εικόνα 99 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιανουάριο 2000

SPI 6 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000



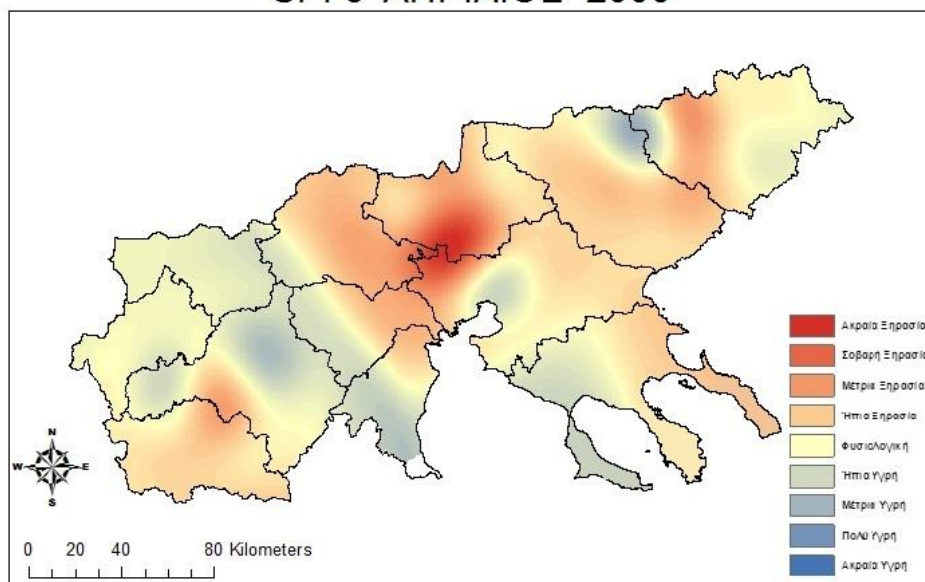
Εικόνα 100 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Φεβρουάριο 2000

SPI 6 ΜΑΡΤΙΟΣ 2000



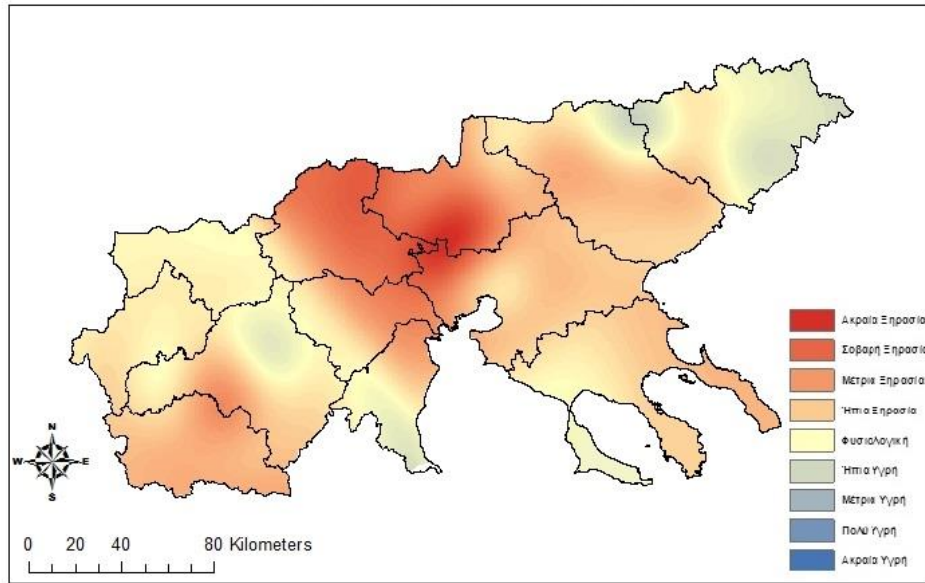
Εικόνα 101 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάρτιο 2000

SPI 6 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2000



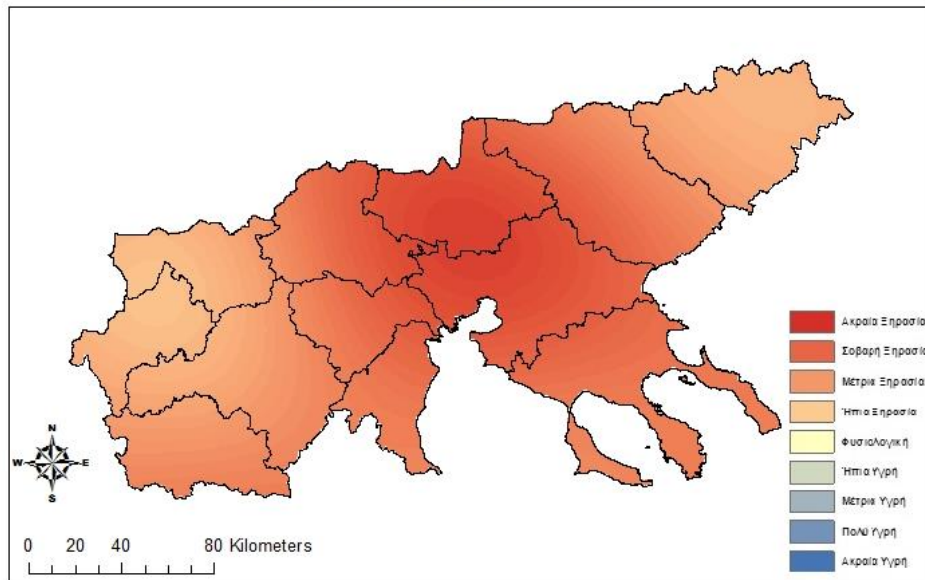
Εικόνα 102 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Απρίλιο 2000

SPI 6 ΜΑΙΟΣ 2000



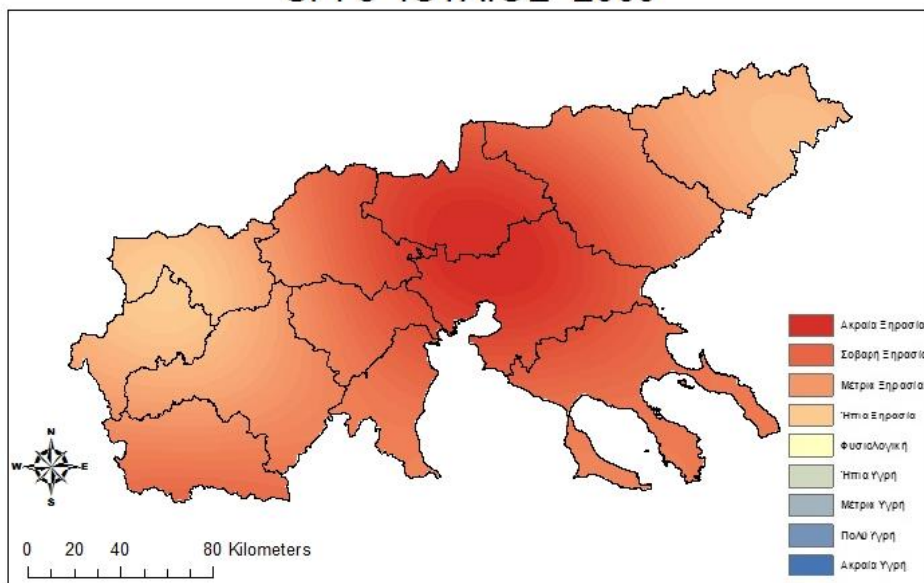
Εικόνα 103 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάιο 2000

SPI 6 ΙΟΥΝΙΟΣ 2000



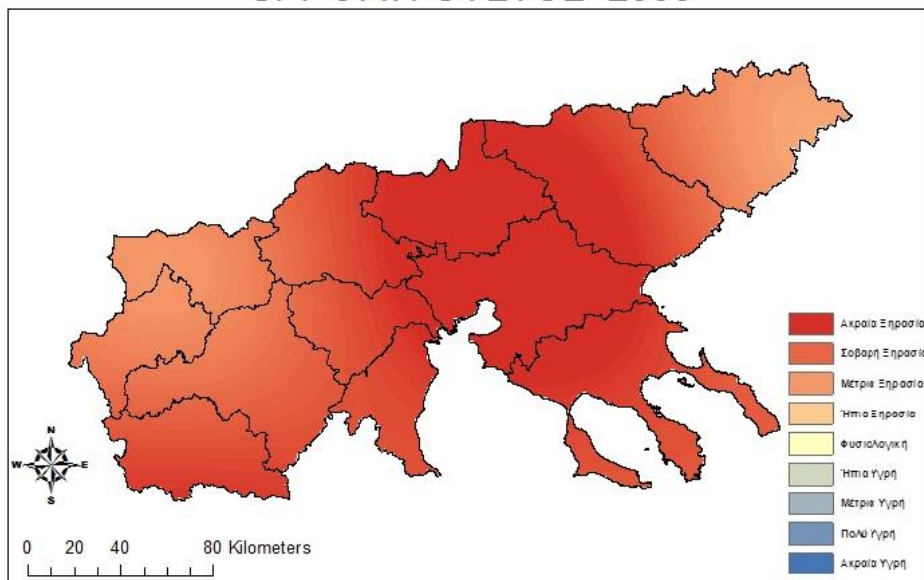
Εικόνα 104 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούνιο 2000

SPI 6 ΙΟΥΛΙΟΣ 2000



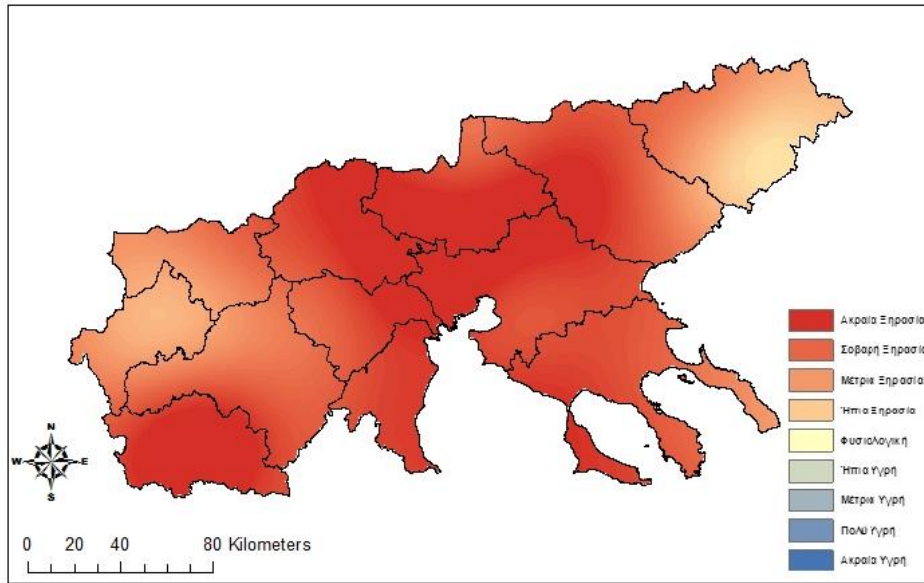
Εικόνα 105 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούλιο 2000

SPI 6 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2000



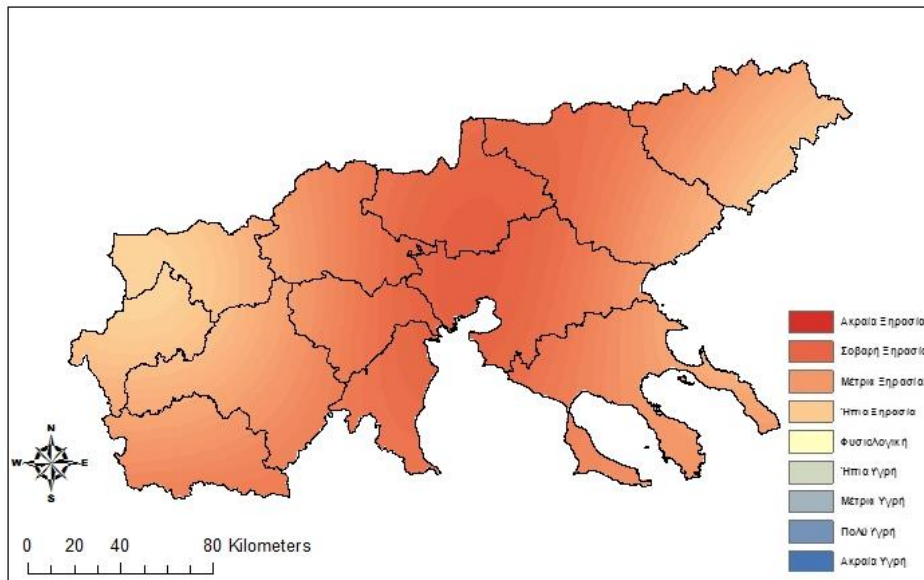
Εικόνα 106 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Αύγουστο 2000

SPI 6 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2000



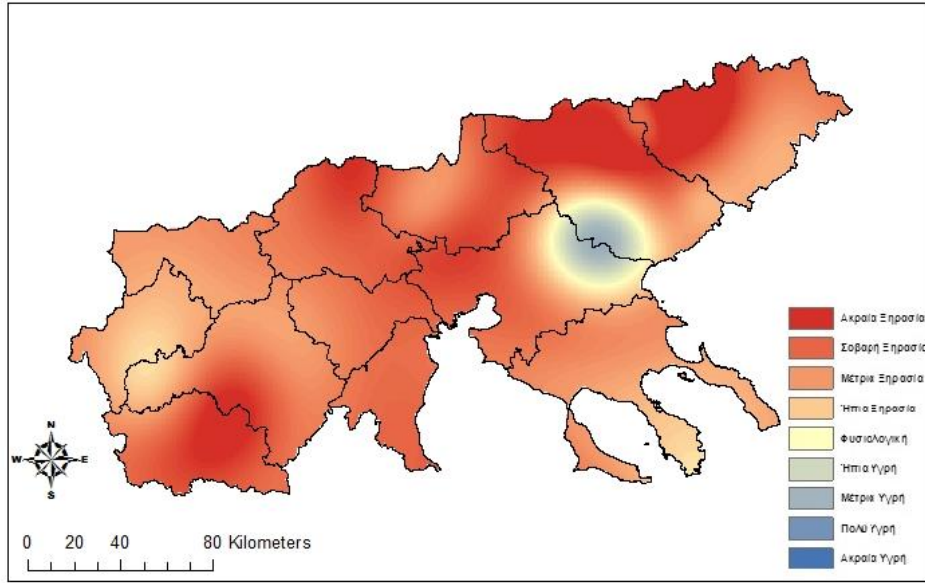
Εικόνα 107 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Σεπτέμβριο 2000

SPI 6 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2000



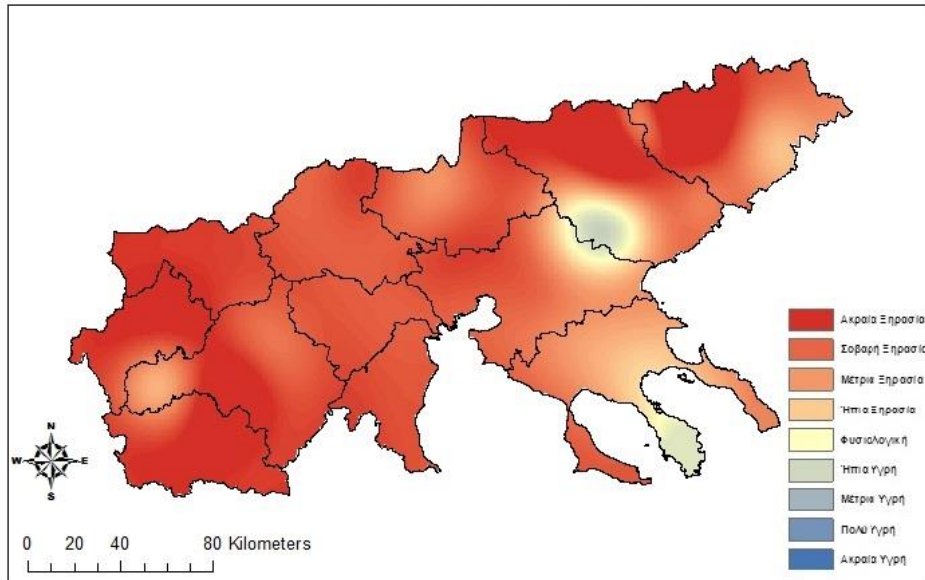
Εικόνα 108 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Οκτώβριο 2000

SPI 6 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2000



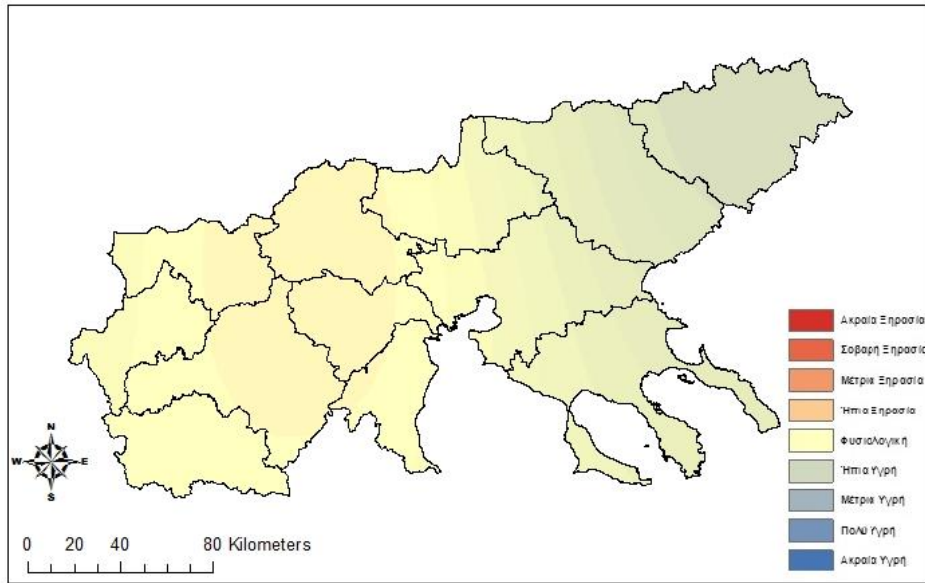
Εικόνα 109 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Νοέμβριο 2000

SPI 6 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2000



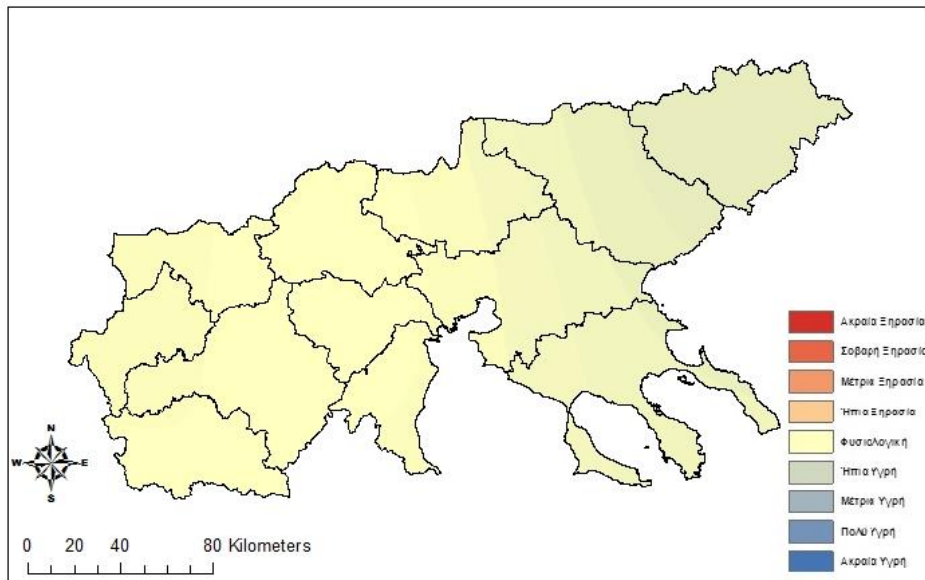
Εικόνα 110 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Δεκέμβριο 2000

SPI 12 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2000



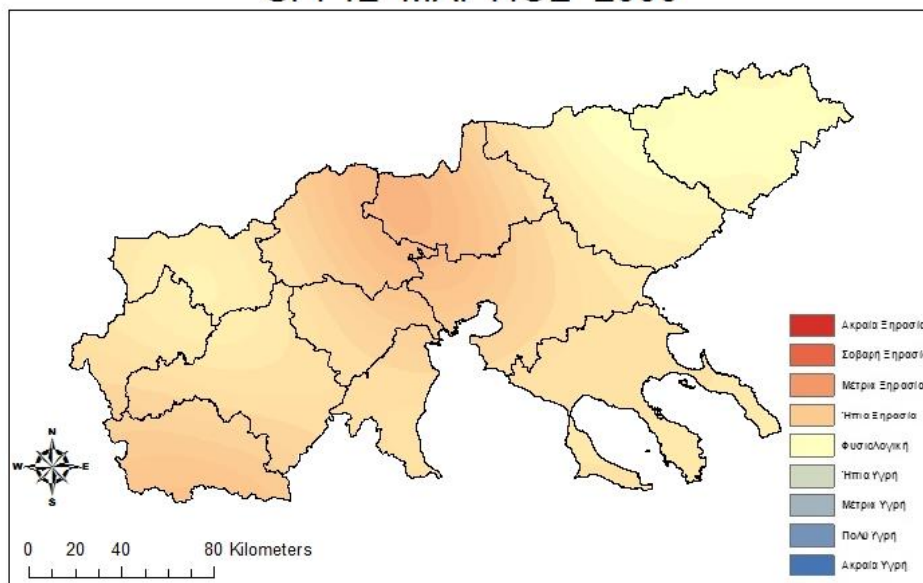
Εικόνα 111 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιανουάριο 2000

SPI 12 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2000



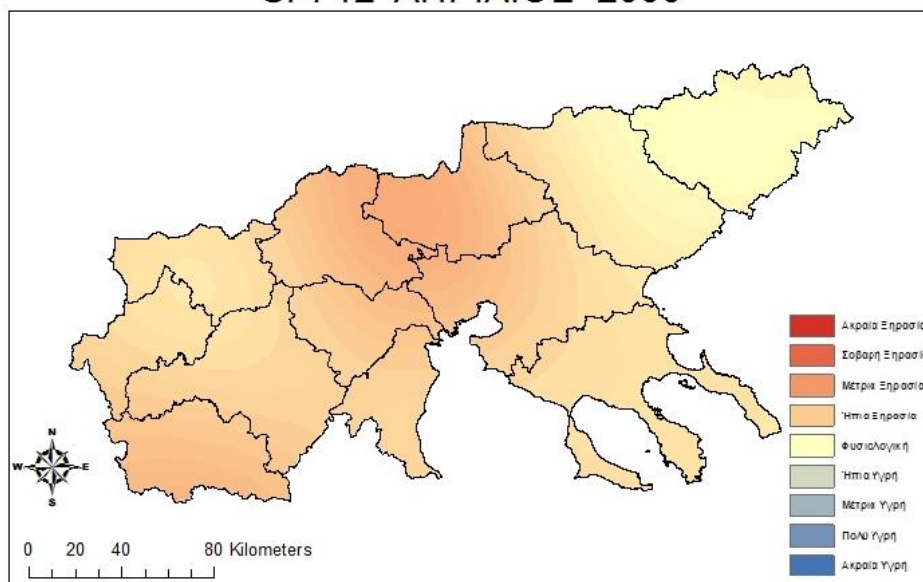
Εικόνα 112 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Φεβρουάριο 2000

SPI 12 ΜΑΡΤΙΟΣ 2000



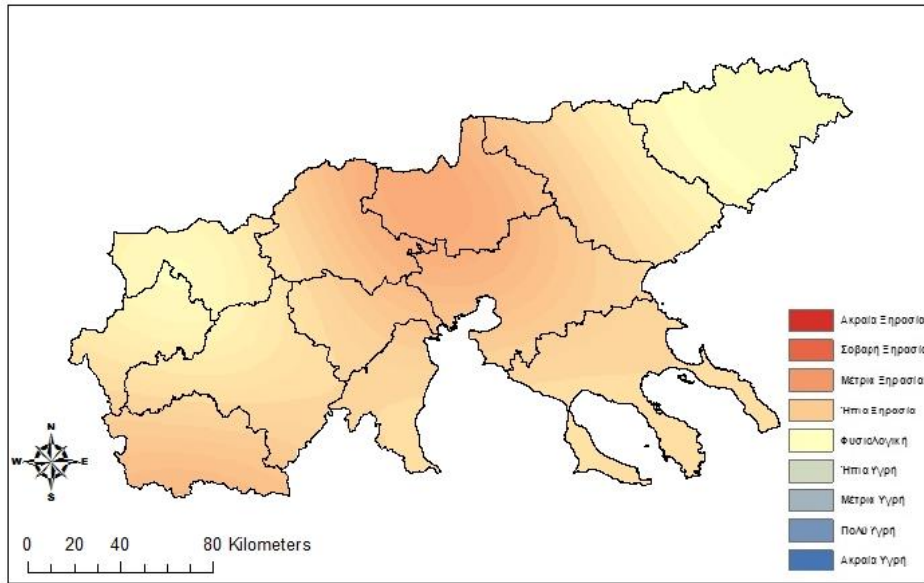
Εικόνα 113 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάρτιο 2000

SPI 12 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2000



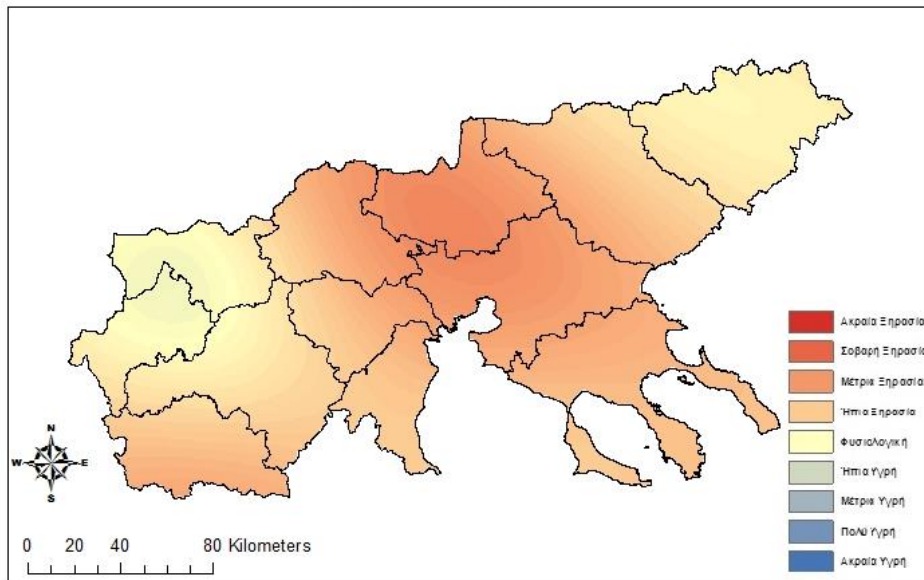
Εικόνα 114 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Απρίλιο 2000

SPI 12 ΜΑΙΟΣ 2000



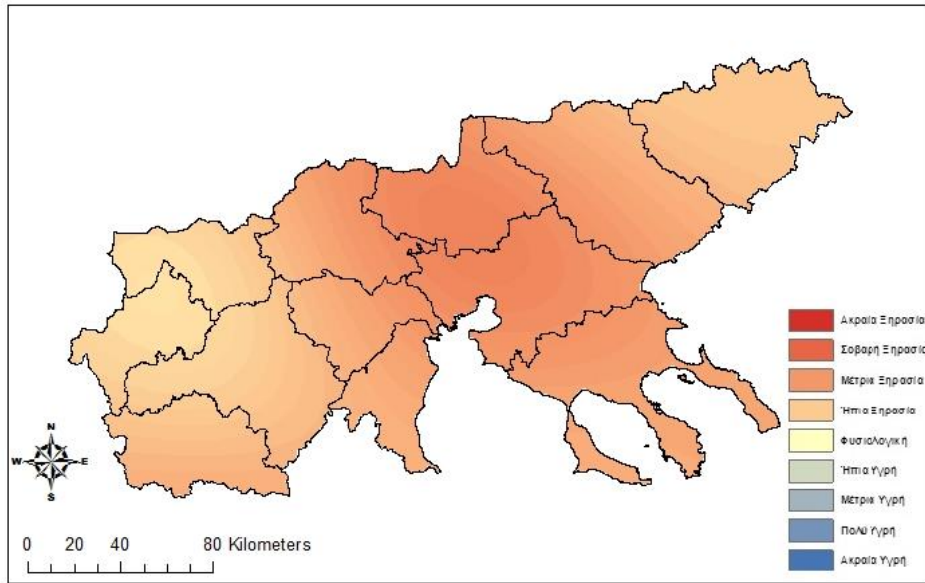
Εικόνα 115 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάιο 2000

SPI 12 ΙΟΥΝΙΟΣ 2000



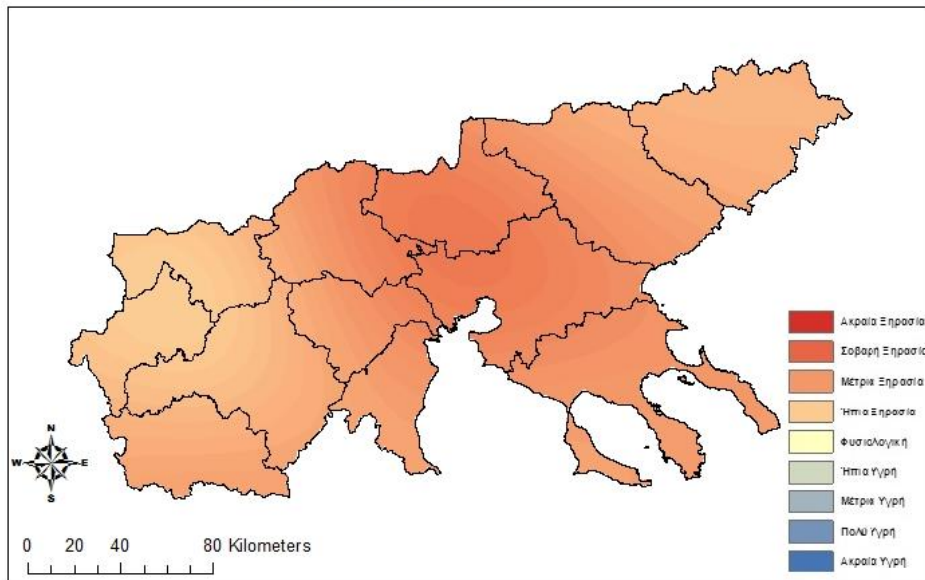
Εικόνα 116 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούνιο 2000

SPI 12 ΙΟΥΛΙΟΣ 2000



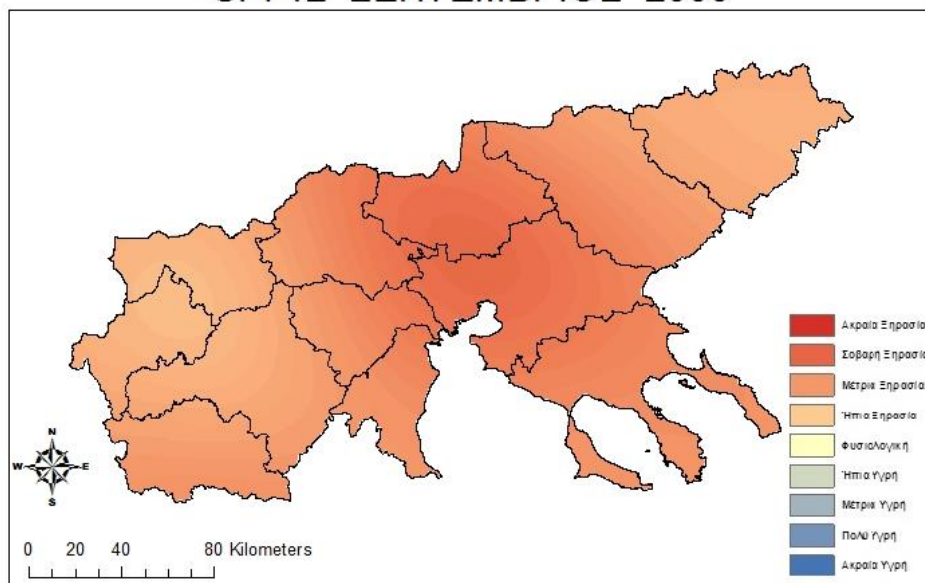
Εικόνα 117 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούλιο 2000

SPI 12 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2000



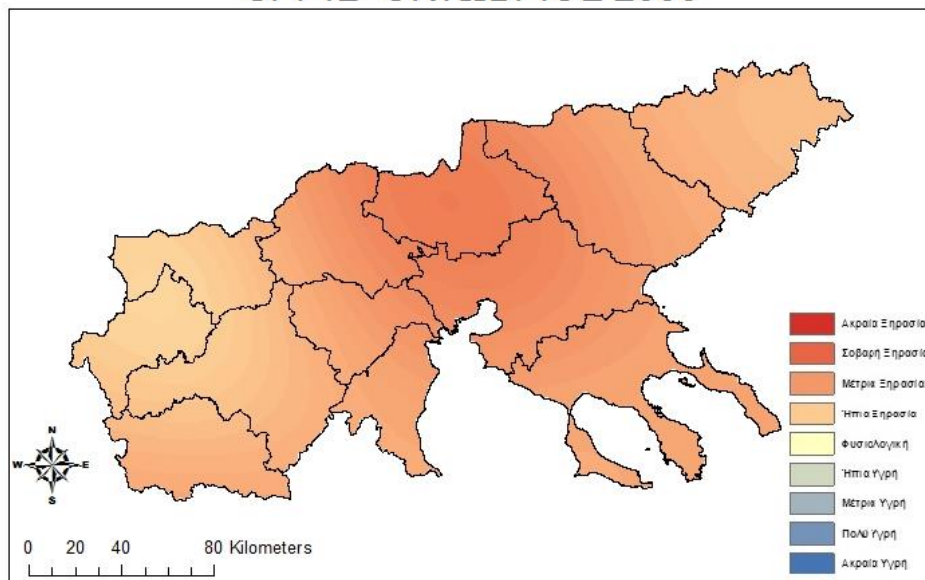
Εικόνα 118 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Αύγουστο 2000

SPI 12 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2000



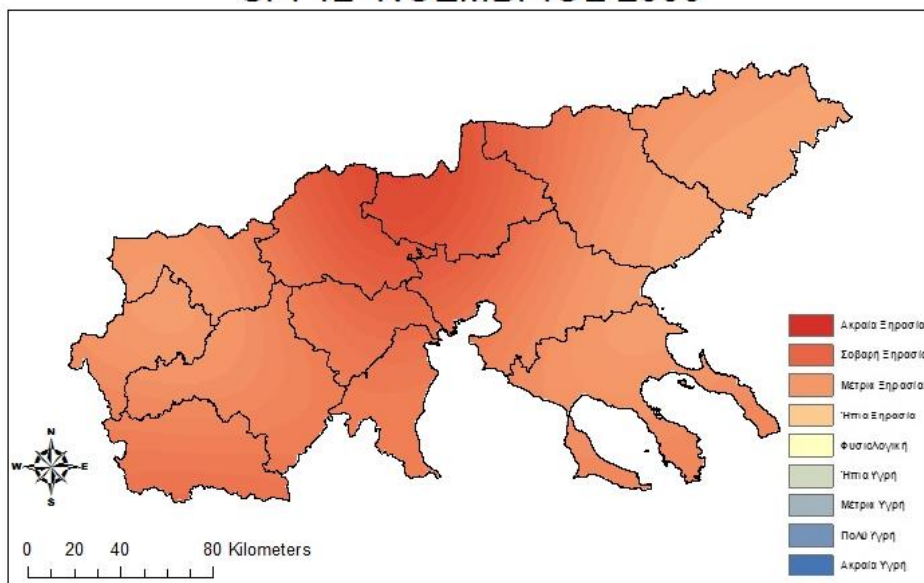
Εικόνα 119 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Σεπτέμβριο 2000

SPI 12 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2000



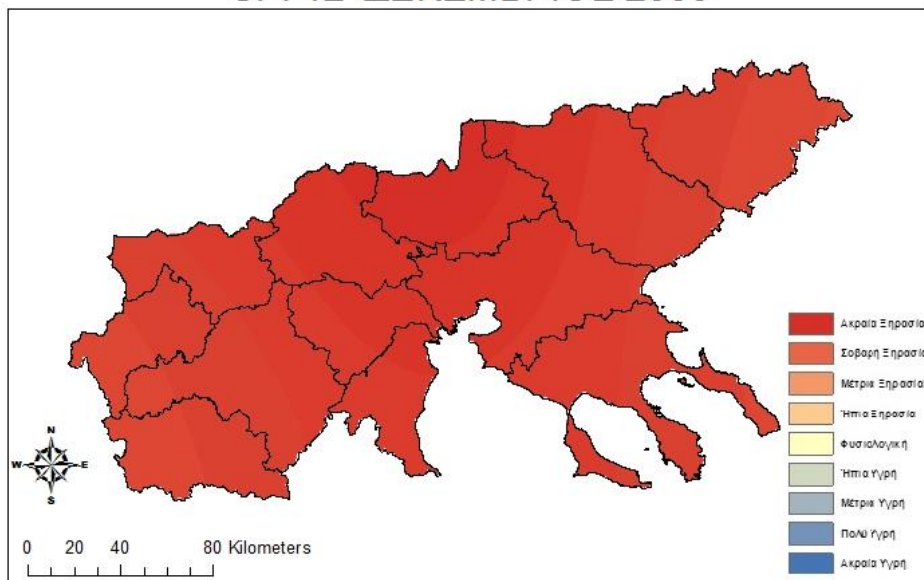
Εικόνα 120 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Οκτώβριο 2000

SPI 12 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2000



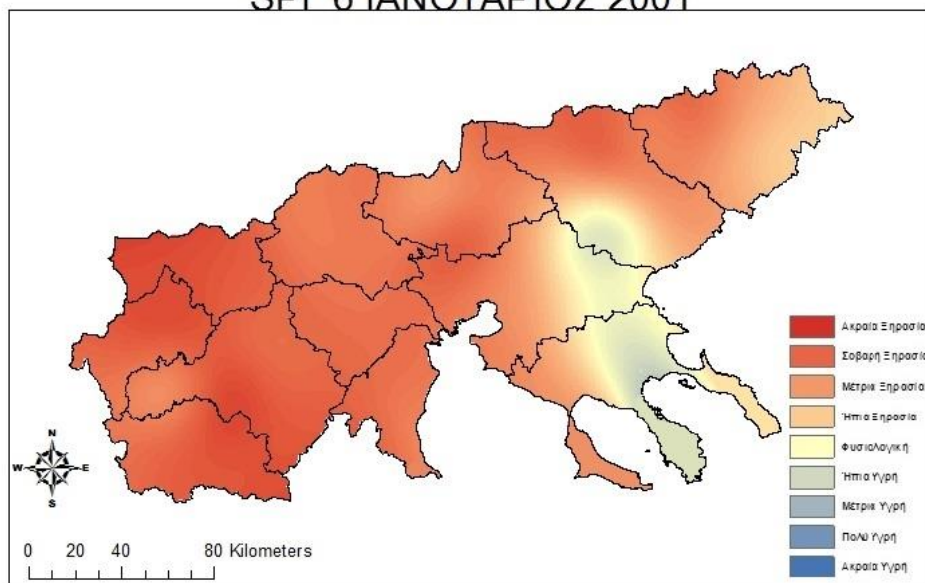
Εικόνα 121 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Νοέμβριο 2000

SPI 12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2000



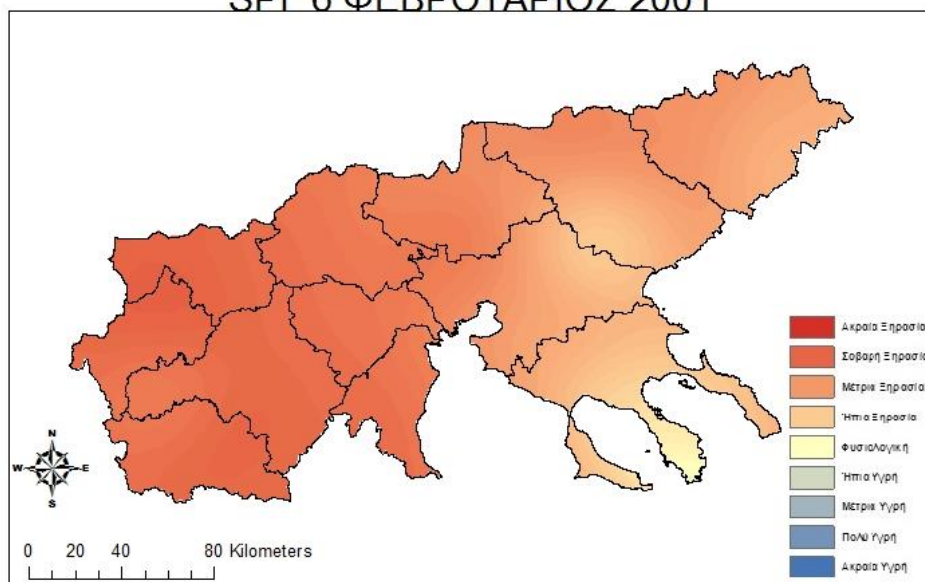
Εικόνα 122 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Δεκέμβριο 2000

SPI 6 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2001



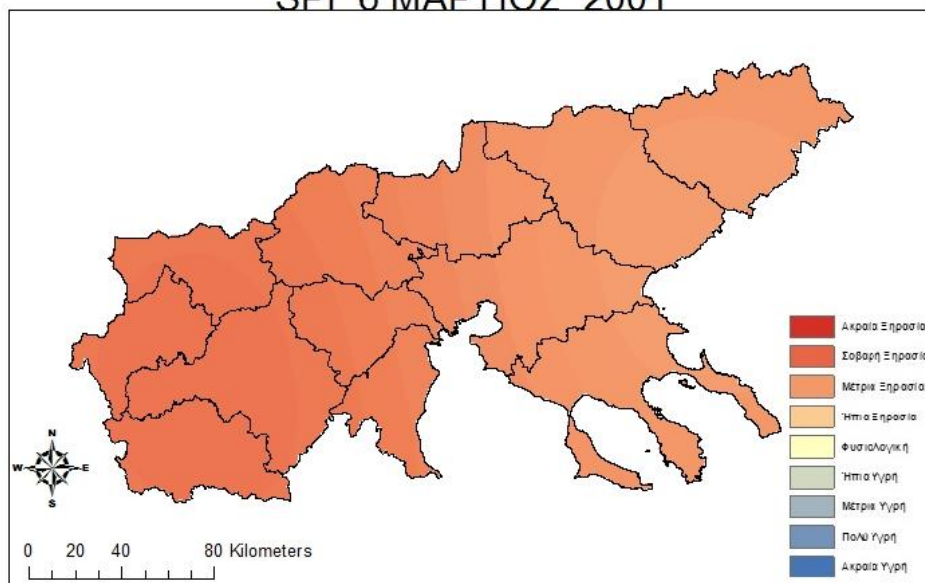
Εικόνα 123 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιανουάριο 2001

SPI 6 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2001



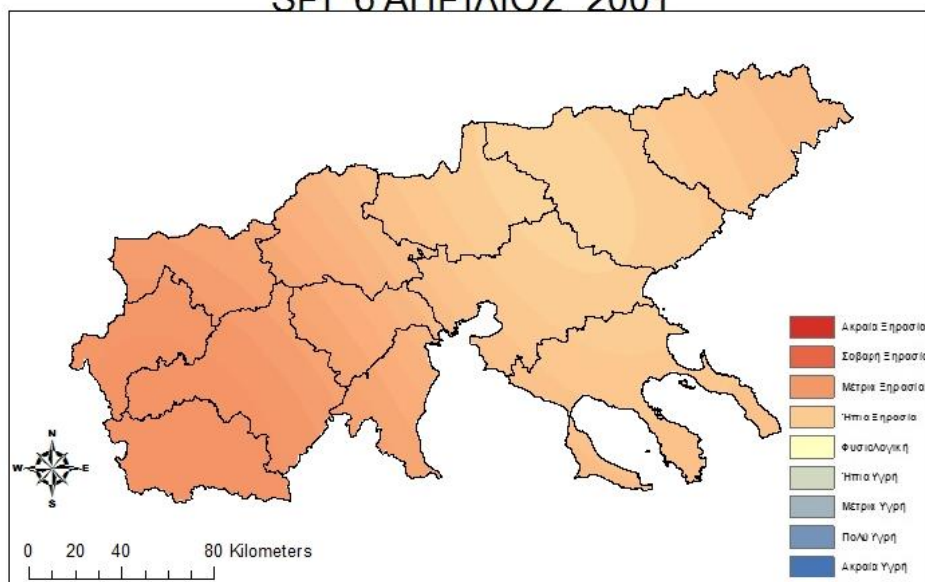
Εικόνα 124 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Φεβρουάριο 2001

SPI 6 ΜΑΡΤΙΟΣ 2001



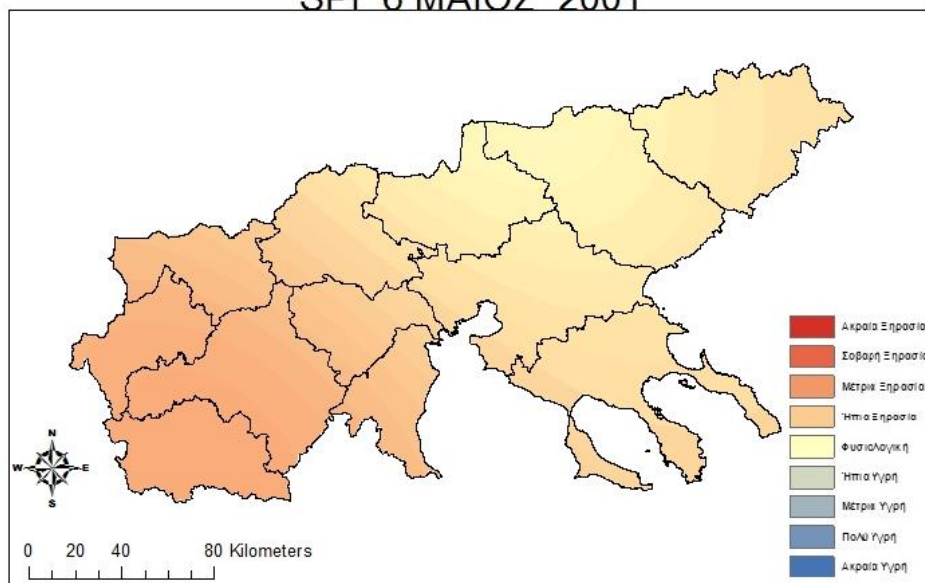
Εικόνα 125 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάρτιο 2001

SPI 6 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2001



Εικόνα 126 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Απρίλιο 2001

SPI 6 ΜΑΙΟΣ 2001



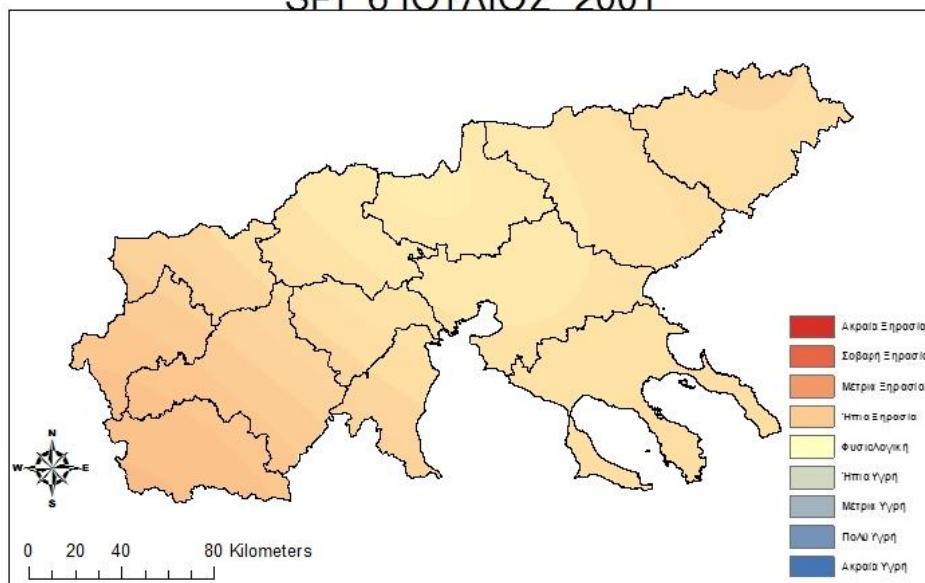
Εικόνα 127 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάιο 2001

SPI 6 ΙΟΥΝΙΟΣ 2001



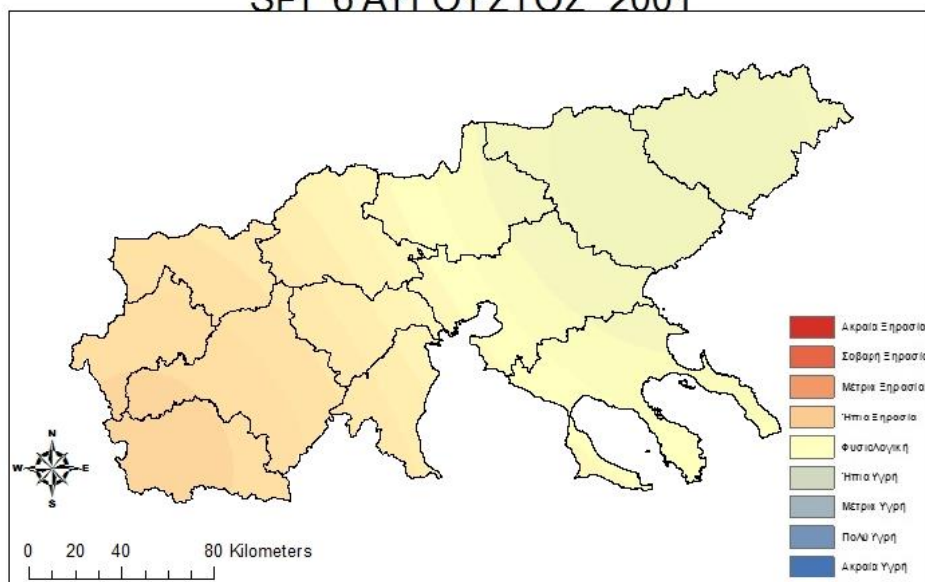
Εικόνα 128 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούνιο 2001

SPI 6 ΙΟΥΛΙΟΣ 2001



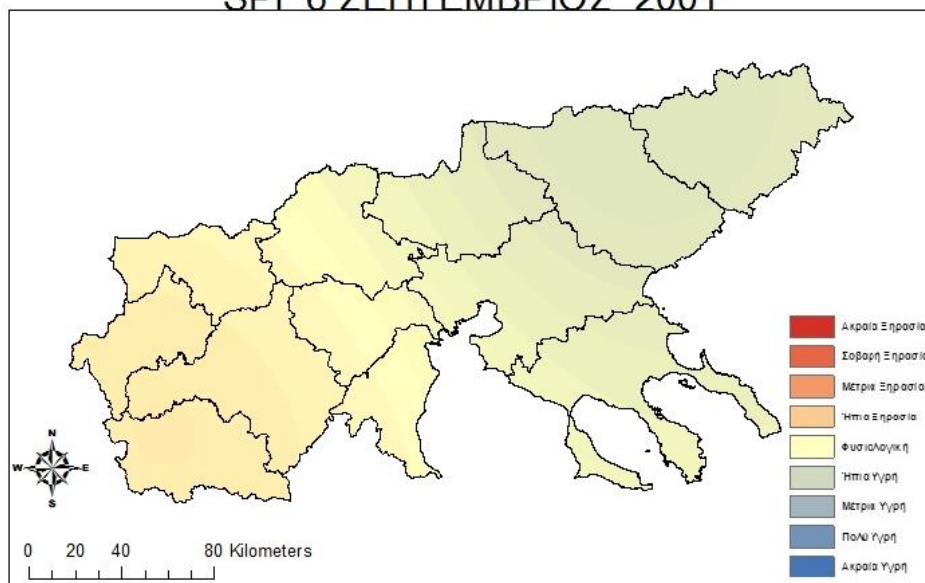
Εικόνα 129 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούλιο 2001

SPI 6 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2001



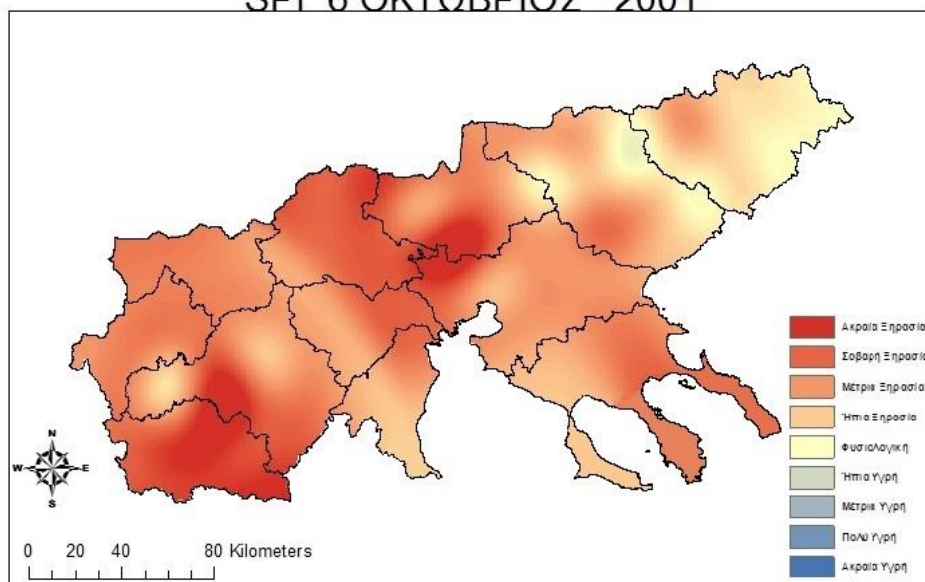
Εικόνα 130 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Αύγουστο 2001

SPI 6 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2001



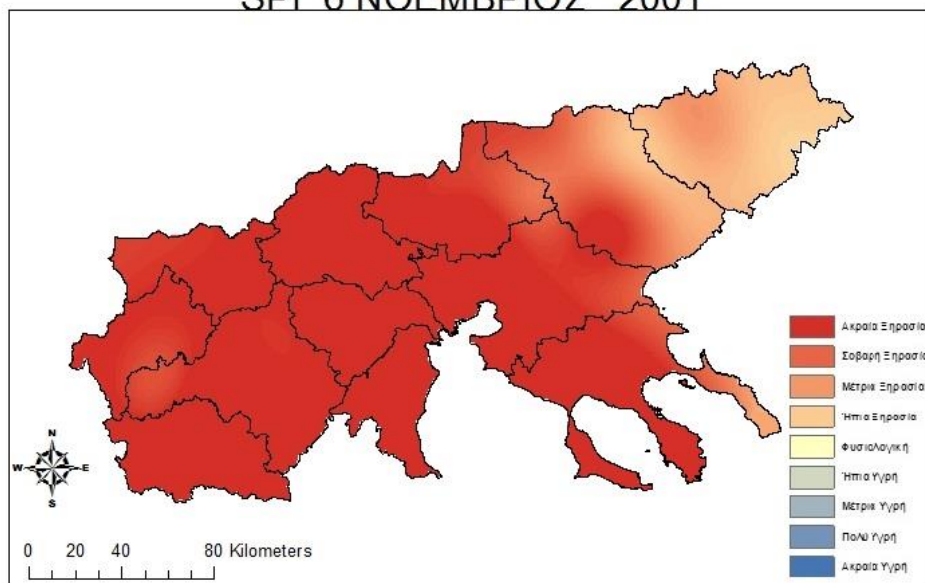
Εικόνα 131 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Σεπτέμβριο 2001

SPI 6 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2001



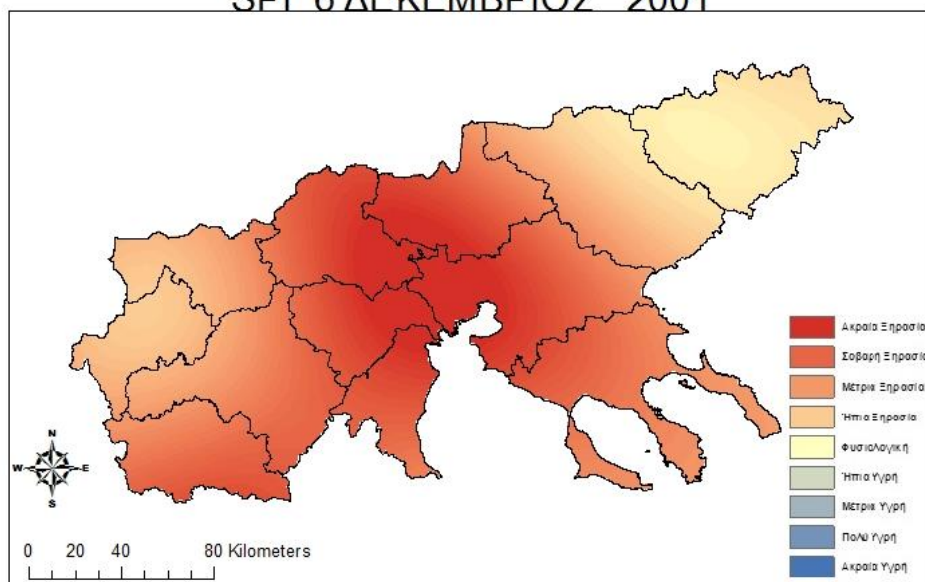
Εικόνα 132 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Οκτώβριο 2001

SPI 6 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2001



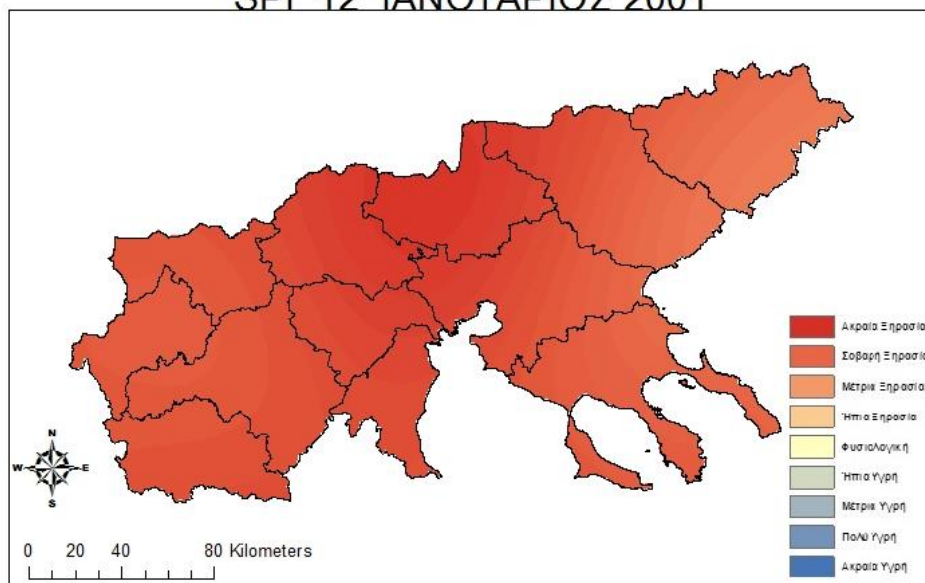
Εικόνα 133 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Νοέμβριο 2001

SPI 6 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2001



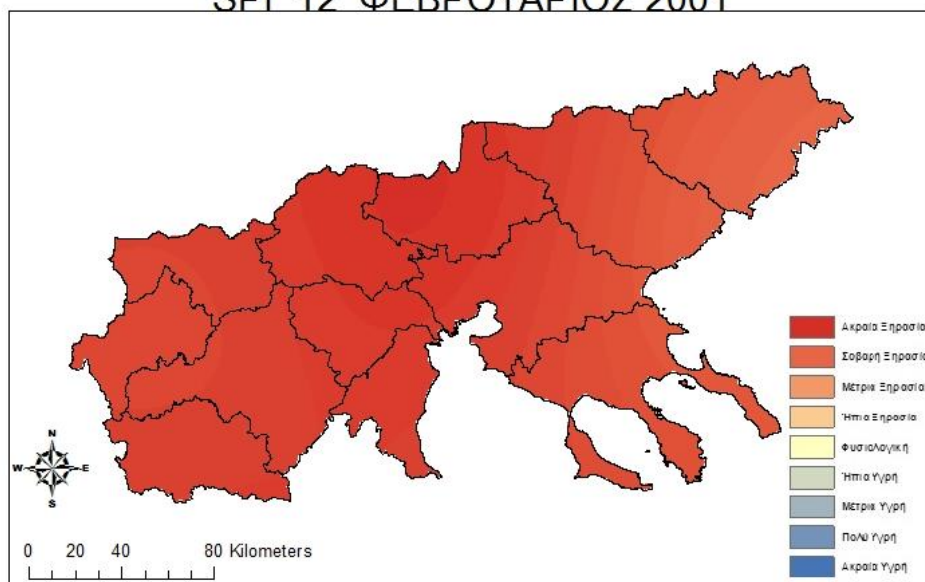
Εικόνα 134 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Δεκέμβριο 2001

SPI 12 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2001



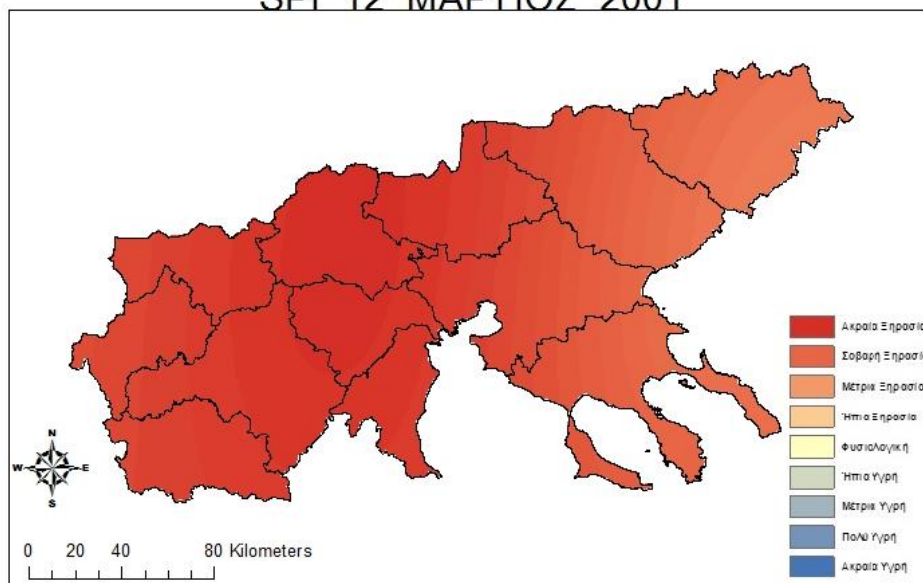
Εικόνα 135 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιανουάριο 2001

SPI 12 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2001



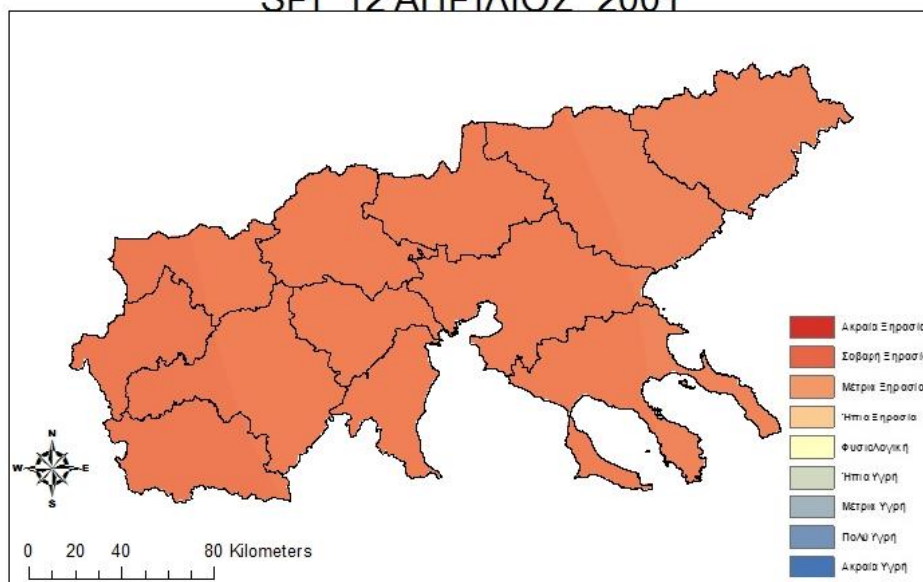
Εικόνα 136 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Φεβρουάριο 2001

SPI 12 ΜΑΡΤΙΟΣ 2001



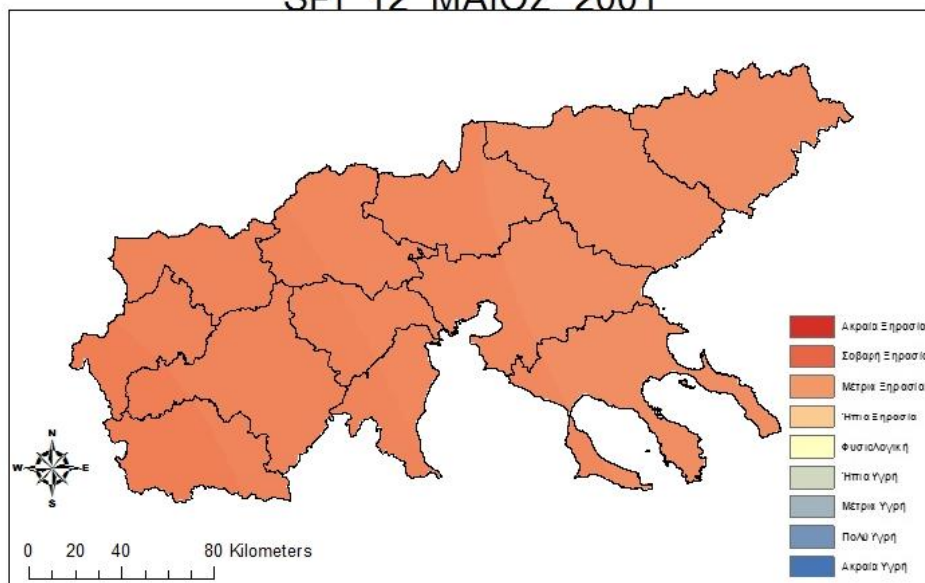
Εικόνα 137 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάρτιο 2001

SPI 12 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2001



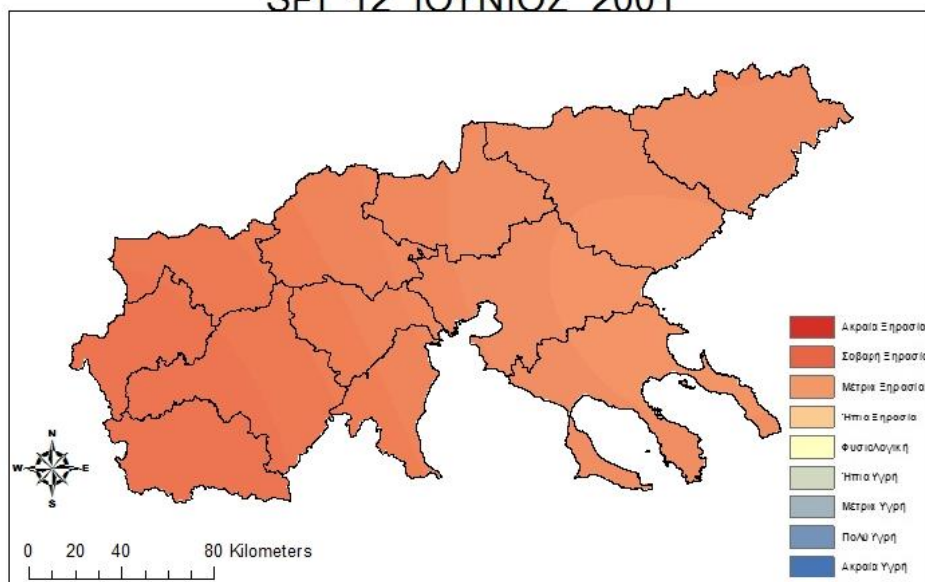
Εικόνα 138 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Απρίλιο 2001

SPI 12 ΜΑΙΟΣ 2001



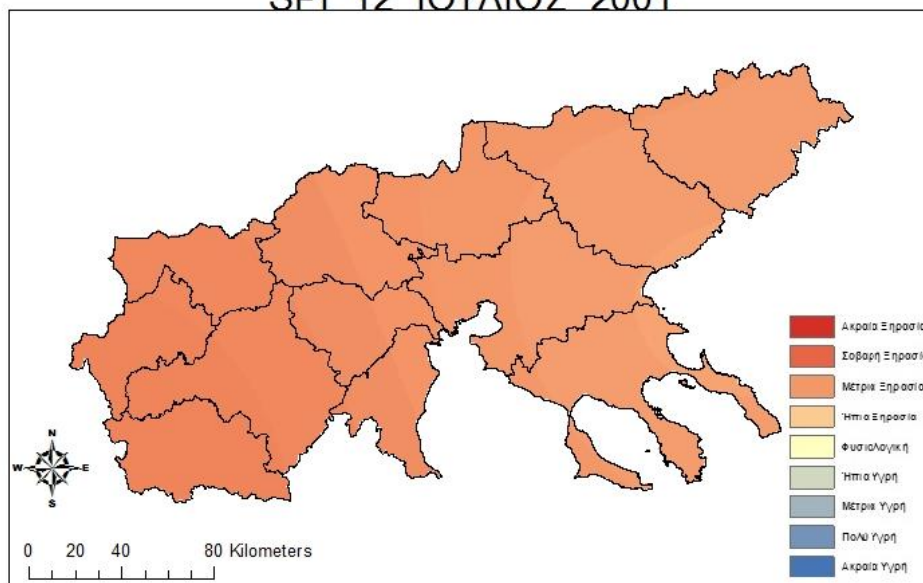
Εικόνα 139 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάιο 2001

SPI 12 ΙΟΥΝΙΟΣ 2001



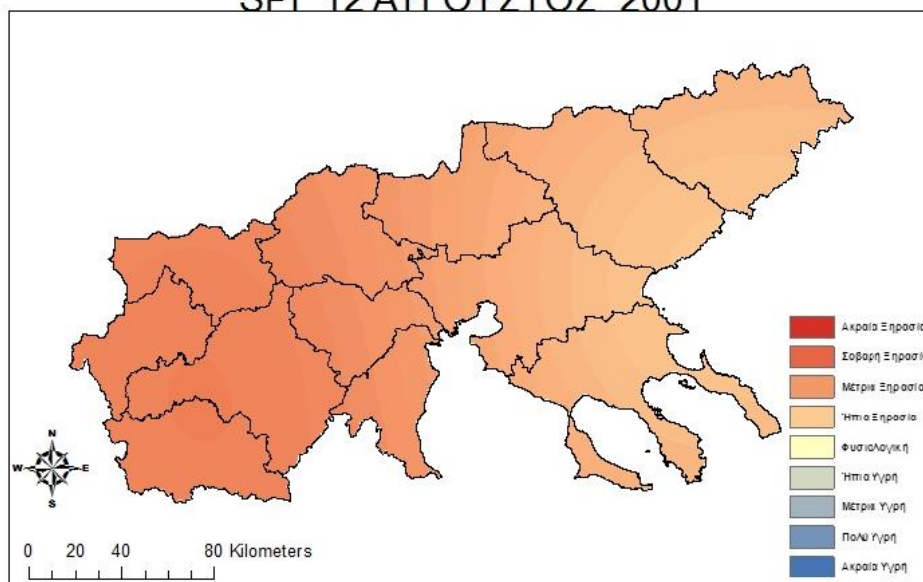
Εικόνα 140 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούνιο 2001

SPI 12 ΙΟΥΛΙΟΣ 2001



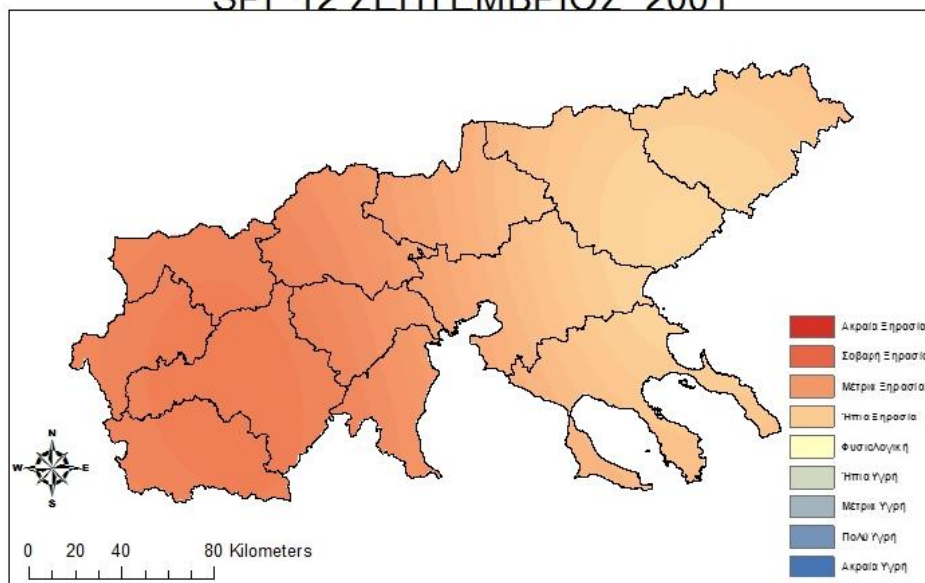
Εικόνα 141 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούλιο 2001

SPI 12 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2001



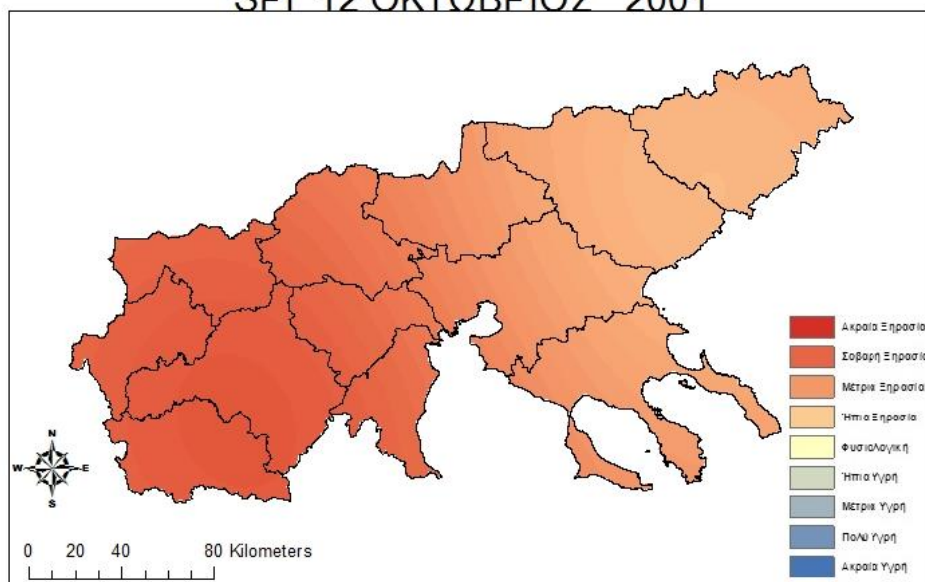
Εικόνα 142 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Αύγουστο 2001

SPI 12 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2001



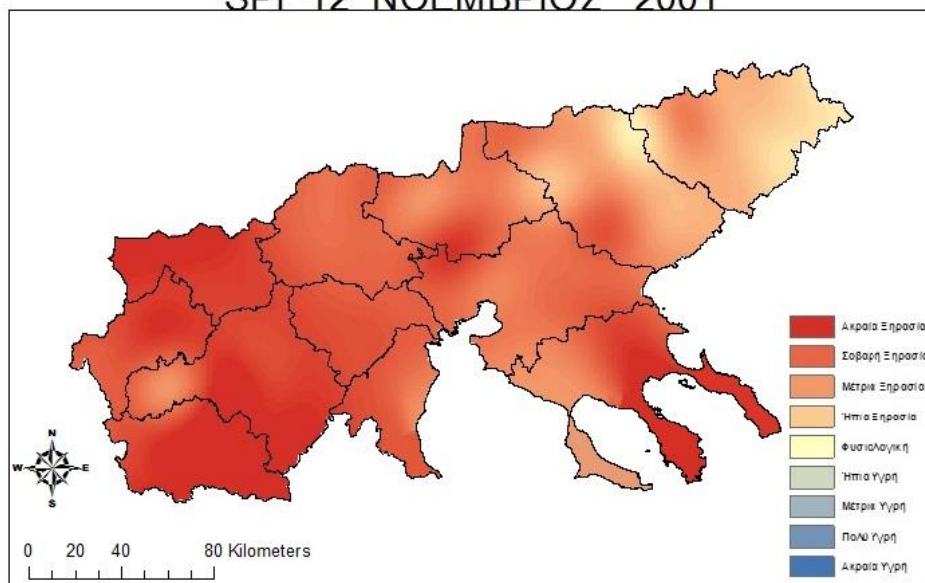
Εικόνα 143 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Σεπτέμβριο 2001

SPI 12 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2001



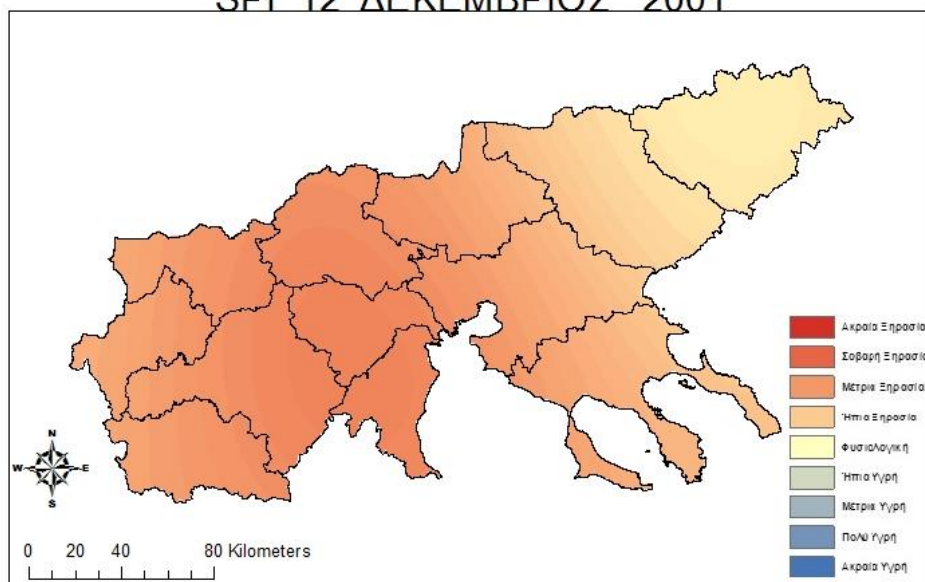
Εικόνα 144 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Οκτώβριο 2001

SPI 12 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2001



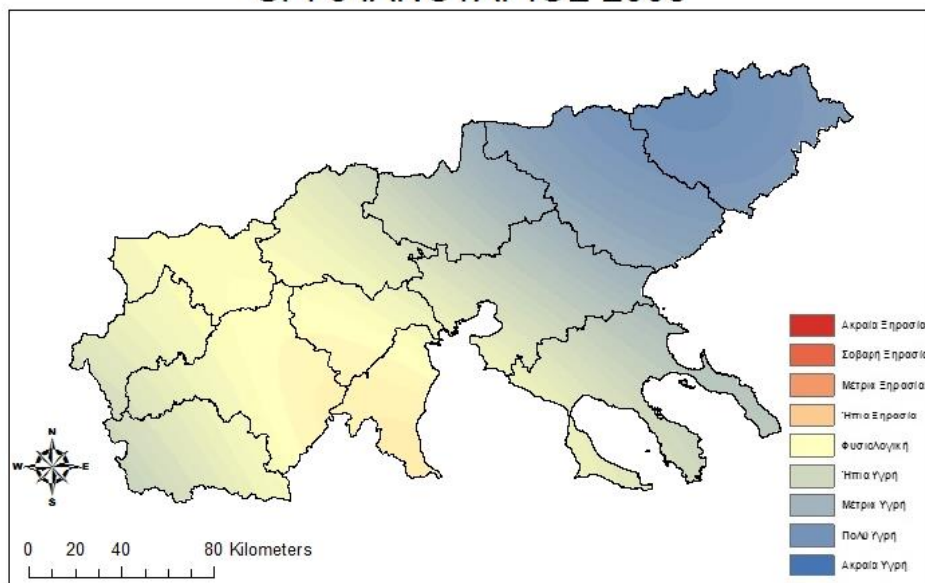
Εικόνα 145 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Νοέμβριο 2001

SPI 12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2001



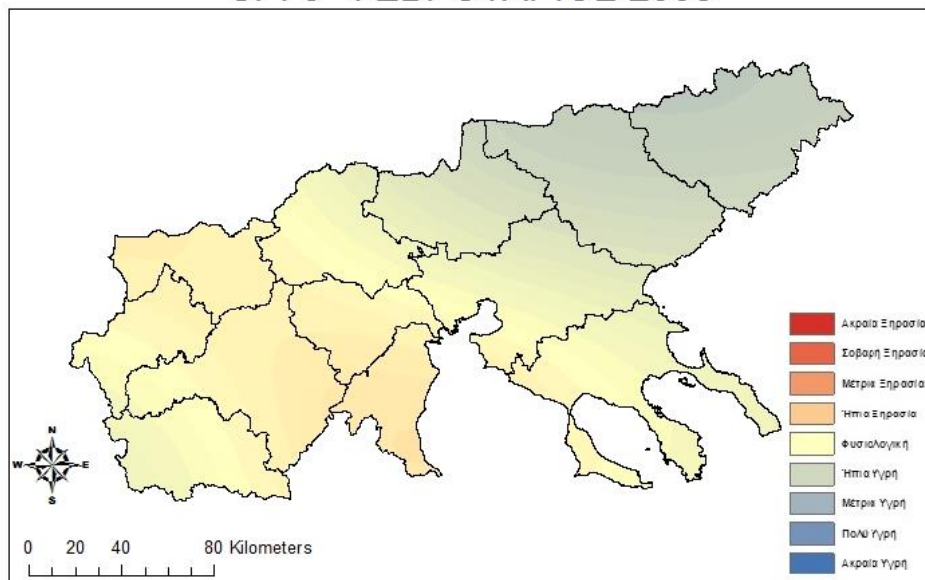
Εικόνα 146 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Δεκέμβριο 2001

SPI 6 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2008



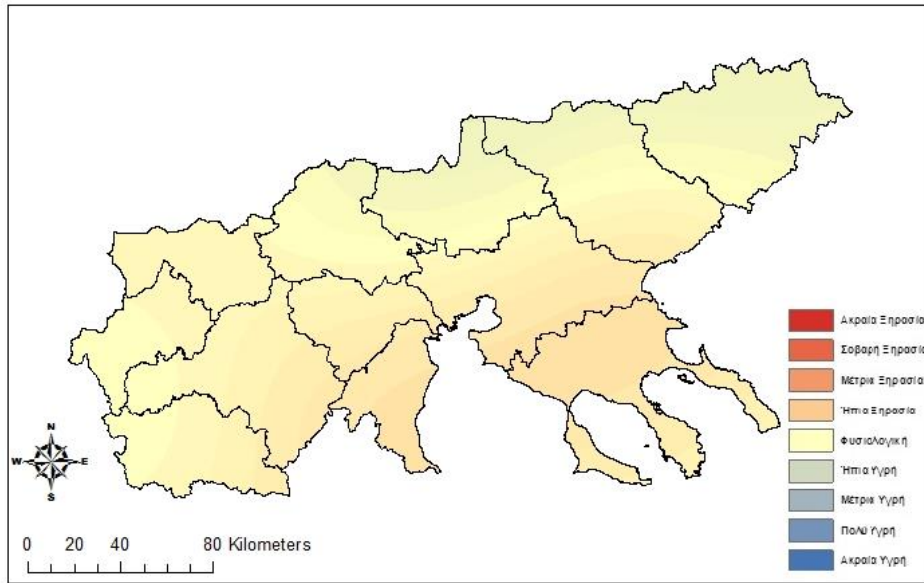
Εικόνα 147 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιανουάριο 2008

SPI 6 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2008



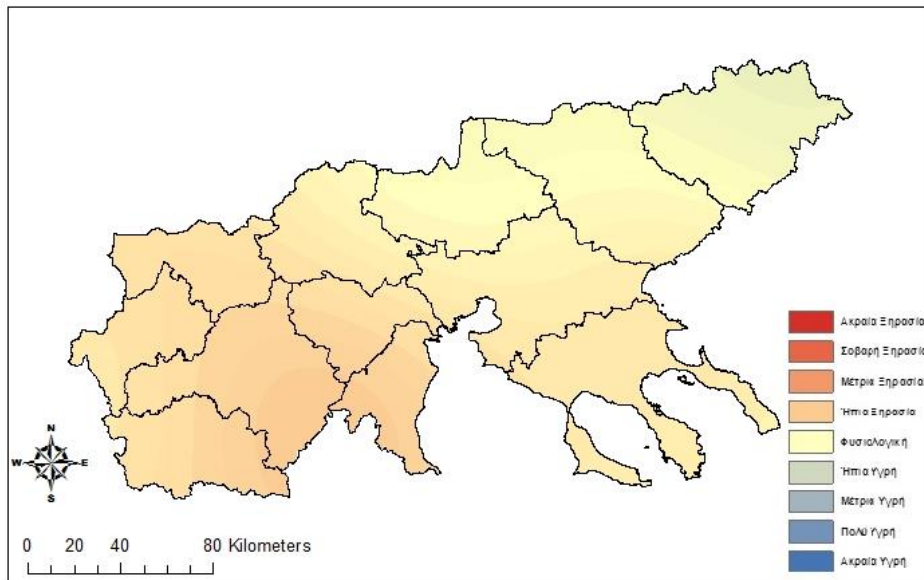
Εικόνα 148 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Φεβρουάριο 2008

SPI 6 ΜΑΡΤΙΟΣ 2008



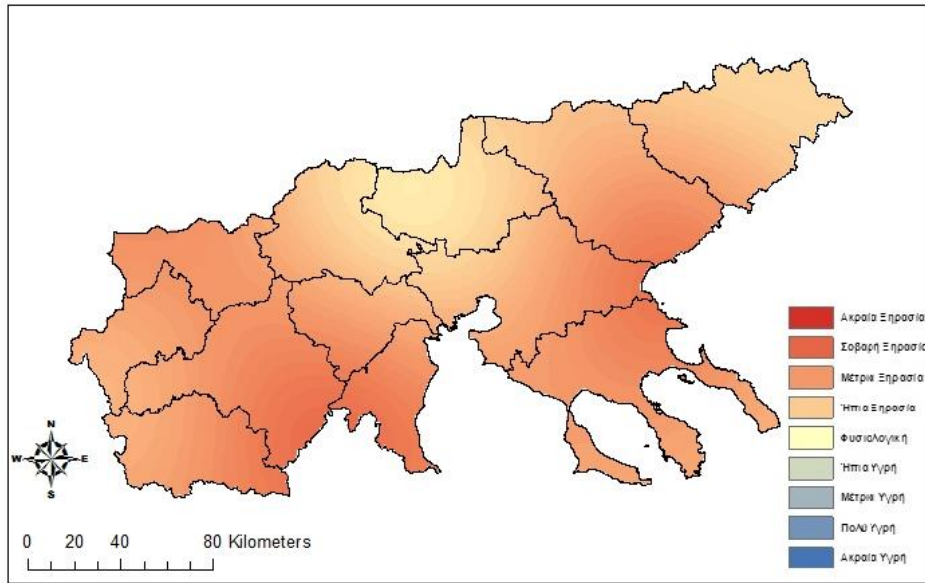
Εικόνα 149 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάρτιο 2008

SPI 6 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2008



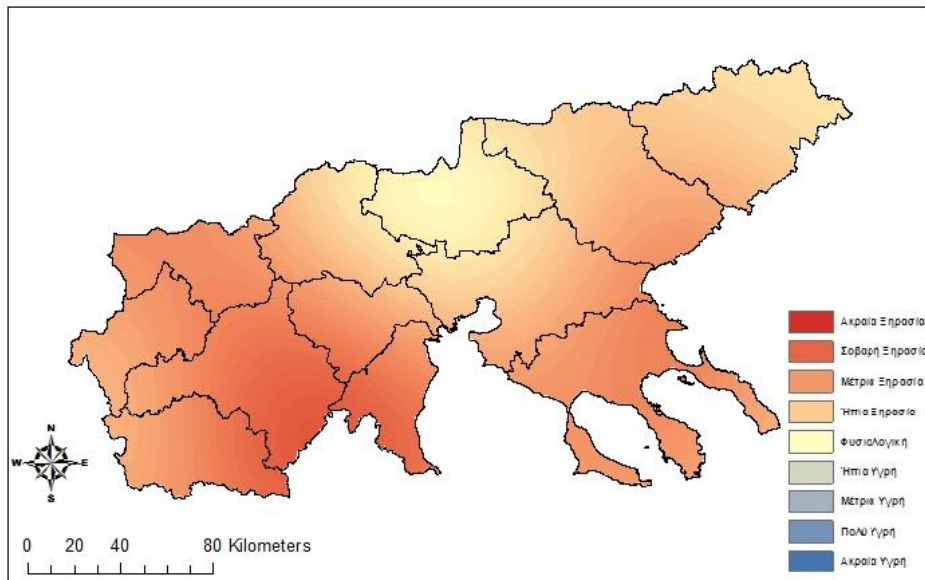
Εικόνα 150 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Απρίλιο 2008

SPI 6 ΜΑΙΟΣ 2008



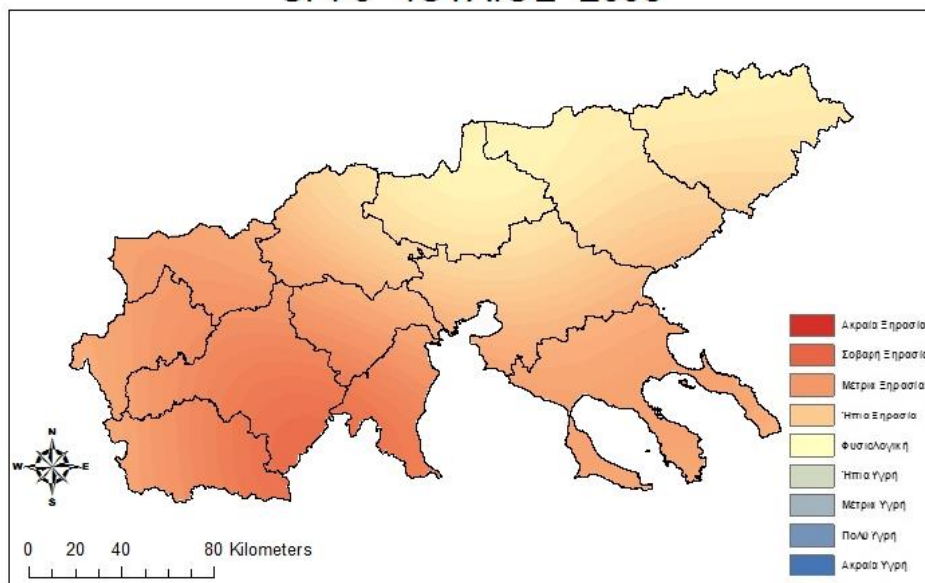
Εικόνα 151 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Μάιο 2008

SPI 6 ΙΟΥΝΙΟΣ 2008



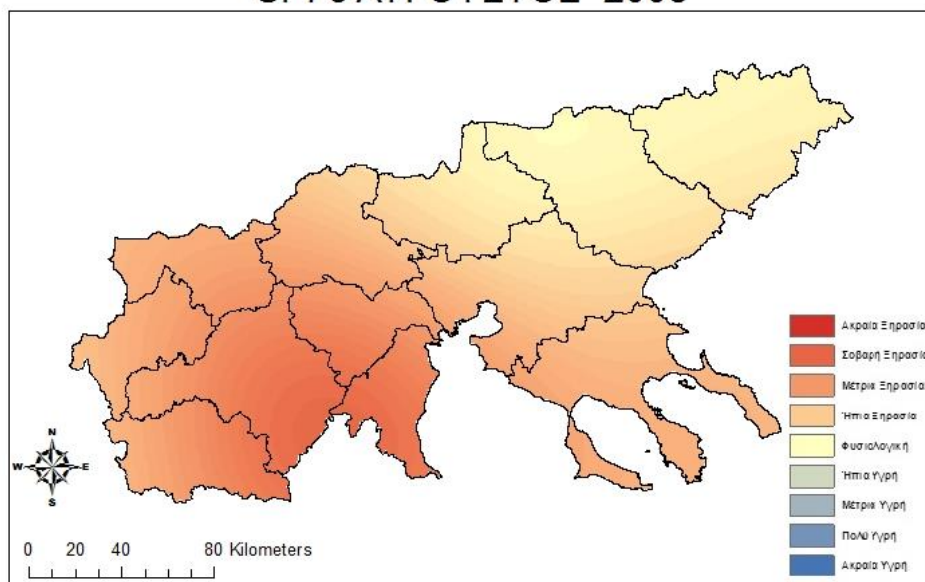
Εικόνα 152 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούνιο 2008

SPI 6 ΙΟΥΛΙΟΣ 2008



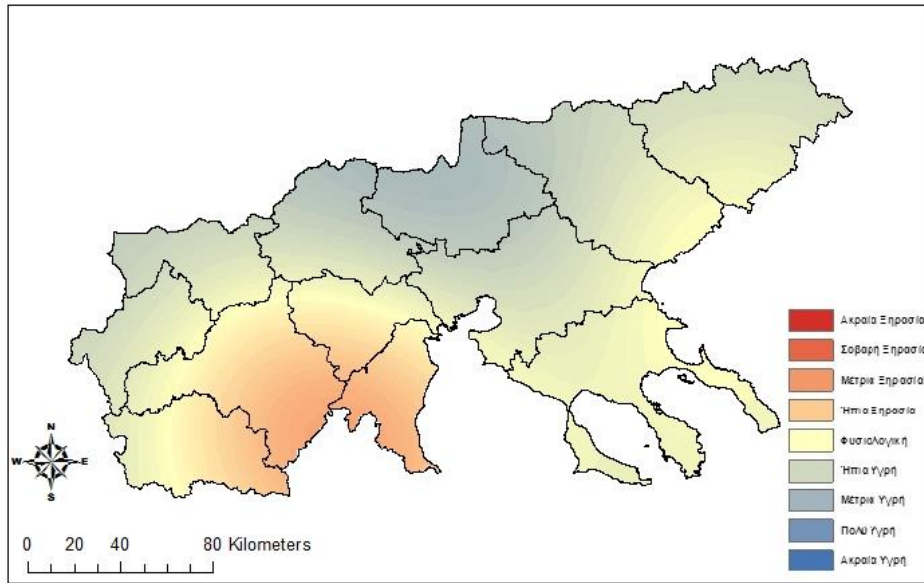
Εικόνα 153 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Ιούλιο 2008

SPI 6 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2008



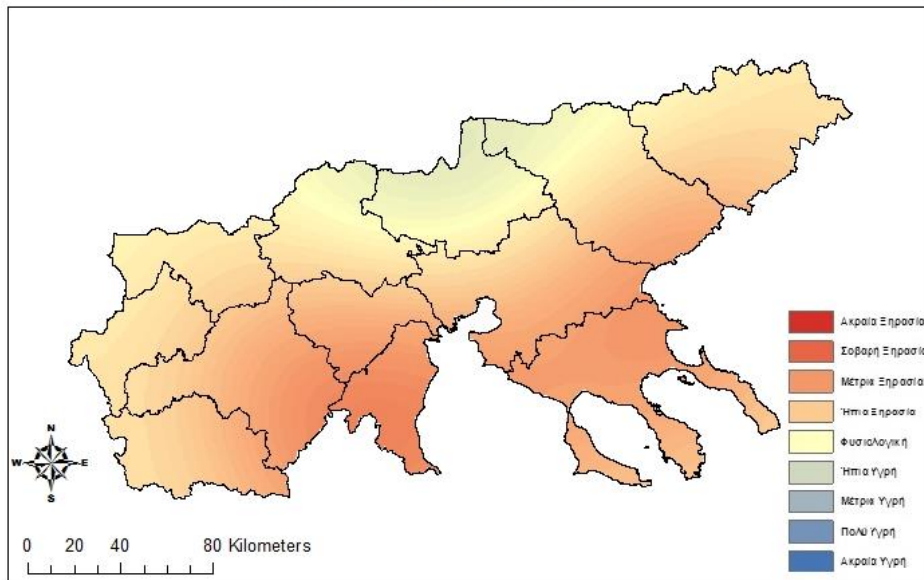
Εικόνα 154 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Αύγουστο 2008

SPI 6 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2008



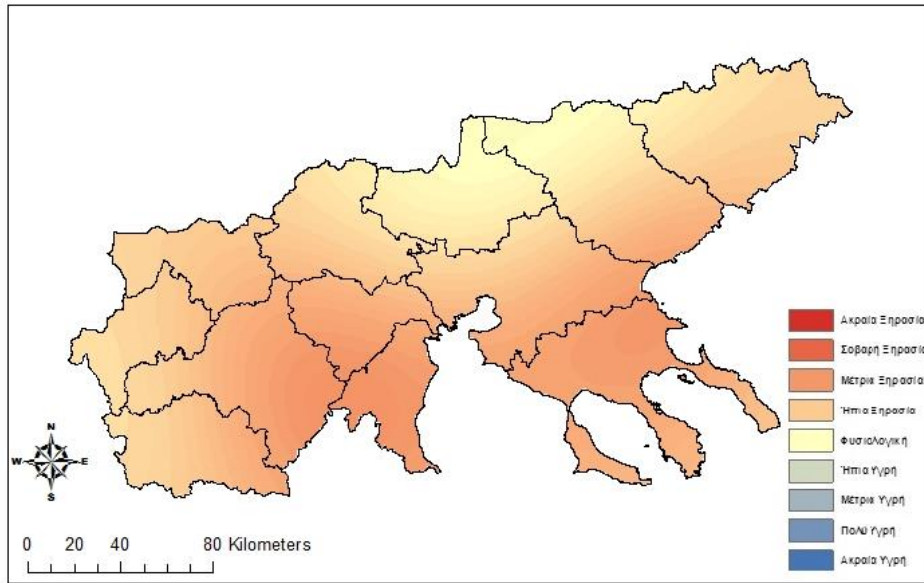
Εικόνα 155 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Σεπτέμβριο 2008

SPI 6 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008



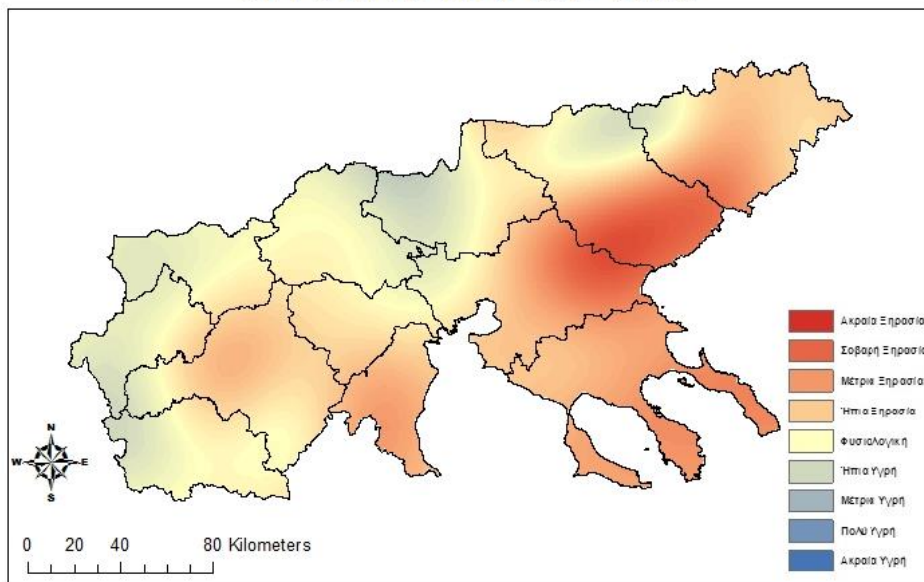
Εικόνα 156 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Οκτώβριο 2008

SPI 6 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2008



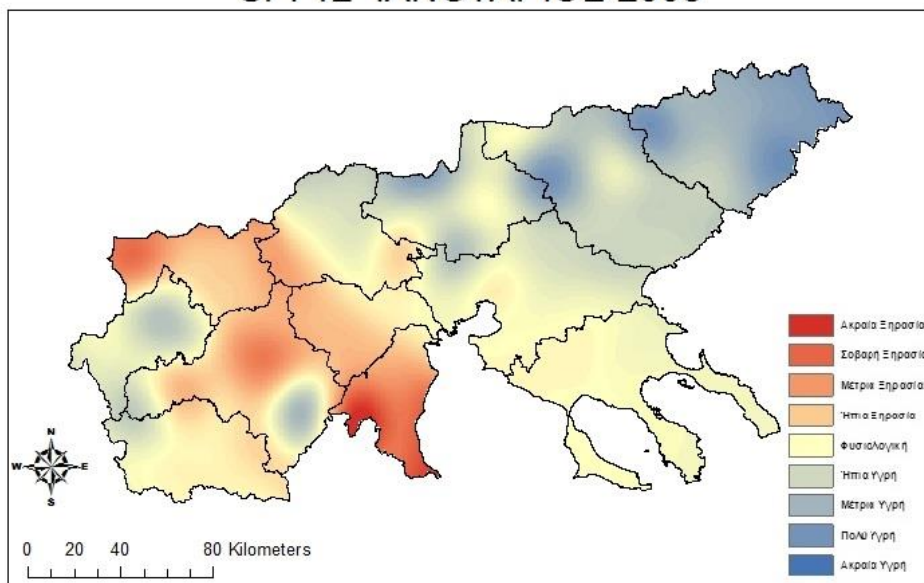
Εικόνα 157 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Νοέμβριο 2008

SPI 6 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2008



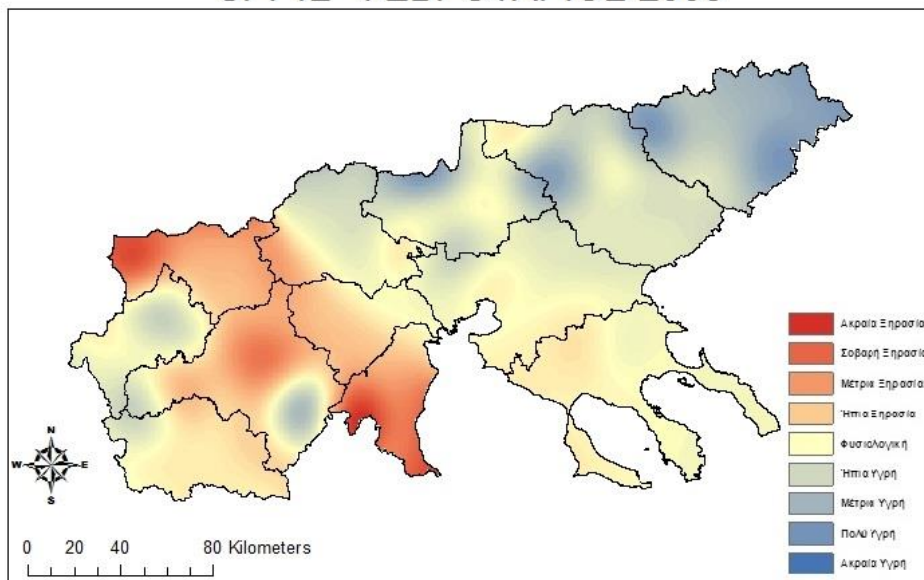
Εικόνα 158 Χάρτης SPI6 για τον μήνα Δεκέμβριο 2008

SPI 12 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2008



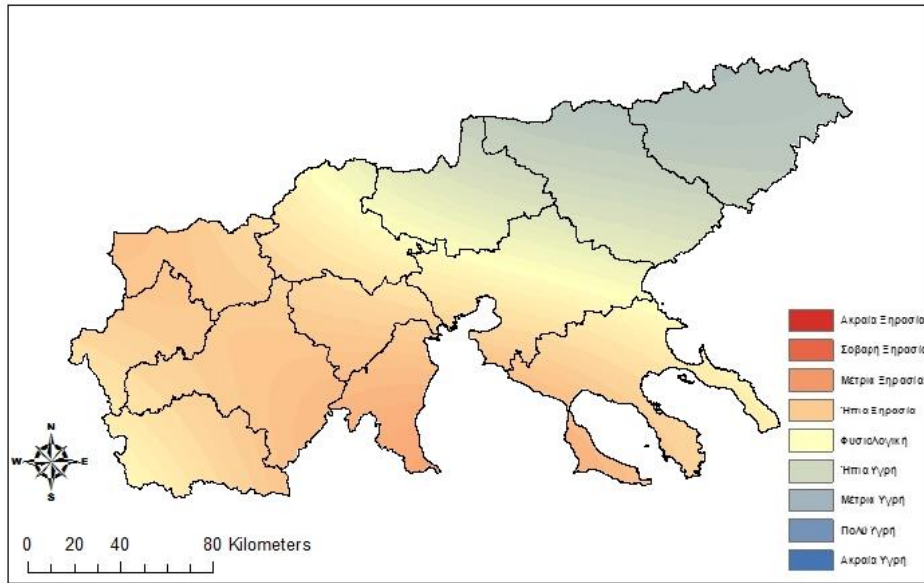
Εικόνα 159 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιανουάριο 2008

SPI 12 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2008



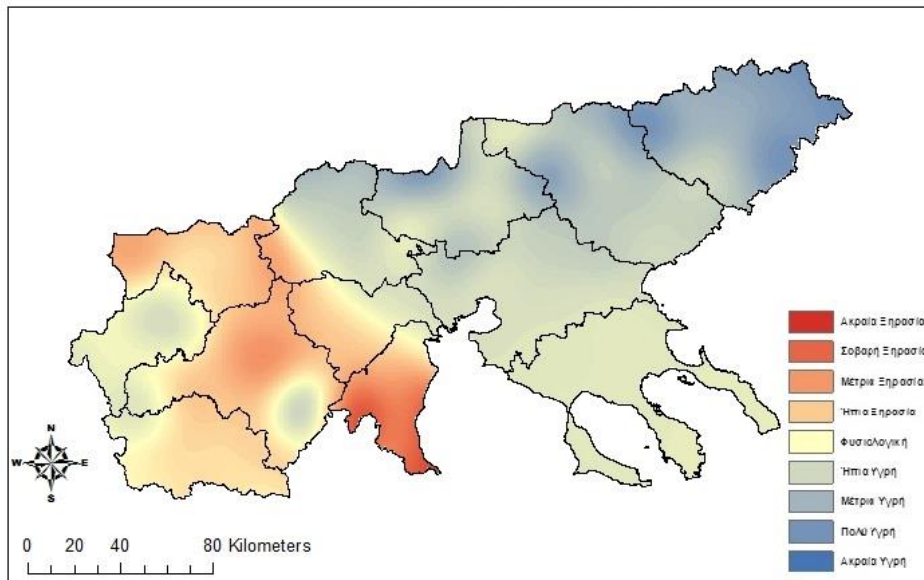
Εικόνα 160 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Φεβρουάριο 2008

SPI 12 ΜΑΡΤΙΟΣ 2008



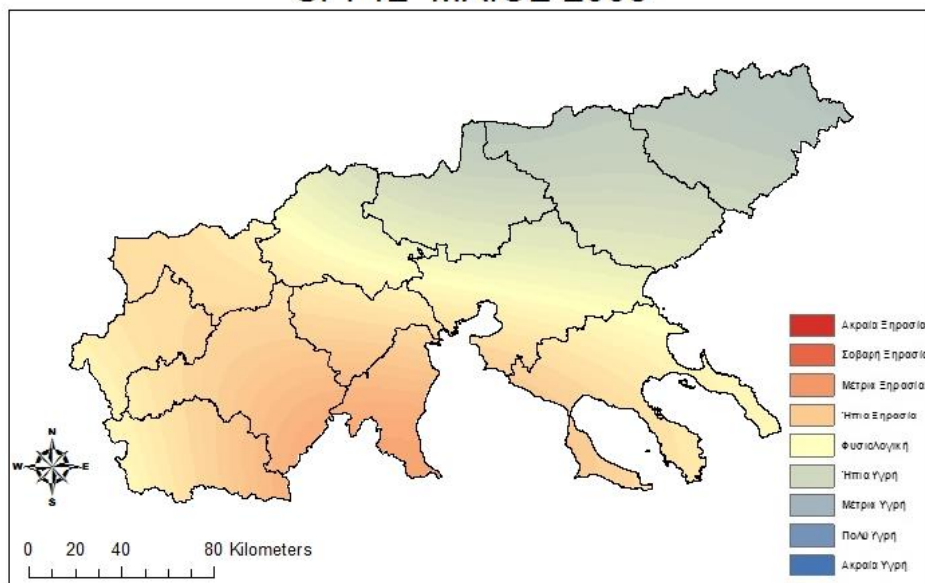
Εικόνα 161 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάρτιο 2008

SPI 12 ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2008



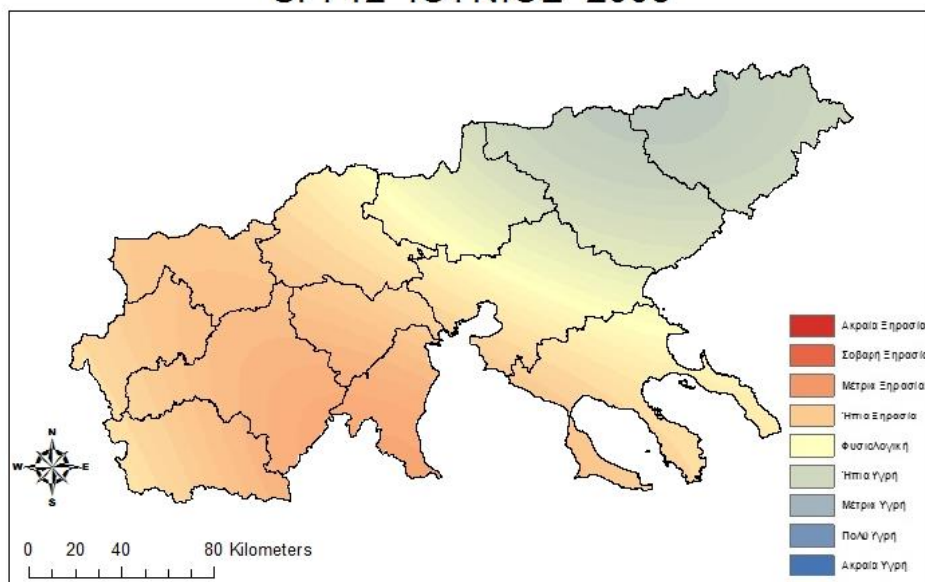
Εικόνα 162 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Απρίλιο 2008

SPI 12 ΜΑΙΟΣ 2008



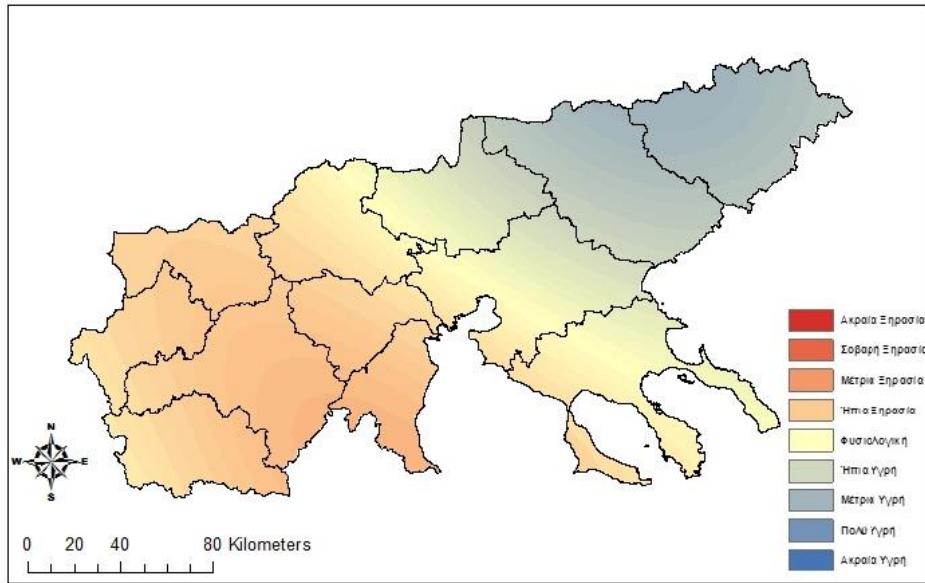
Εικόνα 163 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Μάιο 2008

SPI 12 ΙΟΥΝΙΟΣ 2008



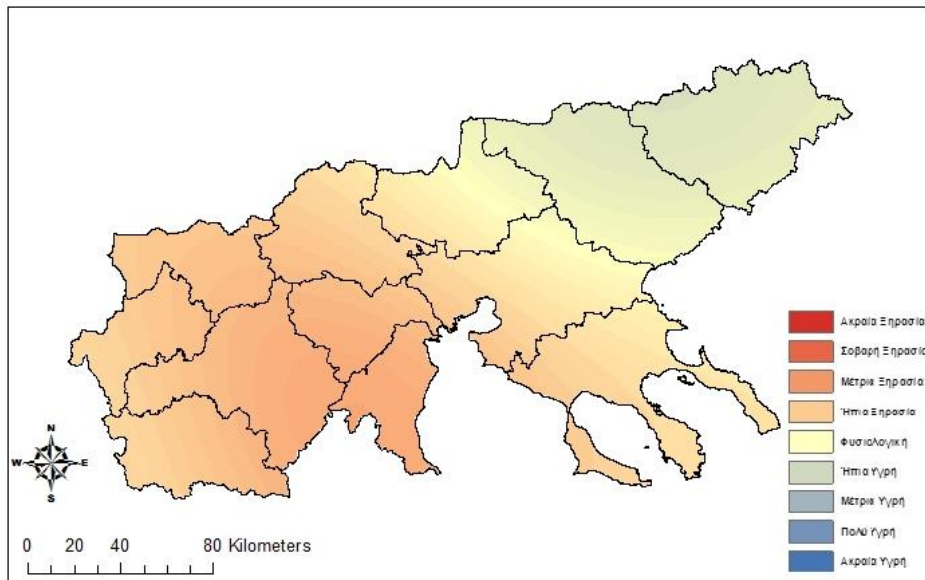
Εικόνα 164 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούνιο 2008

SPI 12 ΙΟΥΛΙΟΣ 2008



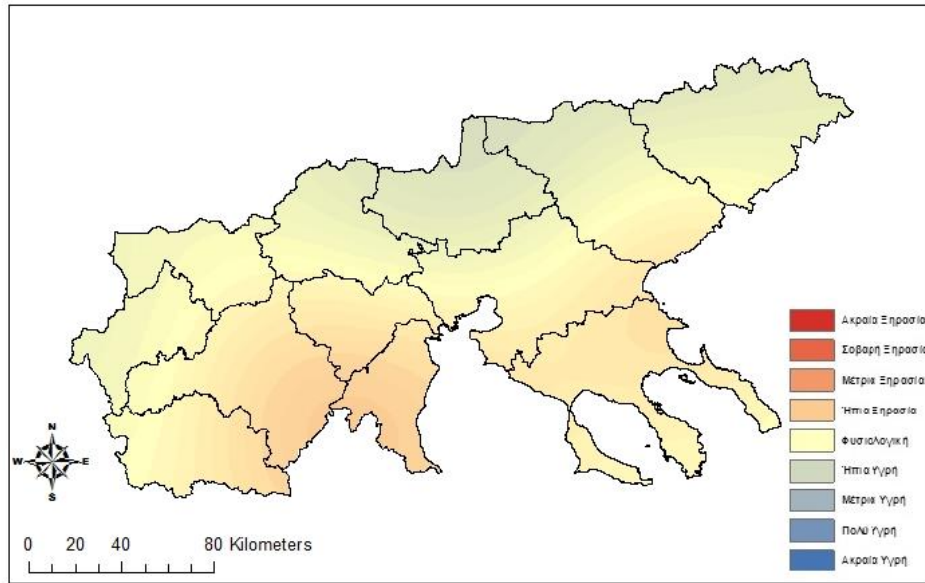
Εικόνα 165 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Ιούλιο 2008

SPI 12 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ 2008



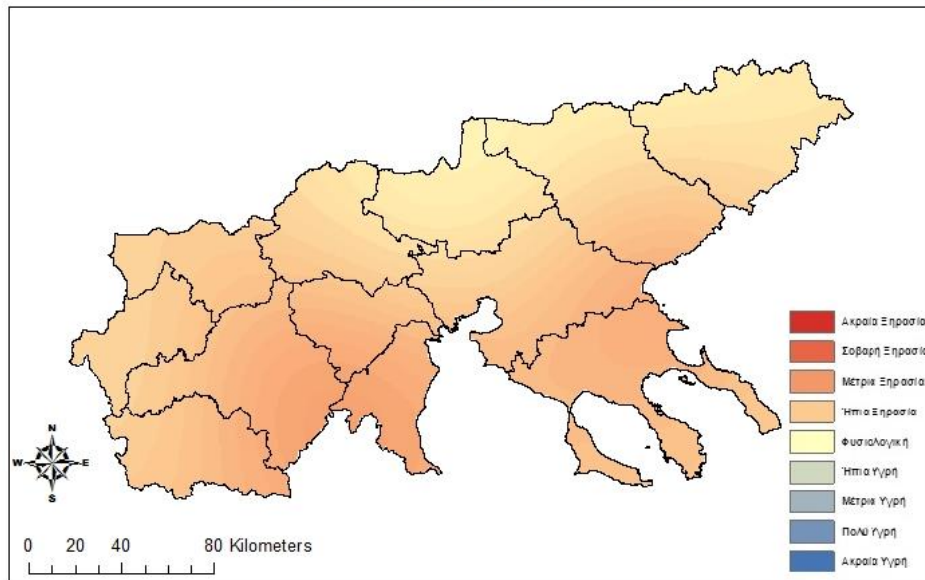
Εικόνα 166 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Αύγουστο 2008

SPI 12 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2008



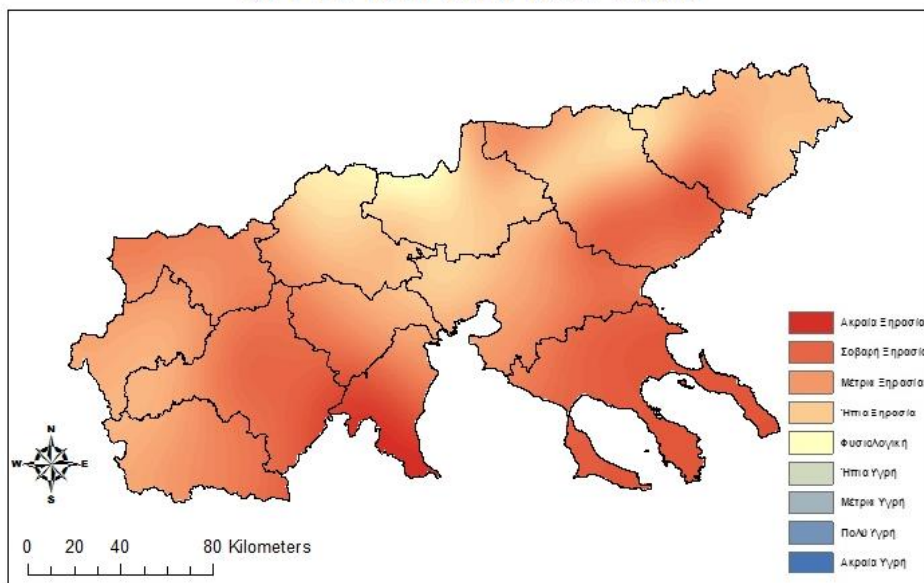
Εικόνα 167 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Σεπτέμβριο 2008

SPI 12 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2008



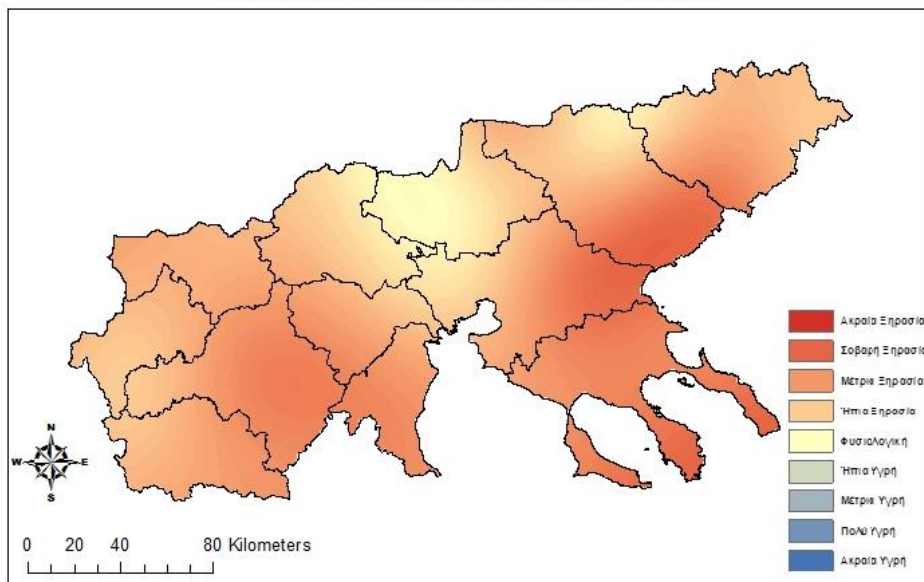
Εικόνα 168 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Οκτώβριο 2008

SPI 12 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2008



Εικόνα 169 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Νοέμβριο 2008

SPI 12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2008



Εικόνα 170 Χάρτης SPI12 για τον μήνα Δεκέμβριο 2008

Βιβλιογραφία

1. Bhalme H. N. and Mooley D. A. (1980). "Large scale droughts/floods and monsoon circulation". *Monthly Weather Review*, 108: 1197–1211
2. Bryant E. A. (1991). "Natural Hazards". Cambridge University Press, 85-107.
3. Bryson R. and Murray T. (1979). "Climates and Hunger". Australian National University Press, Canberra, 171p.
4. Cancelliere A. and Bonaccorso B. (2009). "Uncertainty analysis of the Standardized Precipitation Index in the presence of trend". *Hydrology Days*, 14-6.
5. Currie R. G. (1981). "Evidence of 18.6 year MN signal in temperature and drought conditions in N. America since 1800 A.D." *Journal Geophysical Research*, 86: 11055- 11064.
6. Changnon, S.A. and Easterling, W.E., 1989. Measuring drought impacts: The Illinois case. *Water Resources Bulletin*, 25 (1), pp. 27-42.
7. Chortaria, C., 2008. The development of the SPI drought index for Greece using statistical methods and GIS. Thesis (MSc). Agricultural University of Athens (in Greek).
8. DMCSEE Project, 2009. Drought management centre for South Eastern Europe, European Commission funded project [online]. Available from: <http://www.dmcsee.eu/> [Accessed 7 September 2011].
9. Dracup, J.A., K.S. Lee, and E.G. Paulson, 1980b. On the statistical characteristics of drought events, *Water Resources Research*, 16(2), 289-294.
10. Drought Management Center for Southeastern Europe, <http://www.dmcsee.org/>
11. Edwards C. D. C., McKee T. B., Doesken N. J. and Kleist J. (1997). "Historical Analysis of Drought in the United States". 77th AMS Annual Meeting, Long Beach, California, 2-7 February: pp. 129-139
12. Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaskovicova, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, G., Szolgay, J., Tsanis, I. & Velasco, A (2009). A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology* 367, 70-78
13. Gribbin J. (1978). "The Climatic Threat". Fontana, Glasgow.
14. Guttman N. B. (1998). "Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index". *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 34, No.1: 113-121.
15. Guttman N. B. (1999). "Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm". *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 35, No. 2: 311- 322

16. Hayes M. J. (1999). "Drought Indices". NDMC – Drought Happens, Drought Indices.<http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/indices.htm/>, updated 12 October 1999
17. Henriques, A.G., and M.J.J. Santos, 1999. Regional drought distribution model, *Physics and Chemistry of the Earth, Part-B*, 24(1-2), 19-22.
18. Heim Jr. R. R. (2002). "A Review of Twentieth- Century Drought Indices Used in the United States". American Meteorological Society
19. Hughes, B.L. and Saunders, M.A., 2002. A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*,22, 1571–1592
20. Ji L. and Peters A. (2003). "Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices". *Remote Sensing of Environment*, 87:pp. 85–89
21. Karavitis, C.A., 1999a. Drought and urban water supplies: the case of metropolitan Athens. *Water Policy*, 1 (5),505–524.
22. Karavitis, C.A., 1999b. Decision support systems for drought management strategies in metropolitan Athens. *Water International*, 1 (24), 10–21.
23. Karavitis, C. A., Tsesmelis,D.E., Skondras,N.A, Stmatakos,C.G., Alexandris, S. G., Fassouli, V. P. , Vasilakou,C. G., Oikonomou, P. D, Gregoric, G., Grigg, N. S., VlachosE. C., (2014)Linking drought characteristics to impacts on a spatial and temporal scale
24. Karavitis, C., A. & Kerkides, P. (2002). Estimation of the water resources potential in the island system of the Aegean Archipelago, Greece. *Water International* 27(21).243-254
25. Karavitis, C. A., Chortaria, C., Alexandris, S., Vasilakou, C. G. & Tsesmelis, D. E. (2012a). Development of the standardised precipitation index for Greece. *Urban Water Journal* 9(6), 401–417.
26. Karavitis, C. A., Skondras, N. A., Tsesmelis, D. E., Stamatakos, C. G., Alexandris, S. G. & Fassouli, V. P. (2012b). Drought impacts archive and drought vulnerability index. In: *Drought Management Centre for South-East Europe – DMCSEE. Summary of the result of the project, co-financed by the South East Europe Transnational Cooperation Programme (contract no.SEE /A/091/2.2/X)*. Gregorič, G. (ed.). Slovenian Environmental Agency, Ljubljana, Slovenia, Available at: http://www.met.hu/doc/DMCSEE/DMCSEE_final_publication.pdf. (Accessed October 28 2013).
27. Karavitis, C. A., Alexandris, S., Tsesmelis, D. E. & Athanasopoulos, G. (2011b). Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. *Water* 3(3), 787–805
28. Lamb H. H. (1982). "Climate, History, and Modern World". Methuen, London.
29. Loukas, A., Vasiliades, L., and Tzabiras, J., 2007. Evaluationof climate change on drought impulses in Thessaly,Greece. *European Water*, 17/18, 17–28
30. Lloyd-Hughes B. and Saunders M. A. (2002). "A drought climatology for Europe".*International Journal of Climatology*, 22: 1571–1592.

31. McKee T. B., Doesken N. J. and Kleist J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales". Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17-23 January
32. Oladipo, 1985. A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. *International Journal of Climatology*, 5: 655–664.
33. Namias J. (1983). "Some causes of United States drought". *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22: 30–39.
34. Palmer, W. C., 1965. *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
35. Panofsky H. A. and Brier W. G. (1958). "Some Applications of Statistics to Meteorology". Pennsylvania State University, University Park: 224p.
36. Petrović A., Cosmic Cycles and methodological triangle, Milanković's unscrambling of Pleistocene ice ages, Faculty of Philology and Arts, Kragujevac, Republic of Serbia A.
37. Ropelewski C. F. and Halpert M. S. (1987). "Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern oscillation". *Monthly Weather Review* 115:1606–1626.
38. Ropelewski C. F. and Halpert M. S. (1989). "Precipitation patterns associated with the high phase of the Southern Oscillation". *Journal of Climate*, 2: 268–284.
39. Rossi, G., Benedini, M., Tsakiris, G., Giakoumakis, S., (1992). *On regional drought estimation and analysis*. *Water resources management*, 6: 249-277.
40. Rossi, G., (2000). *Drought mitigation measures: a comprehensive framework*. In *drought and drought mitigation in Europe*. J. Voght and F. Somma (Eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
41. Serrano-Vicente, S.M., 2006. Differences in spatial patterns of drought on different time scales: an analysis of The Iberian Peninsula. *Water Resources Management*, 20, 37–60.
42. Shin, H.S., and J.D. Salas, 2000. Regional drought analysis based on neural networks, *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), 145-155.
43. Sims A. P., Niyogi D. S. and Raman S. (2002). "Adopting drought indices for estimating soil moisture: A North Carolina case study". *Geophys. Res. Lett.*, 29, 8, 1183
44. Skondras, N.A., et al., 2011. Application and assessment of the environmental vulnerability index in Greece 2011. *Ecological Indicators*, 11, 1699–1706
45. Szalai S. and Szinell C. (2000). "Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary — a case study". In *Drought and Drought Mitigation in Europe*, Vogt JV, Somma F (eds). Kluwer: Dordrecht: 161–166
46. Tannehill, I., (1947). *Drought: Its causes and effects*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, U.S.A.
47. Thom H. C. S. (1958). "A note on the gamma distribution". *Mon. Weather Rev.*, 86: 117-122

48. Vicente-Serrano, S. M., Gonzalez-Hidalgo, J.c., de Luis, M. & Raventos, J. (2004) Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (Eastern Spain). *Climate Research* 26,5-15
49. Vicente-Serrano S. M. (2006). “Differences in Spatial Patterns of Drought on Different Time Scales: An Analysis of the Iberian Peninsula”. *Water Resources Management*, 20:37–60
50. Vicente-Serrano, S. M., Begueria. S. & Lopez-Moreno, J.I (2010) a multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23(7), 1696-1718
51. Wilhite, D.A. and M.H. Glantz. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10
52. Wu H., Svoboda M. D., Hayes M. J., Wilhite D. A. and Wen F. (2007). “Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons”. *International Journal of Climatology*, 27: 65–79.
53. Yevjevich, V., 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrol Papers Colorado State University, Fort Collins, Colorado.*
54. Yevjevich, V., da Cunha, L., and Vlachos, E.C., 1983. *Coping with Droughts*, editors, Water Resources Publications, Littleton, CO.
55. Αναγνωστοπούλου Χ. Γ. (2003). «Συμβολή στη μελέτη της ξηρασίας στον ελληνικό χώρο». Διδακτορική διατριβή. Παράρτημα της Επιστημονικής Επετηρίδας του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ., Αριθμός 74.
56. Βασιλειάδης, Λ., 2010. Χωροχρονική ανάλυση ,προσομοίωση και πρόγνωση της λειψυδρίας στην υδρολογική λεκάνη του Πηνειού ποταμού της Θεσσαλίας.
57. Ευρωπαϊκή Ένωση ,MEDAWater, MEDROPLAN – Οδηγίες διαχείρισης της Λειψυδρίας.
58. Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών προϊόντων: Η λειψυδρία ένα επικίνδυνο ακραίο κλιματικό φαινόμενο με ιδιαιτερότητες στη χρήση του.
59. Καλπία Α. (2010) Χρήση δεικτών για την εκτίμηση και πρόβλεψη της ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. (MSc). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
60. Καραβίτης Χρ., 2008. Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων.
61. Κουτσογιάννης Δ. & Ξανθόπουλος Θ., 1999. *Τεχνική Υδρολογία* 3^η έκδοση.
62. Κουτσογιάννης Δ. (1997). «Στατιστική Υδρολογία», 4^η έκδοση, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
63. Μαμάσης, Ν., και Δ. Κουτσογιάννης, 2007. Φυσικές, κοινωνικές και τεχνολογικές πτυχές της λειψυδρίας -Το παράδειγμα της Αθήνας. Φυσικές και

- Τεχνολογικές Καταστροφές στην Ευρώπη και την Ελλάδα, επιμέλεια Κ. Σαπουντζάκη, Gutenberg, Αθήνα, 61-88
64. Μαρμασής Νίκος 2009 Σημειώσεις Εργαστηρίου Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων Αθήνα
65. Μαχαίρας, Π., 1992. Αίτια και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της λειψυδρίας στον ελληνικό χώρο, Πρακτικά Συμποσίου «Λειψυδρία και Πλημμύρες», Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Θεσσαλονίκη 17-18 Μαρτίου 1992, 159-169.
66. Μηναΐδου Κλεοπάτρα, Κούλαλη Ευδοξία (2004) Milutin Milankovic: Η αστρονομική θεωρία της κλιματικής αλλαγής <http://www.airpollab.org/sites/default/files/milankov.pdf>
67. Τσεσμενλής Δ. (2010) Εφαρμογή του SPI στον Ελλαδικό χώρο για την ολοκληρωμένη διαχείριση των λειψυδριών. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (MSc).
68. Τραχάνης Χ. (2012) Εφαρμογή του δείκτη SPI για την ολοκληρωμένη διαχείριση των λειψυδριών στην Κύπρο. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
69. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής-Ειδική Γραμματεία Υδάτων. ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας https://dl.dropboxusercontent.com/u/94188257/documents/10/SXEDIO_DIAXEIRISHS_GR10.pdf
70. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής-Ειδική Γραμματεία Υδάτων. ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Μακεδονίας https://dl.dropboxusercontent.com/u/94188257/documents/09/SXEDIO_DIAXEIRISHS_GR09.pdf
71. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής-Ειδική Γραμματεία Υδάτων. ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. https://dl.dropboxusercontent.com/u/57230958/RBMP_GR11.pdf
72. Φαλέγκας, Χ. (2014) « Χρήση Μετεωρολογικού ραντάρ στη βραχυπρόθεσμη πρόγνωση βροχόπτωσης» Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης
73. Φείδας, Καρακώστας, Μαυρομάτης (2013) Σημειώσεις Γενικής Μετεωρολογίας Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
74. Φλόκας Α., 1997. Μαθήματα Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας.

http://www.mathra.gr/default_274.aspx

<http://water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>

<http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/1000/yetos.html>

https://www.itia.ntua.gr/getfile/868/1/documents/teliko_dimakos.pdf

www.weather.gr/articles.aspx?a=9

<https://www.nc-climate.ncsu.edu/climate/patterns/ENSO.html>

<http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/th/math8.html>