

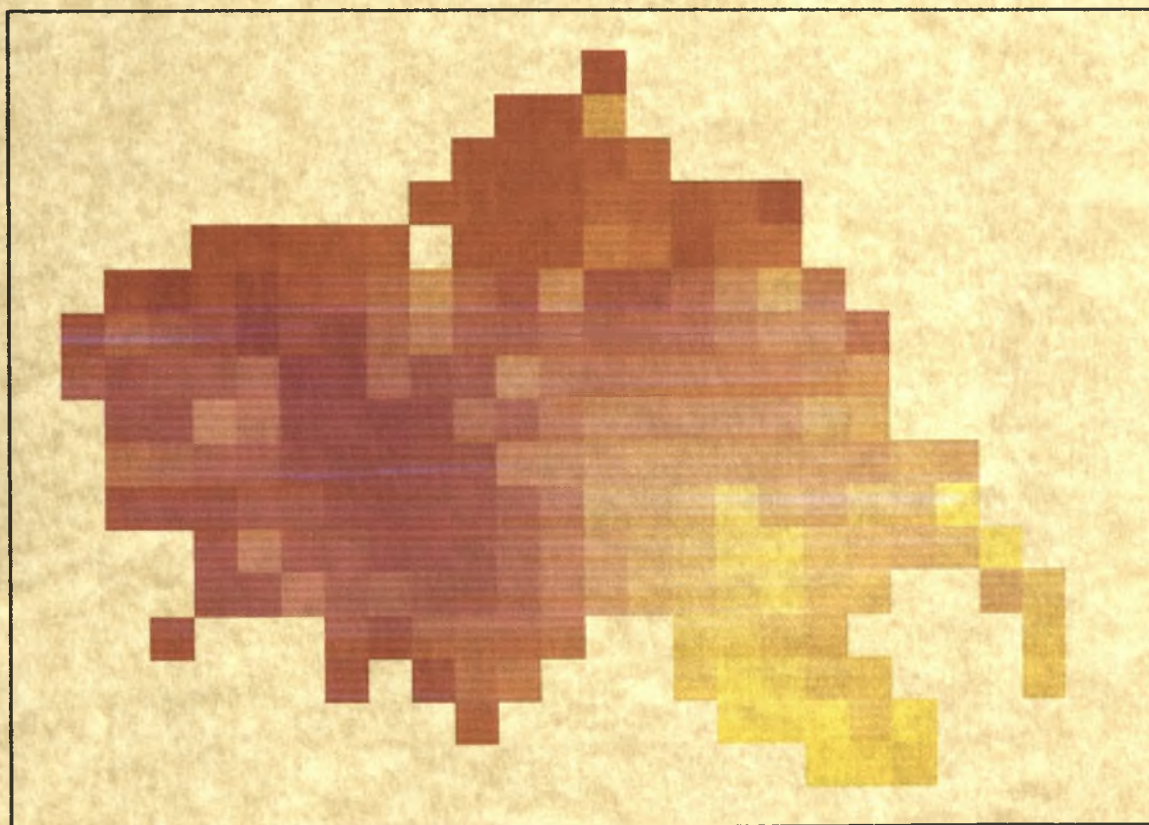


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Πρόγραμμα Σπουδών Επιλογής

«Διαχείριση Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων»

ΠΙΘΑΝΟΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ
ΘΕΣΣΑΛΙΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ : Χρήστος Ζαραγκότας
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Αν. Καθ. Αθανάσιος Λουκάς

Βόλος 2005



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 4446/1
Ημερ. Εισ.: 05-07-2005
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΣΕ-ΔΑΠΦΠ
2005
ΖΑΡ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 Αντικείμενο μελέτης.	6
1.2. Βιβλιογραφική παρουσίαση.	6
1.3. Διάρθρωση εργασίας.	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.	11
2.1. Περιοχή μελέτης.	11
2.2. Σταθμοί και δεδομένα.	13
2.3. Μορφολογικά χαρακτηριστικά - Ανάγλυφο.	15
2.4. Μετεωρολογικά – Κλιματολογικά στοιχεία.	17
2.5. Αναπτυξιακή πορεία.	19
2.6. Περίοδοι ξηρασίας.	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΘΕΣΣΑΛΙΑ.	22
3.1. Υδατικοί Πόροι.	22
3.1.1. Επιφανειακοί Υδατικοί Πόροι.	22
3.1.2. Υπόγειοι Υδατικοί Πόροι.	23
3.1.3. Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Επιφανειακών και Υπόγειων Υδάτων.	23
3.2. Υδατικές Ανάγκες.	25
3.2.1. Γεωργία	25
3.2.2. Κτηνοτροφία	25
3.2.3. Ύδρευση.	26
3.3. Συνοπτική Αναφορά των Προβλημάτων.	26
3.3.1. Επιφανειακά Νερά.	27
3.3.2. Υπόγεια Νερά.	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΞΗΡΑΣΙΑ - ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.	29
4.1. Εισαγωγή.	29

4.2. Μετεωρολογική ξηρασία.	31
4.2.1. Ασυνεχείς και αθροιστικές μη ομαλές βροχοπτώσεις.	31
4.2.2. Z-score ή κανονικοποιημένη μη ομαλή βροχόπτωση.	32
4.2.3. Δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (PDSI)	32
4.2.4. Δείκτης Ξηρασίας Bhalme – Mooley (BMDI)	38
4.2.5. Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (Rainfall Anomaly Index, RAI)	39
4.2.6. Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI).	40
4.3 Υδρολογική ξηρασία.	41
4.3.1. Ολικό υδατικό έλλειμμα.	42
4.3.2. Αθροιστική μη ομαλή απορροή.	42
4.3.3. Δείκτης υδρολογικής δριμύτητας ξηρασίας Palmer (PHDI)	42
4.3.4. Δείκτης επιφανειακού διαθέσιμου νερού (SWSI)	43
4.4. Δείκτες γεωργικής ξηρασίας.	43
4.4.1. Δείκτης υγρασίας καλλιέργειας.	44
4.4.2. Δείκτης ανωμαλιών υγρασίας του Palmer (Z-Index).	44
4.4.3. Μη ομαλός δείκτης εδαφικής υγρασίας (S.M.A.I)	44
4.4.4. Ακολουθία ξηρών ημερών.	45
4.4.5. Διακεκριμένη μέθοδος του Markov.	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	46
5.1. Μετεωρολογική ξηρασία.	46
5.1.1. Εκτίμηση χωρικής κατανομής νετόπτωσης.	46
5.1.2. Υπολογισμός του δείκτη ξηρασίας S.P.I για κάθε φατνίο.	51
5.1.3. Χρονική ανάλυση της ξηρασίας.	53
5.1.4. Πιθανοθεωρητική ανάλυση της ξηρασίας.	55
5.1.5. Χωρική κατανομή ξηρασίας .	55
5.1.6. Εύρεση καμπυλών SAF.	57
5.1.7. Ανάλυση ιστορικών γεγονότων ξηρασίας.	59
5.2. Υδρολογική ξηρασία.	59
5.2.1. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά λεκανών απορροής.	60
5.2.2. Υπολογισμός του μηνιαίου δείκτη SPI για κάθε υπολεκάνη.	62
5.2.3. Υπολογισμός υδρολογικού δείκτη ξηρασίας Z_{ij} .	63
5.3. Διερεύνηση της σχέσης μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας.	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.	67
6.1. Χρονική μεταβλητότητα της ξηρασίας.	67
6.2. Χωρική κατανομή βροχόπτωσης και δείκτης SPI.	67
6.3. Χωρική κατανομή και μεταβλητότητα ετήσιας ξηρασίας.	69
6.4. Χωρική κατανομή και μεταβλητότητα μηνιαίου δείκτη ξηρασίας.	72
6.5. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς για ετήσια SPI.	75
6.6. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς για μηνιαία SPI.	79
6.7. Σχέση μετεωρολογικής με υδρολογική ξηρασία.	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.	83

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Α. ΧΑΡΤΕΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΤΗΣΙΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ (SPI).	88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Β. ΧΑΡΤΕΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΜΗΝΙΑΙΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ (SPI).	101
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Γ. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ – ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΈΚΤΑΣΗΣ – ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (SAF), ΓΙΑ Α) ΕΤΗΣΙΑ ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ. Β) ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΣΗ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.	113
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Δ. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ – ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΈΚΤΑΣΗΣ – ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (SAF), ΓΙΑ ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	119

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών επιλογής: Διαχείρισης Αγροτικού Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Μετά την ολοκλήρωση της επίπονης αλλά και τόσο εποικοδομητικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν κατά την εκπόνηση της.

Οφείλω αρχικά να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και επιβλέποντα αυτής της εργασίας Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αθανάσιο Λουκά, ο οποίος με καθοδήγησε στενά από το αρχικό ως το τελικό της στάδιο.

Σημαντική ήταν η βοήθεια και το συνεχές ενδιαφέρον του συνεργάτη του κ. Λουκά, κ. Λάμπρο Βασιλειάδη, σε όλα τα στάδια της εργασίας και ιδιαίτερα κατά την συλλογή και επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων.

Τέλος θα ήθελα να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον συμφοιτητή μου κ. Παντελή Μήτσιου για την αμέριστη βοήθεια του όπου αυτή κρίθηκε δυνατή.

Χρήστος Ζαραγκότας
8/3/2005

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται η χωρική και χρονική κατανομή της ξηρασίας στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Η εκτίμηση του φαινομένου έγινε με τη χρήση του κανονικοποιημένου δείκτη βροχόπτωσης (SPI), όπως αυτός προτάθηκε από τον McKee et al (1993).

Από σύνολο πενήντα βροχομετρικών σταθμών του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, λήφθηκαν τα μηνιαία αθροιστικά ύψη βροχόπτωσης για χρονική περίοδο τριάντα τριών ετών (Υδρολογικά έτη: 1960-61 έως και 1992-93). Με την βοήθεια του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) ArcVIEW, δομήθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους βάσει του οποίου η μείζονα λεκάνη απορροής της Θεσσαλίας χωρίστηκε σε ισομεγέθη στοιχειώδη κύτταρα (grids - φατνία), διαστάσεων 8 x 8 χιλιομέτρων. Βάση ενός δεκαπαραμετρικού μοντέλου με εξαρτημένη μεταβλητή την βροχόπτωση και ανεξάρτητες μεταβλητές τις γεωγραφικές συντεταγμένες και το υψόμετρο του κάθε φατνίου, εκτιμήθηκε η βροχόπτωση σε κάθε σημείο όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις.

Η εκτίμηση της ξηρασίας έγινε με τη χρησιμοποίηση του δείκτη SPI. Με δεδομένα τις υπολογιζόμενες τιμές βροχόπτωσης, υπολογίσθηκε ο βαθμός ξηρασίας, τόσο χωρικά όσο και χρονικά, σε μηνιαία και ετήσια βάση και για διάρκειες 1, 3, 6, 9 και 12 μηνών. Μετά από πιθανοθεωρητική ανάλυση των δεδομένων αυτών προέκυψαν καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Συχνότητας, για περιόδους επανεμφάνισης 2, 5, 10, 20, 50 και 100 ετών και διάφορα ποσοστά έκτασης της Θεσσαλίας. Ακραία γεγονότα ξηρασίας αναλύθηκαν ως προς την έκταση και την ένταση με την βοήθεια των καμπυλών αυτών. Τέλος σε δυο υπολεκάνες απορροής αναλύθηκε η υδρολογική ξηρασία και εξετάστηκε ο βαθμός συσχέτισης με τον δείκτη μετεωρολογικής ξηρασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο μελέτης.

Το φαινόμενο της ξηρασίας κατά καιρούς, επέφερε σημαντικές και πολλές φορές μη αντιστρεπτές επιπτώσεις στο γενικότερο περιβάλλον στο οποίο εξελίχθηκε. Η μείωση της παροχής των ποταμών, η πτώση της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα, η δραματική μείωση της υγρής επιφάνειας λιμνών, είναι μερικές από τις επιπτώσεις της ξηρασίας.

Στόχος λοιπόν της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί το φαινόμενο της ξηρασίας. Ποιο συγκεκριμένα είναι απαραίτητο να ανιχνευτούν διάφορα χαρακτηριστικά της γνωρίσματα όπως το χρονικό διάστημα έναρξης και παύσης, η έκταση, η δριμύτητα, η περιοδικότητα και η διάρκεια του φαινομένου. Η ανάλυση της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητας της ξηρασίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την διαχείριση των υδατικών πόρων όπως η διαχείριση ταμιευτείρων και λιμνοδεξαμενών και ο έλεγχος ύδρευσης και άρδευσης.

Η μελέτη μπορεί να χωρισθεί σε δυο ενότητες:

Η πρώτη ενότητα η οποία περιλαμβάνει τον μεγαλύτερο και ουσιαστικότερο όγκο της εργασίας, μελετά πιθανοθεωρητικά την χρονική και χωρική μεταβλητότητα της ξηρασίας με την χρήση του μετεωρολογικού δείκτη δριμύτητας ξηρασίας: SPI.

Η δεύτερη ενότητα, μελετά την υδρολογική ξηρασία με την χρήση του υδρολογικού δείκτη Z_{ij} σε δυο συγκεκριμένες λεκάνες απορροής και τα αποτελέσματα συσχετίζονται με τους αντίστοιχους δείκτες μετεωρολογικής ξηρασίας: SPI-1Μηνός, 3-Μηνών, 6-Μηνών, 9-Μηνών και 12-Μηνών.

1.2. Βιβλιογραφική παρουσίαση.

Ένας μεγάλος αριθμός μελετών που αναφέρονται στο έλεγχο της αποτελεσματικότητας των διαφόρων δεικτών ξηρασίας μπορεί να βρεθεί στη διεθνή βιβλιογραφία.. Μια παραγοντική ανάλυση (Guttman, 1998) όπου συγκρίθηκαν ιστορικές χρονοσειρές του δείκτη PDSI με χρονοσειρές του SPI έδειξε ότι τα φασματικά χαρακτηριστικά του SPI είναι χωρικά αμετάβλητα ενώ αντίθετα του PDSI είναι χωρικά μεταβλητά και για αυτό το λόγο ο δείκτης SPI είναι καλύτερος δείκτης ξηρασίας για διαπεριοχική σύγκριση των γεγονότων ξηρασίας. Ο Guttman (1998) επίσης βρήκε ότι ο 12-Μηνών SPI διακυμαίνεται σε συμφωνία με τον δείκτη PDSI. Όμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί από την αλληλοσύγκριση των SPI, Z-score, RAI, του PDSI και του Palmer moisture

index(Z-Index)(Palmer, 1965) σε 28 μετεωρολογικούς σταθμούς στον ελλαδικό χώρο. (Loukas et al.,2003). Σε αυτή την μελέτη η διακύμανση του SPI βρέθηκε να είναι σε φάση με την διακύμανση του Z-score και του δείκτη RAI για όμοιες χρονικές κλίμακες και σε φάση με την διακύμανση του δείκτη PDSI για χρονικές κλίμακες μεγαλύτερες των 6-μηνών. Οι Gonzales και Valdes (2004) πρότειναν μια νέα μεθοδολογία υπολογισμού της μέσης συχνότητας επαναφοράς (Mean Frequency of Recurrence, MFR) της ξηρασίας και τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας τους συγκρίθηκαν με τους δείκτες PDSI και SPI για τις περιοχές του Τέξας και το Γιβραλτάρ. Συμπέραναν ότι το κύριο πλεονέκτημα της MFR είναι ότι η προτεινόμενη διαδικασία επιτρέπει την σύγκριση γεγονότων ξηρασίας τα οποία ακόμα και όταν αντιστοιχούν στην ίδια χρονική κλίμακα έχουν διαφορετική χρονική διάρκεια. Επιπλέον ο Gonzales και Valdes εξακρίβωσαν τα αποτελέσματα του Guttman (1998) που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Ο (Hayes et al.,1999) χρησιμοποίησαν τον δείκτη SPI για την προσομοίωση της ξηρασίας του 1996 στα νότια και νοτιοδυτικά των Ηνωμένων Πολιτειών και απέδειξαν ότι ο SPI έχει την ικανότητα να ανιχνεύει την έναρξη και λήξη της ξηρασίας καθώς επίσης να παρακολουθεί την εξέλιξη της. Από την σύγκριση του SPI με τον PDSI διαπιστώθηκε ότι ο SPI ανίχνευσε την έναρξη της ξηρασίας του 1996 τουλάχιστον ένα μήνα νωρίτερα από τον PDSI. Αποδείχθηκε ότι είναι λειτουργικός, απλός και χρονικά ευέλικτος δείκτης και θα μπορούσε να αποτελέσει την βάση έγκαιρης πρόγνωσης γεγονότων ξηρασίας

Οι μετεωρολογικοί δείκτες ξηρασίας χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση και αποτίμηση της εδαφικής υγρασίας και της πρόγνωσης της αγροτικής παραγωγής. Σε πρότυπη μελέτη για την περιοχή της νότιας Καρολίνας (Sims et al., 2002), οι SPI και PDSI χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι ο SPI είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικός σε μικρές περιόδους βροχόπτωσης από ότι ο PDSI και άρα υποδεικνύει καλύτερα τη μεταβλητότητα της εδαφικής υγρασίας και της εδαφικής παρουσίας νερού. Η εδαφική υγρασία είναι ο κύριος δείκτης γεωργικής ξηρασίας η οποία έχει άμεσες επιπτώσεις στην γεωργική παραγωγή. Οι Quiring και Parakryiakou (2003) αξιολόγησαν την αποτελεσματικότητα των SPI, PDSI, Palmer Z-Index και του δείκτη ξηρασίας NOAA για την αναγνώριση της γεωργικής ξηρασίας στους λειμώνες του Καναδά. Η ανάλυση έδειξε ότι ο Z-δείκτης και ο SPI απεικονίζουν καλύτερα την κατάσταση της υγρασίας του εδάφους και άρα οι δείκτες αυτοί προβλέπουν καλύτερα την σοδειά.

Πρόσφατα, μερικές μελέτες ανέλυσαν τη σχέση ανάμεσα στους δείκτες ξηρασίας και κλίματος και την σύνδεση της ξηρασίας και της κλιματικής μεταβλητότητας

σε μεγάλες περιοχές. Οι Piechota και Dracup (1996) διερεύνησαν την υδροκλιματική απόκριση στις ΗΠΑ στις ακραίες φάσεις των ελαχίστων ακρότατων. Βρέθηκε ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στο El Nino και σε ακραία ξηρά έτη στο βορειοδυτικό Ειρηνικό ωκεανό και στις νότιες Ηνωμένες Πολιτείες, όπου υγρές συνθήκες λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια γεγονότων La Nina. Άλλη μελέτη (Chiew et al., 1998) έδειξε ότι η εμφάνιση ξηρασίας στην Αυστραλία συσχετίζεται στενά με γεγονότα El Nino. Επιπρόσθετα, σε πρόσφατες μελέτες στην Nebraska των ΗΠΑ (Tadese et al., 2004) οι δείκτες ξηρασίας SPI και PDSI συνδέθηκαν με ωκεάνειους δείκτες χρησιμοποιώντας τεχνικές εξόρυξης δεδομένων στην παρακολούθηση της ξηρασίας. Οι (Hoerling and Kumar, 2003) ανέλυσαν την ξηρασία του 1998 – 2002 που επηρέασε τις ΗΠΑ, τη νότια Ευρώπη και τη νοτιοδυτική Ασία και βρήκαν ότι το παρατεταμένο και εκτεταμένο γεγονός ξηρασίας συνδεόταν με μια συνήθη ωκεάνεια επίδραση. Σε αυτή την περίοδο οι θερμοκρασίες του ψυχρού επιφανειακού θαλάσσιου στρώματος στον ανατολικό τροπικό Ειρηνικό ωκεανό και του αντίστοιχου θερμού στον δυτικό τροπικό Ειρηνικό και Ινδικό ήταν αξιοσημείωτα επίμονα, συνεισφέροντας στον συγχρονισμό και τη χωρική εξάπλωση ξηρασίας σε μέσα γεωγραφικά πλάτη. Η ανάλυση του SPI στο βόρειο ημισφαίριο (Bordi and Sutera, 2001) αποκάλυψε ότι οι ξηρές συνθήκες πάνω από την Ευρώπη, την Ανατολική Ασία την κεντρική Αφρική και την περιοχή της Καραϊβικής αλληλοσυνδεόταν και επηρεαζόταν από την τροπική κλιματική μεταβλητότητα.

Ο δείκτης ξηρασίας SPI χρησιμοποιήθηκε σε πρόσφατη περιοχική ανάλυση ξηρασίας στην περιοχή της Μεσογείου με χρήση βροχομετρικών δεδομένων (Bordi et al., 2001; Lana et al., 2001), διακριτοποιημένων βροχομετρικών δεδομένων (Lloyd-Hughes και Saunders 2002; Tsakiris και Vangelis, 2004) και διακριτοποιημένων τιμών βροχόπτωσης που προέκυψαν από την NCEP/NCAR ανάλυση (Bordi and Sutera, 2001). Οι παραπάνω μελέτες έδειξαν ότι η περιοχή της Μεσογείου επηρεάστηκε από αρκετές και λίγο ως πολύ παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας τα τελευταία 50 χρόνια.

Στο ανατολικό τμήμα της νήσου Κρήτης (Tsakiris and Vangelis, 2004), προτάθηκε η χρήση του δείκτη SPI. Χρησιμοποιώντας την προσέγγιση η οποία απαιτεί τα λιγότερα δεδομένα, η χρήση του δείκτη SPI με την βοήθεια απλών πληροφοριών εδάφους, έδειξε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση ενός συστήματος παρακολούθησης της ξηρασίας σε περιοχές μεσαίων διαστάσεων δίνοντας άμεσες εκτιμήσεις της δριμύτητας της ξηρασίας της χωρικής κατανομής καθώς και της διάρκειας της. Στην περιοχή Marche της Ιταλίας (Bordi et al., 2001) ο δείκτης SPI υπολογίστηκε βάσει δεδομένων τιμών βροχόπτωσης των βροχομετρικών σταθμών της περιοχής μελέτης και βάσει των

υπολογιζόμενων τιμών βροχόπτωσης σε συγκεκριμένα σημεία μετά την διακριτοποίηση της περιοχής σε φατνία. Ο δείκτης SPI και με της δυο μεθόδους εκτίμησης επιφανειακής βροχόπτωσης συγκρίθηκε και έδειξε ότι υπάρχει ικανοποιητική συμφωνία στην ανάδειξη της ξηρασίας.

Οι (Loukas at all.,2003) εκτίμησε την ξηρασία στην Ελλάδα με την χρήση δυο μετεωρολογικών δεικτών: Του δείκτη Z (Z-index) του Palmer και του δείκτη των Bhalme & Mooley (BMDI). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι και οι δύο δείκτες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη των περιόδων και των εντάσεων της μετεωρολογικής ξηρασίας. (Loukas at all., 2004) υπολόγισε τον SPI από τιμές επιφανειακής βροχόπτωσης που προέκυψαν με τεχνικές ολικής παρεμβολής στη διακριτοποιημένη περιοχή της Θεσσαλίας και έδειξε ότι ο SPI μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό της διαχείρισης των υδάτινων πόρων σε ημίξηρες περιοχές.

(Dalezios at all.,2000), μελέτησε την δριμύτητα και την περίοδο επαναφοράς ξηρών περιόδων στον ελλαδικό χώρο. Χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης PDSI και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει μια ελάττωση της δριμύτητας της ξηρασίας και των ξηρών περιόδων από δυτικά προς ανατολικά και ότι στην Ελλάδα για όμοιες διάρκειες και περιόδους επαναφοράς οι υγρές περίοδοι είναι γενικώς περισσότερο ακραίες από τις ξηρές.

1.3. Διάρθρωση εργασίας.

Η εργασία, εκτός από την εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), περιλαμβάνει, επτά ακόμα κεφάλαια και τέσσερα παραρτήματα. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται λεπτομερής παρουσίαση της περιοχής μελέτης. Παρουσιάζονται στοιχεία που αφορούν τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά καθώς και τα κλίμα της περιοχής και βάσει των δεδομένων βροχόπτωσης με κατάλληλη επεξεργασία, εντοπίζονται οι ποιο ξηρές περίοδοι καθώς και τα ποιο ξηρά έτη στο σύνολο της μελετούμενης χρονικής περιόδου. Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται το πρόβλημα των υδατικών πόρων στην Θεσσαλία και παρατίθενται στοιχεία αναγκών σε νερό των κλάδων της γεωργίας και κτηνοτροφίας καθώς και των αναγκών για ύδρευση. Στο Κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται μια περιληπτική ανάλυση των διαφόρων δεικτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή του φαινομένου της ξηρασίας. Στο Κεφάλαιο 5 αναπτύσσεται η μεθοδολογία επιφανειακής κατανομής της βροχόπτωσης καθώς και η μεθοδολογία εκτίμησης του δείκτη ξηρασίας. Μέσο κατάλληλης μεθοδολογίας αναπτύσσονται οι καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης (%) – Περίο-

δου Επαναφοράς. Αναπτύσσεται η μεθοδολογία εκτίμησης της υδρολογικής ξηρασίας και διερευνάται η σχέση της με την μετεωρολογική.

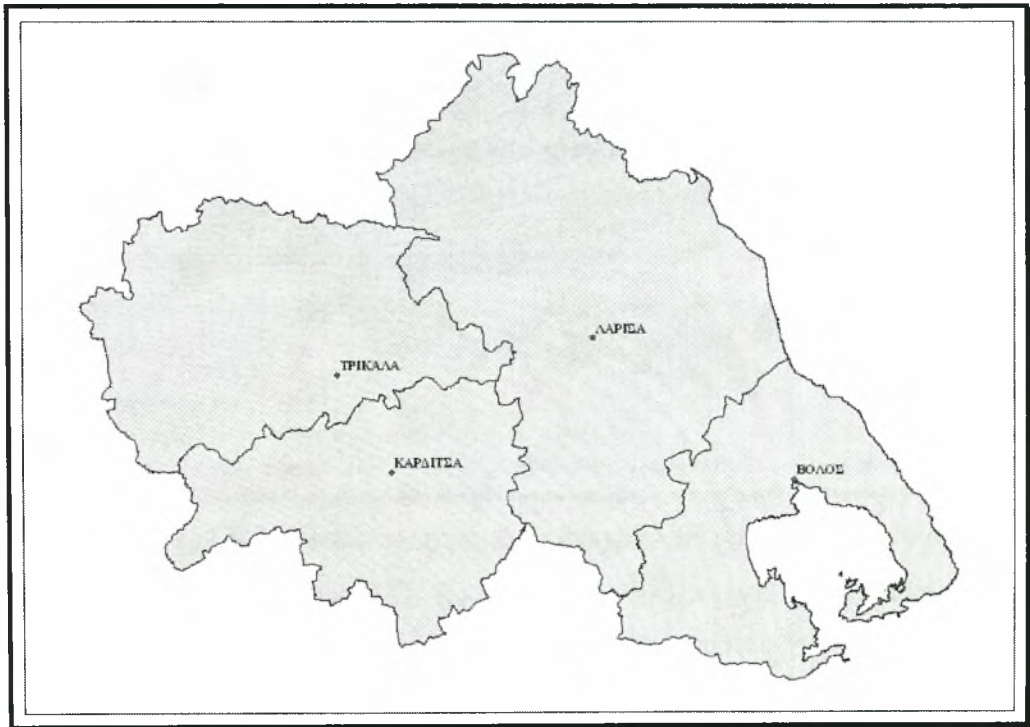
Στο Κεφαλαίο 6 αναλύονται τα κύρια συμπεράσματα της χρήσης του δείκτη SPI στην περιγραφή του φαινομένου της ξηρασίας, τόσο χωρικά όσο και χρονικά για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους και έτη. Αναλύεται επίσης η σχέση του δείκτη υδρολογικής ξηρασίας με τον δείκτη μετεωρολογικής ξηρασίας για συγκεκριμένες υπολεκάνες απορροής.

Στο Κεφαλαίο 7 παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα – αποτελέσματα της χρήσης των δεικτών SPI και Z_{ij} στην μελέτη του φαινομένου της ξηρασίας στην γεωγραφική ενότητα της Θεσσαλίας. Στα Παραρτήματα Α και Β σε μορφή χαρτών, παρουσιάζεται η χωροχρονική κατανομή της ξηρασίας συγκεκριμένων υδρολογικών ετών και μεμονωμένων μηνών αντίστοιχα. Στα Παραρτήματα Γ και Δ παρατίθεται το σύνολο των καμπυλών Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης (%) – Περιόδου Επαναφοράς τόσο σε ετήσια βάση όσο και σε μηνιαία αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.

2.1. Περιοχή μελέτης.

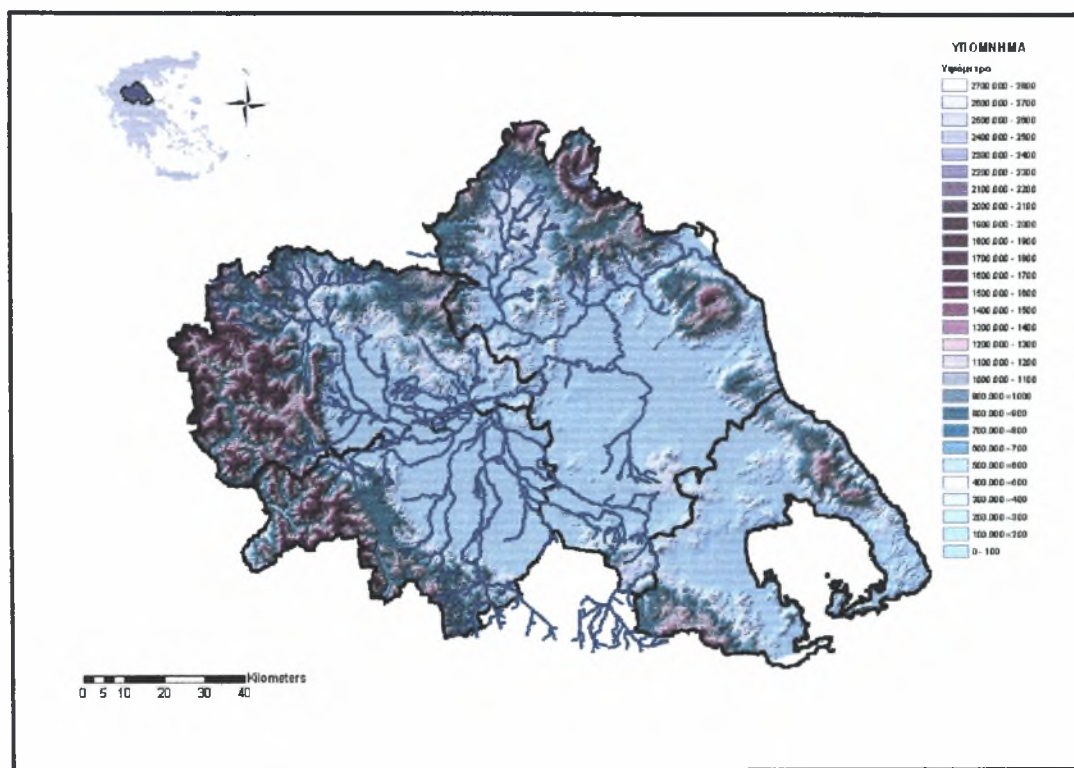
Περιοχή μελέτης της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτελεί το γεωγραφικό δι-
αμέρισμα της Θεσσαλίας. Ανήκει στο κεντρικό τμήμα της χώρας με εξαιρετικά πλού-
σια φυσιογνωμία, διαθέτοντας τόσο πεδινές όσο ορεινές και παραλιακές εκτάσεις. Συ-
νορεύει Βόρεια με τη Δ. Μακεδονία, Δυτικά με την Ήπειρο και Νότια με τη Στερεά
Ελλάδα, ενώ στα Ανατολικά βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος. Χωρίζεται σε τέσσερις
νομούς: **Καρδίτσας** με πρωτεύουσα την Καρδίτσα, **Τρικάλων** με πρωτεύουσα τα Τρί-
καλα, **Λαρίσης** με πρωτεύουσα τη Λάρισα και **Μαγνησίας** με πρωτεύουσα το Βόλο.
(Σχήμα 2.1). Καταλαμβάνει έκταση, περίπου 13.903,37 km².



Σχήμα 2.1 Διοικητική διαίρεση της Θεσσαλίας.

Η περιοχή αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι αποτελεί την μεγαλύ-
τερη πεδινή έκταση της χώρας. Το σύνολο της έκτασής της κατανέμεται ως εξής: πεδι-
νό 5.139,9 km², ημιορεινό 2.395,2 km² και ορεινό 6.535,9 km² Συγκεντρώνει όλα τα
είδη των υδατικών καταναλώσεων, όπως άρδευση, ύδρευση για αστική και βιομηχανι-
κή χρήση. Αποτελεί μια περιοχή όπου το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού ασχολείται
με τον πρωτογενή τομέα, ο οποίος περιορίζεται σχεδόν κατά αποκλειστικότητα από την

αποκλειστικότητα από την γεωργία. Οι κύριες καλλιέργειες είναι το βαμβάκι, σιτάρι, καλαμπόκι, ενώ μηλοειδή, πυρηνόκαρπα, σταφύλια, ελιές και οπωροκηπευτικά καλλιεργούνται σε μικρό ποσοστό του συνόλου της καλλιεργούμενης έκτασης. Ο ποταμός Πηνειός (217 km. μήκος) και οι παραπόταμοι του διασχίζουν όλοι την Θεσσαλία και την λεκάνη απορροής της, της οποίας η έκταση είναι περίπου 10225 km². (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους και υδρογραφικό δίκτυο της Θεσσαλίας.

Το νερό του ποταμού Πηνειού χρησιμοποιείται κυρίως για την άρδευση των καλλιεργειών και για την παραγωγή ενέργειας του υδροηλεκτρικού σταθμού του Σμοκόβου. Η μεγάλες απαιτήσεις των καλλιεργειών, που είναι κατά κύριο λόγο υδρόφιλες, και η συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης του οδήγησε σε υπερεκμετάλλευση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού, με συνέπεια την σαφή μείωση του και την επακόλουθη υπερεκμετάλλευση σε όλο και μεγαλύτερο βαθμό των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων. Η υπερεκμετάλλευση του υπόγειου νερού, ιδιαίτερα κατά την περίοδο άνυδρων ετών, είχε ως αποτέλεσμα την σαφή μείωση του υπόγειου υδατικού αποθέματος. Για τον λόγο αυτό η προκύπτουσες αρδευτικές ανάγκες παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στα τεκταινόμενα της περιοχής τόσο από οικονομικής άποψης όσο και από κοινωνικοπολιτικής. Κατά συνέπεια η μελέτη της χωρικής και χρονικής κατανομής της ξηρασίας

στην μείζονα λεκάνη απορροής της Θεσσαλίας, αποτελεί ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον και κρίσιμο αντικείμενο προκειμένου να εξαχθούν όσο το δυνατόν χρήσιμα και ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την μελλοντική συμπεριφορά του φαινομένου.

2.2. Σταθμοί και δεδομένα.

Στην παρούσα μελέτη από σύνολο 50 βροχομετρικών σταθμών του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας έγινε συλλογή των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης. Τα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης κάθε σταθμού και για χρονική περίοδο τριάντα τριών ετών (Υδρολογική περίοδος: Οκτ. 1960 έως και Σεπ. 1993), αρχειοθετήθηκαν σε ξεχωριστά φύλλα εργασίας (ένα για κάθε σταθμό) του προγράμματος Excel. Η επιλογή των σταθμών στηρίχθηκε στα ακόλουθα κριτήρια.

1. Στην μέγιστη δυνατή χωρική κάλυψη της περιοχής μελέτης.
2. Στην σχετική ομοιομορφία της χωρικής κατανομής των σταθμών.
3. Στην αξιοπιστία των δεδομένων, απορρέουσα από προηγούμενες μελέτες

Οι ονομασίες των σταθμών μαζί με άλλες γενικές πληροφορίες (Υπηρεσία, Νομό Υψόμετρο και Λεκάνη απορροής) δίνονται στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 2.1. Βροχομετρικοί σταθμοί Θεσσαλίας.

	Όνομα σταθμού	Υπηρεσία	Νομός	Υψόμετρο σε μέτρα	Λεκάνη απορροής
1	Αγχιάλος	ΕΜΥ	Μαγνησίας	15	Λαχανόρεμα
2	Αμάραντος	ΥΠΓΕ	Καρδίτσας	800	Πηνεϊός
3	Ανάβρα	ΥΠΔΕ	Καρδίτσας	208	Πηνεϊός
4	Αργιθέα	ΔΕΗ	Καρδίτσας	980	Αχελώος
5	Βαθύλακος	ΔΕΗ	Καρδίτσας	800	Πηνεϊός
6	Βερδικούσια	ΥΠΔΕ	Λάρισας	863	Τιταρήσιος
7	Βόλος	ΕΜΥ	Μαγνησίας	3	Υπολ. Θεσσαλίας
8	Γιαννωτά	ΥΠΓΕ	Λάρισας	578	Τιταρήσιος
9	Δεσκάτη	ΔΕΗ	Γρεβενών	830	Αλιάκμονας
10	Δομοκός	ΕΜΥ	Φθειώτιδας	615	Πηνεϊός
11	Δρακότρυπα	ΔΕΗ	Καρδίτσας	680	Πηνεϊός
12	Ελάτη	ΥΠΔΕ	Τρικάλων	900	Πηνεϊός
13	Ελασσόνα	ΥΠΔΕ	Λάρισας	314	Τιταρήσιος
14	Ζάπειο	ΥΠΔΕ	Λάρισας	170	Πηνεϊός
15	Ιστιαία	ΥΠΔΕ	Εύβοιας	45	Κάλλας (Εύβοιας)

Πίνακας 2.1. Βροχομετρικοί σταθμοί Θεσσαλίας.(συνέχεια)

16	Καλαμπάκα	ΕΜΥ	Τρικάλων	222	Πηνεϊός
17	Καρδίτσα	ΥΠΔΕ	Καρδίτσας	103	Πηνεϊός
18	Καροπλέση	ΔΕΗ	Ευρυτανίας	910	Μέγδοβας
19	Καρπερό	ΔΕΗ	Γρεβενών	510	Αλιάκμονας
20	Κατάφυτο	ΥΠΔΕ	Τρικάλων	980	Αχελώος
21	Κηπουργιό	ΔΕΗ	Γρεβενών	868	Βενέτικος
22	Κονίσκος	ΥΠΓΕ	Τρικάλων	860	Πηνεϊός
23	Κρυόβρυση	ΥΠΓΕ	Λάρισας	1030	Τιταρήσιος
24	Λάρισα	ΕΜΥ	Λάρισας	73	Πηνεϊός
25	Λιβάδι	ΥΠΔΕ	Λάρισας	1183	Τιταρήσιος
26	Λουτροπηγή	ΥΠΔΕ	Καρδίτσας	730	Πηνεϊός
27	Μ. Κερασιά	ΥΠΔΕ	Τρικάλων	500	Πηνεϊός
28	Μακρινίτσα	ΥΠΔΕ	Μαγνησίας	690	Πηνεϊός
29	Μαλακάσιο	ΥΠΔΕ	Τρικάλων	842	Πηνεϊός
30	Μετέωρα	ΥΠΔΕ	Τρικάλων	596	Τρικάλων
31	Μορφοβούνι	ΥΠΓΕ	Καρδίτσας	780	Καρδίτσας
32	Μουζάκι	ΥΠΔΕ	Καρδίτσας	226	Πηνεϊός
33	Μούχα	ΔΕΗ	Καρδίτσας	870	Μέγδοβας
34	Π. Γιαννισού	ΥΠΓΕ	Φθιώτιδας	960	Πηνεϊός
35	Πιτσιωτά	ΔΕΗ	Φθιώτιδας	800	Σπερχειός
36	Πολυδένδρι	ΔΕΗ	Λάρισας	100	Υπολ. Πηνεϊού
37	Πύθιο	ΥΠΓΕ	Λάρισας	750	Τιταρήσιος
38	Πυργετός	ΥΠΔΕ	Λάρισας	31	Πηνεϊός
39	Σκοπιά	ΥΠΓΕ	Λάρισας	450	Ενιπέας
40	Σπηλιά	ΥΠΔΕ	Λάρισας	813	Ξηρόρεμμα
41	Στουρναρέικα	ΔΕΗ.	Τρικάλων	860	Πηνεϊός
42	Σωτήριο	ΥΠΓΕ	Λάρισας	51	Ξηρόρεμμα
43	Ταυρωπός	ΔΕΗ	Καρδίτσας	220	Πηνεϊός
44	Τρίκαλα	ΕΜΥ	Τρικάλων	149	Πηνεϊός
45	Τρίλοφο	ΥΠΔΕ	Φθιώτιδας	580	Σπερχειός
46	Τύρναβος	ΥΠΔΕ	Λάρισας	92	Τιταρήσιος
47	Φαρκαδώνα	ΥΠΔΕ	Τρικάλων	87	Πηνεϊός
48	Φάρσαλα	ΥΠΓΕ	Λάρισας	250	Πηνεϊός
49	Χαλκιάδες	ΥΠΓΕ	Λάρισας	250	Πηνεϊός
50	Χρυσομηλιά	ΥΠΔΕ	Τρικάλων	940	Πηνεϊός

(Βοιβηίς), της οποίας όμως το χαμηλότερο τμήμα προς το Βόλο προβλέπεται να επανέλθει στην φυσική του κατάσταση. Στην Ανατολική Θεσσαλία εντάσσονται και οι ορεινές, αλλά με αξιόλογη έκταση, καλλιεργούμενες εκτάσεις της Ελασσόνας και του Δαμασιού. Στην περιοχή αυτή διέρχεται ο Τιταρήσιος, ο οποίος διαθέτει αρκετή παροχή που όμως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες μπορεί να περιοριστεί εξαιρετικά έως και να μηδενισθεί. Εκτός αυτού, μεγάλο μέρος των υδάτων του Τιταρήσιου τροφοδοτούν τον υπόγειο υδροφόρα. Στις υπόλοιπες περιοχές της Ανατολικής Θεσσαλίας έως και το δυτικό όριο των Χαλκοδονίων ορέων, δεν παρατηρούνται επιφανειακά νερά ενώ επίσης έντονη η πτώση του δυναμικού του υπογείου υδροφόρα. Όλες σχεδόν οι καλλιεργούμενες εκτάσεις αρδεύονται από γεωτρήσεις, στην πλειοψηφία τους ιδιωτικές. Οι μόνες εκτάσεις που αρδεύονται από επιφανειακά νερά βρίσκονται στην περιφέρεια της πεδιάδας κοντά στις ορεινές εκτάσεις και δεν απέχουν παρά μερικές εκατοντάδες μέτρα από την κοίτη του πλησιέστερου ποταμού. Ακόμα, απολήψεις πραγματοποιούνται στις περιοχές απ' όπου περνάει ο ποταμός Πηνειός, οι οποίες διαθέτουν οργανωμένα δίκτυα από τους ΤΟΕΒ της περιοχής. Στην Ανατολική Θεσσαλία, εκτός του Τιταρήσιου και του Πηνειού, δεν υπάρχουν άλλοι ιδιαίτερα αξιόλογοι ποταμοί. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι η Ανατολική Θεσσαλία έχει το μεγαλύτερο αστικό κέντρο του γεωγραφικού διαμερίσματος, τη Λάρισα καθώς και πολλούς άλλους αξιόλογους οικισμούς.

β) Δυτικό Τμήμα.

Το δυτικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας ορίζεται γεωγραφικά ως εξής: ανατολικά από τα Χαλκοδόνια όρη, βορειοανατολικά από το Ζάρκο, βόρεια από τα Χάσια και τα Αντιχάσια όρη, δυτικά από το Κερκέτιον όρος (Κόζιακας) και νότια από το Ναθράκιο, τους πρόποδες του όρους Τυμφρηστός και την αποξηρανήσα λίμνη Ξυνιά. Η δυτική Θεσσαλία διαθέτει αρκετούς παραποτάμους του Πηνειού οι οποίοι ακόμα και τους καλοκαιρινούς μήνες διαθέτουν έστω και μικρές ποσότητες ύδατος. Στην δυτική Θεσσαλία, νοτιοδυτικά της Καρδίτσας υπάρχει εν λειτουργία ταμιευτήρας, το φράγμα Ταυρωπού, το οποίο μάλιστα υδρολογικά ανήκει στη λεκάνη απορροής του Αχελώου. Η δυτική Θεσσαλία έχει δύο μεγάλα αστικά κέντρα (Τρίκαλα, Καρδίτσα), μερικά μικρότερα αλλά αξιόλογα όπως η Καλαμπάκα, οι Σοφάδες, τα Φάρσαλα και ο Παλαμάς καθώς και πλήθος άλλων μικρών χωριών. Εκτός των δύο μεγάλων πόλεων, ο υπόλοιπος πληθυσμός ασχολείται με έμμεσα ή άμεσα με την γεωργία. Όλες σχεδόν οι εκτάσεις αρδεύονται, ενώ κατά τόπους παρατηρούνται οργανωμένα δίκτυα άρδευσης. Προς τα βόρεια, οι καλλιέργειες σταματάνε στο όριο της πεδιάδας με τους πρόποδες των βουνών. Αντιθέτως, στα νότια παρατηρούνται καλλιέργειες ακόμα και στους πρόποδες

των βουνών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι στην κεντρική - ανατολική πλευρά της δυτικής πεδιάδας (από Φυλλήιο μέχρι Χαλκοδόνιο), οι καλλιέργειες φθάνουν σε μεγάλο σχετικά υψόμετρο, έως και 500 μέτρα, λόγω των εξαιρετικά ομαλών κλίσεων των βουνών. Οι κυριότεροι ποταμοί που διατρέχουν την δυτική πλευρά είναι οι εξής: Ενιπέας, Φαρσαλίτης, Σοφαδίτικος, Καλέτζης, Πλιούρης, Πάμισος, Ληθαίος και Ντολερίτης. Επίσης, στις πηγές του Σοφαδίτικου υπάρχει το φράγμα, του Σμοκόβου, το οποίο πρόσφατα άρχισε την λειτουργία του.

2.4. Μετεωρολογικά – Κλιματολογικά στοιχεία.

Τα μετεωρολογικά στοιχεία που προσδιορίζουν το κλίμα ενός τόπου είναι η ποσότητα και η κατανομή των βροχοπτώσεων, η διακύμανση της θερμοκρασίας, η ηλιοφάνεια, η υγρασία, η εξάτμιση καθώς και οι άνεμοι.

Κλίμα. Το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας διαιρείται, με βάση τον τύπο κλίματος σε τρεις περιοχές (ΥΒΕΤ, 1996):

- ✓ Την ανατολική παράκτια και ορεινή, με μεσογειακό κλίμα.
- ✓ Την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα
- ✓ Την δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα.

Σε γενικές γραμμές το κλίμα στην πεδιάδα της Θεσσαλίας χαρακτηρίζεται ως εύκρατο με ηπειρωτικές περιόδους και διαφορετικές θερμομετρικές διακυμάνσεις ως προς το εύρος κατά την διάρκεια του έτους. Παρατηρείται ξηρό και θερμό καλοκαίρι και ήπιος και βροχερός χειμώνας. Τον Οκτώβριο ξεκινούν συνθήκες ύφεσης οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένη υγρασία, βροχόπτωση και παρουσία ομίχλης και διαρκούν μέχρι τον Απρίλιο. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρείται απουσία βαροβαθμίδας η οποία έχει ως συνέπεια την εμφάνιση επιπλέον ξηρασίας λόγω της ομοιόμορφης κατανομής της πίεσης η οποία ευθύνεται για τις αυξημένες θερμοκρασίες που απαντώνται στην περιοχή κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

Θερμοκρασία. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16°C ως 17°C. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος ξεπερνά τους 22°C. Οι πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και οι πιο ψυχροί ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος. Οι παγετοί είναι συχνοί και εμφανίζονται κατά την περίοδο Νοεμβρίου - Απριλίου. Οι ημέρες παγετού κυμαίνονται από 35,5 στη Λάρισα και 33,8 στα Τρίκαλα σε μέση ετήσια βάση.

Βροχοπτώσεις. Η βροχή αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες μετεωρολογικές παραμέτρους. Η μελέτη της παρουσιάζει όχι μόνο θεωρητικό αλλά και πρακτικό ενδιαφέρον και αυτό που ενδιαφέρει περισσότερο είναι η ποσότητα νερού που πέφτει σε μια επιφάνεια. Σε κάθε περιοχή οι μηνιαίες βροχοπτώσεις παρουσιάζουν την ιδιότητα να μεταβάλλονται σταθερά προς ορισμένες κατευθύνσεις. Αυτό οφείλεται σε διάφορους μετεωρολογικούς παράγοντες όπως: απόσταση από την θάλασσα, επικράτηση ανέμων, κίνηση των υφέσεων και είναι ιδιαίτερα έντονο κατά τους υγρούς μήνες, όταν το ύψος των βροχοπτώσεων είναι μεγάλο. Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο διαμερίσμα είναι σχετικά μεγάλο στα δυτικά, στη συνέχεια μειώνεται στο πεδινό τμήμα και αυξάνεται πάλι στο ορεινό ανατολικό τμήμα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση σε ολόκληρη την περιοχή της Θεσσαλίας είναι περίπου 700mm και κατανέμεται ανομοιόμορφα τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Η μέση ετήσια βροχόπτωση ποικίλει από περίπου 400 mm στο κεντρικό τμήμα, έως και περισσότερο από 1850 mm στις δυτικές ορεινές περιοχές. Ενδεικτικές τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης είναι 468 mm στο σταθμό Λάρισας, 550 mm στο σταθμό Τυρνάβου και 1142 mm στον πιο ορεινό σταθμό του Μουζακίου. Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο ως τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.

Χιονοπτώσεις. Οι ορεινές περιοχές δέχονται σημαντικές ποσότητες χιονιού κατά την διάρκεια του χειμώνα οι οποίες και αποτελούν σημαντικά υδατικά αποθέματα. Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένες, ιδιαίτερα στα ορεινά του διαμερίσματος και γίνονται πιο έντονες από τα νότια προς τα βόρεια και από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι περισσότερες χιονοπτώσεις παρατηρούνται κατά τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Στα δυτικά και ορεινά τμήματα του διαμερίσματος αρχίζουν τον Σεπτέμβριο και φτάνουν μέχρι και τις αρχές Ιουλίου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών χιονιού στη Λάρισα είναι 4,0 και στα Τρίκαλα 6,2.

Οι χαλαζοπτώσεις είναι επίσης συχνές, κυρίως κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο στα βόρεια του διαμερίσματος και κατά τους μήνες Φεβρουάριο ως Απρίλιο στο νοτιοανατολικό τμήμα.

Νέφωση – Ηλιοφάνεια. Η νέφωση είναι το ποσοστό της έκτασης του ουρανού που καλύπτεται με νέφη, παρουσιάζει τόσο ημερήσια όσο και ετήσια πορεία. Η ημερήσια πορεία είναι πολύπλοκη διαφέρει από τόπο σε τόπο και βρίσκεται σε στενή σχέση με την ηλιοφάνεια. Η μέση ετήσια νέφωση κυμαίνεται από 4 ως 5 βαθμίδες, με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται στα δυτικά και τις χαμηλότερες στα ανατολικά.

Υγρασία Η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται από 67% μέχρι 72% και παρουσιάζει μεταβολές τόσο στη διάρκεια του 24ώρου όσο και του έτους.

Ξηρές περιόδους. Στο νότιο τμήμα του διαμερίσματος εμφανίζεται ξηρή περίοδος 4 ως και 5 μηνών στα ανατολικά, η οποία όμως μειώνεται βαθμιαία σε 2 ως 4 μήνες στα κεντρικά - δυτικά πεδινά και 1 ως 2 μήνες στα δυτικά ορεινά.

Άνεμοι Η κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε συνδυασμό με το ανάγλυφο και με την κατανομή ξηράς - θάλασσας, αποτελούν βασικό αίτιο της δημιουργίας των ανέμων. Οι άνεμοι μπορεί να οφείλονται σε γενικότερα αίτια κατανομής της πίεσης στο βόρειο ημισφαίριο ή συνδέονται συχνά με <<τύπους καιρού>> του Ελληνικού χώρου. Η συχνότητα της διεύθυνσης των ανέμων σύμφωνα με σταθμούς παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή στη βόρεια συνιστώσα και ακολουθεί η νότια.. Η συχνότητα εμφάνισης των ανέμων εξαρτάται τόσο από την εποχή όσο και τον μήνα ώστε οι άνεμοι να διακρίνονται σε ανατολικούς οι οποίοι επικρατούν την περίοδο άνοιξης – καλοκαιριού, ανατολικοί – βορειοανατολικοί κατά την διάρκεια του φθινοπώρου και τέλος βορειοανατολικοί οι οποίοι πνέουν κατά την διάρκεια του χειμώνα. Ετησίως η συχνότητα των ανέμων χαρακτηρίζεται έντονη κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριος) και ελαχιστοποιείται μέσα καλοκαιριού (Ιούλιος). Οι ταχύτητες των παραπάνω ανέμων είναι της τάξης των 1-3 Bf με μέγιστη ταχύτητα τα 8 Bf. Η επικρατούσα φορά των ανέμων στο διαμέρισμα ποικίλει, με ανατολικούς στη Λάρισα και δυτικούς στα Τρίκαλα.

2.5. Αναπτυξιακή πορεία.

Το Γεωγραφικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, υπάρχει η μεγαλύτερη πεδινή έκταση της χώρας, που όμως παρουσιάζει ανεπάρκεια στους υδατικούς της πόρους. Σε αυτό βρίσκεται το ιστορικό βιομηχανικό κέντρο του Βόλου, με ειδίκευση στη μεταλλουργική βιομηχανία και η βιομηχανική περιοχή Βόλου, από τις μεγαλύτερες και παλαιότερες στη χώρα. Οι περιοχές αυτές αποτελούν ένα σημαντικό αστικό δίπολο που προσφέρει ανωτέρου βαθμού υπηρεσίες και διεθνούς επιπέδου τεχνική υποδομή (οδικός και σιδηροδρομικός άξονας, λιμάνι). Εκτός των παραπάνω, η περιοχή διαθέτει σημαντικά ιστορικά μνημεία όλων των εποχών, σημαντικά τοπία και αξιόλογες ακτές.

Από πλευράς ρύπανσης και αλλοιώσεων των στοιχείων της φυσικής και πολιτιστικής κληρονομιάς, το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η ρύπανση του Πηνειού και του Παγασητικού Κόλπου, ενώ αισθητικά οι οικολογικές αλλοιώσεις στα τουριστικώς ανε-

πτυγμένα σημεία της περιοχής δεν καταστεί ακόμη κρίσιμες. Κρίσιμο ήταν πάντα και γίνεται όλο και πιο επιτακτικό το πρόβλημα έλλειψης νερού στο υδατικό διαμέρισμα.

Πέρα από τα δύο μεγάλα αστικά κέντρα της Λάρισας και του Βόλου, που αποτελούν μία σημαντική αγορά 300.000 κατοίκων σημαντικής εισοδηματικής στάθμης, η Θεσσαλία διαθέτει και μικρότερα δυναμικά αστικά Κέντρα όπως τα Τρίκαλα, η Καρδίτσα, ο Τίρναβος καθώς και 32 ημιαστικά, άμεσα συνδεδεμένα με τις εξελίξεις στον αγροτικό χώρο.

Η κατανομή της απασχόλησης και του ΑΕΠ στον πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή τομέα είναι 32.4%, 7.6%, 50.0% και 33.5%, 26.1%, 40.3% αντίστοιχα.

Λόγω της κεντρικής του θέσης, το διαμέρισμα συνδέεται άμεσα εκτός από την κεντρική και τη δυτική Μακεδονία και με την Ήπειρο και μέσω αυτών με τις όμορες Βαλκανικές χώρες. . Οι συνδέσεις αυτές με την συνεχή βελτίωση στην υποδομή των μεταφορών, θα αυξήσουν την αναπτυξιακή εικόνα του διαμερίσματος.

Το συσσωρευμένο δυναμικό στο διαμέρισμα και οι σημαντικές δυνατότητες για παραπέρα αξιοποίηση και εκσυγχρονισμό, συγκεντρώνουν σχετικά υψηλό ποσοστό επενδύσεων παγίων κεφαλαίων, δημοσίων αλλά και ιδιωτικών, παρά το γεγονός ότι η Θεσσαλία δεν βρίσκεται στη ζώνη των ισχυρών αναπτυξιακών κινήτρων.

Η Θεσσαλία, παρά τις σημαντικές δυνατότητές της, δεν έχει αναπτυχθεί στο επιθυμητό και εφικτό επίπεδο μέσα στον ελληνικό χώρο και μεταξύ των ευρωπαϊκών περιφερειών. Το κατά κεφαλήν ΑΕΠ είναι χαμηλότερο από το μέσο της χώρας και οπωσδήποτε από τα χαμηλότερα της ευρωπαϊκής ένωσης ενώ συν τοις άλλοις οι δείκτες ευημερίας δεν είναι πολύ υψηλοί. Ο τουρισμός, με εξαίρεση την περιοχή του Πηλίου, δεν είναι ανεπτυγμένος και η γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή δεν έχουν πλήρως προσαρμοστεί στις σύγχρονες δυνατότητες. Η σχετικά περιορισμένη διάθεση των κατοίκων για ανάληψη δυναμικών πρωτοβουλιών προς την κατεύθυνση της προώθησης αλλαγών και η μονίμως δευτερεύουσα θέση ή θέση δορυφόρου σε σχέση με την πρωτεύουσα προς το νότο και τη Θεσσαλονίκη προς βορρά ίσως, εξηγούν την υστέρηση αυτή.

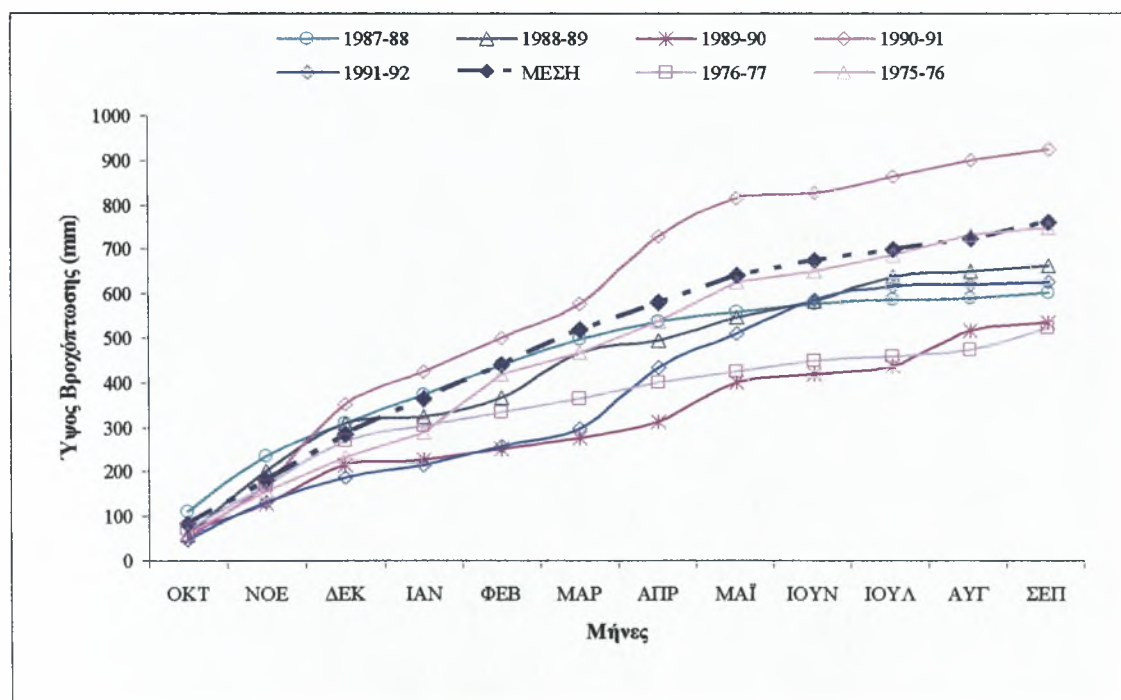
Οι προοπτικές είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη του πρωτογενούς τομέα, αλλά και των λοιπών τομέων, λόγω της ύπαρξης πόρων και της προβλεπόμενης αντιμετώπισης σχετικών αναγκών (νερό, βελτίωση προσπελασιμότητας ακτών και ορεινών περιοχών), του ικανοποιητικής στάθμης διαθέσιμου, ανθρώπινου δυναμικού, καθώς και των αστικών εξυπηρετήσεων. Η ύπαρξη πανεπιστημίου και ερευνητικής - τεχνολογικής υποδομής, θα συντελέσει στην παραπάνω ευνοϊκά διαμορφούμενη προοπτική.

Οι άξονες ανάπτυξης για την περιοχή είναι η προώθηση της εντατικής, αρδευόμενης γεωργίας (στροφή προς την καλλιέργεια προϊόντων για την οποία προβλέπεται αυξημένη ζήτηση, αξιοποίηση των προϊόντων με την επιτόπου μεταποίηση και εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων έρευνας αγοράς) και του τουρισμού. Στρατηγικοί στόχοι είναι η βελτίωση του οδικού δικτύου, η προστασία του περιβάλλοντος και η βελτίωση του ανθρώπινου δυναμικού (ΥΒΕΤ,1996).

2.6. Περίοδοι ξηρασίας.

Η περιοχή της Θεσσαλίας αντιμετωπίζει αρκετές, έντονες και επίμονες περιόδους ξηρασίας τόσο στα μέσα της δεκαετίας του '70 όσο και κύρια στα τέλη της δεκαετίας του '80 και στις αρχές αυτής του '90.

Η ανάλυση της μέσης αθροιστικής βροχόπτωσης των περιόδων αυτών δείχνει σημαντική απόκλιση προς τα κάτω από τον μέσο όρο. Ειδικά τα έτη 1989-90 και 1976-77 φαίνονται να είναι τα ξηρότερα των περιόδων αυτών (Σχήμα 2.4). Η παρατεταμένη και επίμονη ξηρασία είχε δραματικές επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους – επιφανειακούς και υπόγειους - της περιοχής αλλά και στην αγροτική παραγωγή και κατ' επέκταση στην οικονομία της περιοχής, η οποία στηρίζεται κυρίως στο αγροτικό εισόδημα.



Σχήμα 2.4. Μηνιαίες αθροιστικές τιμές βροχόπτωσης, συγκεκριμένων περιόδων ξηρασίας και σύγκριση αυτών με την μέση βροχόπτωση της μελετούμενης χρονικής περιόδου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΘΕΣΣΑΛΙΑ.

3.1. Υδατικοί Πόροι.

Οι υδατικοί πόροι του Υδατικού Διαμερίσματος της Θεσσαλίας αποτελούνται από επιφανειακά καθώς και από υπόγεια νερά. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν έργα ταμίευσης (με εξαίρεση τον Πλαστήρα το φράγμα Σμοκόβου και τον υποκατασκευή ταμιευτήρα της Κάρλας), το επιφανειακό δυναμικό αναφέρεται στην παροχή των υδατορευμάτων, η οποία παρουσιάζει έντονη χωρική και χρονική διακύμανση. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι τα επιφανειακά νερά οριοθετούνται από το ποτάμιο υδροσύστημα και τις αντίστοιχες υδρολογικές λεκάνες, ενώ τα υπόγεια από τα αντίστοιχα υδρογεωλογικά όρια, τα οποία όμως δεν ταυτίζονται με αυτά των επιφανειακών.

3.1.1. Επιφανειακοί Υδατικοί Πόροι.

Τα επιφανειακά νερά, απαντώνται σε δύο μορφές: η μία είναι τα ποτάμια ύδατα δηλαδή του Πηνειού και των κυρίων παραποτάμων του και η δεύτερη των φραγμάτων Πλαστήρα και Σμοκόβου, ωφέλιμης χωρητικότητας 300 hm^3 και 130 hm^3 , αντίστοιχα. Το τελευταίο διάστημα μικρές λιμνοδεξαμενές κατασκευάζονται σε διάφορα σημεία, σε κοντινή κυρίως απόσταση από τον ποταμό Πηνειό, προκειμένου να καλύψουν πρόσκαιρες ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό και να συμβάλουν στο περιορισμό των απωλειών του στις την θάλασσα.

Η κύρια υδρολογική λεκάνη στις περιοχές είναι αυτή του Πηνειού, με έκταση 9500 km^2 . Οι κυριότεροι παραπόταμοι του Πηνειού είναι μέσου υδατικού δυναμικού, με παροχές εξαιρετικά μειωμένες κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Στις το νότο, παρατηρούνται αρκετοί παραπόταμοι με κυριότερους στις Ενιπέα, Φαρσαλιώτη, Σοφαδίτικο και Καλέντζη. Οι ποταμοί αυτοί, συμβάλλουν στον Πηνειό κοντά στην περιοχή του χωριού Κεραμίδι και αποτελούν πολύ σημαντικό κλάδο του Πηνειού. Οι πηγές των ποταμών αυτών βρίσκονται στις νότιες ορεινές περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει φράγμα υπό λειτουργία. Πρόσφατα εισήλθε σε λειτουργία το φράγμα του Σμοκόβου στις πηγές του Σοφαδίτικου. Το φράγμα Ταυρωπού, είναι το μοναδικό εν λειτουργία φράγμα στις περιοχές, αλλά η λεκάνη απορροής του υπάγεται στο υδατικό σύστημα του Αχελώου, παρ' ότι τα διοικητικά όρια του νομού Καρδίτσας το εμπεριέχουν. Κατά συνέπεια, τα εκτρεπόμενα νερά της λίμνης αυτής μπορούν να θεωρηθούν ως πρόσθετη ποσότητα. Εκτός αυτού, στη νότια περιοχή, υπάρχει η αποξηρα-

θείσα λίμνη Ξυνιάδα, η οποία μέσω του ποταμού Κουμαρόρρεμα στραγγίζει τα ύδατά της στον Σοφαδίτικο. Ακόμα, έχει προταθεί η κατασκευή φράγματος στη θέση Παλαιοδερλί του Ενιπέα.

Δυτικά, οι κυριότεροι ποταμοί είναι ο Πάμισος, ο Παλιούρης και ο Ληθαίος, οι οποίοι συμβάλλουν σε διάφορα σημεία με τον Πηνειό. Οι ταμιευτήρες που έχουν προταθεί για την περιοχή βρίσκονται στις θέσεις Πύλη του Πορταϊκού, Μουζάκι του Παμίσου, Κρύα Βρύση του Πηνειού (βορειοδυτικά) και Θεόπετρα του Ληθαίου.

Στην βόρεια και κεντρική περιοχή υπάρχει ο ποταμός Νεοχωρίτης, στον οποίο στις έχει προταθεί η κατασκευή φράγματος.

Στην Ανατολική περιοχή, στις βορρά, αναπτύσσεται ο Τιταρήσιος που συμβάλει με τον Πηνειό στην περιοχή Ροδιά. Ο Τιταρήσιος αποτελεί έναν πολύ σημαντικό υδατικό πόρο για την περιοχή και μάλιστα έχουν προταθεί δύο ταμιευτήρες κοντά στις πηγές του ποταμού, στις θέσεις Καλούδα και Παλαιομονάστηρο.

3.1.2. Υπόγειοι Υδατικοί Πόροι.

Στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας αναπτύσσονται σημαντικοί προσχωματικοί υδροφορείς, αλλά και μεγάλες καρστικές υδρογεωλογικές ενότητες. Όσον αφορά στην πρώτη κατηγορία υδροφορέων, η πεδιάδα της Θεσσαλίας διαχωρίζεται σε δύο κύριες υδρογεωλογικές λεκάνες, της δυτικής και ανατολικής Θεσσαλίας. Οι δύο λεκάνες διαχωρίζονται με λοφώδη περιοχή νεογενών αποθέσεων (Ταουσάνη), που θεωρείται ξεχωριστή υδρογεωλογική ενότητα.

Από τις υδρογεωλογικές ενότητες της Θεσσαλίας, οι ποσότητες που μπορούν να αντληθούν έχουν υπολογιστεί σε 450 εκατομμύρια κυβικά ετησίως. Από αυτά, τα 390 εκατομμύρια κυβικά θεωρούνται ότι ανήκουν στο πρακτικά εκμεταλλεύσιμο υπόγειο δυναμικό. Η μείωση αυτή οφείλεται στον συνυπολογισμό και άλλων παραγόντων όπως συνεκτίμηση του κόστους άντλησης, προστασίας υπογείων υδροφορέων από υπαλμύρυνση, προστασία περιοχών προοριζομένων για υδρεύσεις και αντικατάσταση υπογείων υδάτων από επιφανειακά (Μαρίνος et al., 1995).

3.1.3. Ποιοτικά Χαρακτηριστικά Επιφανειακών και Υπόγειων Υδάτων.

Σε ότι αφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών νερών της Θεσσαλίας, δεδομένα υπάρχουν μόνο για την περίοδο 1989 - 92 για τον Πηνειό (θέση υδατόπυργου Λάρισας) και τη λίμνη Πλαστήρα.

Τα νερά του ποταμού Πηνειού είναι γενικώς κατάλληλα για τις χρήσεις για τις οποίες λαμβάνονται. Ωστόσο, κατά τις θερινές περιόδους του 1990, παρατηρήθηκαν

τιμές νιτρικού αζώτου πάνω από τα επιτρεπόμενα για πόσιμο νερό όρια. Αυτό οφείλεται από την απορροή από τις εκτεταμένες καλλιεργούμενες εκτάσεις της λεκάνης του ποταμού.

Τόσο ο Πηνειός όσο και οι παραπόταμοί του αποτελούν τον αποδέκτη των αστικών λυμάτων αξιόλογων οικιστικών περιοχών. Παρά το γεγονός αυτό, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη ρύπανση από λύματα (αμμωνιακό άζωτο, κολοβακτηρίδια) είναι ικανοποιητικά. Αυτό, κατά πάσα πιθανότητα, οφείλεται στην επιτυχημένη λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων των κυριότερων αστικών κέντρων της περιοχής (Λάρισα, Τρίκαλα, Καρδίτσα).

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των νερών της λίμνης Πλαστήρα είναι πολύ ικανοποιητικά ως προς τις συγκεντρώσεις αζώτου. Εμφανίζονται σχετικά αυξημένες συγκεντρώσεις φωσφόρου, βάσει των οποίων η λίμνη κατατάσσεται στην κατηγορία των μέσο - ευτροφικών λιμνών.

Όσον αφορά στην ποιότητα των υπόγειων νερών, από στοιχεία του ΙΓΜΕ συνάγεται ότι η ολική σκληρότητα και τα ολικά διαλυτά στερεά στη δυτική Θεσσαλία κυμαίνονται μεταξύ 50-450 ppm (ως CaCO₃) και 150-500 ppm αντίστοιχα. Οι συγκεντρώσεις χλωριόντων και θεικών δεν ξεπερνούν τα 55 και 15 ppm αντίστοιχα.

Έχουν γίνει μετρήσεις ποιότητας σε 19 θέσεις για μικρή χρονική περίοδο (6-12/9/1993) και αναλύσεις NO₃, NO₂ και NH₄. Οι θέσεις δειγματοληψίας καλύπτουν υδροφορείς που αναπτύσσονται σε προσχώσεις, καθώς σε αυτούς συγκεντρώνεται τα μεγαλύτερο ποσοστό των γεωργικών και κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων, όπως επίσης οι περισσότερες βιομηχανικές μονάδες. Όλα τα σημεία ελέγχου βρίσκονται σε περιοχές όπου υφίσταται έντονη γεωργική δραστηριότητα. Από τα 19 σημεία ελέγχου, τα 7 εμφάνιζαν ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων, που είναι ανώτερες από τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για ύδρευση. Αυξημένες συγκεντρώσεις NO₃, παρουσιάστηκαν σε μία μόνο θέση, ενώ στις υπόλοιπες θέσεις δειγματοληψίας μετρήθηκαν υψηλές τιμές NO₂, ή και αμμωνίας, γεγονός που αποτελεί ένδειξη αρχικού σταδίου ρύπανσης. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις που παρατηρήθηκαν σε δύο θέσεις (περιοχή Μεγάλων Καλυβιών Τρικάλων και Δένδρων στη λεκάνη Τιταρήσιου) αποδίδονται κυρίως στις εντατικές καλλιέργειες και στα επιβαρημένα από κτηνοτροφικά και βιομηχανικά απόβλητα επιφανειακά νερά.

Στις περιοχές Ματαράγκας και Αχίλλειου παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση αμμωνίας, που αποδίδεται στην παρουσία πλήθους κτηνοτροφικών μονάδων. Στην περιοχή Πετροπόρου μετρήθηκε ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση νιτρικών (5,52

ppm), που αποδίδεται στην παρουσία του σκουπιδότοπου των Τρικάλων. Στην πεδινή περιοχή Πλατύκαμπου Λαρίσης διαπιστώθηκε αυξημένη συγκέντρωση νιτρικών και αμμωνίας, γεγονός που αποδίδεται σε κτηνοτροφικές μονάδες και στην παρουσία της ΒΙΠΕ Λαρίσης. Το μόνο σημείο που παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωση νιτρικών είναι στο Αργυροπούλειο Λαρίσης, όπου υπάρχουν εντατικές καλλιέργειες καπνού, αμπελιών και καρπουζιών, αλλά και κτηνοτροφικές μονάδες. Οι συγκεντρώσεις στα υπόλοιπα σημεία είναι χαμηλές.

Οι μικρές συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων που παρατηρούνται, παρά την παρουσία εντατικών καλλιεργειών και πλήθους σημειακών ρυπαντών, αποδίδονται στους μεγάλης δυναμικότητας υδροφορείς. Στην προστασία των υπόγειων υδάτων συντελεί επίσης η παρουσία αργιλικών πετρωμάτων στις προσχώσεις, που απορροφούν τμήμα του ρυπαντικού φορτίου (ΥΒΕΤ, 1996).

3.2. Υδατικές Ανάγκες.

Στο Γεωγραφικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας οι κυριότερες υδατικές ανάγκες αναφέρονται στη γεωργία, η οποία συμμετέχει στην κατανάλωση σε ποσοστό 96%, την κτηνοτροφία και την ύδρευση. Σε ετήσια βάση οι υδατικές ανάγκες της Θεσσαλίας εκτιμώνται σε 1836 hm³, ποσότητα που αναλύεται σε 1600 hm³ για άρδευση, 136 hm³ για ύδρευση και 100 hm³ για περιβαλλοντική διατήρηση (ΕΥΔΕ Αχελώου και EN-VECO, 1995).

3.2.1. Γεωργία

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ (1995), η συνολική αρδευόμενη έκταση εκτιμάται σε 2.360.917 στρέμματα ενώ για το έτος 1991 σε 1.935.291 στρέμματα. Εκτός αυτών των εκτιμήσεων το ΥΠΕΧΩΔΕ και το ΥΠΓΕ έχουν δώσει 1.640.275 και 1.894.000 στρέμματα αντίστοιχα. Οι αρδευτικές ανάγκες έχουν υπολογιστεί σε 1.463,2 hm³ κατ' έτος με βάση το σύνολο των δυνάμενων να αρδευτούν εκτάσεων (ΥΒΕΤ, 1996).

3.2.2. Κτηνοτροφία

Η κτηνοτροφία αποτελεί τον μικρότερο καταναλωτή νερών, αλλά σημαντικά μεγαλύτερο από άλλες μικρότερες χρήσεις και με συγκρίσιμο μέγεθος ως προς τις απαιτήσεις της ύδρευσης. Οι υδατικές απαιτήσεις της κτηνοτροφίας ακολουθούν την ίδια ετήσια κατανομή με αυτή της ύδρευσης.

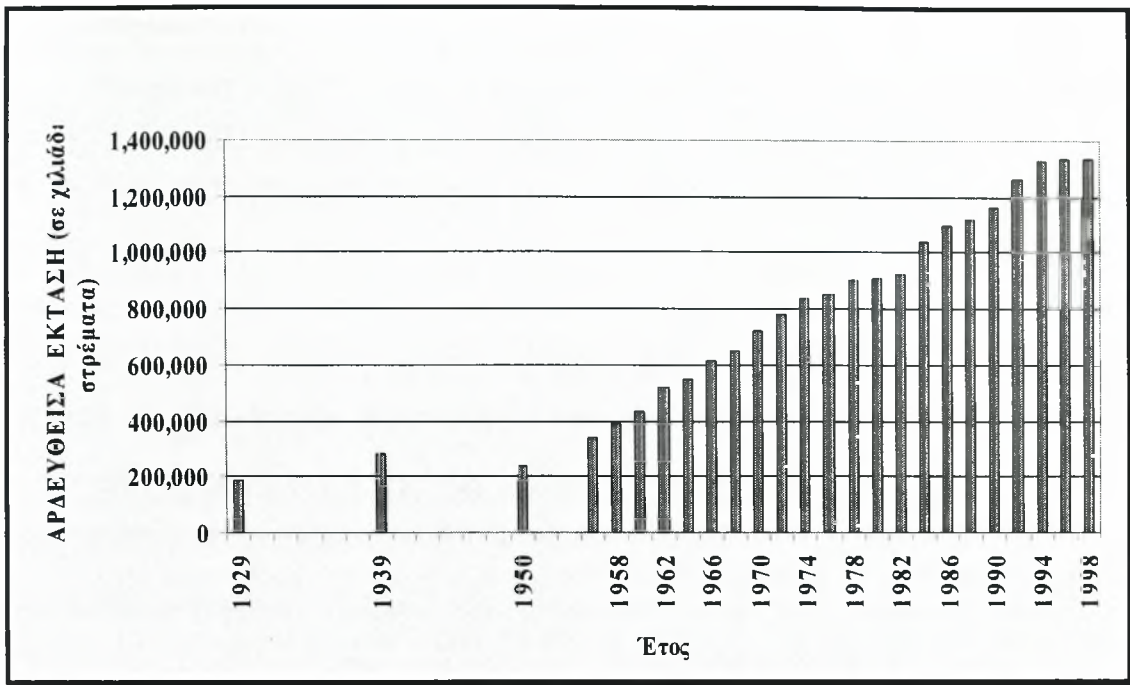
3.2.3. Ύδρευση.

Η εκτίμηση της ετήσιας ποσότητας νερού για υδρευτικές ανάγκες γίνεται με βάση στοιχεία της ΕΣΥΕ (1994) για το μόνιμο πληθυσμό των νομών του υδατικού διαμερίσματος και τις αντίστοιχες διανυκτερεύσεις τουριστών (3.250.000 κατά την εκτίμηση του ΚΕΠΕ). Υπολογίστηκε σε 53,7 hm³ ανά έτος για όλο το Γεωγραφικό Διαμέρισμα.

3.3. Συνοπτική Αναφορά των Προβλημάτων.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η κάλυψη της αρδευτικής ζήτησης κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο, κατά τους οποίους οι ανάγκες των καλλιεργειών είναι υψηλές και οι διατιθέμενες ποσότητες μειωμένες.

Η Θεσσαλία έχει βιώσει τα τελευταία χρόνια, δριμεία, ακραία και παρατεταμένης διάρκειας φαινόμενα ανομβρίας, ιδιαίτερα από τα μέσα έως τα τέλη της δεκαετίας του 1970 και την περίοδο των ετών 1986 έως και 1992. Η μείωση των βροχοπτώσεων τα έτη 1980-1990 της τάξης του 30 % σε σχέση με την περίοδο 1958-1973 ενώ κατά τη περίοδο 1989-1990 ήταν της τάξης του 50 %. Τα έντονα φαινόμενα ξηρασίας συνέβαλαν στην μείωση των αρδευόμενων καλλιεργούμενων εκτάσεων, με άμεσο επακόλουθο την μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών και την εξάντληση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτινων αποθεμάτων. Για παράδειγμα, κατά την διάρκεια του υδρολογικού έτους 1989-1990, η παροχή νερού για άρδευση από τη λίμνη Πλαστήρα, ελαττώθηκε κατά 70% και η αρδευόμενη με επιφανειακό νερό περιοχή μειώθηκε κατά 90%. Επίσης η διάνοιξη γεωτρήσεων στο καρστικό σύστημα καθώς και η ανεξέλεγκτη λήψη ύδατος κατά τους καλοκαιρινούς μήνες κυρίως από ιδιωτικά αντλητικά συγκροτήματα τα οποία εκτείνονται σε μεγάλο μήκος, επηρέασε αρνητικά τα υδάτινα αποθέματα του συστήματος. Ακόμα, οι απαιτούμενες ποσότητες για άρδευση στον ελλαδικό χώρο έχει αυξηθεί σημαντικά σε σχέση με παλαιότερες δεκαετίες (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1. Εξέλιξη αρδευόμενης έκτασης στον ελλαδικό χώρο για την χρονική περίοδο 1929- 1998.

Οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες και λόγω της μεταστροφής προς τις πιο προσοδοφόρες αλλά και εξαιρετικά απαιτητικές σε νερό καλλιέργειες (π.χ. βαμβάκι).

3.3.1. Επιφανειακά Νερά.

Κατά τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο, οι παροχές των ποταμών μειώνονται δραματικά σε σχέση με τις χειμερινούς μήνες. Μεγάλες ποσότητες ύδατος έχουν κατεισδύσει στον υπόγειο υδροφορέα ενώ, το μεγαλύτερο μέρος έχει καταλήξει στη θάλασσα στις εκβολές του Πηνειού. Τα λιγοστά εναπομείναντα νερά των παραποτάμων του Πηνειού αλλά και των αρδευτικών δικτύων, περιορίζονται από μικρά προσωρινά φράγματα στις κοίτες, που έχουν ως στόχο τη συγκέντρωση των υδάτων για την άρδευση των καλλιεργειών. Αυτό δηλώνει και το μεγαλύτερο πρόβλημα της περιοχής. Ενώ υπάρχουν αξιόλογες ποσότητες υδάτων κατά τους χειμερινούς μήνες, μένουν ανεκμετάλλευτες με αποτέλεσμα το καλοκαίρι που υπάρχουν μεγάλες ανάγκες σε νερό από τις καλλιέργειες, να μην υπάρχει κάλυψη της ζήτησης. Χαρακτηριστικό είναι το ότι σε όλο το Γεωγραφικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας, συνολικά διατίθενται καθ' όλο το χρόνο $3.139,8 \text{ hm}^3$ (συμπεριλαμβανομένων των υπογείων νερών), ενώ η ζήτηση είναι $1.634,2 \text{ hm}^3$ (ΥΒΕΤ, 1996).

3.3.2. Υπόγεια Νερά.

Διαφορετικής φύσης είναι το πρόβλημα της επάρκειας των υπογείων υδάτων αλλά με μεγάλη αλληλεπίδραση με το πρόβλημα των επιφανειακών υδάτων.

Η Θεσσαλική πεδιάδα ακριβώς λόγω του μεγέθους της, είναι εξαιρετικά εκτεταμένη. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλές περιοχές να απέχουν μεγάλες αποστάσεις από κλάδους ποταμών με καλοκαιρινή παροχή. Κατά συνέπεια, οι γεωργοί των περιοχών αυτών στρέφονται στον υδροφόρο ορίζοντα με αντλήσεις. Αλλά το γεγονός αυτό από μόνο του δεν αποτελεί απειλή για τα αποθέματα του υπόγειου υδροφορέα. Τα προβλήματα είναι κυρίως δύο: η μεγάλη έκταση των αρδευόμενων από υπόγεια νερά καλλιεργειών και η υπεράντληση. Συνέπεια αυτών είναι η σταδιακή πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (έως και 200 μέτρα στην περιοχή Κουιάδας) με αποτέλεσμα την υφαλμύρωση των νερών σε πολλές περιοχές, κυρίως προς την μεριά της Κάρλας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΞΗΡΑΣΙΑ - ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.

4.1. Εισαγωγή.

Είναι γεγονός ότι η ξηρασία είναι ένα ακραίο περιβαλλοντικό φαινόμενο με διάφορες μορφές, ανάλογα με την παράμετρο με την οποία εκφράζεται και ανάλογα με το κλίμα της περιοχής που αναφέρεται. Ουσιαστικά το κρίσιμο επίπεδο της μεταβλητής με την οποία εκφράζεται η ξηρασία διαφέρει από περιοχή σε περιοχή.

Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, ξηρασία για ένα υδατικό σύστημα είναι το φαινόμενο κατά την διάρκεια εμφάνισης του οποίου το υδατικό σύστημα βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο σε σχέση με την κανονική του λειτουργία. Με αυτόν τον γενικό ορισμό, θίγονται όχι μόνο θέματα της προσφοράς του νερού αλλά και εκείνα της ζήτησης και της αποθήκευσης.

Το φαινόμενο της ξηρασίας άρχισε πρόσφατα να απασχολεί το ευρύ κοινό λόγω της λειψυδρίας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στην χώρα μας αλλά σε μεγάλο βαθμό και στην υπόλοιπη Ευρώπη.

Το φαινόμενο της ξηρασίας, σε αντίθεση με αλλά ακραία γεγονότα, όπως πλημμύρες, καταγίδες κλπ, έχει συνήθως μεγάλη χρονική διάρκεια. Ιδιαίτερα το φαινόμενο της ξηρασίας αναγκάζει συνήθως τις κυβερνήσεις να ανακοινώσουν μέτρα για τον περιορισμό της κατανάλωσης αλλά και να αναγγείλουν νέα έργα για την καλύτερη αξιοποίηση των υδατικών πόρων. Επειδή η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που εντάσσεται στη γενικότερη διακύμανση του κλίματος μιας περιοχής, πολλά από τα μέτρα που αναγγέλλονται κατά την διάρκεια της ξηρασίας ξεχνιούνται μόλις έρθουν οι βροχές. Ως άμεση επίπτωση, μια παρατεταμένη ξηρασία έχει πολλές επιπτώσεις στα υδατικά αποθέματα, στο περιβάλλον και σε όλους τους τομείς της οικονομίας.

Η επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου της ξηρασίας περιλαμβάνει διάφορες μεθοδολογίες ανάλυσης, που στηρίζονται σε διάφορες παραδοχές και ορισμούς. Σε κάθε περίπτωση, η προσομοίωση του φαινομένου στο σύνολο του είναι ένα δύσκολο εγχείρημα. Σε γενικές γραμμές, η μελέτη του φαινομένου περιλαμβάνει τόσο την ανάλυση συχνοτήτων ελάχιστων τιμών χαρακτηριστικών υδρολογικών μεταβλητών για μεγάλο χρονικό διάστημα (βροχόπτωση, απορροή κλπ.), όσο και τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών δεικτών που αποτελούν μέτρο ποσοτικής εκτίμησης της ξηρασίας (υδατικό έλλειμμα, ελλειμματική επιφάνεια, ένταση κλπ.) Οι δείκτες αυτοί μπορεί να συσχετιστούν με διάφορα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Ως περιοχή μελέτης του φαινομένου, νοείται είτε μια σχετικά εκτεταμένη περιοχή (π.χ. υδρολογική λεκάνη),

είτε ένα σύνολο σημειακών πηγών που συνιστούν ένα σύστημα (π.χ. ένας ή περισσότεροι ταμιευτήρες αποθήκευσης νερού που εξυπηρετούν τις υδρευτικές ανάγκες μιας μεγαλούπολης), είτε τέλος ένα μόνο σημείο (π.χ. μετεωρολογικός σταθμός).

Οι πιο γνωστοί ορισμοί της ξηρασίας προτάθηκαν από τους (Wilhite and Glantz, 1985) και είναι:

- i. **Μετεωρολογική ξηρασία** που θεωρείται μια παρατεταμένη, μη κανονική έλλειψη υγρασίας.
- ii. **Υδρολογική ξηρασία** χαρακτηρίζεται μια περίοδος κατά την οποία η παροχή νερού είναι μικρότερη από την ελάχιστη που απαιτείται για την ικανοποίηση των αναγκών μιας περιοχής. Είναι δηλαδή μια περίοδος υδρολογικού ελλείμματος (π.χ. στην απορροή, στην αποθήκευση σε ταμιευτήρες, στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα).
- iii. **Γεωργική ξηρασία** που προσδιορίζεται από την μη κανονική ανάπτυξη των καλλιεργειών σαν συνέπεια της περιορισμένης διαθεσιμότητας του νερού και που εξαρτάται από τα επίπεδα εδαφικής υγρασίας και επάρκειας του νερού για την ανάπτυξη των καλλιεργειών.
- iv. **Κοινωνικο-οικονομική ξηρασία** που αναφέρεται σε ελλείμματα υδατικών πόρων που συνήθως οφείλονται στην υπερκατανάλωση, την ανεπαρκή υποδομή και προετοιμασία και λιγότερο στις μειωμένες βροχοπτώσεις ή και στην διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων.

Οι τρεις πρώτες κατηγορίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως περιβαλλοντολογική ξηρασία ενώ η τελευταία κατηγορία θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ξηρασία των υδατικών αποθεμάτων. Ωστόσο ο ακριβής ποσοτικοποίηση της ξηρασίας είναι ένα δύσκολο έργο. Για τον χαρακτηρισμό της ξηρασίας χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς διάφοροι δείκτες ξηρασίας. Μόνο όμως οι περισσότερο συχνά χρησιμοποιούμενοι θα παρουσιαστούν στην συνέχεια.

Οι δείκτες μετρούν το κατά πόσο το ύψος βροχόπτωσης δεδομένης χρονικής περιόδου αποκλίνει από τις κανονικές συνθήκες. Λαμβάνοντας ως δεδομένα τιμές βροχόπτωσης, χιονοκάλυψης, υδατορροής και άλλων δεικτών υδατικού εφοδιασμού, εξομοιώνουν την επάρκεια ή ανεπάρκεια υγρασίας σε ένα κατανοητό και πλήρης πίνακα. Οι τιμές του κάθε δείκτη είναι ένα απλός αριθμός πολύ περισσότερο χρήσιμος από ακατέργαστα δεδομένα, στον χαρακτηρισμό του φαινομένου. Αν και κανένας δείκτης δεν είναι έμφυτα ανώτερος από τους υπόλοιπους για όλες τις περιστάσεις, κάποιοι από τους δείκτες είναι περισσότερο κατάλληλοι από ότι άλλοι για ορισμένες χρήσεις. Για

παράδειγμα ο δείκτης δριμύτητας ξηρασίας του Palmer (Palmer Drought Severity Index) χρησιμοποιείται ευρύτατα στις Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής στο προσδιορισμό της επικινδυνότητας της ξηρασίας στην γεωργία, όμως η εφαρμογή του δείκτη αποδίδει ποιο αξιόπιστα αποτελέσματα όταν εφαρμόζεται σε μεγάλες έκτασης με ομοιόμορφο ανάγλυφο. Για τις δυτικές πολιτείες με ορεινό τοπογραφικό ανάγλυφο και πολυσύνθετα μικροκλίματα ο δείκτης επιφανειακών υδατικών αποθεμάτων, είναι περισσότερο κατάλληλος εφόσον στον υπολογισμό του λαμβάνεται υπόψη η χιονοκάλυψη και άλλοι όροι.

Οι δείκτες ξηρασίας που θα παρουσιασθούν στην συνέχεια για τον χαρακτηρισμό του φαινομένου της ξηρασίας είναι σύμφωνοι με την ταξινόμηση των (Wilhite and Glantz 1985). Πολύ δείκτες έχουν χρησιμοποιηθεί για την ομαδοποίηση των ποικίλων τύπων ξηρασίας (Tate and Gustard, 2002; Keyantash and Dracup, 2002) εντούτοις για πολλούς από αυτούς του δείκτες η ταξινόμηση δεν είναι η πλέον καταλληλότερη.

4.2. Μετεωρολογική ξηρασία.

4.2.1. Ασυνεχείς και αθροιστικές μη ομαλές βροχοπτώσεις.

Στην μη ομαλή βροχόπτωση μετράτε άμεσα το έλλειμμα βροχόπτωσης που είναι η διάφορα ανάμεσα στην παρατηρούμενη και στην μεγάλης χρονικής διάρκειας μέση βροχόπτωση. Πρόκειται για έναν αρχικό δείκτη ξηρασίας, όχι ιδιαίτερα κατατοπιστικό. Ως εναλλακτική λύση είναι η θεώρηση της αθροιστικής μη ομαλής βροχόπτωσης (σε μηνιαία, εποχιακή ή ετήσια χρονική κλίμακα) η οποία απεικονίζει τη συνολική ποσότητα και διάρκεια του υδατικού πλεονάσματος η ελλείμματος. Ωστόσο η σχετική βαρύτητα της αθροιστικής μη ομαλής βροχόπτωσης εξαρτάται από το μέγεθος της απόκλισης σε σχέση με τις κανονικές συνθήκες.

Η μέθοδος έχει δυο σημαντικά μειονεκτήματα: Πρώτον, η μέθοδος υπολογισμού του δείκτη δεν παρέχει μια σαφή ένδειξη του χρόνου έναρξης της ξηρασίας. Ο χρόνος έναρξης της ξηρασίας ταυτίζεται υποκειμενικά ως το σημείο όπου η αθροιστική ανωμαλία αρχίζει μια σημαντική πτώση. Δεύτερον η σπουδαιότητα της ανωμαλίας είτε είναι ασυνεχής είτε πρόκειται για αθροιστική, εξαρτάται από το μέγεθος της σχέσης με πρότυπες μετρήσεις τυπικών μη ομαλών καταστάσεων.

4.2.2. Z-score ή κανονικοποιημένη μη ομαλή βροχόπτωση.

Προκειμένου να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα του προηγούμενου δείκτη μπορεί να κανονικοποιηθεί βάση της τυπικής απόκλισης μεγάλης χρονοσειράς βροχόπτωσης για διακεκριμένη ή αθροιστική βροχόπτωση, με βάση την εξίσωση:

$$Z\text{-score}_{i,j} = \frac{P_{ij} - \bar{P}_i}{\sigma_i} \quad (4.1)$$

όπου P_{ij} η βροχόπτωση του j μήνα για την περίοδο i , \bar{P}_i η μέση βροχόπτωση της περιόδου i , σ_i η τυπική απόκλιση της περιόδου i .

Ο δείκτης Z-score έχει συγκριθεί με τον SPI και τον δείκτη China Z (CZI) στην Κίνα (Wu et al., 2001) και βρέθηκε ότι αποκλίνει προς τα υγρά σε ακραίες υγρές ή ξηρές συνθήκες και ίσως να μην ανιχνεύσει αρχόμενες ξηρασίες. Παρ' όλα αυτά, ο Z-score μπορεί να δώσει σαφή αποτελέσματα σε υγρά και ξηρά γεγονότα.

Σε μεγάλο αριθμό στατιστικών διασπορών κατακρημισμάτων η μέση τιμή δεν αποδίδει με επάρκεια τις τυπικές συνθήκες. Σε τέτοιες περιπτώσεις θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η διάμεση τιμή αντί της μέσης ώστε να αποδοθεί η κεντρική τάση των παρατηρήσεων είτε στον Z-score είτε στο δείκτη ανωμαλιών βροχόπτωσης.

4.2.3. Δείκτης Δριμύτητας Ξηρασίας Palmer (PDSI)

Ο δείκτης PDSI (Palmer Drought Severity Index) αναπτύχθηκε από τον Palmer το 1965 στις Ηνωμένες Πολιτείες για την εκτίμηση της μετεωρολογικής ξηρασίας. Ωστόσο αν και ο PDSI είναι ένας δείκτης μετεωρολογικής ξηρασίας για τον υπολογισμό του λαμβάνεται υπόψη εκτός από την βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή καθώς και η εδαφική υγρασία η οποία προσδιορίζει την υδρολογική ξηρασία. (η περίοδος κατά την οποία η πραγματική διαθέσιμη ποσότητα νερού είναι μικρότερη από την ελάχιστη διαθέσιμη ποσότητα, η οποία είναι απαραίτητη για την κανονική λειτουργία μιας συγκεκριμένης περιοχής). Ο PDSI είναι αλγόριθμος εδαφικής υγρασίας βαθμονομημένος για σχετικά ομογενείς περιοχές και ειδικά για ημίξηρες και ύφυγες κλιματικές συνθήκες. Η εφαρμογή του σε συνθήκες πέρα από αυτές στις οποίες σχεδιάστηκε μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα – μη ρεαλιστικά – συμπεράσματα. Ο δείκτης βασίζεται στη θεώρηση παροχών - αναγκών της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου και λαμβάνει υπόψη τις παρούσες καιρικές συνθήκες τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους καθώς και τις κανονικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Όλοι οι βασικοί όροι της εξίσωσης υδατι-

κού ισοζυγίου, συμπεριλαμβανομένης της εξατμισοδιαπνοής της εδαφικής παρακράτησης, της απορροής και των απωλειών στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, μπορούν να καθοριστούν από τα δεδομένα. Οι καιρικές μεταβολές που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες – όπως η άρδευση – δεν λαμβάνονται υπόψη.

Οι βασικές ιδέες και βήματα που ακολουθούνται για τον υπολογισμό του δείκτη PDSI παρουσιάζονται παρακάτω.

Βήμα 1: υδρολογικοί υπολογισμοί. Ο υπολογισμός του PDSI αρχίζει με την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου βασιζόμενου σε μηνιαία βροχομετρικά δεδομένα μακράς σειράς ετών καθώς και σε δεδομένα θερμοκρασίας. Εξαιτίας των δυσκολιών που υπάρχουν στην διαθεσιμότητα της υγρασίας του εδάφους, το έδαφος χωρίζεται σε δυο στρώματα, το ανώτερο και το κατώτερο στρώμα ή ζώνη του ριζοστρώματος. Το επιφανειακό στρώμα θεωρείται ότι περιέχει 25mm της εδαφικής υγρασίας στην υδατοικανότητα και είναι το στρώμα όπου πραγματοποιείται η βροχόπτωση και λαμβάνει χώρα η εξάτμιση. Οι απώλειες λόγω εξάτμισης από το επιφανειακό στρώμα L_S , εκτιμούνται με την μέθοδο του Thornthwaite. Η υγρασία δεν απομακρύνεται από το επιφανειακό ούτε οδηγείται προς τα βαθύτερα στρώματα έως ότου το επιφανειακό στρώμα κορεσθεί. Οι απώλειες από τα βαθύτερα στρώματα, L_U , εξαρτώνται από την περιεχόμενη υγρασία, την υπολογισμένη **δυναμική εξάτμιση (PE)**, και τη διαθέσιμη υδατοικανότητα (available water capacity:AWC) του εδαφικού συστήματος. Αν $PE > P$, τότε

$$L_S = \min [S_S, (PE - P)], \quad (4.2)$$

$$L_U = [(PE - P) - L_S] S_U / AWC, \quad L_U < S_U, \quad (4.3)$$

Όπου S_S και S_U είναι οι ποσότητες της διαθέσιμης αποθηκευμένης υγρασίας στη αρχή κάθε μήνα, στο επιφανειακό και στα υποκείμενα στρώματα αντίστοιχα.

Απορροή υποθέτουμε ότι εμφανίζεται αν και μόνο αν και τα δυο στρώματα βρίσκονται στην υδατοικανότητα.

Συμπληρωματικά στην PE, τρεις επιπλέον μεταβλητές χρησιμοποιούνται και καθορίζονται ως εξής:

Δυναμική Επαναφόρτιση, (Potential Recharge: PR) είναι η ποσότητα της υγρασίας που απαιτείται ώστε να φέρει το έδαφος στην υδατοικανότητα και δίνεται από την σχέση.

$$PR = AWC - (S_S + S_U) \quad (4.4)$$

Δυνητικές Απώλειες (Potential loss: PL). Είναι η ποσότητα της υγρασίας η οποία θα μπορούσε να χαθεί από το έδαφος λόγω εξατμισοδιαπνοής κατά την διάρκεια μιας περιόδου μηδενικής βροχόπτωσης. Δίνεται από την σχέση.

$$PL = PL_S + PL_U \quad (4.5)$$

όπου

$$PL_S = \min [PE, S_S] \quad (4.6)$$

$$PL_U = [PE - PL_S] S_U / AWC, \quad PL_U < S_U \quad (4.7)$$

Η δυνητική Απορροή (Potential Runoff: PRO) καθορίζεται από την διαφορά ανάμεσα στο δυνητική βροχόπτωση και στη δυνητική επαναφόρτιση. Η δυνητική βροχόπτωση είναι ίση με την AWC, άρα το PRO δίνεται από την σχέση.

$$PRO = AWC - PR = S_s + S_U \quad (4.8)$$

Βήμα 2: συντελεστές κλίματος. Η βαθμονόμηση του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου σε κανονικά επίπεδα ολοκληρώνεται με την προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου σε περίοδο με διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης ώστε να παραχθεί η υδατοχωρητικότητα των κατώτερων εδαφικών στρωμάτων καθώς και τέσσερις συντελεστές της μελετούμενης περιοχής. Οι ακόλουθοι των τεσσάρων μηνιαίων όρων υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τους τέσσερις δυνητικούς όρους, PE, PR, PRO και PL:

$$a_j = \frac{\overline{ET_j}}{\overline{PE_j}} \quad (4.9)$$

$$b_j = \frac{\overline{R_j}}{\overline{PR_j}} \quad (4.10)$$

$$c_j = \frac{\overline{RO_j}}{\overline{PRO_j}} \quad (4.11)$$

$$d_j = \frac{\overline{L_j}}{\overline{PL_j}} \quad (4.12)$$

Όπου ET η εξατμισοδιαπνοή, R η επαναφόρτιση του εδαφικού νερού, RO η απορροή και L οι ολικές απώλειες νερού από το έδαφος. Η υπεργράμμιση στον αριθμητή υποδηλώνει ότι τα αντίστοιχα μεγέθη είναι οι μέσες τιμές κάθε μήνα j.

Βήμα 3: Τιμές CAFEC. Οι υπολογιζόμενοι συντελεστές χρησιμοποιούνται κατόπιν στην επανάλυση των χρονοσειρών, με σκοπό το προσδιορισμό της ποσότητας υγρασίας που απαιτείται για κανονικές καιρικές συνθήκες κατά την διάρκεια μεμονωμένων μηνών. Ειδικότερα υπολογίζονται οι Κλιματικά Κατάλληλες για τις Υπάρχουσες Συνθήκες. (Climatically Appropriate For Existing Conditions CAFEC) τιμές και συμβολίζονται με (^). Για παράδειγμα η τιμή του CAFEC για ET_j για τον j μήνα είναι:

$$ET_j = a_j \cdot PE_j \quad (4.13)$$

Όπου PE_j είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του τρέχοντος μήνα j . Ως εκ τούτου η CAFEC τιμή βροχόπτωσης, P υπολογίζεται από την σχέση:

$$P = a_j \cdot PE + b_j \cdot PR + c_j \cdot PRO - d_j \cdot PL \quad (4.14)$$

Βήμα 4: Δείκτες ανωμαλιών υγρασίας. Για κάθε μήνα j η διαφορά ανάμεσα στην πραγματική βροχόπτωση και στην CAFEC βροχόπτωση είναι ένας δείκτης του ελλείμματος ή του πλεονάσματος νερού για τον μήνα j , του σταθμού ή της περιοχής μελέτης. Αυτή εκφράζεται ως $D = P - \hat{P}$. Αυτές οι διαφορές (D) μετατρέπονται σε δείκτες ανωμαλιών υγρασίας (Z), γνωστών ως Z -δείκτης του Palmer σύμφωνα με την σχέση

$$Z = K_j \cdot D \quad (4.15)$$

όπου K_j ο συντελεστής βαρύτητας για τον μήνα j , ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη χωρική μεταβλητότητα των διαφορών D έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ανεξαρτησία του δείκτη σε σχέση με το χρόνο και το χώρο.

Βήμα 5: δριμύτητα ξηρασίας Στο τελευταίο βήμα οι χρονοσειρές του δείκτη Z αναλύονται για την ανάπτυξη κριτηρίων που θα καθορίσουν την αρχή και το τέλος περιόδων ξηρασίας καθώς και ενός τύπου προσδιορισμού της δριμύτητας της ξηρασίας. Η μεθοδολογία του Palmer εμπεριέχει τον υπολογισμό για κάθε μήνα, τριών ενδιάμεσων δεικτών $X1$, $X2$, και $X3$ και ενός παράγοντα πιθανότητας. Ο Palmer εκφράζει την έναρξη και την λήξη της ξηρασίας, με όρους πιθανότητας. Η ξηρασία ή κενό υγρασίας τελειώνει οριστικά όταν αυτή η πιθανότητα φθάσει ή υπερβεί το 100%, αλλά η ξηρασία η το κενό υγρασίας θεωρείται ότι λαμβάνει τέλος τον πρώτο μήνα όταν η πιθανότητα γίνεται μεγαλύτερη 0% και εξακολουθεί να παραμένει πάνω από 0% μέχρι να φθάσει το 100%. Κατά την διάρκεια της περιόδου αβεβαιότητας (όταν η πιθανότητα είναι μεταξύ 0% και 100%) το μοντέλο υπολογίζει τους τρεις ενδιάμεσους δείκτες $X1$, $X2$, και $X3$.

X1 είναι η τιμή του δείκτη για την αρχή του κενού υγρασίας. X2 είναι η τιμή του δείκτη για μία αρχόμενη ξηρασία, και X3 είναι η τιμή του δείκτη για ένα εγκαθιδρυμένο γεγονός ξηρασίας ή κενού υγρασίας. Όλοι οι ενδιάμεσοι τρεις δείκτες υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εμπειρική έκφραση.

$$X_j = 0.897 \cdot X_{j-1} + \frac{Z_j}{3} \quad (4.16)$$

όπου Z_i απεικονίζει την τιμή του δείκτη ανώμαλης υγρασίας ή Z-index για τον j μήνα.

Το μοντέλο του Palmer επιλέγει την τιμή για καθένα από τους ενδιάμεσους δείκτες και τη χρησιμοποιεί στον υπολογισμό του PDSI ανάλογα με την τιμή του παράγοντα πιθανότητας. Για παράδειγμα αν ο παράγοντας πιθανότητας παίρνει τιμή ανάμεσα σε 0 και -1, τότε ο PDSI χρησιμοποιεί τον δείκτη X2 και όταν ο παράγοντας πιθανότητας παίρνει τιμή μεγαλύτερη από 1 ή μικρότερη από -1 τότε ο PDSI χρησιμοποιεί τον δείκτη X3. Ο δείκτης X3, αποκρίνεται πολύ αργότερα από ότι ο PDSI σε αλλαγές εδαφικής υγρασίας, είναι ένας δείκτης για μακράς χρονικής περιόδου υδρολογική ξηρασία, καταστάσεις γνωστές ως Palmer Hydrological Drought Index (PHDI). Η κατηγοριοποίηση του καιρού βάση των PDSI, PHDI, και Z-Index (Palmer, 1965) φαίνεται στον πίνακα 4.1. Θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι ο δείκτης Z παρέχει μια ένδειξη της εμμονής του φαινομένου της ξηρασίας, ενώ ο PDSI δείχνει την δριμύτητα της ξηρασίας.

Πίνακας 4.1. Κατηγοριοποίηση του καιρού σύμφωνα με τους δείκτες ξηρασίας PDSI, PHDI, και Z-δείκτη (Palmer, 1965).

PDSI, PHDI, Z- δείκτης	Κατηγοριοποίηση καιρού
> 4.00	Υπερβολικά υγρός
3.00 έως 3.99	πολύ υγρός
2.00 έως 2.99	μέτρια υγρός
1.00 έως 1.99	Ήπια υγρός
0.50 έως 0.99	Έναρξη υγρής περιόδου
0.49 έως -0.49	Κοντά στο κανονικό
-0.50 έως -0.99	Έναρξη ξηρασίας
-1.00 έως -1.99	Ήπια ξηρασία
-2.00 έως -0.99	Μέτρια ξηρασία
-3.00 έως -3.99	Δριμεία ξηρασία
< -4.00	Ακραία ξηρασία

Η μέθοδος του Palmer που χρησιμοποιείται στο υπολογισμό του PDSI, PHDI, και Z-δείκτη, έχει έναν αριθμό περιορισμών και μειονεκτημάτων. (Alley, 1984). Οι περιορισμοί της μεθόδου μπορεί να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες: Στα μειονεκτήματα του μοντέλου Υδατικού Ισοζυγίου και στα χαρακτηριστικά του PDSI. Η πρώτη κατηγορία των περιορισμών της μεθόδου του Palmer περιλαμβάνει:

- a) Την χρήση της μεθόδου του Thornthwaite για την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, αν και άλλες μέθοδοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν. Ωστόσο με τα περιορισμένα διαθέσιμα δεδομένα που απαιτούνται από την μέθοδο του Palmer μόνο η απλή μέθοδος εκτίμησης της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, όπως η μέθοδος του Thornthwaite θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί
- b) Η αυθαίρετη ποσότητα των 25 mm της υδατοικανότητας του επιφανειακού στρώματος του εδάφους. Η υδατοικανότητα είναι μια μεταβαλλόμενη ποσότητα η οποία εξαρτάται από το κλίμα, την υφή του εδάφους καθώς και την φυτοκάλυψη της περιοχής.
- c) Η υπόθεση ότι η απορροή εκτιμάται χωρίς καμία υστέρηση στη χρονική κατανομή. Οι Thornthwaite και Mather (1955) πρότειναν ότι το 50%-75% της απορροής θα πρέπει να υστερεί κάθε μήνα ώστε να αναπαραχθούν οι μηνιαίοι όγκοι ροής οι οποίοι παρατηρούνται στα Υδατορεύματα. Το τμήμα της απορροής που καθυστερεί ποικίλει σημαντικά σε εξάρτηση με το βάθος της κοίτης και την υφή του εδάφους, την γεωμορφολογία και το μέγεθος της λεκάνης και τη φύση του υπεδάφιου συστήματος.
- d) Ο χαρακτήρας της μεθόδου του Palmer, ως μοντέλο «τύπου καταωφλίου» υποθέτει ότι η απορροή δεν συμβαίνει έως ότου η υδατοικανότητα του υψηλότερου και του χαμηλότερου εδαφικού στρώματος πληρωθεί. Αυτή η υπόθεση τείνει να υποεκτιμήσει την επαναφόρτιση κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και των πρώτων φθινοπωρινών μηνών.
- e) Δεν υπολογίζεται η τυχόν επίδραση του λιωσίματος του χιονιού ή του παγωμένου εδάφους. Τούτο όμως δεν αποτελεί πρόβλημα στα μεσογειακά κλίματα όπου η χιονοκάλυψη περιορίζεται μόνο στα υψηλά υψόμετρα.

Οι περιορισμοί των χαρακτηριστικών του PDSI μπορούν να συνοψισθούν ως εξής.

- f) Ο αυθαίρετος καθορισμός των κλάσεων του PDSI. Αυτές οι κλάσεις έχουν καθοριστεί από δεδομένα της κεντρικής Αϊόβα και του Κάνσας των ΗΠΑ.

g) Η ευαισθησία των τιμών του PDSI στον συντελεστή K_j . Η πλειοψηφία όμως των ξηρασιών διαφόρων μεγεθών παραμένει σχετικά ανεπηρέαστη από τις διακυμάνσεις του K_j .

h) Η ευαισθησία των τιμών του PDSI στο κλίμα της περιόδου βαθμονόμησης.

Παρά τη χρήση πολλών υποθέσεων στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου, τους περιορισμούς, τα μειονεκτήματα και την εμπειρική φύση μερικών από τους κανονικοποιημένους συντελεστές, ο δείκτης PDSI μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο τόσο σε ερευνητικές όσο και σε λειτουργικές προσεγγίσεις ξηρασιών αν χρησιμοποιηθεί σωστά και με επίγνωση των περιορισμών που προαναφέρθηκαν (Karl et al., 1987; Rao and Voeller, 1997). Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι η μέθοδος Palmer χειρίζεται το δύσκολο πρόβλημα της ξηρασίας με τη χρησιμοποίηση μόνο μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας.

4.2.4. Δείκτης Ξηρασίας Bhalme – Mooley (BMDI)

Ο δείκτης ξηρασίας BMDI (Bhalme and Mooley, 1980), παρέχει ένα καλό μέτρο της παρούσας κατάστασης ξηρασίας που είναι αποτέλεσμα βραχέων ξηρών χρονικών περιόδων, αντίθετα με τον PDSI ο οποίος σχεδιαστικώς να αποτιμήσει τον βαθμό δριμύτητας και συχνότητας παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας. Ο BMDI είναι απλούστερος και λιγότερο σύνθετος δείκτης, διότι δεν περιέχει του όρους, όπως η εξατμισοδιαπνοή, η υδατοικανότητα του εδάφους, οι οποίοι υπολογίζονται δύσκολα και βασίζονται μόνο σε μηνιαίες βροχοπτώσεις.

Τα βασικά βήματα στον υπολογισμό του BMDI είναι τα ακόλουθα.

- i. Υπολογίζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές μακράς διάρκειας χρονοσειρών βροχόπτωσης, \bar{P} , η τυπική απόκλιση καθώς και ο συντελεστής μεταβλητότητας κάθε σταθμού.
- ii. Η ποσοστιαία απόκλιση της μηνιαίας βροχόπτωσης από την μέση χρησιμοποιείται κατόπιν στον υπολογισμό του δείκτη υγρασίας M που δίνεται από την σχέση $M = 100 \cdot \frac{(P - \bar{P})}{s}$
- iii. Από όλους τους σταθμούς μελέτης, λαμβάνουμε τις μέσες ανώτερες συσσωρευμένες τιμές του αρνητικού δείκτη ξηρασίας. Αυτό παρέχει ένα συγκριτικό μέτρο τοπικών ανωμαλιών υγρασίας διότι επιτρέπει τον αριθμητικό προσδιορισμό ακραίας ξηρασιών σε διάφορα μέρη της μελετούμενης περιοχής.

- iv. Οι ακραίες συνθήκες ξηρασίας μηνιαίων μέγιστων συσσωρευμένων αρνητικών M δίνονται από την εξίσωση των ελάχιστων τετραγώνων $\sum_{t=1}^k M_t = a + bk$, όπου M_t ο συσσωρευμένος δείκτης υγρασίας διάρκειας t μηνών και a, b σταθερές.
- v. Η εξίσωση της οικογένειας των καμπυλών που αντιστοιχούν στις τέσσερις κατηγορίες ξηρασίας δίνεται από τη σχέση $I_k = \sum_{t=1}^k \frac{M_t}{0.25 \cdot (a + bk)}$ όπου I_k η δριμύτητα ξηρασίας του k_{th} μήνα.

Σε διαδοχικούς μήνες, απαιτείται μια αρνητική τιμή του M ώστε ο I_k να γίνει περισσότερο αρνητικός και να διατηρηθεί η υπάρχουσα ξηρασία. Ο ρυθμός με τον οποίο πρέπει να αυξάνει ο M ώστε το I να παραμένει σταθερό, εξαρτάται από την τιμή του I την οποία θέλουμε να διατηρήσουμε. Συνεπώς για όλους τους μήνες που ακολουθούν έναν αρχικό ξηρό μήνα, πρόσθετοι όροι εισάγονται στον υπολογισμό για την μεταφορά των επιπτώσεων προηγούμενων καταστάσεων. Βάσει της λογικής αυτής η παραπάνω εξίσωση αναδιατυπώνεται ως εξής. $\Delta I_k = \frac{M_k}{d} + cI_{k-1}$, όπου $d=0.25(a+bk)$, $\Delta I_k = I_k - I_{k-1}$, και c σταθερά. Άρα ο τελικός δείκτης δριμύτητας ξηρασίας για δεδομένο μήνα k δίνεται από την σχέση:

$$I_k = \frac{M_k}{d} + (1 + c)I_{k-1} \quad (4.17)$$

Οι μηνιαίες τιμές του δείκτη στην συνεχεία κατηγοριοποιούνται σε έντεκα κλάσεις (Πίνακας 4.1) όμοιες με τις τιμές δείκτη του Palmer.

Ο BMDI είναι λιγότερο περίπλοκος απ' τον PDSI διότι χρειάζεται μόνο δεδομένα βροχόπτωσης και όχι πολύπλοκους όρους υδατικού ισοζυγίου.

4.2.5. Δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (Rainfall Anomaly Index, RAI)

Ο δείκτης ανωμαλιών βροχόπτωσης (Van Rooy, 1965), ενσωματώνει μια μέθοδο ταξινόμησης με την οποία προσδιορίζονται οι θετικές και αρνητικές μη ομαλές καταστάσεις της βροχόπτωσης. Η μορφή του δείκτη είναι:

$$RAI = \pm 3 \frac{P - \bar{P}}{E - \bar{P}} \quad (4.18)$$

όπου P η μετρημένη βροχόπτωση, \bar{P} είναι η μέση βροχόπτωση, και \bar{E} είναι η μέση τιμή των δέκα ακραίων τιμών βροχόπτωσης. Για θετικές μη ομαλές καταστάσεις το πρόσημο είναι θετικό και \bar{E} είναι το μέσο των δέκα υψηλότερων τιμών βροχόπτωσης ενώ για αρνητικές μη ομαλές καταστάσεις το πρόσημο είναι αρνητικό με το \bar{E} να παίρνει την μέση τιμή των δέκα χαμηλότερων μετρήσεων. Ο Oladipo (1985) βρήκε ότι η διαφορά ανάμεσα στο δείκτη RAI και σε περισσότερους σύνθετους δείκτες, όπως Palmer και Bhalme-Mooley, είναι αμελητέα.

4.2.6. Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI).

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βροχόπτωσης (Standardised Precipitation Index: SPI) αναπτύχθηκε από τον (McKee et al., 1993) στο πανεπιστήμιο του Κολοράντο. Η φύση του SPI επιτρέπει τον προσδιορισμό της σπανιότητας εμφάνισης της ξηρασίας ή ενός γεγονότος βροχόπτωσης σε συγκεκριμένη χρονική κλίμακα για οποιοδήποτε μέρος του κόσμου στο οποίο υπάρχουν αρχεία κατακρημνισμάτων. Είναι ένας σχετικά απλός δείκτης, ο οποίος βασίζεται μόνο σε δεδομένα βροχόπτωσης και για τον υπολογισμό του χρειάζεται μόνο δυο παραμέτρους. Δεν εξαρτάται από την εδαφική ξηρασία, και μπορεί να εφαρμοστεί εξίσου καλά τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Ο SPI επίσης, δεν εξαρτάται από την τοπογραφία της υπό μελέτη περιοχής. Η δυνατότητα να εφαρμόζεται σε ποικίλες χρονικές κλίμακες, του επιτρέπει την περιγραφή της ξηρασίας, για ένα σημαντικό εύρος μετεωρολογικών, γεωργικών και υδρολογικών φαινομένων. Ένα άλλο σπουδαίο πλεονέκτημα του δείκτη SPI, προέρχεται από την κανονικοποίησή του η οποία εγγυάται ότι η συχνότητα ακραίων γεγονότων ξηρασίας σε κάθε τοποθεσία και κάθε χρονική κλίμακα είναι σταθερή.

Ο υπολογισμός του δείκτη SPI βασίζεται σε δεδομένα βροχόπτωσης μιας μακράς χρονικής περιόδου (μεγαλύτερης των 30 ετών). Τα δεδομένα βροχόπτωσης, προσαρμόζονται πάνω σε μια θεωρητική κατανομή πιθανοτήτων, η οποία στην συνέχεια μετασχηματίζεται σε τυπική κανονική κατανομή, με μέσο όρο μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με την μονάδα έτσι ώστε οι τιμές του SPI να είναι στην πραγματικότητα η τυπική απόκλιση. Το μέγεθος της απόκλισης από το μηδέν απεικονίζει την πιθανότητα του συμβάντος. Εφόσον οι τιμές του SPI ταιριάζουν σε μια τυπική κανονική κατανομή, αναμένεται ότι σε απόσταση ± 1 από το μέσο όρο θα περιλαμβάνεται το 68% περίπου των περιπτώσεων, στο διάστημα μεταξύ ± 2 η καμπύλη περιλαμβάνει το 95,4% των

περιπτώσεων και στο διάστημα ± 3 το 99,7 των περιπτώσεων. Θετικές τιμές SPI υποδηλώνουν βροχόπτωση μεγαλύτερη της μέσης, ενώ αρνητικές τιμές υποδηλώνουν βροχόπτωση μικρότερη της μέσης. Ένα γεγονός ξηρασίας υφίσταται όταν ο δείκτης SPI είναι συνεχώς αρνητικός και η δριμύτητα της ξηρασίας αυξάνει με τον δείκτη SPI να παίρνει τιμές χαμηλότερες του -1. Το γεγονός ξηρασίας λαμβάνει τέλος με το δείκτη SPI να γίνεται θετικός. Ο δείκτης SPI έχει την ικανότητα να προσδιορίζει το έλλειμμα βροχόπτωσης για πολλαπλές χρονικές κλίμακες. Αυτές οι χρονικές κλίμακες αντανακλούν την επίδραση της ξηρασίας πάνω στην διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Υδατορεύματα, υπόγεια νερά και δεξαμενές αποθήκευσης αντικατοπτρίζονται από ανωμαλίες της βροχόπτωσης σε μεγάλες χρονικές κλίμακες ενώ η εδαφική υγρασία σε ανωμαλίες βροχόπτωσης, σε μικρές χρονικές κλίμακες. Αν και πολλές κλίμακες ταξινόμησης του δείκτη SPI έχουν προταθεί κατά καιρούς, η περισσότερο χρησιμοποιούμενη είναι αυτή που φαίνεται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Κατηγοριοποίηση καιρού σύμφωνα με τις τιμές SPI.

Τιμές SPI	Κατηγορίες καιρού
Μεγαλύτερο του 2	Εξαιρετικά υγρός
1,50 έως 1,99	Πολύ υγρός
1,00 έως 1,49	Μέτρια υγρός
-0,99 έως 0,99	Κανονική συνθήκες υγρασίας
-1,00 έως -1,49	Μέτρια ξηρός
-1,50 έως -1,99	Δριμεία ξηρός
Μικρότερο του -2	Ακραία ξηρός

4.3 Υδρολογική ξηρασία.

Η υδρολογική ξηρασία που επηρεάζει άμεσα τους υδατικούς πόρους και την αξιοποίηση τους δίνει έμφαση στην εμφάνιση χαμηλών παροχών στους επιφανειακούς υδροφορείς (ποταμοί, πηγές, κλπ.) ενώ για τους υπόγειους υδροφορείς χρησιμοποιεί δείκτες που αναφέρονται στην στάθμη του υπόγειου νερού και την ποιότητα (που σχετίζεται με την υποβάθμιση του λόγω υπεράντλησης).

Είναι γεγονός ότι οι επιφανειακοί υδατικοί πόροι είναι λιγότερο ανθεκτικοί στην περίπτωση της ξηρασίας ενώ οι επιπτώσεις της ξηρασίας στους υπόγειους υδροφορείς έχουν μεγαλύτερο χρόνο απόκρισης. Συνηθίζεται λοιπόν ως υδρολογική ξηρασία σε μια περιοχή να χαρακτηρίζεται η κατάσταση που δημιουργείται κατά μια χρονική περίοδο, όπου οι τιμές των παροχών των ποταμών στην περιοχή, περνούν ακραίες χαμηλές τιμές.

Στην παρούσα ενότητα γίνεται μια περιληπτική αναφορά στους δείκτες υδρολογικής ξηρασίας οι οποίοι εκτιμούνται βάσει δεδομένων επιφανειακής απορροής.

4.3.1. Ολικό υδατικό έλλειμμα.

Παραδοσιακά η υδρολογική ξηρασία προσδιορίζεται από το ολικό υδατικό έλλειμμα, και είναι συνώνυμη με την δριμύτητα της ξηρασίας S . Η δριμύτητα είναι αποτέλεσμα της διάρκειας D , κατά την διάρκεια της οποίας η ροή είναι σταθερά κάτω από κάποιο κατώφλι ροής, και του μεγέθους του M , το οποίο είναι η μέση απόκλιση του απορροής από το κατώφλι ροής κατά την διάρκεια της περιόδου ξηρασίας. Το κατώφλι ροής θα μπορούσε να επιλεγεί ανάμεσα από έναν αριθμό διαφορετικών δρόμων και η επιλογή είναι συνάρτηση του τύπου του υδατικού ελλείμματος το οποίο μελετάται. Είναι επίσης δυνατό να χρησιμοποιηθεί ποσοστό της μέσης ροής (Dracup et al., 1980), ή άλλοι δείκτες χαμηλής ροής (για παράδειγμα, μέση ετήσια ροή) ή εκατοστημόριο της καμπύλης διάρκειας της απορροής (συνήθως το 90κοστό εκατοστημόριο ή Q_{90}). Το κατώφλι μπορεί να είναι σταθερό ή να ποικίλει σε ετήσια, μηνιαία ή εποχική βάση (Demuth and Stahl, 2001). Το ολικό υδατικό έλλειμμα μπορεί να εφαρμοστεί σε ποικίλες χρονικές κλίμακες για δεδομένα επιφανειακής απορροής, για ημερήσιες και ετήσιες χρονοσειρές.

4.3.2. Αθροιστική μη ομαλή απορροή.

Μια σωρευτική παρέκκλιση απορροής από τις μέσες συνθήκες μπορεί να δείξει μακροπρόθεσμες τάσεις στη διαθεσιμότητα νερού. Όπως στην περίπτωση των σωρευτικών ανωμαλιών βροχόπτωσης, οι απότομες κλίσεις στις σωρευτικές ανωμαλίες απορροής, αναπαριστούν γεγονότα ξηρασίας.

4.3.3. Δείκτης υδρολογικής δριμύτητας ξηρασίας Palmer (PHDI)

Ο υδρολογικός δείκτης δριμύτητας ξηρασίας του Palmer (Palmer Hydrological Drought Severity Index, PHDI) προηγήθηκε του δείκτη PDSI. Η βασική διαφορά ανάμεσα στους δυο δείκτες είναι ότι ο PHDI έχει πιο αυστηρό κριτήριο για την εξάλειψη

μικρών ξηρών ή υγρών περιόδων το οποίο έχει ως αποτέλεσμα ο δείκτης να επανέρχεται βαθμιαία και πιο αργά προς την κανονική κατάσταση.

Ειδικότερα, ο PDSI θεωρεί ότι ένα γεγονός ξηρασίας τελειώνει όταν οι συνθήκες υγρασίας αρχίζουν μια συνεχώς ανοδική πορεία η οποία τελικά εξαλείφει το υδατικό έλλειμμα ενώ ο PHDI θεωρεί ότι ένα γεγονός ξηρασίας λήγει όταν το υδατικό έλλειμμα εξαφανίζεται στην πράξη. Αυτή η καθυστέρηση είναι κατάλληλη για την εκτίμηση της υδρολογικής ξηρασίας που είναι φαινόμενο που αναπτύσσεται πιο αργά σε σχέση με την μετεωρολογική ξηρασία.

4.3.4. Δείκτης επιφανειακού διαθέσιμου νερού (SWSI)

Ο δείκτης επιφανειακού διαθέσιμου νερού αναπτύχθηκε από τον Shafer και Dezman (1982) και συνυπολογίζει σαφώς την χιονοκάλυψη και την καθυστερημένη της απορροή. Η μαθηματική διατύπωση του SWSI έχει ως ακολούθως:

$$SWSI = \frac{aP_{snow} + bP_{prec} + cP_{stream} + dP_{res} - 50}{12} \quad (4.19)$$

όπου a , b , c , d είναι οι συντελεστές βαρύτητας κάθε υδρολογικής συνιστώσας με $a+b+c+d=1$, P_i είναι η πιθανότητα μη υπέρβασης (%) για την i συνιστώσα, και $_{snow}$, $_{prec}$, $_{stream}$, $_{res}$ είναι οι συνιστώσες χιονοκάλυψης, βροχόπτωσης, παροχής, και αποθήκευσης, αντίστοιχα. Η διαδικασία αφαίρεσης 50 και διαίρεσης δια 12 είναι διαδικασία επικέντρωσης και συμπίεσης που σκοπό έχει να κάνει τις τιμές να έχουν μεγέθη παραπλήσια του PDSI και να οδηγήσει σε συγκρίσεις μεταξύ λεκανών απορροής. (Garen, 1992). Οι συντελεστές βαρύτητας εκτιμώνται από λεκάνη βαθμονομημένη με τον αλγόριθμο SWSI ο οποίος λαμβάνει υπόψη την τυπική συνεισφορά κάθε υδρολογικής συνιστώσας των υδατικών αποθεμάτων της λεκάνης. Ο SWSI είναι το κατάλληλο μέτρο υδρολογικής ξηρασίας ορεινών περιοχών, όπου η συνεισφορά του χιονιού είναι σημαντική στις ετήσιες επιφανειακές απορροές.

4.4. Δείκτες γεωργικής ξηρασίας.

Η γεωργική ξηρασία αφορά ειδικά τα καλλιεργούμενα φυτά σε αντιδιαστολή με τη φυσική βλάστηση. Εξ αιτίας της ανάγκης συνεχούς επάρκειας νερού στις καλλιέργειες, η γεωργική ξηρασία επιπίπτει τάχιστα και το ίδιο ξαφνικά τερματίζεται. Χαρακτηρίζεται από σημαντικές βραχυπρόθεσμες αλλαγές του όγκου της εδαφικής υγρασίας

στην ζώνη των ριζών. Οι περισσότεροι από τους κοινούς χρησιμοποιούμενους δείκτες γεωργικής ξηρασίας παρουσιάζονται παρακάτω.

4.4.1. Δείκτης υγρασίας καλλιέργειας.

Ο (Palmer, 1968) ανέπτυξε τον Crop Moisture Index (CMI) για την παρακολούθηση των βραχυπρόθεσμων μεταβολών των συνθηκών υγρασίας που επηρεάζουν τις καλλιέργειες. Ο CMI είναι το άθροισμα του ελλείμματος εξατμισοδιαπνοής (σε σχέση με τις κανονικές καταστάσεις) και του νερού φόρτισης του εδάφους. Οι όροι αυτοί υπολογίζονται σε εβδομαδιαία βάση με τη χρήση των παραμέτρων του PDSI, που λαμβάνουν υπόψη τη μέση θερμοκρασία την ολική βροχόπτωση και τις συνθήκες εδαφικής υγρασίας της προηγούμενης εβδομάδας.

Ο CMI μπορεί να εκτιμήσει τις παρούσες συνθήκες των καλλιεργειών αλλά είναι πολύ ευμετάβλητος και θεωρείται ως «φτωχό» εργαλείο για την παρακολούθηση μακροπρόθεσμης ξηρασίας. Ο CMI αρχίζει και τελειώνει κάθε περίοδο ανάπτυξης κοντά στο μηδέν και μπορεί να είναι κατάλληλος για ετήσιες καλλιέργειες αλλά όχι για την παρακολούθηση μακροπρόθεσμων γεγονότων ξηρασίας. Σαν συνέπεια η εκτίμηση της γεωργικής ξηρασίας Ως συνέπεια για την αποτίμηση της γεωργικής ξηρασίας θεωρείται καταλληλότερος ο δείκτης ανωμαλιών υγρασίας του Palmer ή δείκτης Z (Karl, 1986).

4.4.2. Δείκτης ανωμαλιών υγρασίας του Palmer (Z-Index).

Ο δείκτης ανωμαλιών υγρασίας του Palmer (Z-Index) προηγήθηκε του δείκτη PDSI. Εκφράζει την μη ομαλή κατάσταση υγρασίας του τρέχοντος μηνός, χωρίς την εξέταση προηγούμενων καταστάσεων υγρασίας, κάτι που χαρακτηρίζει τον PDSI. Ο δείκτης Z μπορεί να παρακολουθήσει την γεωργική ξηρασία, καθώς ανταποκρίνεται γρήγορα στις αλλαγές των τιμών εδαφικής υγρασίας. Ο (Karl, 1986) θεωρεί ότι ο δείκτης Z προτιμάται στην ποσοτικοποίηση της γεωργικής ξηρασίας από το περισσότερο χρησιμοποιούμενο δείκτη C.M.I. Ωστόσο σαν όλους τους δείκτες του Palmer, μειονεκτεί λόγω πολυπλοκότητας τύπων και υπολογισμών αν και είναι λιγότερο σύνθετος από τον δείκτη PDSI.

4.4.3. Μη ομαλός δείκτης εδαφικής υγρασίας (S.M.A.I)

Ο δείκτης ανωμαλιών εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture Anomaly Index: SMAI) αναπτύχθηκε από τους (Bergman et al., 1988) για το χαρακτηρισμό της ξηρα-

σίας σε παγκόσμια κλίμακα. Η μέθοδος στηρίζεται στην εκτίμηση της ξηρασίας βάση της μεθόδου του Thornthwaite και λειτουργεί σε ένα διστρωματικό εδαφικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στην ανίχνευση της κίνησης του νερού με τελικό αποτέλεσμα την εκτίμηση του τρέχοντος ποσοστού του κορεσμού του εδάφους. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι οι τιμές του SMAI μεταβάλλονται με ρυθμό που επικεντρώνεται μεταξύ ταχέως CMI και σχετικά αργού PDSI (Bergman et al., 1988).

4.4.4. Ακολουθία ξηρών ημερών.

Ο (Hershfield et al., 1972) του πρότειναν την συχνότητα επανάληψης της ακολουθίας των ξηρών ημερών ως ένα μέτρο της γεωργικής ξηρασίας. Εντούτοις η εκδήλωση και η δριμύτητα της ξηρασίας εξαρτώνται από τη χρονική περίοδο της ακολουθίας σε συνδυασμό με το περιεχόμενο εδαφικό νερό, την υδατοικανότητα του εδάφους και τον τρόπο άρδευσης της καλλιέργειας. Ο (Brutsaert, 1972) επίσης εκλαμβάνει τις ακολουθίες ξηρών ημερών ως μέτρο της γεωργικής ξηρασίας, υπονοώντας ότι είναι ο σημαντικότερος παράγοντας από γεωργικής άποψης. Αυτό βασίζεται στην παρατήρηση ότι η γεωργική ξηρασία έρχεται ως αποτέλεσμα της εξάντλησης της εδαφικής υγρασίας στην ζώνη των ριζών, εμποδίζοντας την ανάπτυξη των φυτών. Ως ακολουθία ξηρών ημερών ορίζεται η ακολουθία των ημερών με βροχόπτωση μικρότερη από συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου.

4.4.5. Διακεκριμένη μέθοδος του Markov.

Ο (Sen, 1998) διακήρυξε ότι τα χαρακτηριστικά της ξηρασίας κάθε φαινομένου εξαρτώνται από τον υποκείμενο γενεσιουργό μηχανισμό και ότι μπορούν να μοντελοποιηθούν με την κατάλληλη στοχαστική διαδικασία, όπως μια ανεξάρτητη πρώτης ή και δεύτερης τάξης μέθοδο Markov. Ο σπουδαιότερες πληροφορίες που μπορεί να εξαχθούν από αυτή τη μέθοδο είναι ότι κάθε έλλειμμα συνδέεται με προηγούμενα περισσεύματα και ελλείμματα. Ο (Bonacci, 1993) διακήρυξε ότι αυτή η μέθοδος θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την αναγνώριση ακραίων γεγονότων ξηρασίας. Επίσης η μέθοδος Markov σχετίζεται στενά με την προηγούμενη μέθοδο της ακολουθίας ξηρών ημερών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

5.1. Μετεωρολογική ξηρασία.

5.1.1. Εκτίμηση χωρικής κατανομής υετόπτωσης.

Με βάση τις ετήσιες τιμές, η επιφανειακή βροχόπτωση εκτιμήθηκε με τη χρήση της τεχνικής της πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης (MLR) (Naoum και Tsanis, 2003). Ενώ οι συμβατικές τεχνικές παρεμβολής, θεωρούνται ως μέθοδοι που βασίζονται σε σταθμούς, η μέθοδος MLR βασίζεται σε φατνία. Με άλλα λόγια, οι σημειακές τιμές βροχόπτωσης, χρησιμοποιήθηκαν στην εκτίμηση της βροχόπτωσης σε θέσεις όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις και η μέθοδος MLR χρησιμοποίησε αυτές τις σημειακές τιμές βροχόπτωσης για να «χτίσει» ένα μοντέλο και κατόπιν να το εφαρμόσει στην διακριτοποιημένη περιοχή όπου κάθε φατνίο έχει γνωστό υψόμετρο και συντεταγμένες.

Η τεχνική της πολλαπλής γραμμικής συσχέτισης έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα.

- i. Αποδίδει με ρεαλιστικό τρόπο την χωρική κατανομή της βροχόπτωσης.
- ii. Παρέχει λογική εκτίμηση της βροχόπτωσης σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες.
- iii. Δεν επηρεάζεται από τον αριθμό και την χωρική κατανομή των βροχομετρικών σταθμών, όταν εκτιμάτε η μέση επιφανειακή βροχόπτωση και η χωρική κατανομή της.
- iv. Σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις το σφάλμα που σχετίζεται με τις συμβατικές μεθόδους είναι μεγαλύτερο αυτού της μεθόδου MLR. (Naoum και Tsanis, 2003; Loukas at al.,2004).
- v. Είναι απλή στην εφαρμογή.

Με βάση την αρχική υπόθεση ότι υπάρχει κάποιο είδος γραμμικής σχέσης με άγνωστες παραμέτρους, μεταξύ των παρατηρούμενων και των προσαρμοσμένων τιμών βροχόπτωσης, επιδιώχθηκε η ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των αποκλίσεων των παρατηρούμενων από τις προσαρμοσμένες τιμές. Με την βροχόπτωση να είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, η συνάρτηση του μοντέλου πρέπει να έχει καθορισμένη μορφή που να συμπεριλαμβάνει τόσο τις μεταβλητές πρόβλεψης όσο και τις παραμέτρους (υψόμετρο και συντεταγμένες). Θα πρέπει επίσης να λαμβάνει

υπόψη και την αλληλεπίδραση μεταξύ των μεταβλητών. Τα παραπάνω αντιπροσωπεύονται στο μοντέλο με την προσθήκη τριών ακόμα όρων. Η χρήση μοντέλου δευτέρου βαθμού έχει σαν αποτέλεσμα την προσθήκη ακόμα τριών όρων που οδηγεί τελικά στην διαμόρφωση δεκαπαραμετρικού μοντέλου. Ο γενικός τύπος του μοντέλου, τελικά είναι:

$$P = a + b_1Z + b_2X + b_3Y + ZX + ZY + XY + b_4Z^2 + b_5X^2 + b_6Y^2 \quad (5.1)$$

όπου: P το ύψος βροχόπτωσης (mm).

Z το υψόμετρο (m).

X το γεωγραφικό μήκος (km).

Y το γεωγραφικό πλάτος (km).

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ οι συντελεστές της εξίσωσης

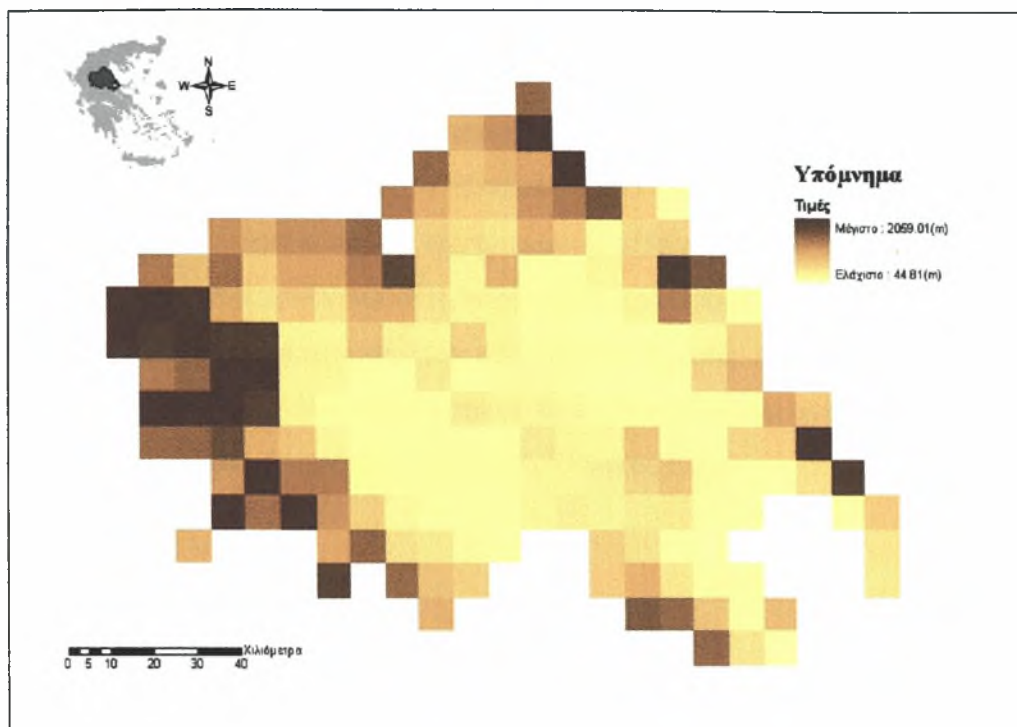
και a ο σταθερός όρος.

Μετά τη διακριτοποίηση (Σχήμα.5.1) της λεκάνης σε τετράγωνα φατνία 8x8 km, απαιτείται η γνώση της ποσότητας βροχής που θεωρητικά αντιστοιχεί στο γεωμετρικό κέντρο του κάθε φατνίου στο αντίστοιχο υψόμετρο. Αν θεωρηθεί ότι το υψόμετρο είναι σταθερό σε όλη την έκταση του φατνίου και είναι ίσο με το μέσο υψόμετρό του, και ως συντεταγμένες του είναι οι συντεταγμένες του κέντρου του, τότε σε κάθε φατνίο αντιστοιχούν τρεις αριθμοί X , Y και Z . όπου (Z) το υψόμετρο, (X) το γεωγραφικό μήκος και (Y) γεωγραφικό πλάτος.

Το μέσο υψόμετρο και οι συντεταγμένες του κάθε φατνίου εξήχθησαν με τη χρήση του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) ArcVIEW.

Η διακριτοποίηση της λεκάνης σε φατνία 8x8 km έγινε για τους εξής λόγους:

- i. Η διακριτοποίηση αυτή ταυτίζεται με δεδομένα τηλεπισκόπησης και έτσι επιτυγχάνεται ομοιογένεια σε δεδομένα και μοντέλα για διεπιστημονική ανάλυση.
- ii. Η ξηρασία είναι περιοχικό φαινόμενο. Αν είχε επιλεγεί φατνίο μικρής έκτασης θα προέκυπτε υπερβολική και χωρίς ουσία ανάλυση. Αν το φατνίο ήταν μεγαλύτερο θα οδηγούσε σε απώλεια ουσιαδούς πληροφορίας.



Σχήμα 5.1. Διακριτοποίηση Θεσσαλίας. Οι διαφορετικές αποχρώσεις αντιστοιχούν σε διαφορετικό υψόμετρο.

Τα δεδομένα βροχόπτωσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, προέρχονται από ένα σύνολο πενήντα βροχομετρικών σταθμών της μείζονος λεκάνης απορροής της Θεσσαλίας. Από τα πρωτογενή δεδομένα (ημερήσια ύψη βροχόπτωσης), εξήχθησαν τα μηνιαία αθροιστικά ύψη βροχόπτωσης κάθε σταθμού και για χρονική περίοδο τριάντα τριών ετών (Υδρολογική περίοδος: Οκτ. 1960 έως και Σεπ. 1993). Βάσει των τιμών αυτών εκτιμήθηκε η ποσότητα βροχόπτωσης σε κάθε φατνίο της διακριτοποιημένης λεκάνης. Η εκτίμηση της βροχόπτωσης για την περίοδο της ανάλυσης όπως ήδη έχει αναφερθεί, στηρίχθηκε στην χρήση εξισώσεων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της μηνιαίας βροχόπτωσης, των συντεταγμένων και του υψομέτρου.

Αναπτύχθηκαν συνολικά 396 μηνιαίες σχέσεις MLR, όπου για κάθε σχέση εκτιμήθηκαν οι συντελεστές $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ και a . Η εκτίμηση των συντελεστών στηρίχθηκε στην χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το σφάλμα προσαρμογής της θεωρητικά υπολογιζόμενης καμπύλης στα σημεία γνωστού ύψους βροχόπτωσης. Το μοντέλο καλιμπράρεται αρχικά για τις μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης των 50 σταθμών της περιοχής μελέτης από όπου εκτιμούμε τις τους σταθερούς όρους $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ και a . για κάθε μήνα της μελετούμενης χρονικής περιόδου. Η εκτίμηση του μεγέθους προσαρμογής, συντελέστηκε τόσο σε

μηνιαία όσο και σε ετήσια βάση. Οι χρονοσειρές των παρατηρούμενων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης ανά σταθμό για κάθε υδρολογικό έτος χωριστά, συσχετίστηκαν με τις αντίστοιχες εκτιμημένες τιμές βροχόπτωσης, δίνοντας για κάθε μήνα και κάθε υδρολογικό έτος την τιμή του συντελεστή προσδιορισμού r^2 (Πίνακας 5.1), καθώς και τις αντίστοιχες τιμές των συντελεστών της γραμμικής εξίσωσης. Από απλή επισκόπηση των εκτιμώμενων συντελεστών προσδιορισμού συμπεραίνουμε ότι οι υγροί μήνες παρουσιάζουν καλύτερη συσχέτιση σε σύγκριση με τους ξηρούς. Αντίστοιχη διαδικασία επιτελέστηκε και για τις ετήσιες αθροιστικές τιμές βροχόπτωσης από όπου προέκυψαν οι αντίστοιχοι συντελεστές προσδιορισμού r^2 . (Πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.1.. Συντελεστής προσδιορισμού r^2 ανά μήνα.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1960-61	0.79	0.69	0.61	0.17	0.69	0.65	0.54	0.56	0.39	0.17	0.15	0.11
1961-62	0.63	0.77	0.69	0.70	0.68	0.62	0.69	0.35	0.66	0.45	0.35	0.51
1962-63	0.61	0.58	0.54	0.61	0.60	0.57	0.75	0.50	0.39	0.26	0.39	0.33
1963-64	0.46	0.43	0.67	0.56	0.71	0.42	0.76	0.46	0.46	0.47	0.40	0.29
1964-65	0.76	0.59	0.74	0.69	0.64	0.47	0.46	0.35	0.29	0.34	0.46	0.40
1965-66	0.54	0.71	0.69	0.52	0.67	0.59	0.44	0.54	0.53	0.40	0.26	0.48
1966-67	0.69	0.56	0.73	0.60	0.45	0.61	0.44	0.51	0.47	0.46	0.46	0.31
1967-68	0.28	0.50	0.64	0.39	0.51	0.71	0.33	0.52	0.37	0.36	0.56	0.30
1968-69	0.56	0.69	0.60	0.40	0.74	0.40	0.53	0.38	0.54	0.46	0.63	0.37
1969-70	0.22	0.68	0.58	0.69	0.74	0.50	0.68	0.76	0.57	0.50	0.30	0.22
1970-71	0.40	0.63	0.78	0.59	0.51	0.71	0.57	0.46	0.57	0.28	0.29	0.56
1971-72	0.75	0.73	0.65	0.51	0.42	0.47	0.65	0.33	0.43	0.26	0.21	0.39
1972-73	0.49	0.65	0.44	0.50	0.65	0.69	0.56	0.54	0.37	0.36	0.34	0.60
1973-74	0.74	0.71	0.59	0.26	0.70	0.41	0.73	0.67	0.32	0.37	0.50	0.66
1974-75	0.81	0.73	0.43	0.36	0.47	0.43	0.66	0.45	0.52	0.31	0.28	0.21
1975-76	0.69	0.73	0.58	0.71	0.43	0.73	0.57	0.59	0.47	0.24	0.44	0.41
1976-77	0.68	0.71	0.68	0.74	0.52	0.60	0.62	0.18	0.18	0.18	0.68	0.66
1977-78	0.52	0.75	0.66	0.46	0.68	0.55	0.69	0.49	0.19	0.29	0.12	0.70
1978-79	0.40	0.51	0.70	0.70	0.75	0.61	0.77	0.59	0.50	0.28	0.52	0.28
1979-80	0.45	0.54	0.57	0.68	0.58	0.51	0.42	0.67	0.32	0.23	0.31	0.64
1980-81	0.59	0.66	0.52	0.58	0.69	0.55	0.60	0.65	0.38	0.28	0.40	0.63
1981-82	0.62	0.35	0.78	0.56	0.51	0.52	0.18	0.45	0.09	0.28	0.59	0.63
1982-83	0.36	0.36	0.46	0.40	0.70	0.38	0.50	0.52	0.32	0.15	0.25	0.62
1983-84	0.71	0.73	0.23	0.77	0.61	0.53	0.67	0.58	0.71	0.26	0.37	0.42
1984-85	0.15	0.61	0.55	0.69	0.53	0.43	0.69	0.49	0.38	0.30	0.29	0.27
1985-86	0.40	0.67	0.53	0.71	0.80	0.62	0.68	0.48	0.58	0.48	0.18	0.46
1986-87	0.48	0.19	0.72	0.68	0.57	0.45	0.58	0.60	0.50	0.55	0.25	0.30
1987-88	0.71	0.75	0.58	0.49	0.67	0.69	0.44	0.36	0.45	0.33	0.25	0.52
1988-89	0.46	0.67	0.41	0.23	0.75	0.53	0.64	0.49	0.25	0.33	0.24	0.47
1989-90	0.75	0.43	0.58	0.16	0.37	0.24	0.71	0.61	0.44	0.31	0.27	0.34
1990-91	0.51	0.65	0.73	0.51	0.72	0.45	0.41	0.46	0.26	0.21	0.25	0.56
1991-92	0.50	0.74	0.68	0.38	0.71	0.67	0.67	0.60	0.43	0.26	0.22	0.54
1992-93	0.55	0.50	0.69	0.51	0.66	0.72	0.82	0.56	0.63	0.29	0.29	0.34

Πίνακας 5.2. Συντελεστές προσδιορισμού r^2 ανά υδρολογικό έτος

60-61	61-62	62-63	63-64	64-65	65-66	66-67	67-68	68-69	69-70	70-71
0.62	0.81	0.68	0.72	0.78	0.75	0.69	0.63	0.72	0.74	0.75
71-72	72-73	73-74	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82
0.67	0.71	0.81	0.77	0.71	0.80	0.72	0.76	0.69	0.70	0.67
82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93
0.63	0.73	0.76	0.84	0.80	0.76	0.73	0.67	0.81	0.83	0.81

Από τις παραπάνω τιμές του r^2 (Πίνακας 5.2) εύκολα συμπεραίνετε ότι ο συντελεστής προσδιορισμού r^2 , κυμαίνεται από 0,62 για το υδρολογικό έτος 1960-61, έως 0,84 για το υδρολογικό έτος 1985-86.

Με αντικατάσταση των τιμών των συντεταγμένων (X, Y, Z) του κάθε φατνίου στη εξίσωση (5.1), καθώς και τον συντελεστών $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ και α , για κάθε μήνα, υπολογίστηκε κατόπιν η τιμή της βροχόπτωσης για κάθε μήνα, για κάθε φατνίο, για όλα τα υδρολογικά έτη καθώς και για όλες τις χρονικές διάρκειες μελέτης του φαινομένου, (1, 3, 6, 9 και 12 μηνών).

5.1.2. Υπολογισμός του δείκτη ξηρασίας S.P.I για κάθε φατνίο.

Ο υπολογισμός του SPI συντελέστηκε με την προσαρμογή των δεδομένων βροχόπτωσης, σε μια θεωρητική συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων. Η συνάρτηση η οποία έχει καλή εφαρμογή επί των χρονοσειρών κατακρημνισμάτων, είναι η γάμα κατανομή (Thom, 1958), η οποία ορίζεται από την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{για } x > 0 \quad (5.2)$$

- όπου: n ο αριθμός των παρατηρήσεων κάθε χρονοσειράς
 $x > 0$ η ποσότητα της βροχόπτωσης
 $\alpha > 0$ η παράμετρος σχήματος
 $\beta > 0$ η παράμετρος κλίμακας.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad \text{η γάμα συνάρτηση.}$$

Προκειμένου τα δεδομένα να ταιριάζουν όσο τον δυνατόν καλύτερα στην θεωρητική κατανομή πιθανοτήτων, απαιτείται η εκτίμηση των προηγούμενων παραμέτρων

Συνεπώς, για κάθε χρονοσειρά μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης, ανά σταθμό, υπολογίστηκε, ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση καθώς και οι παράμετροι: A, α, β, βάσει των παρακάτω σχέσεων.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (5.3)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (5.4)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (5.5)$$

Με ολοκλήρωση της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας, αφού έχουν προηγουμένως εκτιμηθεί οι παράμετροι α και β για κάθε χρονοσειρά μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης, υπολογίστηκε η αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας κάθε τιμής βροχόπτωσης και για όλες τις διάρκειες.

Η συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας πιθανότητας δίνεται από την σχέση:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x \chi^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (5.6)$$

Θέτοντας όπου $t=x/\beta$, η παραπάνω εξίσωση μετασχηματίζεται στην ημιτελή γάμα συνάρτηση:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x \chi^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (5.7)$$

Εφόσον η γάμα κατανομή είναι απροσδιόριστη για $\chi=0$ και $q=P(x=0)>0$, όπου $P(x=0)$ είναι η πιθανότητα μηδενικής βροχόπτωσης, η αθροιστική πιθανότητα γίνεται:

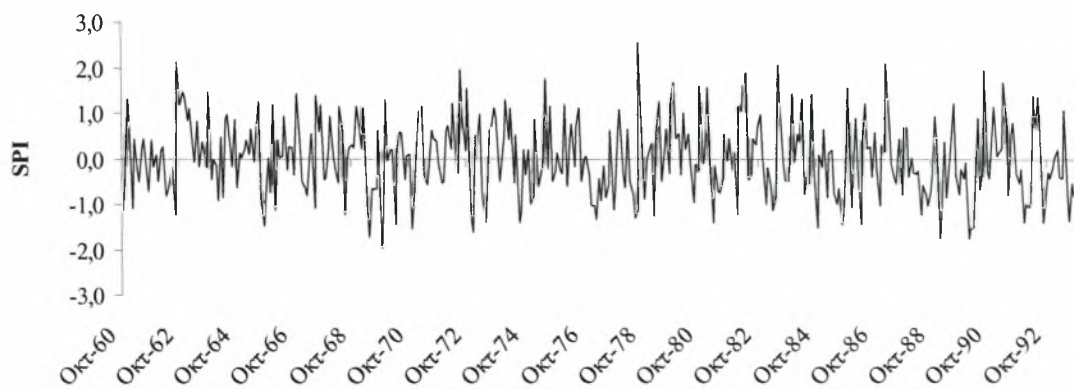
$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (5.8)$$

Αν m είναι ο αριθμός των μηδενικών σε μια χρονοσειρά βροχόπτωσης, τότε το q μπορεί να εκτιμηθεί από την σχέση m/n , όπου n ο αριθμός των παρατηρήσεων. (Thom, 1996).

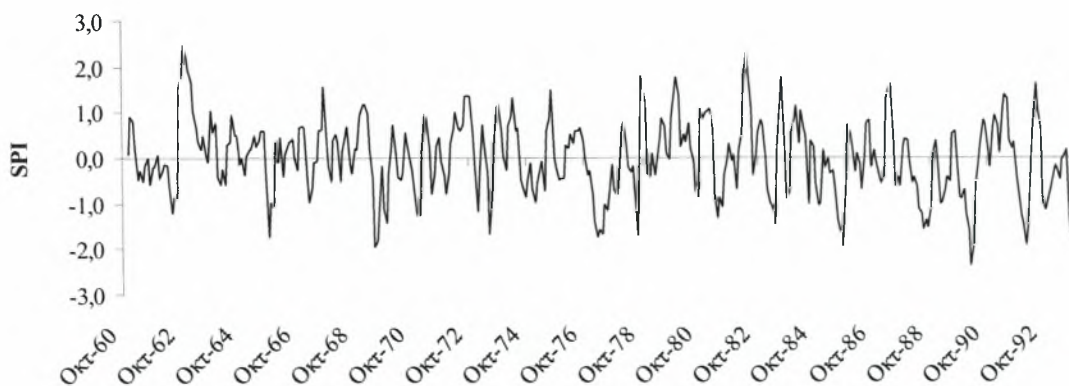
Η αθροιστική κατανομή πιθανοτήτων μετασχηματίζεται στην συνέχεια σε τυπική κανονική κατανομή, με μέσο όρο μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με ένα. Το μέγεθος της απόκλισης από τον μέσο όρο δίνει την τιμή του SPI. Τα αποτελέσματα ομαδοποιούνται σε πίνακες (έναν για κάθε διάρκεια) όπου παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη SPI ανά φατνίο, ανά μήνα και για κάθε υδρολογικό έτος.

5.1.3. Χρονική ανάλυση της ξηρασίας.

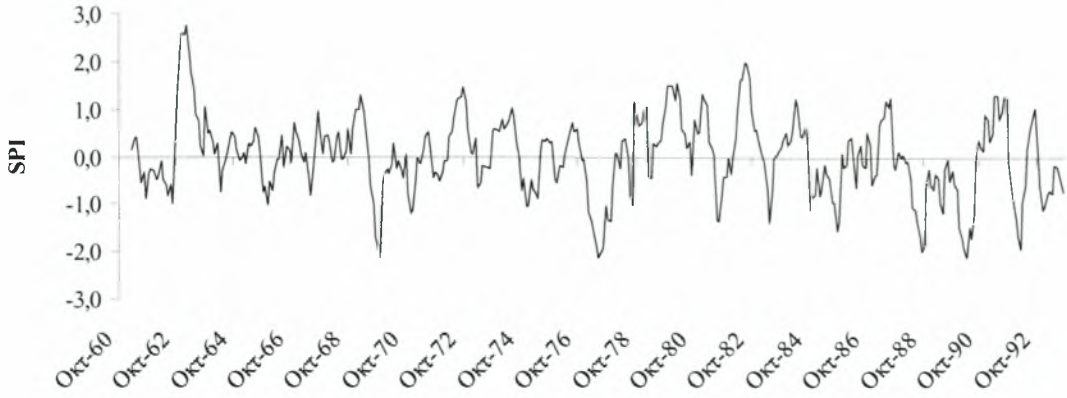
Από τους πίνακες με τιμές SPI ανά μήνα και ανά έτος και για κάθε διάρκεια (1, 3, 6, 9 και 12-μηνών), υπολογίστηκε με την μέση επιφανειακή βροχόπτωση της περιοχής μελέτης υπολογίστηκε η μέση τιμή του δείκτη, ανά μήνα για όλη την περιοχή. Οι χρονοσειρές των μέσων μηνιαίων τιμών SPI (1, 3, 6, 9 και 12-μηνών) απεικονίσθηκαν γραφικά (Σχήματα 5.2 - 5.6).



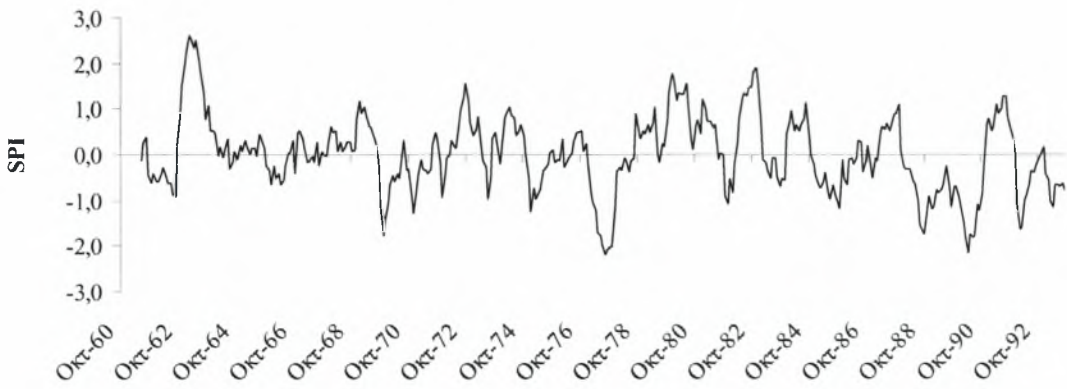
Σχήμα 5.2. Χρονική μεταβολή του δείκτη ξηρασίας SPI, 1-μηνός.



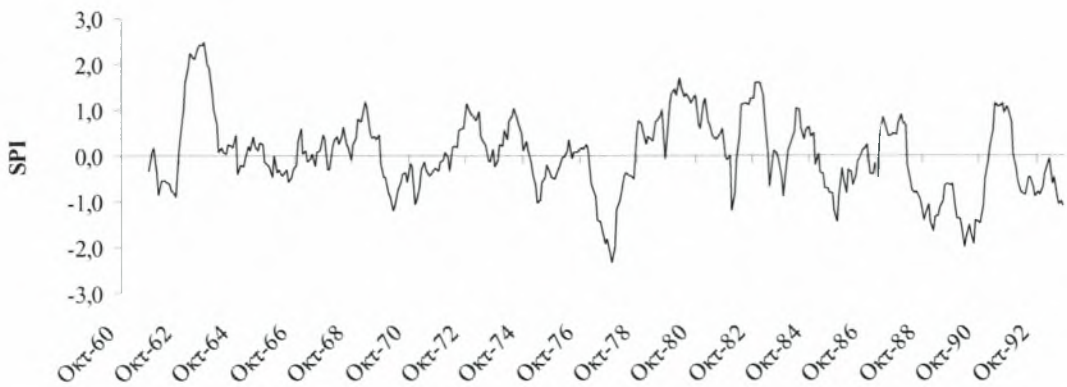
Σχήμα 5.3. Χρονική μεταβολή του δείκτη ξηρασίας SPI, 3-μηνών.



Σχήμα 5.4. Χρονική μεταβολή του δείκτη ξηρασίας SPI, 6-μηνών.



Σχήμα 5.5. Χρονική μεταβολή του δείκτη ξηρασίας SPI, 9-μηνών.



Σχήμα 5.6. Χρονική μεταβολή του δείκτη ξηρασίας SPI, 12-μηνών.

5.1.4. Πιθανοθεωρητική ανάλυση της ξηρασίας.

Προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την συχνότητα επανεμφάνισης ακραίων γεγονότων ξηρασίας προχωρήσαμε στην ανάλυση συχνότητας του δείκτη SPI. Η ανάλυση συχνότητας χρησιμοποιείται συνήθως στην υδρολογία και στην μετεωρολογία για την αποτίμηση των περιόδων επαναφοράς συγκεκριμένων γεγονότων. Αποσκοπεί στο να επεκτείνει αξιόπιστα τα διαθέσιμα δεδομένα με την βοήθεια στατιστικών μεθόδων και έτσι, με βάση ένα ορισμένο σύνολο τους, να προβλεφθεί η πιθανή συχνότητα με την οποία πραγματοποιείται το γεγονός αυτό. Η μέθοδος της ανάλυσης συχνότητας, που οδηγεί στον καθορισμό της πιθανότητας επανεμφάνισης ενός ακραίου γεγονότος ξηρασίας, στηρίζεται στον προσδιορισμό της συνάρτησης κατανομής, η οποία ταιριάζει καλύτερα στο πλήθος των τιμών, που έχουν μετρηθεί. Από τις διάφορες κατανομές που κατά καιρούς έχουν παρουσιαστεί, μεγάλη εφαρμογή βρήκε η κατανομή ακραίων τιμών I (EVI, Gumbel) διότι: **1)** γενικά αποδίδει σε μεγάλο βαθμό την δριμύτητα της ξηρασίας τόσο σε ετήσια όσο και σε μηνιαία βάση, **2)** είναι μια διπαραμετρική κατανομή πιθανότητας όπου οι τιμές των παραμέτρων μπορούν να εκτιμηθούν με μικρότερη αβεβαιότητα, ειδικά για μικρά δείγματα και **3)** συνήθως χρησιμοποιείται στην ανάλυση της ξηρασίας, (Gottschalk και Perzyna, 1993; Lana και Burgueno, 1998; Henriques και Santos, 1999; Kim et al., 2002). Βασίζεται στην παραδοχή ότι δεν υπάρχει ακραία τιμή που δεν μπορεί να ξεπεραστεί από κάποια άλλη. Στην περίπτωση της ξηρασίας οι ελάχιστες τιμές του δείκτη SPI είναι οι ακραίες τιμές και ο προσδιορισμός της κατανομής της το ζητούμενο. Με βάση την προτεινόμενη μεθοδολογία αναπτύσσονται σχέσεις μεταξύ της δριμύτητας ξηρασίας, έκτασης επηρεασμού και συχνότητας εμφάνισης του δείκτη για κάποιο συγκεκριμένο μέρος.

5.1.5. Χωρική κατανομή ξηρασίας .

A. Ετήσια ανάλυση της ξηρασίας.

Για κάθε χρονική κλίμακα μελέτης του φαινομένου (1, 3, 6, 9 και 12 μηνών) και από τους πίνακες με τις τιμές του δείκτη SPI ανά grid, ανά μήνα και για κάθε υδρολογικό έτος υπολογίστηκε:

- a) Το πλήθος των grid ανά μήνα, όπου εμφανίζεται ξηρασία (αρνητικές τιμές SPI).
- b) Το ποσοστό (%) της συνολικής έκτασης που πλήττεται από ξηρασία στο συγκεκριμένο μήνα.

ε) Η μέση τιμή του δείκτη SPI που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο ποσοστό έκτασης.

Για κάθε μήνα κάθε υδρολογικού έτους η μέση τιμή του SPI κατανέμεται σε αντίστοιχα ποσοστά έκτασης. Η συνολική έκταση της λεκάνης διαχωρίζεται σε δέκα κλάσεις ποσοστών με κάτω όριο κάθε κλάσης 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% αντίστοιχα και άνω όριο όλων των κλάσεων το σύνολο της έκτασης. Ο μέσος SPI για κάθε μήνα αποτελεί και τον SPI κάθε κλάσης μέχρι του ποσοστού έκτασης που πλήττεται από ξηρασία. Η όλη διαδικασία επαναλαμβάνετε για όλες τις χρονικές κλίμακες εξέτασης του φαινομένου. Προκύπτουν έτσι έξι πίνακες, ένας για κάθε διάρκεια, με τιμές SPI ανά μήνα και ανά κλάση.

Από τις τιμές του δείκτη ξηρασίας ανά έτος και ανά ποσοστό έκτασης, υπολογίστηκε κατόπιν, ο δείκτης ξηρασίας SPI για κάθε έτος ξεχωριστά και για κάθε ποσοστό έκτασης. Ο εκτίμηση του ετήσιου δείκτη SPI, έγινε ακολουθώντας δυο διαφορετικές προσεγγίσεις

α) Με άθροιση των αρνητικών τιμών του δείκτη (ξηροί μήνες) ανά υδρολογικό έτος και ανά κλάση και πολλαπλασιασμό του αθροίσματος με την πιθανότητα εμφάνισης ξηρασίας για κάθε έτος. Ο υπολογισμός της ετήσιας πιθανότητας εμφάνισης ξηρασίας εκτιμήθηκε διαιρώντας τον αριθμό των μηνών του έτους που παρουσιάζουν αρνητικές τιμές SPI με το 12 (Kim et al., 2002). Λήφθηκε έτσι, η **σταθμισμένη ετήσια αθροιστική δριμύτητα ξηρασίας**. Με την ανάλυση αυτή κάθε γεγονός ξηρασίας κατανέμεται ομαλά στο συγκεκριμένο έτος, αποφεύγοντας τις ασυνέχειες, η δε διάρκεια των ξηρών γεγονότων εντός του συγκεκριμένου έτους εξυπακούεται ότι λαμβάνεται υπόψη.

β) Ανά υδρολογικό έτος και για κάθε κλάση υπολογίστηκε η **μέση ετήσια δριμύτητα ξηρασίας**. Το άθροισμα των μηνιαίων τιμών SPI σε περιόδους ξηρασίας (αρνητικές τιμές) διαιρέθηκε με το 12. Ο δείκτης κατανεμήθηκε ισόποσα σε κάθε μήνα εντός του έτους, μη λαμβάνοντας υπόψη την διάρκεια της ξηρασίας εντός του συγκεκριμένου έτους. Αυτό σημαίνει ότι ένα ακραίο γεγονός ξηρασίας το οποίο διαρκεί λίγους μήνες μπορεί να έχει την ίδια αντιπροσώπευση με μια μακράς διάρκειας μέτρια ξηρή περίοδο. Οπωσδήποτε η ανάλυση αυτή υποδηλώνει, κατά μέσο όρο πόσο ξηρό είναι ένα συγκεκριμένο έτος. Η ανάλυση αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από κοινού με την προηγούμενη εκτίμηση της σταθμισμένης αθροιστικής δριμύτητας ξηρασίας προκειμένου να αποτιμηθούν τα αποτελέσματα των διαρκειών ξηρασίας.

Η όλη διαδικασία επαναλήφθηκε για όλες τις χρονικές κλίμακες και προέκυψαν έτσι πίνακες τιμών SPI για κάθε υδρολογικό έτος, κλάση και χρονική κλίμακα.

B. Μηνιαία ανάλυση της ξηρασίας.

Όπως είναι γνωστό το φαινόμενο μελετάται για πέντε διάρκειες, δηλαδή 1, 3, 6, 9 και 12 μηνών. Από τους πίνακες τιμών SPI για κάθε διάρκεια, ανά μήνα για όλα τα grids της υπό μελέτη περιοχής και για όλα τα υδρολογικά έτη, προκύπτουν 60 πίνακες με τιμές SPI ανά grid για κάθε μήνα και για κάθε διάρκεια. Στη συνέχεια χωρίζονται τις τιμές που μπορεί να λάβει ο δείκτης SPI σε έξι ισομεγέθεις κλάσεις με εύρος κάθε κλάσης 0,5. Είναι: $0 \leq \text{SPI} < -0.5$, $-0.5 < \text{SPI} \leq -1$, $-1.5 \leq \text{SPI} < -1$, $-2 \leq \text{SPI} < -1.5$. Με βάση την ταξινόμηση σε κλάσεις, προκύπτουν συνολικά 300 πίνακες SPI ανά grid για κάθε μήνα κάθε διάρκεια και κάθε κλάση. Για καθ' έναν από τους παραπάνω πίνακες υπολογίζεται η μέση τιμή του SPI ανά μήνα στην υπό μελέτη έκταση καθώς και το ποσοστό έκτασης που επηρεάζει. Από τις χρονοσειρές των ποσοστών έκτασης ανά κλάση SPI και ανά μήνα και για όλες τις διάρκειες, προκύπτουν 60 πίνακες με ποσοστά έκτασης ανά κλάση SPI για κάθε μήνα ξεχωριστά, για όλα τα έτη, καθώς και για όλες τις διάρκειες.

Το ποσοστό της έκτασης της λεκάνης το οποίο επηρεάζεται από συγκεκριμένη ξηρασία δεν είναι σταθερό. Έτσι, υπάρχουν τιμές δείκτη ξηρασίας που εμφανίζονται κοινά σε όλη την έκταση και άλλες σε μικρότερο ποσοστό αυτής. Προκειμένου να δειχτεί το μέγεθος έκτασης που επηρεάζεται από συγκεκριμένη ξηρασία, η έκταση ισοκατανέμεται σε ποσοστά επί τοις εκατό με βήμα 10%.

Έτσι, καταρτίζονται πίνακες εμφανίζοντες τις τιμές του SPI για ποσοστό έκτασης μικρότερο του 10%, μικρότερο του 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 100%, για όλα τα έτη κάθε μήνα. Λόγω της εμφάνισης πολύ μικρού αριθμού τιμών καθώς και σχεδόν μηδενικών τιμών στις τρεις τελευταίες κλάσεις, κρίνεται απαραίτητη η ομαδοποίηση των τριών τελευταίων ποσοστών έκτασης σε ένα, με ποσοστό έκτασης μικρότερο του 100% και με τιμή SPI ανά έτος, την μέση τιμή από τις αντίστοιχες τιμές των κλάσεων που ομαδοποιήθηκαν. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλους τους μήνες και για όλες τις διάρκειες υπολογισμού του SPI. Προκύπτουν λοιπόν πίνακες, με τιμές SPI ανά μήνα, ανά ποσοστό έκτασης, για όλα τα έτη και για όλες τις διάρκειες..

5.1.6. Εύρεση καμπυλών SAF.

Οι χρονοσειρές τιμών SPI ανά μήνα, ανά ποσοστό έκτασης και για κάθε διάρκεια προσαρμόζονται κατόπιν την κατανομή ακραίων τιμών Gumbel. Η μεθοδολογία που ακολουθείται τόσο για την προσαρμογή της στατιστικής κατανομής στα δεδομένα

μας όσο και για την εξαγωγή των καμπυλών Δριμύτητας Ξηρασίας – Ποσοστού Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς (S.A.F) περιγράφεται αναλυτικά αμέσως παρακάτω.

- **Προσαρμογή στατιστικής κατανομής.** Για κάθε μια χρονοσειρά τιμών SPI, (Ετησίων και Μηνιαίων) διάρκειας 1,3,6,9 και 12 μηνών προσαρμόστηκε η κατανομή Gumbel: Οι απόλυτες τιμές των δεδομένων ανά κλάση κατατάχθηκαν κατά φθίνουσα σειρά. Υπολογίστηκε για κάθε μια από αυτές η περίοδος επαναφοράς με βάση τον τύπο:

$$T = \frac{n+1}{m} \quad (5.9)$$

όπου T η περίοδος επαναφοράς, n το πλήθος των παρατηρήσεων του κάθε δείγματος (στην περίπτωση μας, $n=32$) και m η σειρά κατάταξης κάθε παρατήρησης. Στην συνέχεια και με βάση την περίοδο επαναφοράς υπολογίστηκε η πιθανότητα επανεμφάνισης κάθε μιας των παρατηρήσεων βάση του τύπου:

$$P = \frac{1}{T} \quad (5.10)$$

και από αυτό υπολογίστηκε η Μειωμένη μεταβλητή χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$Y = -\ln[-\ln(1-P)] \quad (5.11)$$

ο παράγοντας συχνότητας

$$K_t = 0.7797y - 0.45 \quad (5.12)$$

και τέλος η εκτιμώμενη κατά Gumbel τιμή του SPI:

$$X_t = X_m + K_t \cdot T_A \quad (5.13)$$

όπου X_m ο μέσος όρος κάθε χρονοσειράς και T_A η αντίστοιχη τυπική απόκλιση.

- **Διαγράμματα Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης(%) – Περιόδου επαναφοράς.**

Κάθε τιμή της χρονοσειράς ανά κλάση σταθμίστηκε με πολλαπλασιασμό κάθε τιμής με το πλήθος των τιμών των μεγαλύτερων του μηδενός και διαίρεση με τον αριθμό των υδρολογικών ετών. Εφαρμόζοντας τα παραπάνω για περιόδους επανεμφάνισης του φαινομένου 2, 5, 10, 20, 50 και 100 χρόνια και για κάθε διάρκεια, εξάγονται οι τιμές του δείκτη SPI που αντιστοιχούν στις παραπάνω περιόδους επαναφοράς. Τα σημεία τοποθετούνται σε διάγραμμα όπου στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται η δριμύτητα της Ξηρασίας μέσω του

δείκτη SPI και στο οριζόντιο τα αντίστοιχα ποσοστά έκτασης επηρεασμού Τα σημεία που έχουν την ίδια περίοδο επανεμφάνισης ενώνονται με καμπύλες δημιουργώντας έτσι τα διαγράμματα *Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης(%) – Περίοδου επαναφοράς*.

5.1.7. Ανάλυση ιστορικών γεγονότων ξηρασίας.

Για να ελεγχθεί η χρησιμότητα του δείκτη SPI στην αποτύπωση του φαινομένου της ξηρασίας τόσο χωρικά όσο και χρονικά έγινε έλεγχος του με βάση γνωστά γεγονότα ξηρασίας. Από τις τιμές βροχόπτωσης ανά φαινίον και ανά μήνα, υπολογίσθηκε η μέση βροχόπτωση της λεκάνης ανά μήνα. Δημιουργήθηκε έτσι χρονοσειρά μέσω μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης για όλη τη λεκάνη από όπου υπολογίσθηκε κατόπιν η αθροιστική βροχόπτωση κάθε υδρολογικού έτους. Με τον τρόπο αυτό, προέκυψε πίνακας με τιμές βροχόπτωσης ανά μήνα υδρολογικού έτους. Με βάση τις τιμές αυτές, ξηρότερο έτος είναι το υδρολογικό έτος 1976-1977 με αθροιστική βροχόπτωση περίπου 521 mm τη στιγμή που η κανονική βροχόπτωση της περιοχής μελέτης υπολογίστηκε σε 760 mm περίπου.

Η ξηρασία, όμως ως φαινόμενο, έχει επιπτώσεις στον άνθρωπο και το ανθρώπινο περιβάλλον όχι τόσο λόγω της έντασής της όσο από συνδυασμό έντασης και διάρκειας. Τα παραπάνω συμπεράσματα οδήγησαν στην ανάγκη μελέτης του φαινομένου σε μεγαλύτερες του έτους χρονικές διάρκειες. Υπολογίσθηκε η αθροιστική βροχόπτωση πενταετίας και προσδιορίστηκε η ξηρότερη πενταετία (87-92). Το ξηρότερο έτος συγκεκριμένης πενταετίας είναι το 1989-1990 με μέση ετήσια αθροιστική βροχόπτωση 533 mm.

5.2. Υδρολογική ξηρασία.

Όπως προαναφέρθηκε, η ξηρασία είναι ένα σύνθετο φαινόμενο. Ο δείκτης SPI, όπως υπολογίστηκε παραπάνω, μας δίνει μια εικόνα της μετεωρολογικής ξηρασίας. Για να περιγραφεί με σχετική πληρότητα το φαινόμενο της ξηρασίας σε ένα σημείο - σταθμό, πέραν του δείκτη μετεωρολογικής ξηρασίας (SPI) και της χρονικής κλίμακας μελέτης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας επιπλέον δείκτης ο οποίος περιγράφει την ξηρασία βάσει δεδομένων παροχής. Ο βαθμός συσχέτισης των δυο αυτών δεικτών μπορεί να δώσει μια εικόνα του κατά πόσο γεγονότα ξηρασίας περιγράφονται ικανοποιητικά με την χρήση του δείκτη SPI.

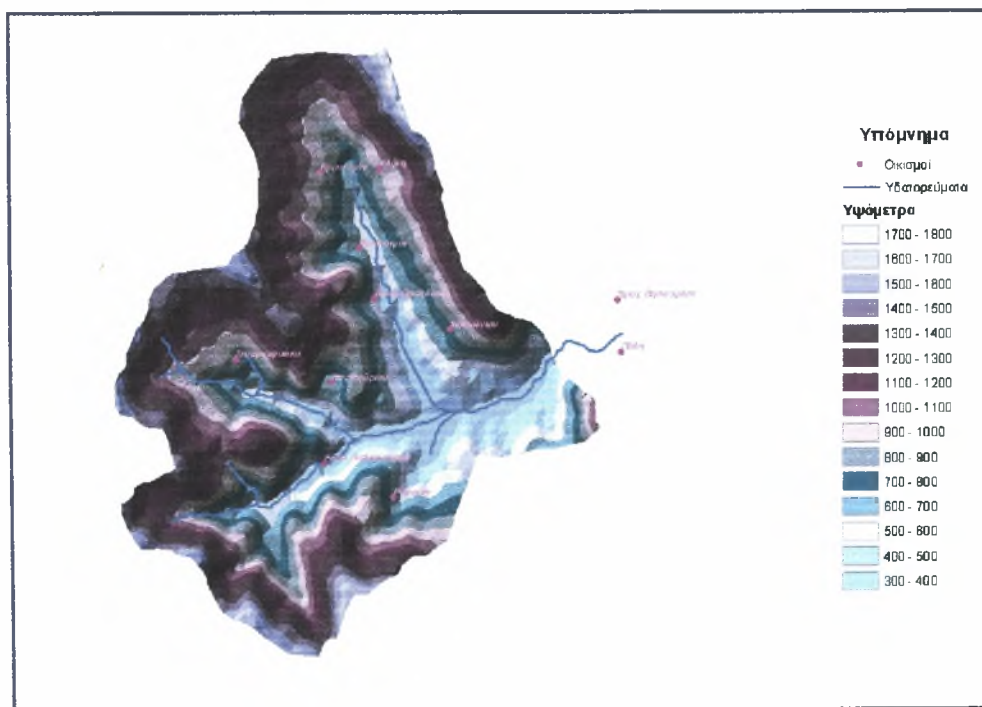
μπορεί να δώσει μια εικόνα του κατά πόσο γεγονότα ξηρασίας περιγράφονται ικανοποιητικά με την χρήση του δείκτη SPI.

Στην παρούσα μελέτη η συσχέτιση υπολογίσθηκε στις υπολεκάνες Λάρισας και Πύλης της μείζονος λεκάνης απορροής της Θεσσαλίας και για την χρονική περίοδο Οκτ-60 έως Σεπ-93 η οποία είναι και η χρονική περίοδος εκτίμησης του δείκτη μετεωρολογικής ξηρασίας SPI.

5.2.1. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά λεκανών απορροής.

- **Λεκάνη απορροής Πύλης.**

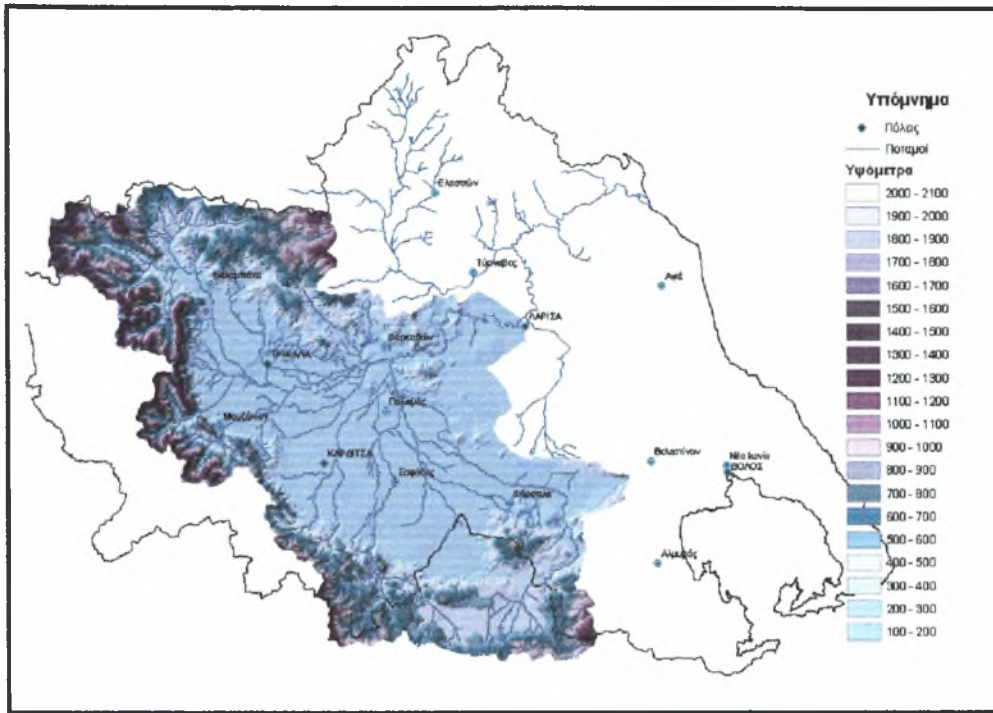
Η λεκάνη απορροής της Πύλης βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της ευρύτερης λεκάνης του Πηνειού και υπάγεται διοικητικά στο νομό Τρικάλων (Σχήμα 5.7). Πρόκειται για ορεινή λεκάνη με μεγάλες κλίσεις εδάφους. Εκτείνεται σε μεγάλα υψόμετρα από 264 m έως 1736 m, με μέσο υψόμετρο τα 949 m. Η έκταση της λεκάνης απορροής είναι 134 km². Διαρρέετε από τον ποταμό Πορταϊκό ο οποίος πηγάζει από το ορεινό συγκρότημα της Πίνδου και εισέρχεται στην θεσσαλική πεδιάδα όπου συμβάλει στον ποταμό Πηνειό. Πρόκειται για μια μέσου μεγέθους λεκάνη με ποικίλο ανάγλυφο, σημαντικό ορεινό δυναμικό βροχόπτωσης και κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών καλύπτεται από σημαντικές ποσότητες χιονιού.



Σχήμα 5.7. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της υπολεκάνης απορροής της Πύλης.

- **Λεκάνη απορροής Λάρισας.**

Η υπολεκάνη της Λάρισας αποτελεί μέρος της λεκάνης απορροής του ποταμού Πηνειού. (Σχήμα 5.8). Στην ουσία καταλαμβάνει όλο το Δυτικό και το μεγαλύτερο μέρος του νοτίου τμήματός της. Η έκταση της λεκάνης είναι ίση με 6591.3 km². Ορίζεται στα βόρεια από τον ορεινό όγκο των Χασίων, στα δυτικά και νοτιοδυτικά από το Θεσσαλικό τμήμα της οροσειράς της Πίνδου και στα νότια από τα όρη της Όθρυς. Διαρρέετε από όλους τους μεγαλύτερους και κυριότερους παραπόταμους του Πηνειού, με εξαίρεση τον Τιταρήσιο και το χείμαρρο Γκοσμπασανιώτικο. Το μεγαλύτερο και κυριότερο μέρος της λεκάνης ταυτίζεται με τη δυτική Θεσσαλική πεδιάδα και περιλαμβάνει τις πεδιάδες Τρικάλων, Καρδίτσας, και Σοφάδων. Στα βόρεια, δυτικά και νότια όριά της είναι ορεινή, δασοσκεπής, με έντονο ανάγλυφο και με μεγάλες υψομετρικές διακυμάνσεις. Στα ανατολικά, οριοθετείται από τις λοφοσειρές της κεντρικής Θεσσαλικής πεδιάδας και τα χαμηλά Χαλκοδόνια όρη. Το κεντρικό της τμήμα είναι πεδινό με μηδενικές ή πολύ μικρές κλίσεις. Εκατέρωθεν της κοίτης του Πηνειού και ανάντη της εξόδου της λεκάνης εντοπίζονται οι μεγάλοι με υψηλή στάθμη υπόγειοι υδροφορείς Τρικάλων και Καρδίτσας. Το κλίμα των ορεινών περιοχών χαρακτηρίζεται ως ηπειρωτικό με θερμά καλοκαίρια, ψυχρούς χειμώνες, υψηλές βροχοπτώσεις και έντονη χιονοκάλυψη. Αντίθετα, στα πεδινά παρατηρούνται πολύ θερμά καλοκαίρια, ψυχροί χειμώνες, πολύ λίγες χιονοπτώσεις και συχνές και μεγάλες περιόδους ξηρασίας. Στην περιοχή, εκτός των υδάτων των φυσικών υδατορευμάτων, εκτρέπεται μέσω του φράγματος Ν. Πλαστήρα μέρος των υδάτων του Ταυρωπού ποταμού που, φυσιολογικά, κατέληγαν στην λεκάνη απορροής του Αχελώου ποταμού.



Σχήμα 5.8. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους της υπολεκάνης απορροής της Λάρισας.

5.2.2. Υπολογισμός του μηνιαίου δείκτη SPI για κάθε υπολεκάνη.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η λεκάνη απορροής της Θεσσαλίας έχει χωριστεί σε φατνία (grind), διαστάσεων 8 X 8 km με τη χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (Arc View). Για κάθε μια από τις υπολεκάνες απορροής Πύλης και Λάρισας, προσδιορίστηκαν εκείνα τα grinds τα οποία συμμετέχουν σ' αυτές.

Από τους πίνακες με τιμές SPI ανά grind και ανά μήνα για όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο και για διάρκειες 1,3,6,9, και 12 μηνών, εξήχθησαν οι χρονοσειρές τιμών SPI για κάθε grind των εξεταζόμενων υπολεκανών. Κατόπιν υπολογίστηκε η τιμή του δείκτη δριμύτητας ξηρασίας SPI ανά μήνα, για το σύνολο της κάθε υπολεκάνης από τις τιμές του δείκτη ξηρασίας καθενός από τα grinds που συμμετέχουν στην συγκεκριμένη υπολεκάνη. Για το υπολογισμό του δείκτη ακολουθήθηκαν οι παρακάτω δυο μεθοδολογίες.

- **Μέθοδος του αριθμητικού μέσου όρου.**

Είναι η πιο απλή μέθοδος υπολογισμού του δείκτη SPI ανά μήνα. Με την μέθοδο αυτή οι τιμές του δείκτη SPI ανά μήνα και για κάθε φατνίο αθροίσθησαν και το άθροισμα τους διαιρέθηκε με το πλήθος των φατνίων της υπολεκάνης.

$$SPI_{\text{μέσο}} / \text{μήνα} = \frac{SPI_1 + SPI_2 + SPI_3 + \dots + SPI_n}{n} \quad (5.14)$$

Όπου: $SPI_1, SPI_2, SPI_3, \dots, SPI_n$ οι αντίστοιχες μηνιαίες τιμές του δείκτη για κάθε φατνίο και n το πλήθος των φατνίων κάθε υπολεκάνης.

Παρήχθησαν έτσι χρονοσειρές μέσω των μηνιαίων τιμών SPI για το σύνολο της υπολεκάνης και για κάθε διάρκεια (1,3,6,9, και 12 μηνών).

- **Μέθοδος του σταθμισμένου αριθμητικού μέσου όρου.**

Με την μέθοδο αυτή για τον υπολογισμό του δείκτη SPI ανά μήνα για το σύνολο της υπολεκάνης, λαμβάνεται υπόψη και η έκταση του κάθε φατνίου που βρίσκεται εντός των γεωγραφικών ορίων της λεκάνης. Η μέση μηνιαία τιμή του δείκτη SPI προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους μηνιαίων τιμών του δείκτη, πολλαπλασιαζόμενες επί τους αντιστοίχους συντελεστές στάθμισης σύμφωνα με την αμέσως επόμενη σχέση.

$$SPI_{\text{ολικό}} = \left(\frac{A_1}{A_{\text{ολ}}} \right) SPI_1 + \left(\frac{A_2}{A_{\text{ολ}}} \right) SPI_2 + \left(\frac{A_3}{A_{\text{ολ}}} \right) SPI_3 + \dots + \left(\frac{A_n}{A_{\text{ολ}}} \right) SPI_n \quad (5.15)$$

Όπου: $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ η έκταση κάθε ενός από τα φατνία εντός της υπολεκάνης, $SPI_1, SPI_2, SPI_3, \dots, SPI_n$ οι αντίστοιχες τιμές του δείκτη για κάθε φατνίο και $A_{\text{ολ}}$ η συνολική έκταση της υπολεκάνης.

Για την υπολεκάνη της Λάρισας ο υπολογισμός του μέσου μηνιαίου δείκτη SPI , συντελέσθει μόνο βάσει της μεθόδου του αριθμητικού μέσου όρου. Η έκταση της λεκάνης είναι αρκετά μεγάλη ώστε, τυχόν τμήματα των φατνίων τα οποία βρίσκονται εκτός των γεωγραφικών ορίων της λεκάνης να έχουν αμελητέα επίδραση στην διαδικασία υπολογισμού του SPI .

5.2.3. Υπολογισμός υδρολογικού δείκτη ξηρασίας $Z_{i,j}$.

Όπως έχει ήδη αναλυθεί διεξοδικά στην παράγραφο 5.1.2 τα δεδομένα βροχόπτωσης βάσει συγκεκριμένης μεθοδολογίας προσαρμόστηκαν σε κανονική κατανομή και ακολούθως η κανονική κατανομή μετασχηματίστηκε στην τυποποιημένη κανονική κατανομή, με μέσο όρο 0 και τυπική απόκλιση 1. Η απόσταση κάθε τιμής από το μέσο όρο εκφραζόμενη σε τυπικές αποκλίσεις δίνει την τιμή του δείκτη SPI . Προκειμένου να βρεθεί ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ του δείκτη SPI και ενός δείκτη βασιζόμενου σε δεδομένα παροχής θα πρέπει τα δεδομένα παροχής να μετασχηματιστούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ταιριάξουν όσο το δυνατόν σε μια κανονική κατανομή και στην συνέχεια να μετασχηματισθούν στην αντίστοιχη τυπική κατανομή. Τα δεδομένα, τιμές SPI και τιμές $Z_{i,j}$, μπορούν τότε να είναι συγκρίσιμα και να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα.



Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την προσαρμογή των παροχομετρικών δεδομένων σε τυποποιημένη κανονική κατανομή, είναι η *Box –Cox Transformation* (Box and Cox, 1964). Η προσαρμογή έγινε για μηνιαίες χρονοσειρές παροχών για το σύνολο των υδρολογικών ετών Οκτ 1960 έως Σεπ 1993 και στους σταθμούς μέτρησης παροχής Πύλης και Λάρισας των αντίστοιχων λεκανών απορροής.

- **Box – Cox Transformation.**

Από τις μέσες μηνιαίες τιμές παροχής κάθε υδρολογικού έτους, των παροχομετρικών σταθμών Πύλης και Λάρισας των αντίστοιχων λεκανών απορροής, δημιουργήθηκαν χρονοσειρές με τιμές παροχής ανά μήνα, για κάθε έτος. Για κάθε χρονοσειρά μηνιαίων τιμών υπολογίστηκε η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, η ασυμμετρία της χρονοσειράς, καθώς και η διάμεσος.

Κάθε τιμή της χρονοσειράς μέσω του μετασχηματισμού **Box–Cox**, μετασχηματίζεται στην αντίστοιχη τιμή του $Z_{i,j}$

$$Z_{i,j} = \frac{X_{i,j}^{\lambda_i} - 1}{\lambda_i} \quad \text{για } \lambda \neq 0 \quad (5.16)$$

$$Z_{i,j} = \ln(X_{i,j}) \quad \text{για } \lambda=0 \quad (5.17)$$

Ο παραπάνω μετασχηματισμός αποσκοπεί στο μετασχηματισμό των τιμών της απορροής σε τιμές $Z_{i,j}$ οι οποίες ακολουθούν κανονική κατανομή.

Όπου $X_{i,j}^{\lambda_i}$ η παροχή το i μήνα και j έτος και λ_i ο συντελεστής μετασχηματισμού του οποίου η τιμή του θα πρέπει να υπολογισθεί, ώστε η κατανομή του $Z_{i,j}$ να προσεγγίζει όσο το δυνατόν την κανονική κατανομή.

Για κάθε τιμή της χρονοσειράς υπολογίστηκε η πιθανότητα υπέρβασης από την σχέση :

$$P = \frac{n}{m+1} \quad (5.18)$$

όπου P η πιθανότητα υπέρβασης, n το πλήθος των παρατηρήσεων του κάθε δείγματος (στην περίπτωση μας, $n=34$) και m η σειρά κατάταξης κάθε παρατήρησης.

Από την πιθανότητα υπέρβασης P , υπολογίστηκε η πιθανότητα μη υπέρβασης από την σχέση :

$$P(X < x) = 1 - P \quad (5.19)$$

Ακολούθησε ο υπολογισμός της συνάρτησης αθροιστικής κατανομής για κάθε τιμή $Z_{i,j}$, η οποία δίνει την πιθανότητα η τυχαία τιμή $Z_{i,j}$, που ακολουθεί κανονική κατανομή, να έχει τιμή μικρότερη ή ίση με την τιμή $Z_{i,j}$ (πιθανότητα μη υπέρβασης), καθώς και ο υπολογισμός της πιθανότητας η τιμή του $Z_{i,j}$ να έχει τιμή μεγαλύτερη της $Z_{i,j}$ (πιθανότητα υπέρβασης). Η διάφορα των πιθανοτήτων μη υπέρβασης, υψωμένη στο τετράγωνο αποδίδει ένα σύνολο τιμών, από το οποίο εξάγουμε το άθροισμα το οποίου η ελαχιστοποίηση προσδιορίζει την τιμή του λ στην εξίσωση 5.16.

5.3. Διερεύνηση της σχέσης μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας.

Για την εύρεση του βαθμού συσχέτισης μεταξύ του δείκτη $Z_{i,j}$ και του δείκτη SPI για κάθε χρονική κλίμακα, χρησιμοποιήθηκε α) ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson, r (εξίσωση 5.7) και β) ο συντελεστής συσχέτισης ρ (εξίσωση 5.8).

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n\sum x^2 - (\sum x)^2}\sqrt{n\sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (5.20)$$

Όπου x και y οι αντίστοιχες τιμές του δείκτη $Z_{i,j}$ και SPI .

$$\rho = \frac{Cov(Z_{i,j}, SPI)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{Cov(Z_{i,j}, SPI)}{\sqrt{Var(Z_{i,j})Var(SPI)}} \quad (5.21)$$

Όπου $Cov(Z_{i,j}, SPI) = \frac{1}{N} \sum (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)$ η συνδιακύμανση των μεταβλητών $Z_{i,j}$ και SPI , με μ_x και μ_y οι αριθμητικοί μέσοι των τιμών της $Z_{i,j}$ και SPI αντίστοιχα και σ_x, σ_y οι αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών $Z_{i,j}, SPI$. Είναι $Var(Z_{i,j}) = \sigma_x^2$, $Var(SPI) = \sigma_y^2$.

Τα αποτελέσματα δίνονται στο παρακάτω πίνακα (Πίνακα. 5.3)

Πίνακας 5.3. Συντελεστές συσχέτισης r και ρ , μεταξύ του δείκτη SPI και $Z_{i,j}$ για τις λεκάνες απορροής, Λάρισας και Πύλης. Με έντονη γραμματοσειρά φαίνονται οι αντίστοιχες μέγιστες τιμές των συντελεστών συσχέτισης.

	ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ ΠΥΛΗΣ					ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ ΛΑΡΙΣΑΣ			
	r		ρ			r		ρ	
<i>SPI-1</i>	0.292	0.249	0.541	0.499	<i>SPI-1</i>		0.167		0.408
<i>SPI-3</i>	0.312	0.280	0.559	0.530	<i>SPI-3</i>		0.274		0.524
<i>SPI-6</i>	0.252	0.216	0.502	0.465	<i>SPI-6</i>		0.285		0.534
<i>SPI-9</i>	0.184	0.155	0.429	0.394	<i>SPI-9</i>		0.294		0.542
<i>SPI-12</i>	0.116	0.114	0.340	0.338	<i>SPI-12</i>		0.245		0.495

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.

6.1. Χρονική μεταβλητότητα της ξηρασίας.

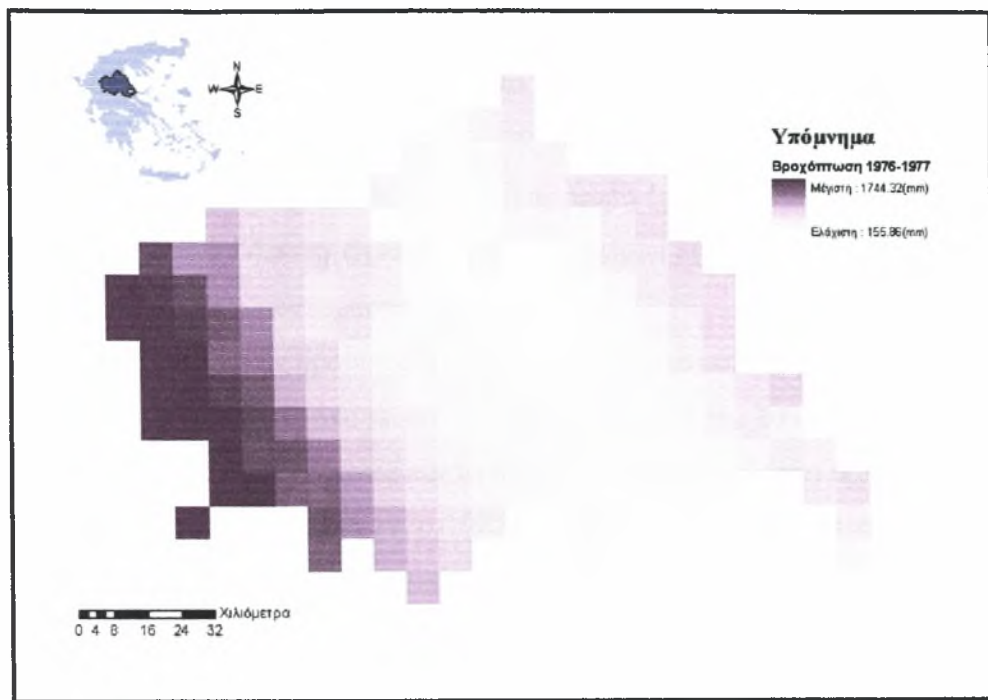
Η γραφική αποτύπωση των δεικτών SPI για όλες τις διάρκειες ως προς τον χρόνο περιγράφει την χρονική μεταβλητότητα του φαινομένου. Αλλά η πληροφορία που μπορεί να αποκτηθεί από κάθε γράφημα είναι διαφορετική. Στην γραφική αποτύπωση του SPI 1 μηνός, έχουμε πλήρη καταγραφή όλων των μεμονωμένων γεγονότων ξηρασίας χωρίς να μπορεί να εξαχθεί κάποιο γενικότερο συμπέρασμα για παρατεταμένα και έντονα φαινόμενα. Η γραφική παράσταση συγκεντρώνει μεγάλο αριθμό πρακτικά άχρηστης πληροφορίας. Όσο η χρονική βάση υπολογισμού μεγαλώνει, η πληροφορία απλώνεται στο χρόνο και δίνει καλύτερη και πιο καθαρή εικόνα φαινόμενων ξηρασίας επιχειρησιακού ενδιαφέροντος. Ενδιαφέρον, για τον εντοπισμό των μεγάλων γεγονότων ξηρασίας που έπληξαν την περιοχή της Θεσσαλίας έχουν οι γραφικές απεικονίσεις του SPI 12 και 9 μηνών.

Στην χρονική ανάλυση της ξηρασίας και ειδικά του SPI 12 μηνών αποτυπώνονται εμφανώς οι προαναφερόμενες δύο έντονες περίοδοι ξηρασίας. Ειδικότερα, ο SPI 12 μηνών δείχνει να αποτυπώνει τόσο την (μεγαλύτερη) ένταση της ξηρασίας του έτους 1976 – 77 όσο και την ένταση και επιμονή αυτής της πενταετίας 1987-1992. Καλή εικόνα των παραπάνω παρέχεται και από τον SPI - 9 μηνών. Οι SPI μικρότερων χρονικών κλιμάκων καταδεικνύουν ξηρές περιόδους αλλά δεν περιγράφουν επίμονες, μεγάλης διάρκειας ξηρασίες.

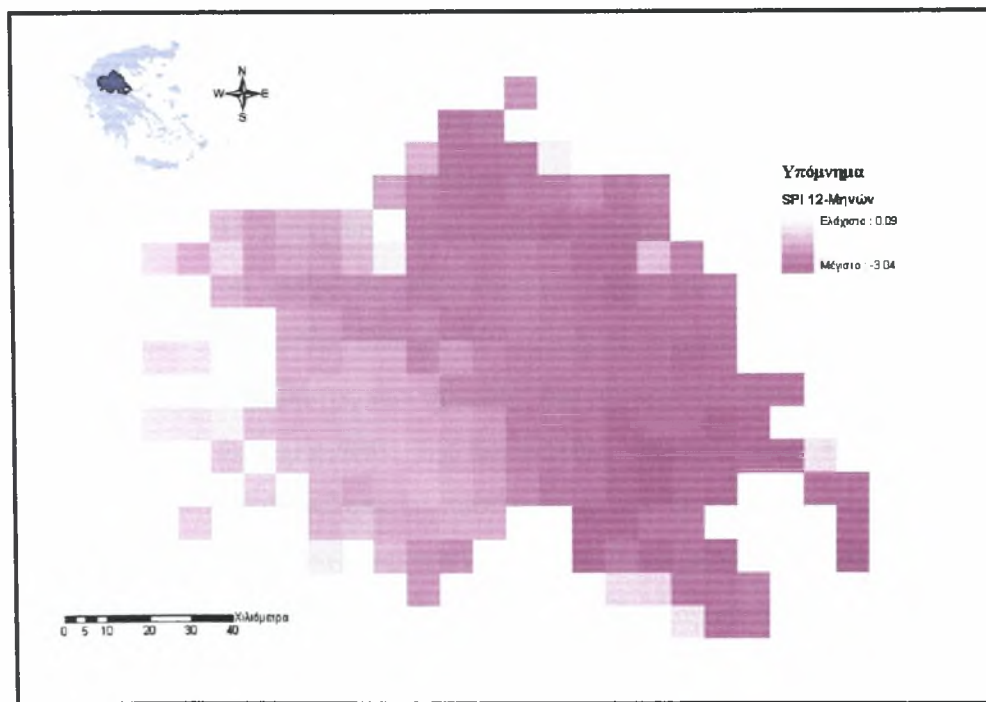
6.2. Χωρική κατανομή βροχόπτωσης και δείκτη SPI.

Γνωρίζοντας ότι στον υπολογισμό του δείκτη SPI-12 μηνών, χρησιμοποιούνται δεδομένα βροχόπτωσης του τρέχοντος και των προηγούμενων έντεκα μηνών, η σύγκριση του δείκτη SPI-12 μηνών με την ετήσια αθροιστική βροχόπτωση θα δώσει μια εικόνα της σχέσης της χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης με την χωρική κατανομή του δείκτη SPI. Η ετήσια αθροιστική βροχόπτωση ενός συγκεκριμένου υδρολογικού έτους μπορεί να συγκριθεί με το δείκτη SPI 12-μηνών του Οκτωβρίου του επόμενου υδρολογικού έτους. Έτσι, η αθροιστική βροχόπτωση του υδρολογικού έτους 1976-77 συγκρίνεται με το SPI 12-μηνών του Οκτωβρίου του 1977. Από την εξέταση των χωρικών κατανομών των αντιστοίχων βροχοπτώσεων και του δείκτη SPI-12 μηνών (Σχήμα.6.1 και 6.2) παρατηρείται ότι η χωρική κατανομή της βροχόπτωσης συμπίπτει σε γενικές γραμμές με την χωρική κατανομή του δείκτη. Στην περιοχή της οροσειράς της

οροσειράς της Πίνδου η βροχόπτωση είναι υψηλή και ο αντίστοιχος δείκτης SPI είναι χαμηλός, περιγράφοντας χαμηλό βαθμό ξηρασίας.



Σχήμα 6.1. Χωρική κατανομή ετήσιας αθροιστικής βροχόπτωσης, υδρολογικού έτους 1976-77.



Σχήμα 6.2. Χωρική κατανομή του δείκτη δριμύτητας ξηρασίας SPI 12-Μηνών, Οκτωβρίου 1977.

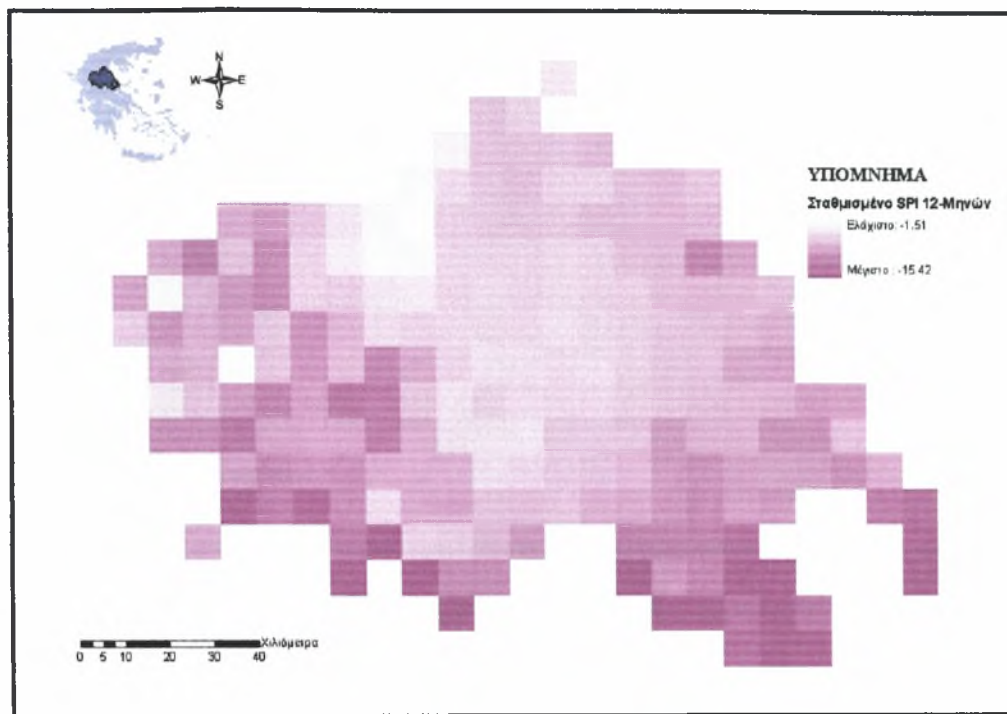
6.3. Χωρική κατανομή και μεταβλητότητα ετήσιας ξηρασίας.

Με την βοήθεια του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) ArcView, απεικονίσθηκε σε χάρτες η χωρική κατανομή του *σταθμισμένου* και του *μέσου ετήσιου δείκτη ξηρασίας SPI* στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για τα υδρολογικά έτη 1976-1977 και 1989-1990. (Το σύνολο των χαρτών παρατίθενται στο Παράρτημα Α).

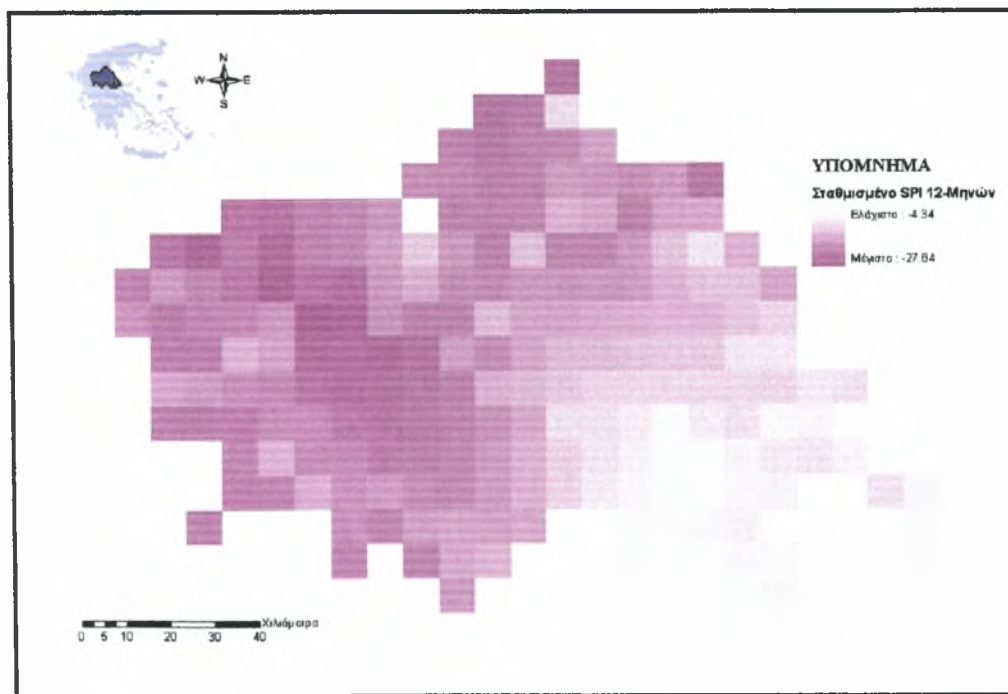
Από προεπισκόπηση των χαρτών της χωρικής κατανομής του *σταθμισμένου ετήσιου αθροιστικού δείκτη ξηρασίας*, και του *μέσου ετήσιου δείκτη ξηρασίας*, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Για SPI 12-μηνιαίας χρονικής βάσης για τα υδρολογικά έτη 1976-1977 και 1989-1990 παρατηρείται ότι: μέγιστες τιμές του μέσου και του σταθμισμένου δείκτη περιορίζονται στις δυτικές και νοτιοανατολικές ορεινές και ημιορεινές περιοχές για το υδρολογικό έτος 1976-1977, ενώ για το υδρολογικό έτος 1989-1990 μέγιστες τιμές του δείκτη εντοπίζονται στις βόρειες, βορειοδυτικές και νοτιοδυτικές ορεινές περιοχές (Σχήμα 6.3 - 6.6).
2. Για SPI 9-μηνιαίας, 6-μηνιαίας, 3-μηνιαίας και 1-μηνιαίας χρονικής βάσης, τα χαρακτηριστικά της χωρικής κατανομής είναι όμοια με την χωρική κατανομή του SPI 12-μηνιαίας χρονικής βάσης για τα αντίστοιχα υδρολογικά έτη.
3. Η χωρική κατανομή της ξηρασίας, για κάθε χρονική κλίμακα του SPI για τα υδρολογικά έτη 1976-1977 και 1989-1990 υποδηλώνει και τις επακόλουθες επιπτώσεις τις ξηρασίας στην γεωργική παραγωγή. Ο περιορισμός των μεγίστων τιμών του μέσου και του σταθμισμένου SPI, σε κάθε χρονική κλίμακα για το έτος 1976-1977, στις δυτικές και νοτιοανατολικές ορεινές και ημιορεινές περιοχές, σαφώς και επιδρά σε μικρό σχετικά βαθμό στην ομαλή ανάπτυξη των καλλιεργειών. Οι χαμηλοί δείκτες SPI 12-μηνιαίας, 9-μηνιαίας, 6-μηνιαίας, 3-μηνιαίας και 1-μηνιαίας χρονικής βάσης των ορεινών και ημιορεινών δυτικών περιοχών του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, υποδηλώνουν επαρκή τροφοδοσία των επιφανειακών υδατικών συστημάτων του θεσσαλικού κάμπου, μια που ο κύριος όγκος του επιφανειακού υδατικού δυναμικού προέρχεται από τους παραπάνω ορεινούς όγκους. Αντιθέτως το υδρολογικό έτος 1989-1990 όπου οι μέγιστες τιμές του μέσου και του σταθμισμένου SPI, σε κάθε χρονική κλίμακα, εντοπίζονται στις βόρειες, βορειοδυτικές και νοτιοδυτικές ορεινές περιοχές, οι επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή θα είναι εμφανής. Η έλλειψη βροχοπτώσεων στο ορεινό τμήμα των προηγούμενων περιοχών αποτελεί την κύρια αιτία

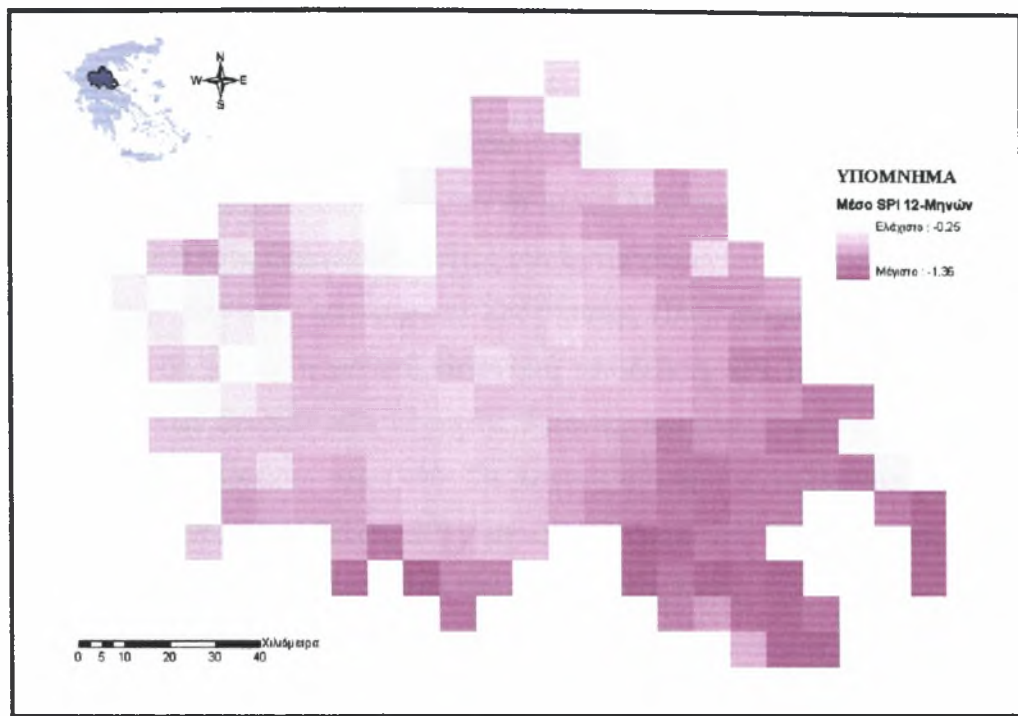
κύρια αιτία της μη επαρκούς επανατροφοδότησης των επιφανειακών υδατικών συστημάτων.



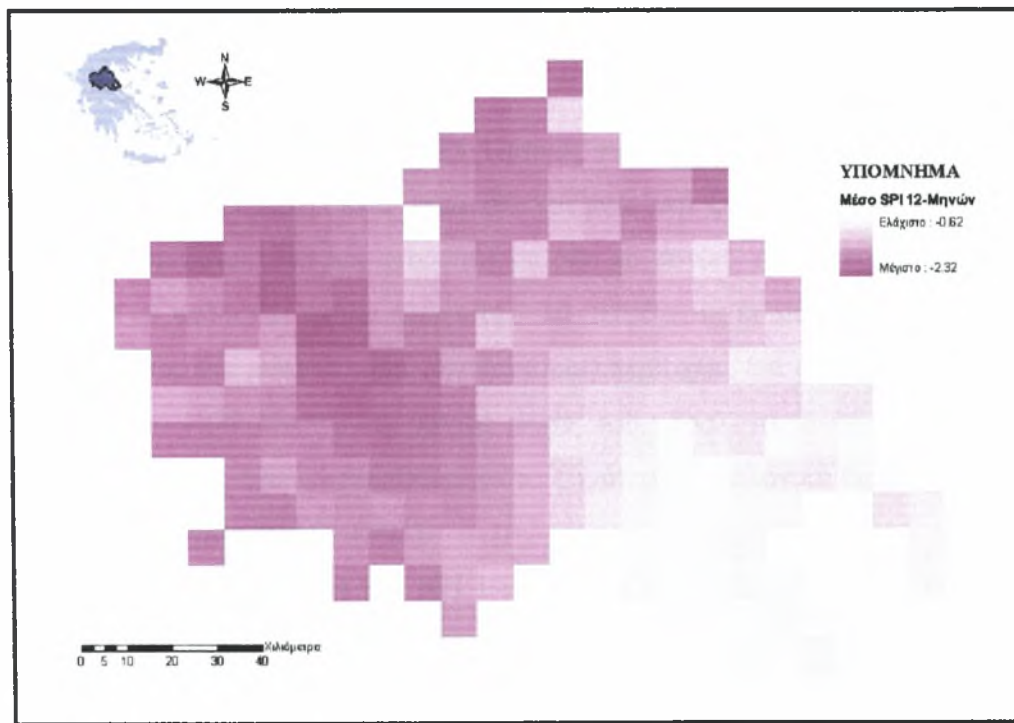
Σχήμα 6.3. Ετήσια σταθμισμένη αθροιστική δριμύτητα ξηρασίας 12-Μηνών, υδρολογικού έτους 1976-77.



Σχήμα 6.4. Ετήσια σταθμισμένη αθροιστική δριμύτητα ξηρασίας 12-Μηνών, υδρολογικού έτους 1989-90.



Σχήμα 6.5. Ετήσια μέση δριμύτητα ξηρασίας 12-Μηνών, υδρολογικού έτους 1976-77.



Σχήμα 6.6. Ετήσια μέση δριμύτητα ξηρασίας, 12-Μηνών υδρολογικού έτους 1989-90.

6.4. Χωρική κατανομή και μεταβλητότητα μηνιαίου δείκτη ξηρασίας.

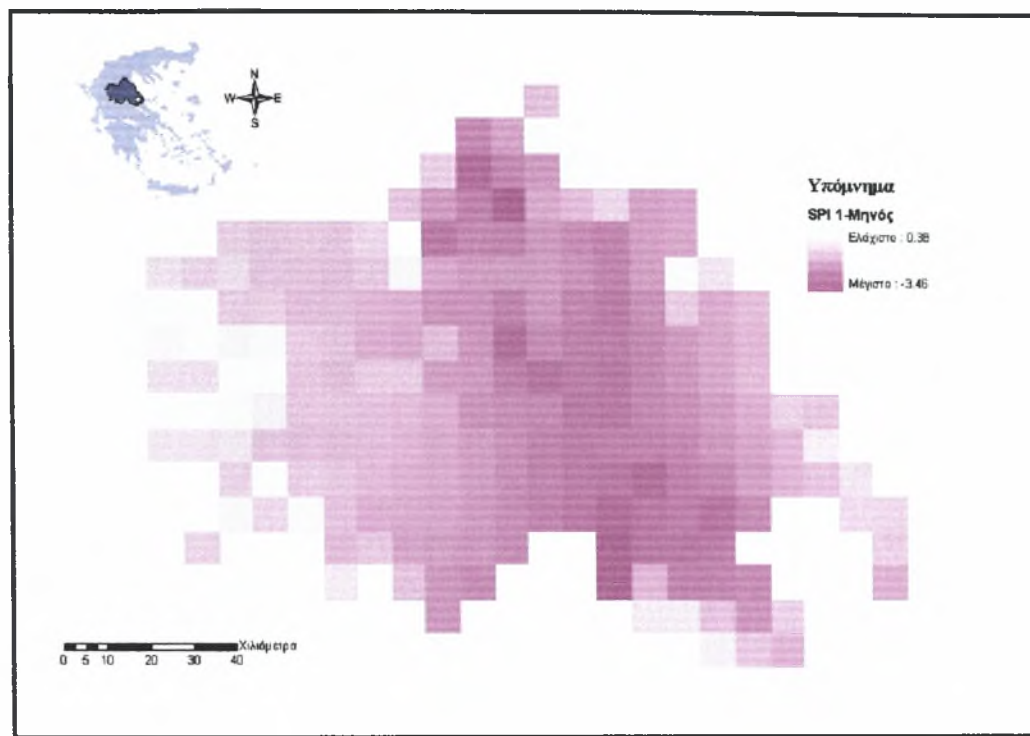
Από τη χρονική ανάλυση της ξηρασίας για SPI 1 μηνός, για τα ξηρότερα έτη τόσο ολόκληρης της χρονοσειράς (1960 –1993) όσο και της ξηρότερης πενταετίας (1989-1990), ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μήνες Μάρτιος του 1977 και Φεβρουάριος 1990 ως δύο από τους ξηρότερους μήνες των αντίστοιχων υδρολογικών ετών.

Με την βοήθεια Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) ArcView, απεικονίσθηκε σε χάρτες η χωρική κατανομή του δείκτη SPI 1-μηνός για τον Μάρτιο του 1977 και των δεικτών SPI 12-μηνος 9-μηνος, 6-μηνος, 3-μηνος και 1-μηνός διάρκειας για τον Φεβρουάριο του 1990. Για λόγους σύγκρισης επιλέχθηκε και παρουσιάζεται και η κατανομή του δείκτη SPI 1-μηνός του Απριλίου του 1970, ενός σχετικά ξηρού μήνα σε ένα «φυσιολογικό» από άποψη ξηρασίας έτος.

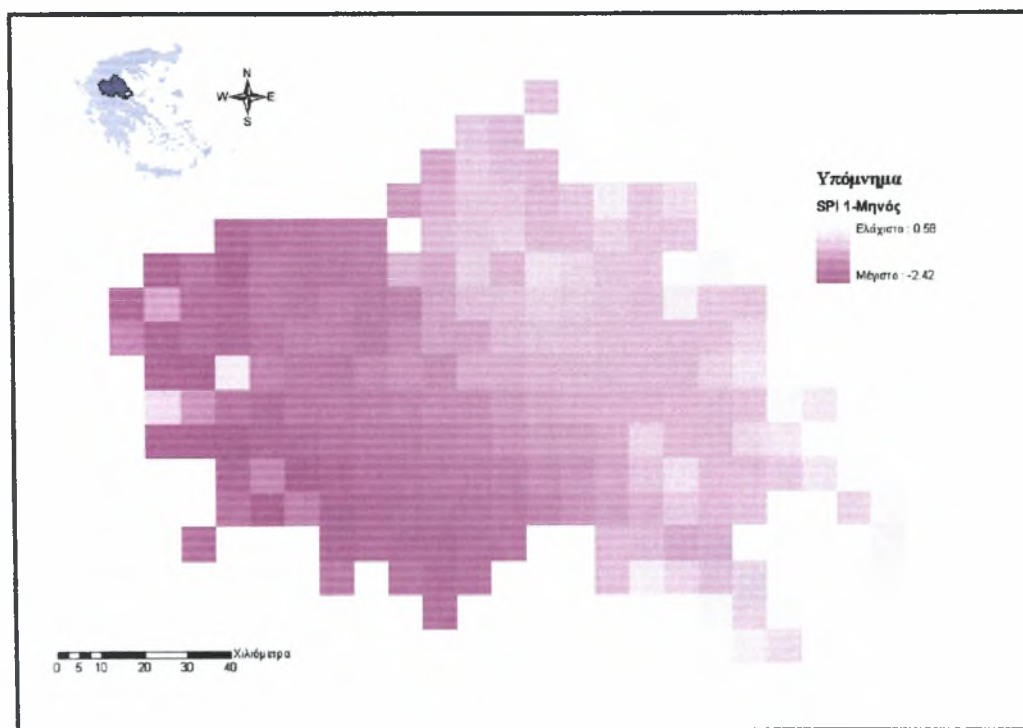
Από προεπισκόπηση των χαρτών της χωρικής κατανομής των δεικτών ξηρασίας, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Η κατανομή του SPI 1-μηνός για τον Απρίλιο του 1970 (Σχήμα 6.7) μπορεί να θεωρηθεί ως η αναμενόμενη καθώς οι υψηλές τιμές δριμύτητας ξηρασίας παρατηρούνται στο κεντρικό πεδινό τμήμα της Θεσσαλίας με σαφή μείωση όσο κινούμαστε δυτικά προς τον ορεινό όγκο της Πίνδου, καθώς και προς τις ανατολικές ορεινές περιοχές.
2. Η χωρική κατανομή του SPI 1-μηνός για το Μάρτιο του 1977, (Σχήμα 6.8) σαφώς υποδηλώνει έναν εκτατικά και εντατικά ξηρό μήνα. Ξηρασία με μεγαλύτερη δριμύτητα παρατηρείται σε όλο το δυτικό τμήμα της Θεσσαλίας ενώ και το υπόλοιπο τμήμα πλήττεται από μικρότερης έντασης ξηρασία με εξαίρεση ίσως ένα μικρό τμήμα των παράλιων περιοχών. Να σημειωθεί ότι ο Μάρτιος του 1977 είναι ο ξηρότερος μήνας του υδρολογικού έτους 1976-1977, το οποίο όπως έχει αναφερθεί είναι το ξηρότερο υδρολογικό έτος ολόκληρης της χρονοσειράς (1960 –1993).
3. Η χωρική κατανομή του SPI 1-μηνός για τον Φεβρουάριο του 1990, (Σχήμα 6.9 και 6.10) ακολουθεί την μορφή της κατανομής του Απριλίου του 1970. Για μεγαλύτερες διάρκειες, (Παράρτημα Β, Σχήμα Β11α, Β11β έως Β15α και Β15β) παρατηρείται μια μετατόπιση των μέγιστων τιμών της δριμύτητας προς τα ορεινά (κυρίως προς τα δυτικά). Το μεγαλύτερο ποσοστό πληττόμενης από δριμεία ξηρασία παρατηρείται στην κατανομή του SPI 6-μηνος διάρκειας. Στην 9-μηνος διάρκεια παρατηρείται «αντιστροφή» της χωρικής κατανομής και

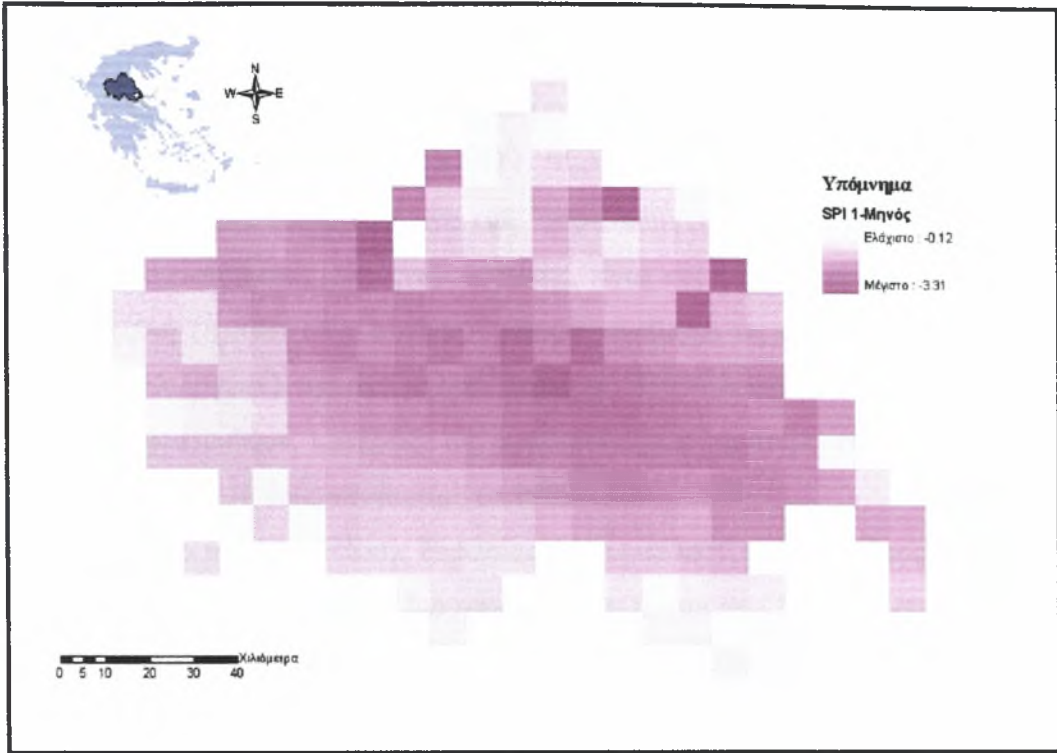
στην 12-μηνη οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται στα βόρεια και κεντρικά τμήματα.



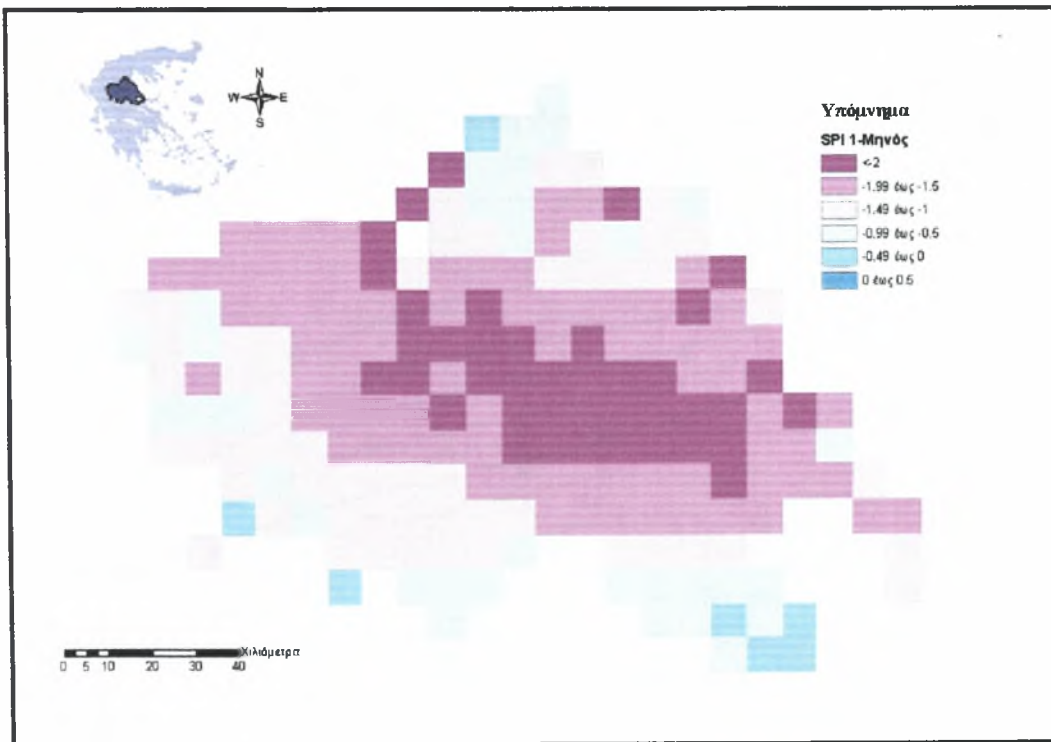
Σχήμα 6.7. Χωρική κατανομή του δείκτη δριμύτητας ξηρασίας SPI 1-Μηνός, Απριλίου 1970.



Σχήμα 6.8. Χωρική κατανομή του δείκτη δριμύτητας ξηρασίας SPI 1-Μηνός, Μαρτίου 1977.



Σχήμα 6.9. Χωρική κατανομή του δείκτη δριμύτητας ξηρασίας SPI 1-Μηνός, Φεβρουαρίου 1990.



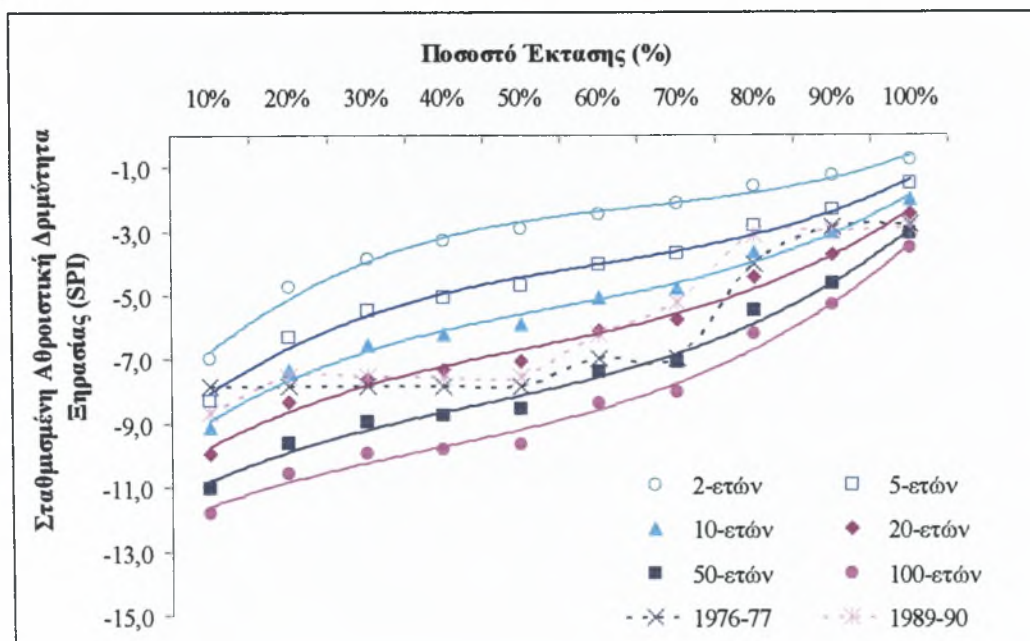
Σχήμα 6.10. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 12-Μηνών, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 1990, με κλάσεις SPI.

6.5. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς για ετήσια SPI.

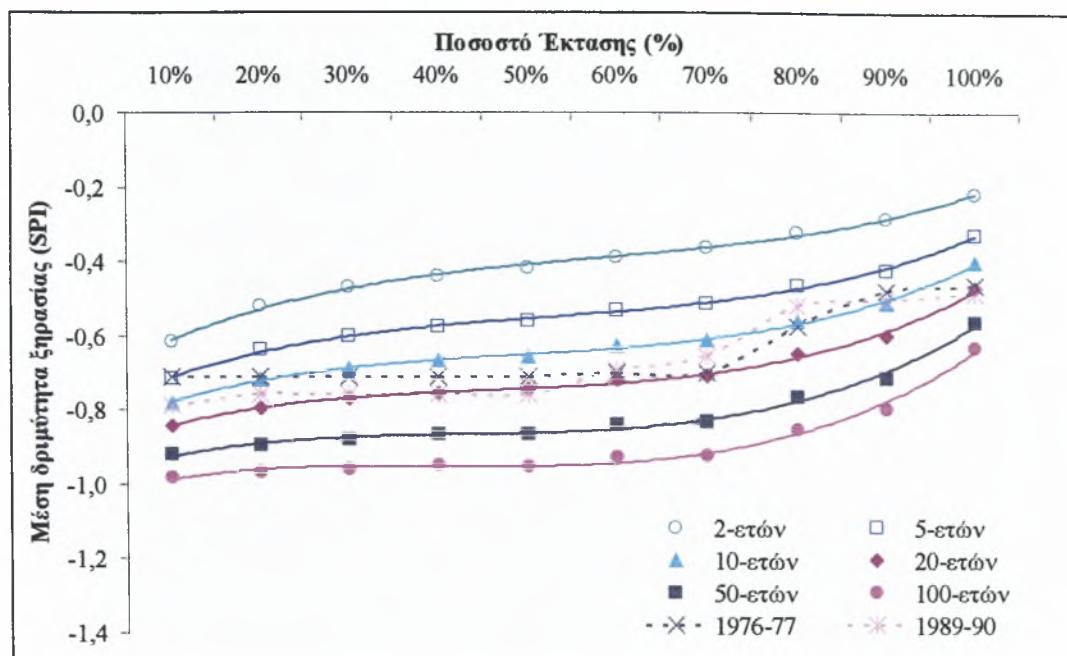
Από την ανάλυση των χρονοσειρών βροχοπτώσης προκύπτει ως μετεωρολογικά ξηρότερο, το υδρολογικό έτος 1976-1977. Μια τέτοια ανάλυση όμως δεν οδηγεί σε ασφαλή επιχειρησιακά συμπεράσματα καθ' όσον, στην μελέτη του φαινομένου της ξηρασίας, μεγάλης σημασίας, εκτός της έντασης, είναι και η διάρκειά του και αυτό γιατί η παρατεταμένη ξηρασία είναι αυτή που μπορεί να πλήξει τις παραγωγικές διαδικασίες (κύρια τις καλλιέργειες) της υπό μελέτη περιοχής. Η ανάλυση ανά πενταετία της χρονοσειράς βροχοπτώσεων, κατέδειξε ως μετεωρολογικά ξηρότερη την πενταετία 1987-1992 και ως ξηρότερο έτος πενταετίας το 1989-1990.

Επίσης, ο ετήσιος δείκτης ξηρασίας όταν υπολογίζεται ως μέσος ετήσιος SPI των μηνιαίων τιμών αντίστοιχης διάρκειας ανάγει όμοια την ξηρασία στο έτος, παραβλέποντας την χρονική της κατανομή. Αντίθετα, ο σταθμισμένος ετήσιος δείκτης SPI θεωρείται αντιπροσωπευτικότερος καθ' όσον λαμβάνει υπόψη του και συνυπολογίζει την χρονική διάρκεια στο έτος των μεμονωμένων γεγονότων ξηρασίας.

Ενδιαφέρον λοιπόν παρουσιάζει η συμπεριφορά των δεικτών SPI, του μέσου και του σταθμισμένου, διαφόρων διαρκειών των παραπάνω ετών τόσο χρονικά όσο και χωρικά.



Σχήμα 6.11. Καμπύλες σταθμισμένης αθροιστικής δριμύτητας ξηρασίας – έκτασης(%) – περιόδου επαναφοράς για διάρκεια 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές απεικονίζονται οι αντίστοιχες μεταβολές του δείκτη SPI των υδρολογικών ετών 1976-77 και 1989-90.



Σχήμα 6.12. Καμπύλες μέσης δριμύτητας ξηρασίας – έκτασης(%) – περιόδου επαναφοράς για διάρκεια 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές απεικονίζονται οι αντίστοιχες μεταβολές του δείκτη SPI των υδρολογικών ετών 1976-77 και 1989-90.

Σαν γενική παρατήρηση από απλή επισκόπηση των καμπυλών Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς (Σχήμα 6.11 και 6.12) προκύπτει ότι οι τιμές του δείκτη των αντιστοιχών γεγονότων ξηρασίας μειώνονται με την αύξηση του ποσοστού έκτασης. (Το σύνολο των γραφημάτων, για όλες τις διάρκειες και για κάθε μέθοδο υπολογισμού του δείκτη SPI, παρατίθενται στο Παράρτημα Γ). Η μείωση παρατηρείται σε όλες τις διάρκειες εξέτασης του φαινομένου.

Προκειμένου να μελετηθεί το φαινόμενο της ξηρασίας τόσο χωρικά (με βάσει το ποσοστό έκτασης το οποίο πλήττεται), καθώς και χρονικά (με βάσει τη περίοδο επαναφοράς), καταρτίσθηκαν πίνακες, (Πίνακες 6.1 - 6.3) όπου για ενδεικτικά ποσοστά επηρεαζόμενης έκτασης 30%, 70% και 100%, υπολογίσθηκαν οι αντίστοιχες περίοδοι επαναφοράς για κάθε ένα από τα υδρολογικά έτη 1976-1977 και 1989-1990 καθώς και για κάθε ένα από τους δυο τρόπους υπολογισμού του ετήσιου δείκτη ξηρασίας.

Πίνακας 6.1. Περίοδοι επαναφοράς ξηρασίας που πλήττει το 30 % της έκτασης. Με πλάγια γραμματοσειρά σημειώνονται οι συγκριτικά μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς

SPI διάρκειας	1976-1977		1989- 1990	
	Για μέσο SPI	Για σταθμισμένο SPI	Για μέσο SPI	Για σταθμισμένο SPI
1 μηνός	13	23,2	19	19,5
3 μηνών	46	69,4	17	9,3
6 μηνών	47	48	31	23
9 μηνών	23,5	13,2	61	50,9
12 μηνών	11,5	9,2	64	58,9

Πίνακας 6.2. Περίοδοι επαναφοράς ξηρασίας που πλήττει το 70 % της έκτασης. Με πλάγια γραμματοσειρά σημειώνονται οι συγκριτικά μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς

SPI διάρκειας	1976-1977		1989- 1990	
	Για μέσο SPI	Για σταθμισμένο SPI	Για μέσο SPI	Για σταθμισμένο SPI
1 μηνός	20	46,9	15	13,8
3 μηνών	49	110	20	13,5
6 μηνών	39	48,3	27	23,3
9 μηνών	20	11,7	52	83
12 μηνών	7,4	3,9	53	62,8

Πίνακας 6.3. Περίοδοι επαναφοράς ξηρασίας που πλήττει το 100 % της έκτασης. Με πλάγια γραμματοσειρά σημειώνονται οι συγκριτικά μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς

SPI διάρκειας	1976-1977		1989- 1990	
	Για μέσο SPI	Για σταθμισμένο SPI	Για μέσο SPI	Για σταθμισμένο SPI
1 μηνός	20	32	25	39
3 μηνών	37	59,5	33	58
6 μηνών	50	61,3	48	96
9 μηνών	28	20,4	54	89,8
12 μηνών	8	5,2	58	90,8

Από τη μελέτη των πινάκων 6.1 έως 6.3 που καταρτίστηκαν για ενδεικτικά ποσοστά επηρεαζόμενης έκτασης 30%, 70% και 100%, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Για SPI μικρής χρονικής διάρκειας (1 – 6 μηνών) η ξηρασία που πλήττει το 30% της έκτασης είναι πιο έντονη για το υδρολογικό έτος 1976-1977 και παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς από τα γεγονότα ξηρασίας αντίστοιχης διάρκειας του υδρολογικού έτους 1989-1990. Για SPI όμως διάρκειας 9 και 12 μηνών η περίοδος επαναφοράς των γεγονότων ξηρασίας του υδρολογικού έτους 1989-1990 αυξάνεται δραματικά με αντίστοιχη συρρίκνωση των περιόδων επαναφοράς του υδρολογικού έτους 1976-1977.
2. Τα ίδια συμπεράσματα με τα παραπάνω προκύπτουν για γεγονότα ξηρασίας που πλήττουν το 70% της υπό μελέτη έκτασης. Το μέγιστο της τιμής της περιόδου επαναφοράς που παρατηρείται για SPI διάρκειας 3 μηνών και για το έτος 1976-1977 (για ποσοστό πληττόμενης έκτασης 70% αγγίζει τα 110 χρόνια) δικαιολογείται από την έντονη μετεωρολογική ξηρασία που διήρκησε σχεδόν από τον Ιανουάριο έως και τον Σεπτέμβριο του 1977.
3. Όταν θεωρείται ως πληττόμενο το 100% της έκτασης της υπό μελέτη περιοχής, τότε οι περίοδοι επαναφοράς γεγονότων δριμύτητας ξηρασίας του 1989-1990 είναι σημαντικά μεγαλύτερες αυτών του 1976-1977 για SPI διάρκειας 6, 9 και 12 μηνών και σχεδόν ισοδύναμες για SPI διάρκειας 1 ή και 3 μηνών.
4. Η χρήση του σταθμισμένου ετήσιου δείκτη SPI 9μηνης και 12μηνης διάρκειας είναι προτιμητέα έναντι των μικρότερης διάρκειας γιατί περιγράφει καλύτερα

φαινόμενα ξηρασίας που μπορεί να έχουν σοβαρές ή και μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγή όλων των καλλιεργειών (εαρινών και θερινών). Ο δείκτης αυτός για το έτος 1989-1990 δίνει τιμές περιόδου επαναφοράς ως και σχεδόν 20 φορές μεγαλύτερες αυτών του έτους 1976-1977 για το 100% της έκτασης (90,8 και 5,2 έτη αντίστοιχα).

5. Ο μέσος ετήσιος δείκτης SPI 9μηνης και 12μηνης διάρκειας για ποσοστό έκτασης 100% και για το έτος 1989-1990 δίνει τιμές περιόδου επαναφοράς μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του έτους 1976-1977. Όμως οι τιμές των περιόδων αυτών επαναφοράς είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές του σταθμισμένου δείκτη, για τις συγκεκριμένες διάρκειες και έτη. Δηλαδή ο μέσος ετήσιος δείκτης ξηρασίας SPI 9μηνης και 12μηνης διάρκειας παρουσιάζει το φαινόμενο της ξηρασίας ως λιγότερο ακραίο σε σχέση με τον σταθμισμένο.

6.6. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς για μηνιαία SPI.

Σαν γενική παρατήρηση των μηνιαίων καμπυλών δριμύτητας ξηρασίας - έκτασης περιόδου επαναφοράς, προκύπτει ότι οι τιμές του δείκτη ξηρασίας των αντιστοιχών γεγονότων ξηρασίας μειώνονται με την αύξηση του ποσοστού έκτασης. (Το σύνολο των γραφημάτων, ανά μήνα για κάθε διάρκεια παρατίθενται στο Παράρτημα Δ) Η μείωση παρατηρείται σε όλες τις διάρκειες εξέτασης του φαινομένου.

Όπως και στα ετήσια γεγονότα ξηρασίας έτσι και στα μηνιαία υπολογίστηκαν οι περίοδοι επαναφοράς γεγονότων ξηρασίας για ενδεικτικά ποσοστά επηρεαζόμενης έκτασης, 30%, 70% και 100% αντίστοιχα. Χρησιμοποιήθηκαν ένας υγρός (Νοέμβριος) και ένας ξηρός (Ιούλιος) μήνας των υδρολογικών ετών 1976-1977 και 1989-1990.

Πίνακας 6.4. Περίοδοι επαναφοράς ξηρασίας που πλήττει το 30 % της έκτασης. Με πλάγια γραμματοσειρά σημειώνονται οι μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς.

SPI διάρκειας	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ
	1976	1977	1989	1990
1 μηνός	1.24	1.00	2.05	1.00
3 μηνών	1.65	1.00	5.60	1.00
6 μηνών	1.33	47.00	2.70	6.60
9 μηνών	1.15	49.00	5.10	30.50
12 μηνών	1.10	18.50	8.70	45.00

Πίνακας 6.5. Περίοδοι επαναφοράς ξηρασίας που πλήττει το 70% της έκτασης. Με πλάγια γραμματοσειρά σημειώνονται οι μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς.

SPI διάρκειας	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ
	1976	1977	1989	1990
1 μηνός	1.10	1.00	1.50	1.00
3 μηνών	1.10	3.70	3.70	1.00
6 μηνών	1.25	31.00	1.95	2.85
9 μηνών	1.00	30.00	1.49	13.00
12 μηνών	1.00	27.50	5.30	34.00

Πίνακας 6.6. Περίοδοι επαναφοράς ξηρασίας που πλήττει το 100% της έκτασης. Με πλάγια γραμματοσειρά σημειώνονται οι μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς.

SPI διάρκειας	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ
	1976	1977	1989	1990
1 μηνός	1.10	1.00	1.70	1.00
3 μηνών	1.05	3.40	4.00	1.00
6 μηνών	1.00	32.00	2.05	5.00
9 μηνών	1.00	15.50	1.25	14.50
12 μηνών	1.00	19.50	2.55	49.00

Από τη μελέτη των πινάκων 6.4, 6.5, και 6.6 που καταρτίστηκαν για ενδεικτικά ποσοστά επηρεαζόμενης έκτασης 30%, 70% και 100%, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Για τον μήνα Νοέμβριο του υδρολογικού έτους 1976-1977, η παρατηρούμενη ξηρασία έχει περίοδο επαναφοράς περίπου ή ακριβώς ένα έτος και άρα δεν μπορεί να θεωρηθεί ως ακραία. Για τον ίδιο μήνα του υδρολογικού έτους 1989-1990 το φαινόμενο παρουσιάζεται ελαφρά εντονότερο με περιόδους επαναφοράς που φτάνουν ως και τα 8,7 έτη (για ξηρασία που πλήττει το 30% της υπό εξέταση έκτασης και για 12μηνη χρονική κλίμακα).
2. Αντίθετα, για τον εξεταζόμενο ξηρό μήνα (Ιούλιο), του υδρολογικού έτους 1976-1977 το φαινόμενο παρουσιάζεται ως ακραίο. Η περίοδος επαναφοράς ίδιας ξηρασίας που θα μπορούσε να πλήξει το 30% της έκτασης φτάνει τα 49 χρόνια και 30 χρόνια στο 70% της έκτασης για 9μηνη χρονική κλίμακα. Εξετάζοντας την ξηρασία σε όλη την έκταση (100%), η μέγιστη περίοδος επαναφοράς παρουσιάζεται στην 6μηνη χρονική κλίμακα και φτάνει τα 32 χρόνια. Γενικά, οι περίοδοι επαναφοράς για το σύνολο της έκτασης μειώνονται. Για τον ίδιο μήνα του υδρολογικού έτους 1989-1990 και για ποσοστό επηρεαζόμενης έκτασης 30% και 70%, το φαινόμενο παρουσιάζεται πολύ πιο ήπιο σε όλες τις χρονικές κλίμακες. Αντίθετα, στο σύνολο της έκτασης και σε βάθος χρόνου (12μηνη κλίμακα) η ένταση του φαινομένου είναι μεγαλύτερη, με την περίοδο επαναφοράς να φτάνει τα 49 χρόνια.

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι η ξηρασία του 1989-1990 είναι εκτατικά και σε βάθος χρόνου εντονότερη, ενώ η ξηρασία του 1976-1977 παρουσιάζει τόσο εκτατικές όσο και σε βάθος χρόνου έντονες μεταπτώσεις.

6.7. Σχέση μετεωρολογικής με υδρολογική ξηρασία.

Στα προηγούμενα, υπολογίστηκε ο δείκτης μετεωρολογικής ξηρασίας SPI για χρονικές κλίμακες 1, 3, 6, 9 και 12 μηνών. Ο καθένας από αυτούς μας δίνει διαφορετική ως προς την ένταση, τη διάρκεια, τη χρονική και τη χωρική κατανομή της ξηρασίας πληροφορία. Πληροφορία επίσης αποκομίζεται και από τον υπολογισμένο δείκτη υδρολογικής ξηρασίας $Z_{i,j}$.

Αυτό που έχει ενδιαφέρον από επιχειρησιακή άποψη είναι ο προσδιορισμός εκείνης της χρονικής κλίμακας υπολογισμού του SPI που συσχετίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό με τον δείκτη της υδρολογικής ξηρασίας, ώστε να προτιμάτε στην αποτίμηση των χωρικών χρονικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών της ξηρασίας.

Από την μελέτη του Πίνακα 5.2, όπου παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών συσχέτισης r και ρ , των δεικτών υδρολογικής $Z_{i,j}$ και μετεωρολογικής ξηρασίας

SPI, για όλες τις διάρκειες και για κάθε υπολεκάνη προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Για την υπολεκάνη της Πύλης η μέγιστη τιμή των συντελεστών συσχέτισης r , και ρ μεταξύ των $Z_{i,j}$ και SPI προκύπτει για τριμηνιαία χρονική κλίμακα υπολογισμού του SPI.
2. Για την υπολεκάνη της Λάρισας η μέγιστη τιμή των αντιστοίχων συντελεστών συσχέτισης προκύπτει για SPI 9-μηνιαίας διάρκειας.

Η διαφορά αυτή εξηγείται αν λάβουμε υπόψη τα μορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών. Πράγματι, η παροχή στη λεκάνη της Πύλης μετράται στην έξοδο μιας μικρής σε έκταση λεκάνης, με έντονο ανάγλυφο, μεγάλο εύρος υψομέτρων και απότομες κλίσεις. Η πεδινή ή χαμηλού υψομέτρου διαδρομή του Πορταϊκού είναι ανύπαρκτη ή πολύ μικρή. Από τα παραπάνω συνάγεται ότι ο χρόνος απόκρισης των μετεωρολογικών φαινομένων –άρα και της ξηρασίας – στον όγκο της παροχής θα είναι σχετικά μικρός. Θα μπορούσε κανείς να αναρωτηθεί γιατί δεν παρατηρείται η μέγιστη συσχέτιση για SPI ενός μηνός. Σ' αυτό συμβάλει η αποθήκευση σημαντικού μέρους των κατακρημνισμάτων με τη μορφή χιονιού για εύλογο χρονικό διάστημα. Αντίστοιχα, για τη λεκάνη της Λάρισας, η παροχή μετράται στην έξοδο μιας λεκάνης πλέον των 40 φορών μεγαλύτερης αυτής της Πύλης. Μπορεί ένα μεγάλο μέρος της λεκάνης της Λάρισας να καταλαμβάνουν ορεινοί όγκοι με έντονο ανάγλυφο και απότομες κλίσεις, αλλά οι ποταμοί που τη διαρρέουν, διανύουν πολύ μεγάλο μέρος της διαδρομής τους σε πεδινή έκταση με πολύ χαμηλά υψόμετρα και πρακτικά μηδενικές κλίσεις. Ο χρόνος απόκρισης λοιπόν της παροχής και κατά συνέπεια του υδρολογικού δείκτη ξηρασίας στα μετεωρολογικά φαινόμενα θα είναι σημαντικά μεγαλύτερος. Επιπρόσθετα, ανάντη του σημείου μέτρησης της παροχής εξόδου της λεκάνης και βόρεια και νότια της όχθης του Πηνειού εντοπίζεται ο δυτικός υπόγειος υδροφορέας του οποίου ο ορίζοντας βρίσκεται σε μικρά βάθη. Γνωρίζουμε ότι η αποφόρτιση του υδροφορέα προς υδατορρέυματα είναι αργή διαδικασία και το γεγονός αυτό έρχεται να ενισχύσει την καλύτερη συσχέτιση του SPI 9 μηνών με τον $Z_{i,j}$ στην λεκάνη απορροής της Λάρισας.

Συμπερασματικά, η επιλογή της χρονικής κλίμακας υπολογισμού του SPI εξαρτάται από μια σειρά παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί έχουν να κάνουν με τα γεωμορφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης. Η επιλογή θα πρέπει να γίνεται με προσοχή και κατόπιν επισταμένης μελέτης ώστε να αποφεύγονται τυχόν χρονοβόρες και δαπανηρές αστοχίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.

Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στην παρουσίαση του πλαισίου των μεθοδολογιών για την ανάλυση των χωρικών και χρονικών χαρακτηριστικών των γεγονότων ξηρασίας στην περιοχή της Θεσσαλίας. Ο δείκτης SPI που υπολογίστηκε σε διάφορες χρονικές κλίμακες, χρησιμοποιήθηκε σαν δείκτης δριμύτητας ξηρασίας. Ο SPI υπολογίστηκε με τη χρήση χωρικά κατανεμημένης βροχόπτωσης και κατασκευάστηκε μια βάση δεδομένων από τις τιμές του. Με τη χρήση της βάσης αυτής, εκτελέστηκαν τρεις αναλύσεις: 1) μια ανάλυση της χρονικής μεταβολής και της συχνότητας γεγονότων ξηρασίας χρησιμοποιώντας το χωρικό μέσο SPI της Θεσσαλίας σαν αντιπροσωπευτική τιμή της περιοχής, 2) μια ανάλυση της χωρικής μεταβολής των γεγονότων ξηρασίας χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, και 3) μια περιοχική ανάλυση συχνότητας που οδήγησε στην ανάπτυξη καμπυλών, Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου Επαναφοράς. Οι δύο τελευταίες αναλύσεις εκτελέστηκαν για μηνιαία και ετήσια δριμύτητα ξηρασίας. Η ετήσια δριμύτητα ξηρασίας αποτιμήθηκε με τη χρήση σταθμισμένου ετήσιου αθροιστικού αρνητικού δείκτη SPI και του μέσου ετήσιου αρνητικού SPI.

Η χωρική και χρονική ανάλυση της ξηρασίας έδειξε ότι η Θεσσαλία πλήττεται αρκετά συχνά από μέσες και δριμείες ξηρασίες σε μηνιαία βάση. Η περιοχή έχει πληγεί από παρατεταμένη δριμεία ξηρασία στις περιόδους 1976-1977 και 1987-1990. Ιδιαίτερα, η επίμονη και παρατεταμένη ξηρασία του 1987-1990 επηρέασε σοβαρά την τροφοδοσία των αστικών κέντρων με νερό και τις γεωργικές αρδεύσεις. Η χωρική μεταβολή της ξηρασίας κατά τις δύο αυτές περιόδους ήταν αρκετά διαφορετική. Γι' αυτή του 1976-1977, οι περιοχές που επλήγησαν περισσότερο ήταν οι νότιες και οι παράκτιες περιοχές της Θεσσαλίας, σε αντίθεση με τις δυτικές και βόρειες περιοχές που επλήγησαν από την παρατεταμένη ξηρασία της περιόδου 1989-1990. Η ξηρασία αυτή παρ' ότι ήταν λιγότερο δριμεία από εκείνη του 1976-1977, όμως η ανάλυση των ετήσιων ελαχίστων χωρικών μέσων SPI έδειξε ότι έπληξε μεγαλύτερη έκταση και είχε μεγαλύτερη διάρκεια και επηρέασε τις περιοχές των πηγών του Πηνειού και των παραποτάμων του. Σαν αποτέλεσμα, αυτή η περίοδος μετεωρολογικής ξηρασίας, συνδυάστηκε και με υδρολογική ξηρασία και προκάλεσε μείωση του υδατικού δυναμικού και σημαντική πτώση της ροής του Πηνειού. Δείχθηκε ότι η ξηρασία που ενέσκηψε στα τέλη της δεκαετίας του '80 έχει περίοδο επαναφοράς πλέον των 80 ετών και μεγάλη επηρεαζόμενη έκταση. Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ο SPI είναι σημαντικό εργαλείο ανάλυσης ιστορικών ή και πρόβλεψης μελλοντικών γεγονότων ξηρασίας αφού περιγράφει

ικανοποιητικά τη χωρική και χρονική κατανομή της και δεν αστοχεί στον υπολογισμό της έντασής της. Για μεγάλης διάρκειας έντονα φαινόμενα ξηρασίας φαίνεται ότι ο SPI 12μηνής κλίμακας δίνει καλύτερα αποτελέσματα ενώ για μικρής χρονικής διάρκειας καλή εικόνα δίνουν οι δείκτες μικρότερων χρονικών κλιμάκων. Ο SPI μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο ανάλυσης και σχεδιασμού σε επιχειρησιακό επίπεδο σε πολλούς τομείς όπως για παράδειγμα στην αγροτική παραγωγή ή στη διαχείριση υδάτινων πόρων. Η ταυτοποίηση των χωρικών και χρονικών χαρακτηριστικών της ξηρασίας στη Θεσσαλία θα είναι χρήσιμη για την ανάπτυξη σχεδίου ετοιμότητας της περιοχής.

Από τη διερεύνηση της σχέσης μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας συμπεραίνεται ότι η επιλογή της χρονικής κλίμακας του δείκτη SPI που συσχετίζεται καλύτερα με την υδρολογική ξηρασία επηρεάζεται από σειρά παραγόντων όπως για παράδειγμα η έκταση της λεκάνης, η μορφολογία της και τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της. Η συσχέτιση αυτή – μαζί με όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο - καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την επιλογή της κατάλληλης χρονικής κλίμακας υπολογισμού του SPI.

Τα μελλοντικά ερευνητικά βήματα θα είναι η διερεύνηση της δυνατότητας ανάπτυξης πρόβλεψης δυνητικών ξηρασιών με τη χρήση δεικτών δορυφορικής τηλεπισκόπησης (π.χ. NDVI) και μετεωρολογικών δεδομένων και η πρόβλεψη του σχεδίου χωροχρονικής κατανομής της ξηρασίας με σφαιρικά μοντέλα παρεμβολής.

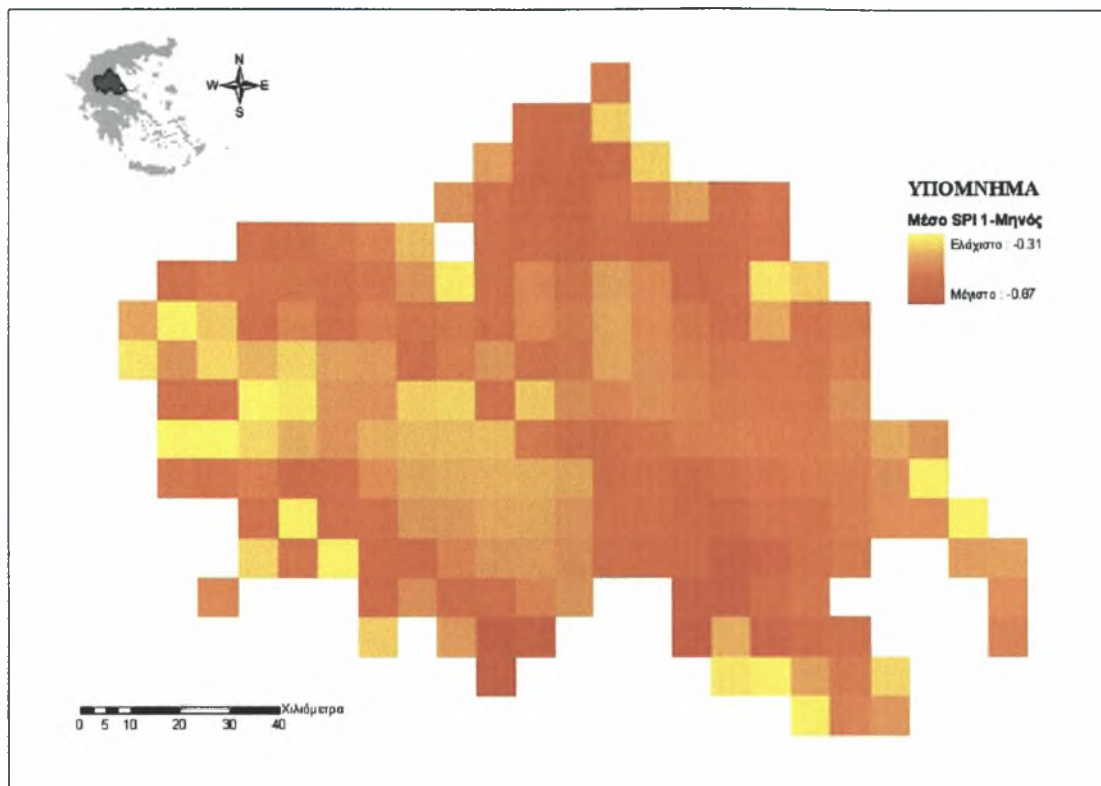
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

- Alley W.M., 1984: The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions, *J. Clim. App. Meteor.*, 23, 1100-1109.
- Bergman, K.H., Sabol, H., and Miskus, D., (1988). Experimental indices for monitoring global drought conditions. *Proc. 13th Annual Climate Diagnostics Workshop*, Cambridge, U.S. Dept. of Commerce, pp. 190-197.
- Bhalme H.N. and D.A. Mooley, 1980: Large scale droughts/floods and monsoon circulation. *Mon. Weath. Rev.*, 108, 1197-1211.
- Bonacci, O., (1993). Hydrological identification of drought. *Hydrol. Process.*, 7, pp. 249-262.
- Bordi, I., and Sutera, A.: Fifty years of precipitation: Some spatially remote teleconnections, *Water Resour. Manag.*, 15, 247-280, 2001.
- Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A., and Sutera, A.: The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: regional patterns, *Annali di Geofisica*, 44(5-6), 979-993, 2001.
- Box, G.E.P. and Cox, D.R. (1964), An Analysis of Transformation, *Journal of the Royal Statistical Society*, 211-243, discussion 244-252.
- Brutsaert, W., (1972). Moisture availability as it relates to droughts. *Proc. 2nd International Symposium in Hydrology: Floods and Droughts*, Colorado.
- Chiew, F.H.A., Piechota, T.C., Dracup, J.A., and McMahon, T.A.: El Nino Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting, *J. Hydrol.*, 204(1-4), 138-149, 1998.
- Dalezios, N.R., A. Loukas, L. Vasiliades and H. Liakopoulos (2000). "Severity-Duration-Frequency Analysis of Droughts and Wet Periods in Greece." *IAHS Hydrological Sciences Journal*, 45(5), pp. 751-770.
- Demuth, S. and Stahl, K. (Eds.), (2001). Assessment of Regional Impact of Droughts in Europe (ARIDE). *Final Report to the European Union*, Institute of Hydrology, University of Freiburg, Germany, pp. 154.
- Dracup, J.A., Lee, K.S., and Paulson, Jr., E.G.: On the definition of droughts, *Water Resour. Res.*, 16(2), 297-302, 1980.
- Garen, D.C., (1992). Revised Surface-Water Supply Index for the western United States. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 119, pp. 437-454.
- Gonzalez, J., and Valdes, J.B.: The mean frequency of recurrence of in-time-multidimensional events for drought analyses, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 17-28, 2004.
- Gottschalk, L., and Perzyna, G.: Low flow distribution along a river, in: *Extreme Hydrological Events: Precipitation, Floods and Droughts*, edited by Kundzewicz, Z.W., Rosbjerg, D., Simonovic, S.P., and Takeuchi, K., IAHS, Publ. No 213, 33-41, 1993.
- Guttman, N.B.: Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 34(1), 113-121, 1998.
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., and Vanyarkho, O.V.: Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 80(3), 429-438, 1999.

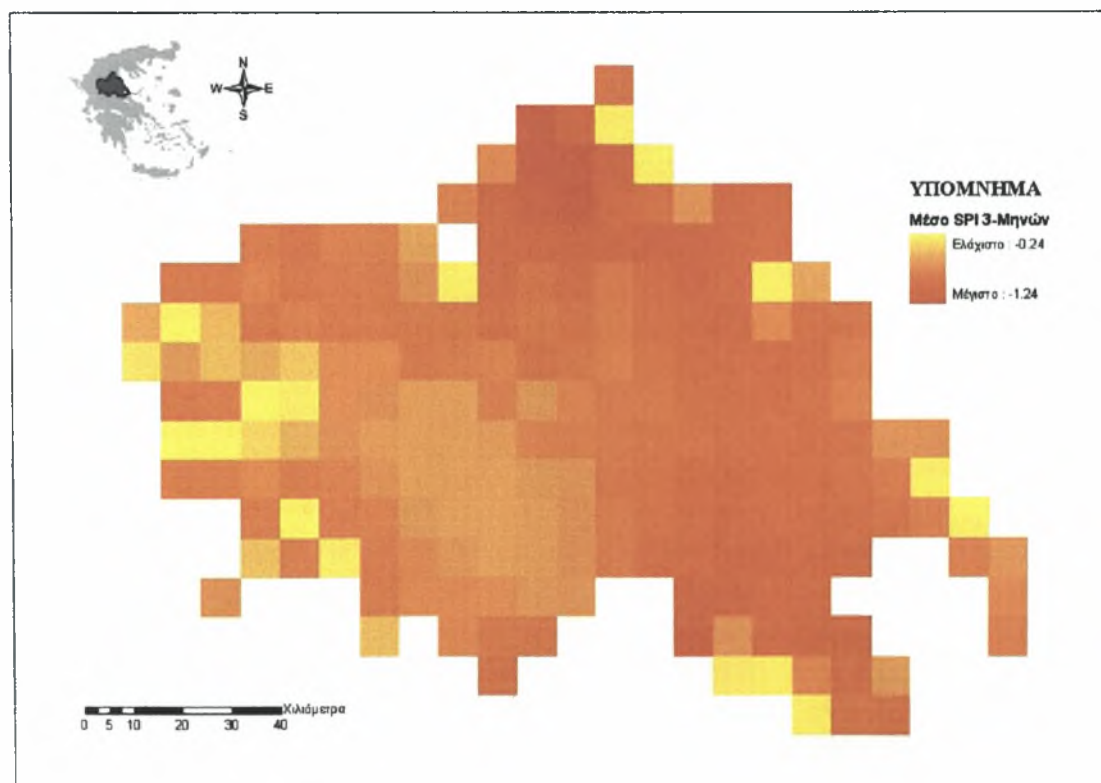
- Henriques, A.G., and Santos, M.J.J.: Regional drought distribution model, *Phys. Chem. Earth (B)*, 24(1-2), 19-22, 1999.
- Hershfield, D.M., Brakensiek, D.L., and Comer, G.H., (1972). Some measures of agricultural drought. *Proc. 2nd International Symposium in Hydrology: Floods and Droughts*, Colorado.
- Hoerling, M., and Kumar, A.: The perfect ocean for drought, *Science*, 299, 691-694, 2003.
- Karl, T., Quinlan, F., and Ezell, D.S. (1987). Drought termination and amelioration: Its climatological probability. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 26, pp. 1198-1209.
- Karl, T.R., (1986). The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 25, pp. 77-86.
- Keyantash, J., and Dracup, J.A.: The quantification of drought: An evaluation of drought indices, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 83(8), 1167-1180, 2002
- Kim, T.W., Valdes, J.B., and Aparicio, J.: Frequency and spatial characteristics of droughts in the Conchos River Basin, Mexico, *Water Int.*, 27(3), 420-430, 2002
- Lana, X., and Burgueno, A.: Some statistical characteristics of monthly and annual pluviometric irregularity for the Spanish Mediterranean coast, *Theor. Appl. Climatol.*, 65(1-2), 79-97, 2000.
- Lana, X., Serra, C., and Burgueno, A.: Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia (NE Spain), *Int. J. Climatol.*, 21(13), 1669-1691, 2001.
- Lloyd-Hughes, B., and Saunders, M.A.: A drought climatology for Europe, *Int. J. Climatol.*, 22, 1571-1592, 2002.
- Loukas, A., Vasiliades, L., and Dalezios, N.R., (2003). Intercomparison of Meteorological Drought Indices for Drought Assessment and Monitoring in Greece. *Proc. 8th International Conference on Environmental Science and Technology*, Lemnos Island, pp. 484-491.
- Loukas, A., Vasiliades, L., and Dalezios, N.R.: Evaluation of precipitation spatial interpolation methods in Pinios River basin, Greece". 1st EGU General Assembly, 25-30 April 2004, Nice, France, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 6, 2004.
- McKee TB, Doesken NJ, Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales [preprints, Eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim, CA, American Meteorological Society]; 179-184.
- Naoum, S, Tsanis, I.K.: Temporal and spatial variation of annual rainfall on the island of Crete, Greece, *Hydrol. Process.*, 17(10), 1899-1922, 2003.
- Oladipo E. O., 1985: A comparative performance analysis of three meteorological drought indices. *J. Climatol.*, 5, 655-664.
- Palmer W.C., 1965: *Meteorological drought*. Research Paper No 45, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C., 58 pp.
- Piechota T.C., and J.A. Dracup, 1996: Drought and regional hydrologic variation in the United States: associations with the El Nino-Southern Oscillation, *Water Resour. Res.*, 32 (5), 1359-1373.
- Quiring, S.M, and Papakryiakou, T.N.: An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies, *Agr. Forest Meteorol.*, 118, 49-62, 2003.
- Rao A.R., and T.L. Voeller, 1997: Development and testing of drought indicators. *Water Resour. Manag.*, 11(2), 119-136.
- Sen, Z., (1998). Probabilistic formulation of spatio-temporal pattern, *Theor. Appl. Climatol.*, 61, pp. 197-206.

- Shafer, B.A., and Dezman, L.E., (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Proc. 50th Western Snow Conf.*, Reno, pp. 164-175.
- Sims, A.P., Niyogi, D.S., and Raman, S.: Adopting drought indices for estimating soil moisture: A North Carolina case study, *Geophys. Res. Lett.*, 29(8), 1183, doi: 10.1029/2001GL013343, 2002.
- Tadesse, T., Wilhite, D.A., Harms, S.K., Hayes, M.J., and Goddard, S.: Drought monitoring using data mining techniques: A case study for Nebraska, USA, *Natural Hazards*, 33, 1-21, 2004.
- Tate, E.L., and Gustard, A.: Drought definition: A hydrological perspective, in: *Drought and Drought Mitigation in Europe*, edited by Voght. J.V., and Somma, F., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 23-48, 2000.
- Thom, H.C.S., (1958). A note on the gamma distribution., *Mon. Weath.Rev.*, 86, pp. 117-122.
- Thornthwaite, C.W. & Mather, J.R. (1955). The water balance. *Publ. Climat., Lab. Climat.*, 8, pp. 1-104.
- Tsakiris, G., and Vangelis, H.: Towards a drought watch system based on spatial SPI, *Water Resour. Manag.*, 18, 1-12, 2004.
- Van Rooy M. P., (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, pp. 43-48.
- Wilhite, D.A., and Glantz, M.H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, *Water Inter.*, 10(3), pp. 111-120.
- Wu, H, Hayes, M.J., Weis, A., Hu, Q. (2001). An Evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. *Int. J. Climatol.*, 21, pp. 745-758.
- ΕΣΥΕ Απογραφικά δελτία 1995
- ΕΥΔΕ Αχελώου και ΕΝΒΕCO, Συνολική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων της εκτροπής Αχελώου, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 1995.
- Κουκοβίνος. Α και Ε. Ρόζος, Τελική έκθεση, Εκσυγχρονισμός του πρωτογενούς αρχείου δεδομένων επιφανειακής και υπόγειας υδρολογίας του υπουργείου γεωργίας στην Θεσσαλία. Τομέας υδατικών πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 77 σελίδες, Αθήνα, Ιανουάριος 1999.
- Κουτσογιάννης. Δ., Α, Ευστρατιάδης, και Ν. Μαμάσης. Αποτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού και των δυνατοτήτων εκμετάλλευσης του στην λεκάνη του Αχελώου και την Θεσσαλία. Κεφ 5 της μελέτης των υδατικών συστημάτων. Συμπληρωματική μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εκτροπής του Αχελώου προς την Θεσσαλία. Εργοδότης: Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων έργων, Υγροεξυγιαντική (Κουτσογιάννης κ.α ., 2001α).
- Μαρίνος, Π., Μ. Θάνος, Β. Περγλέρος και Μ. Καββαδάς, Υδατικό δυναμικό θεσσαλικής πεδιάδας – Επιπτώσεις από την υπερεκμετάλλευση του, Πρακτικά 3^{ου} Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Ηράκλειο Κρήτης, 1995.
- ΥΒΕΤ96. Σχέδιο προγράμματος διαχείρισης των υδατικών πόρων της χώρας. Ταξινόμηση ποσοτικών και ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων με βάση τις αποδελτιωμένες μελέτες του ΥΒΕΤ, με χρήση συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας. Τομέας υδατικών πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 339 σελίδες, Υπουργείο Ανάπτυξης, Αθήνα, Νοέμβριος 1996.

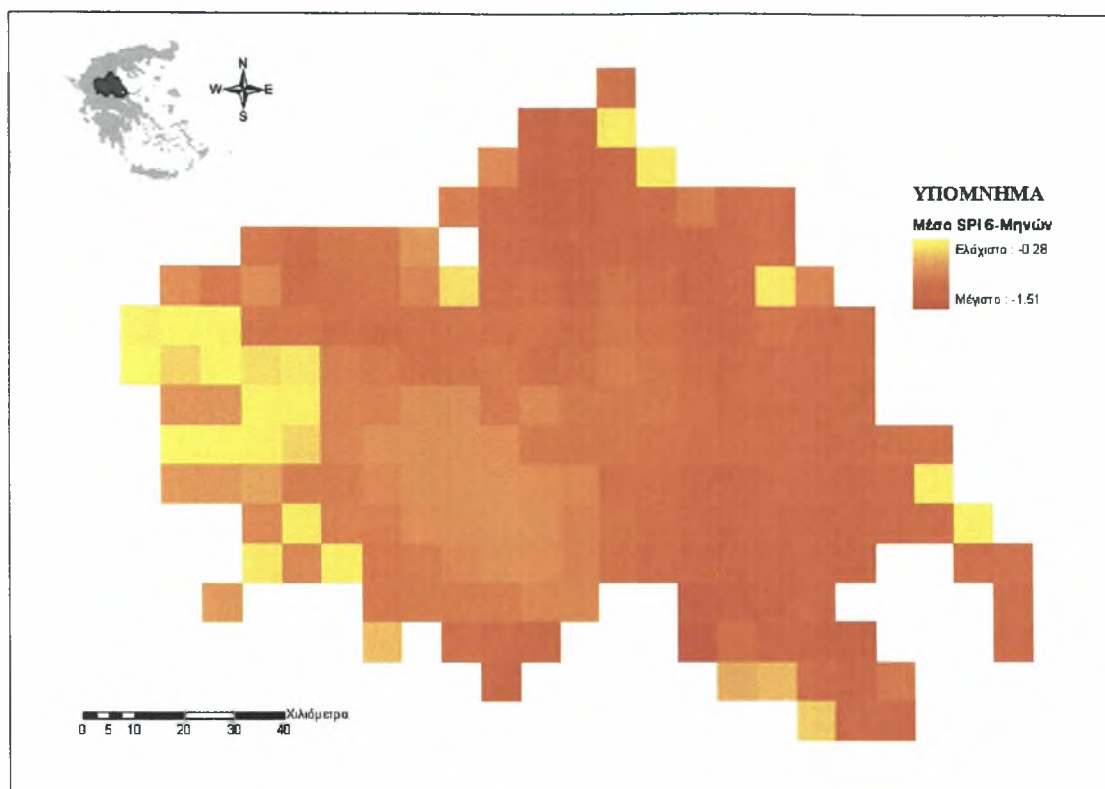
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Α. ΧΑΡΤΕΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΕΤΗΣΙΟΥ
ΔΕΙΚΤΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ (SPI).**



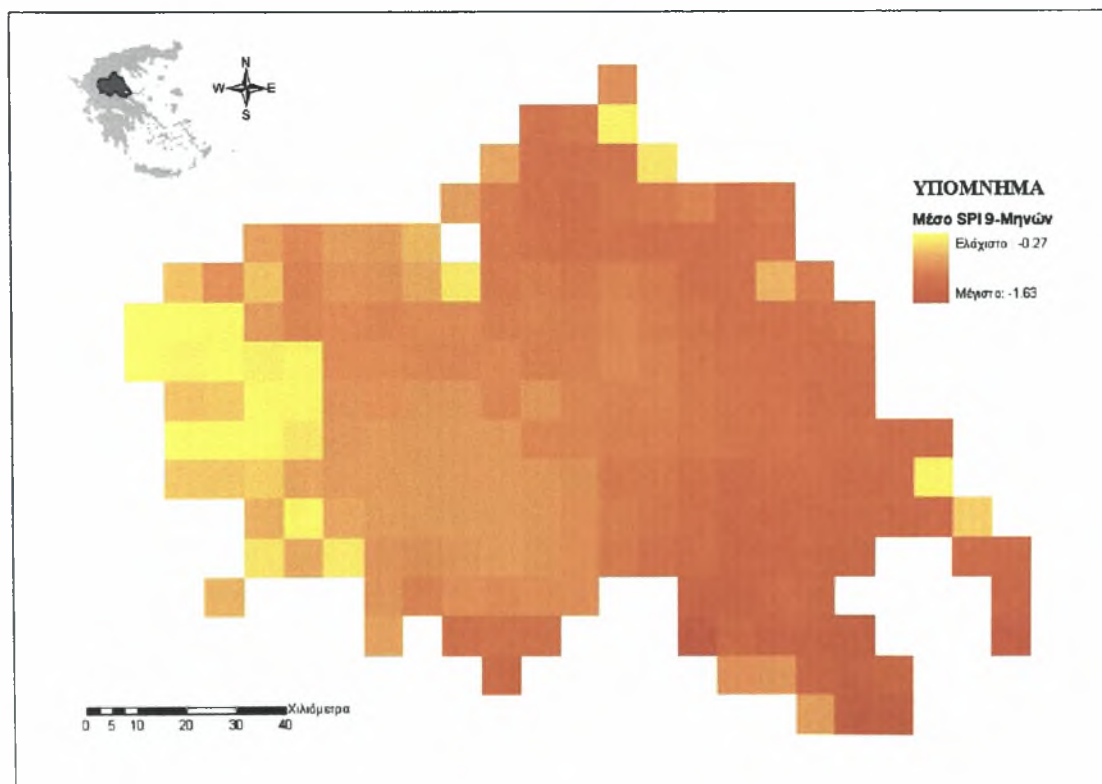
Σχήμα Α1. Χωρική κατανομή μέσου δείκτη ξηρασίας SPI 1-Μηνός, υδρολογικού έτους 1976-77.



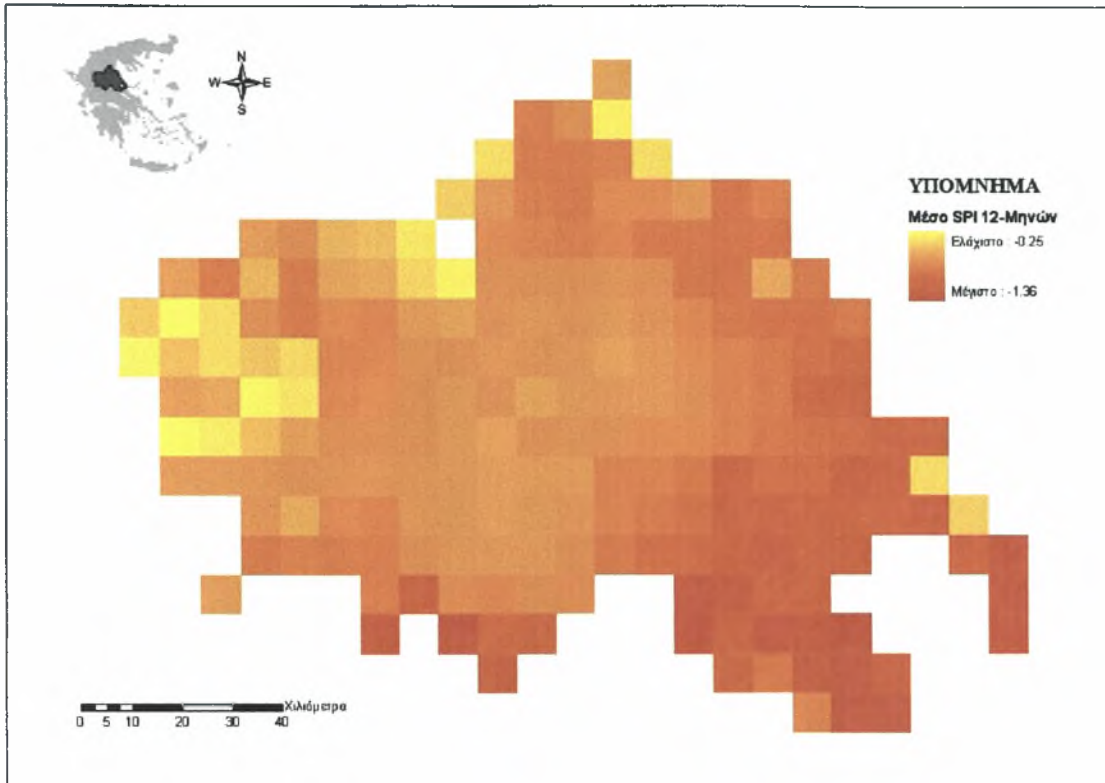
Σχήμα Α2. Χωρική κατανομή μέσου δείκτη ξηρασίας SPI 3-Μηνών, υδρολογικού έτους 1976-77.



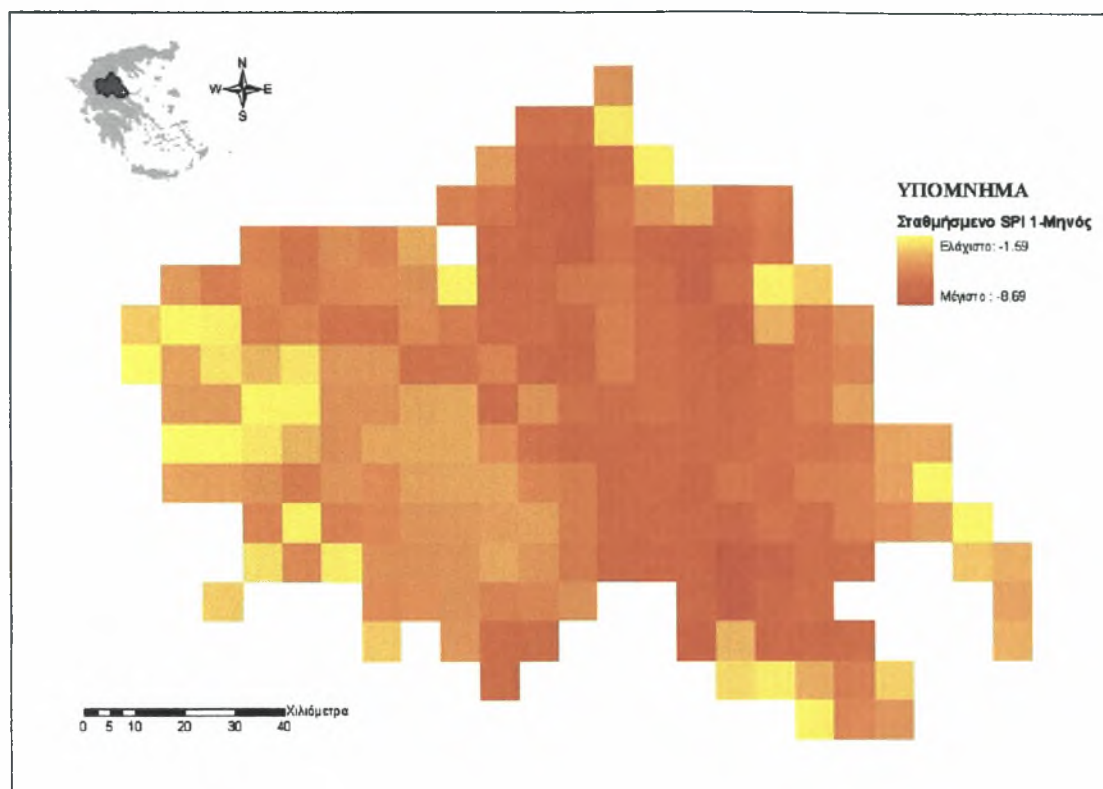
Σχήμα Α3. Χωρική κατανομή μέσου δείκτη ξηρασίας SPI 6-Μηνών, υδρολογικού έτους 1976-77.



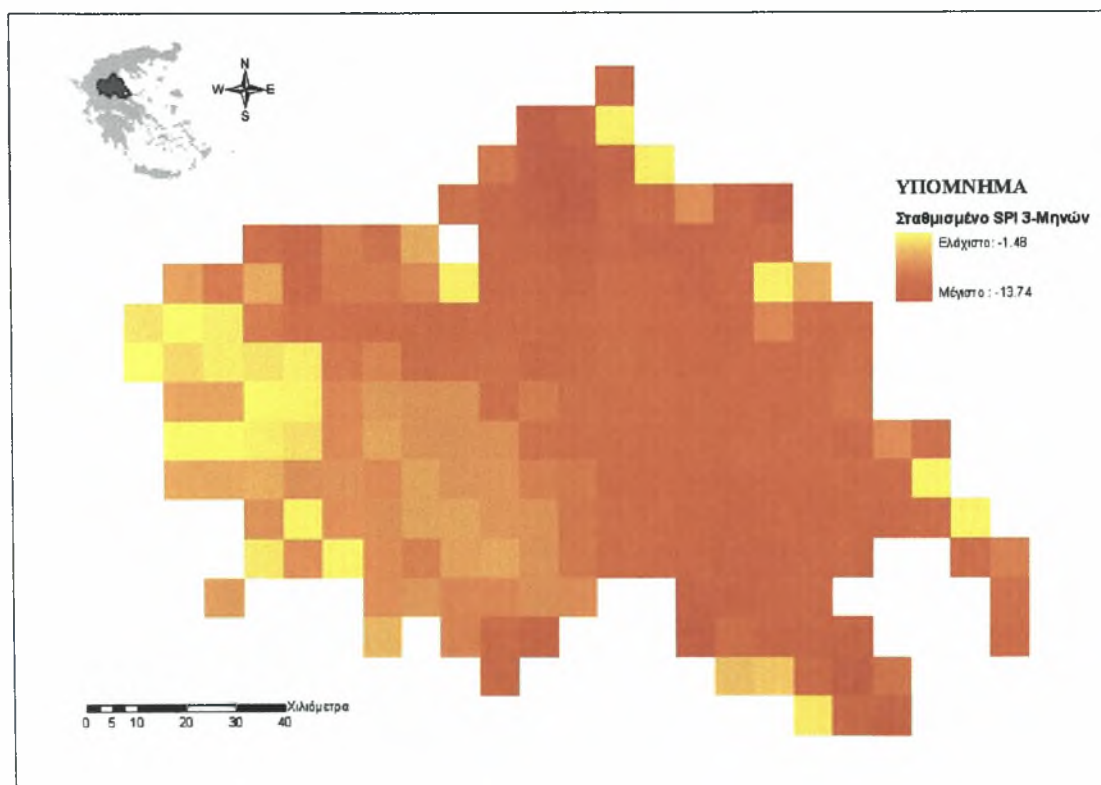
Σχήμα Α4. Χωρική κατανομή μέσου δείκτη ξηρασίας SPI 9-Μηνών, υδρολογικού έτους 1976-77.



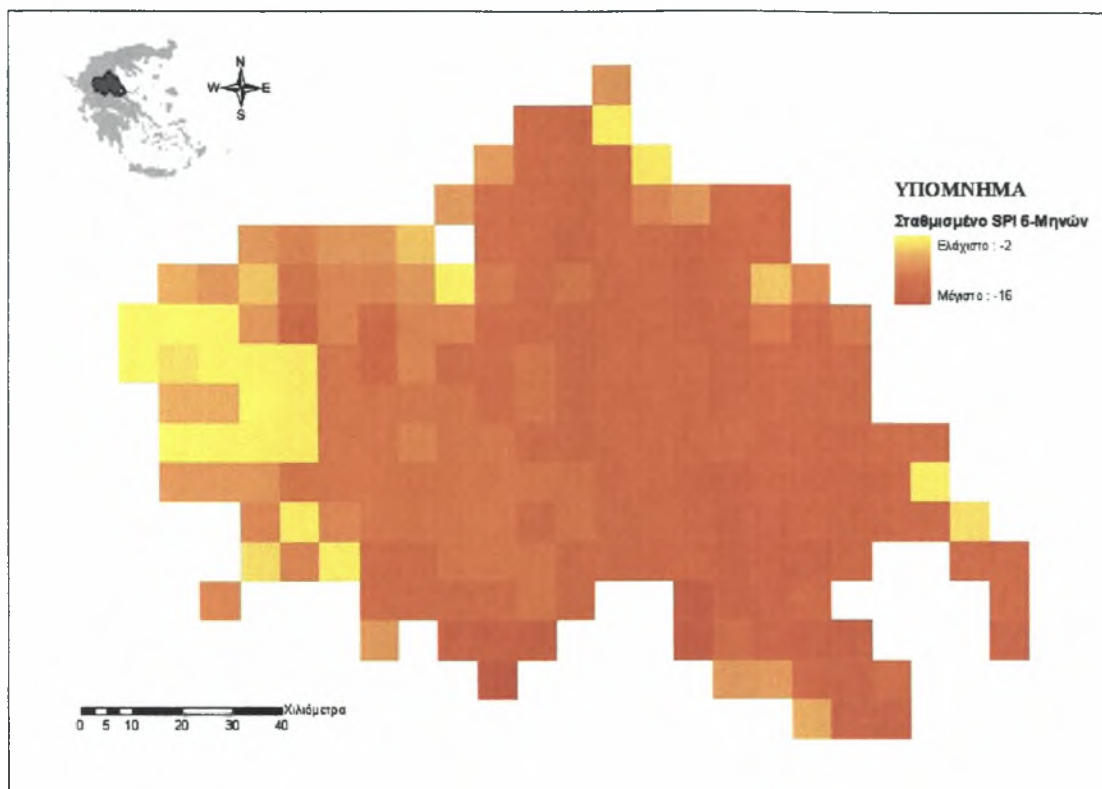
Σχήμα Α5. Χωρική κατανομή μέσου δείκτη ξηρασίας SPI 12-Μηνών, υδρολογικού έτους 1976-77.



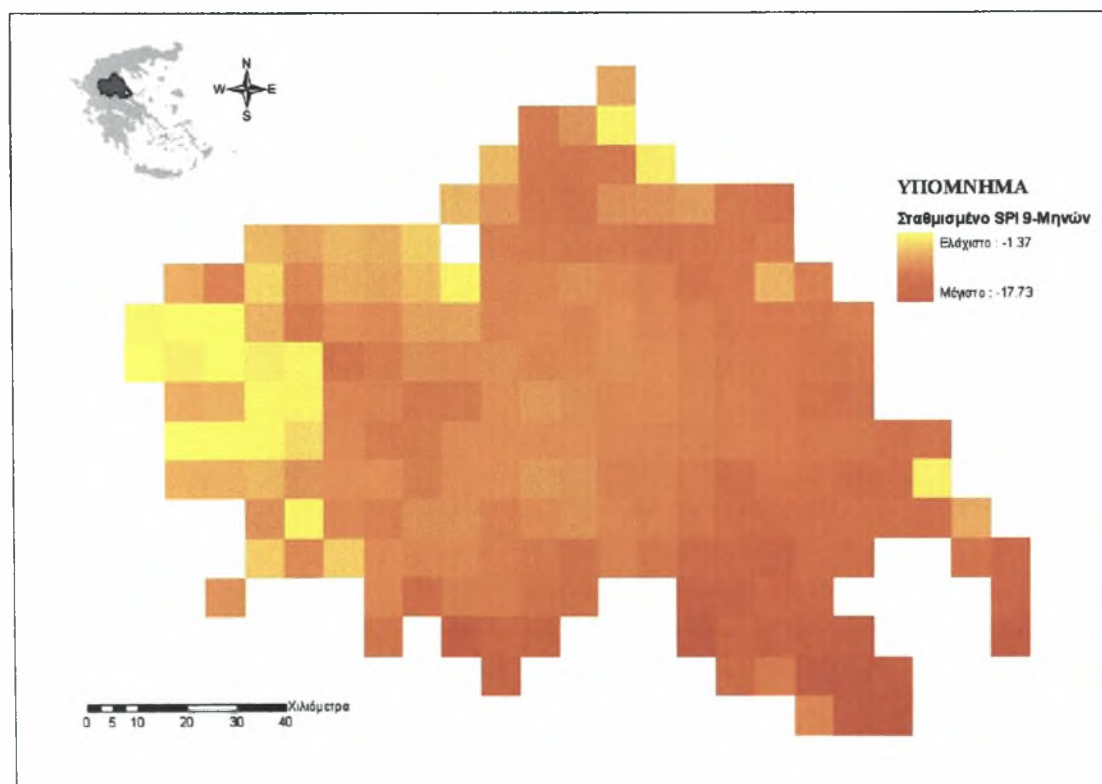
Σχήμα Α6. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 1-Μηνός, υδρολογικού έτους 1976-77.



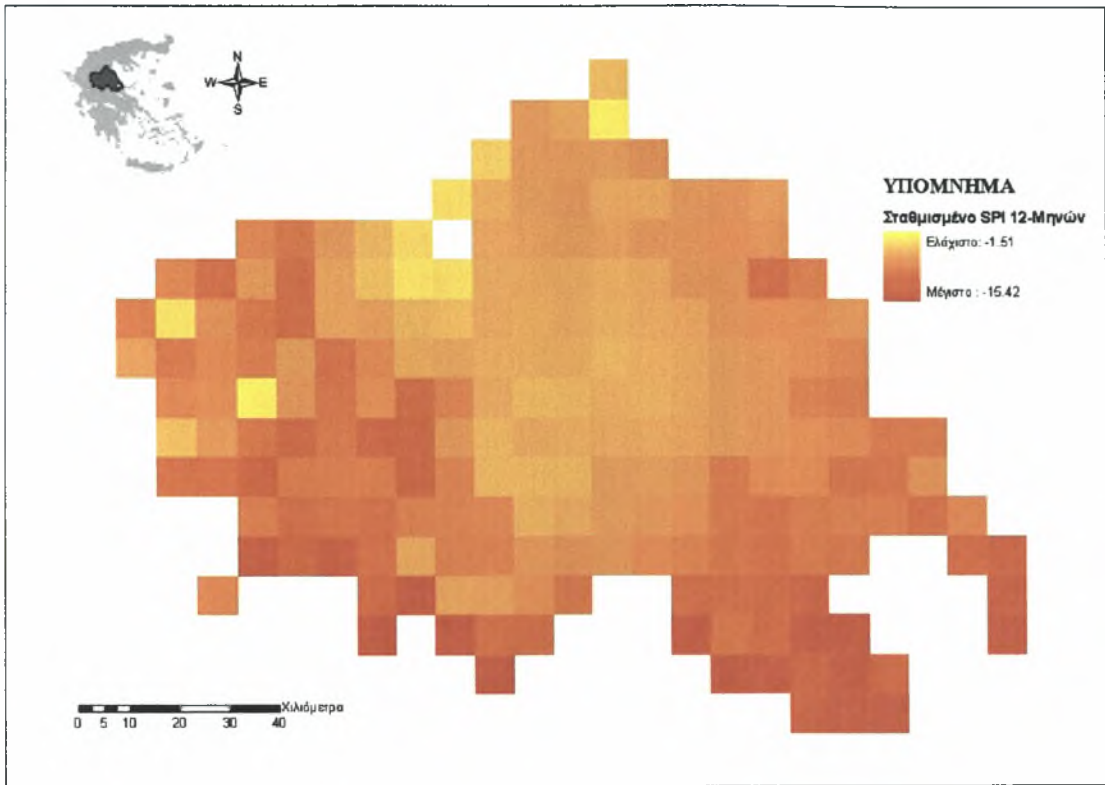
Σχήμα Α7. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 3-Μηνών, υδρολογικού έτους 1976-77.



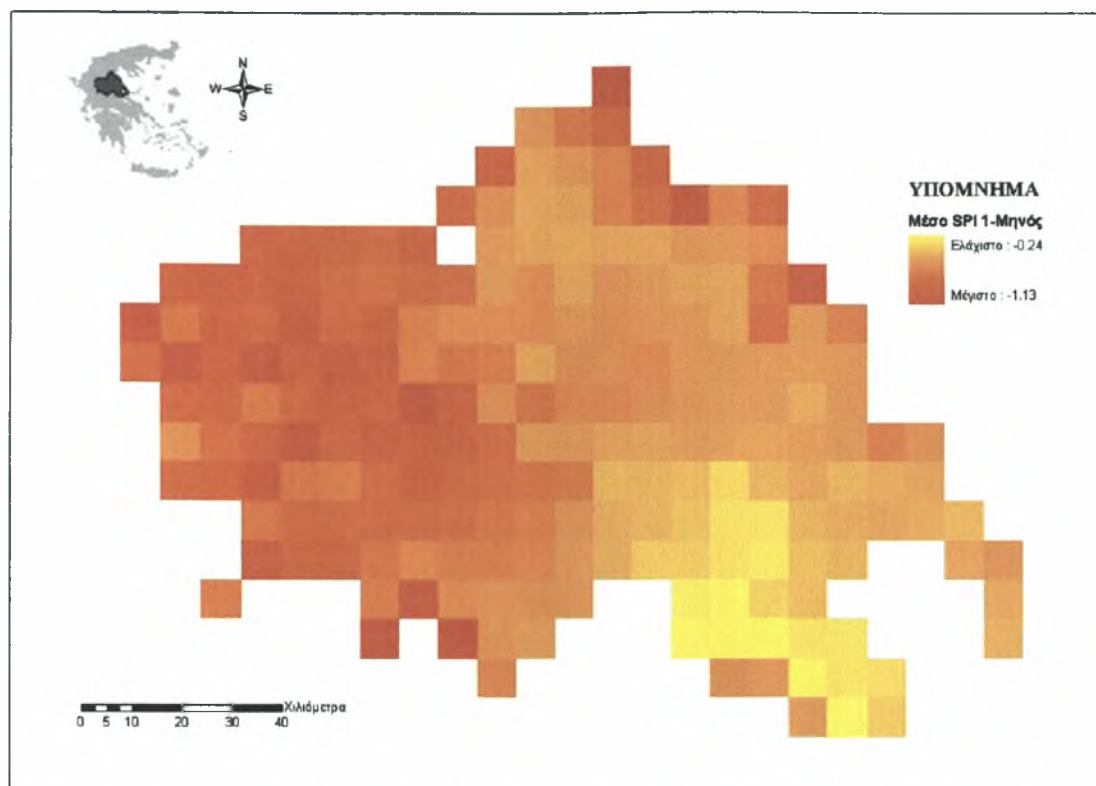
Σχήμα Α8. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 6-Μηνών, υδρολογικού έτους 1976-77.



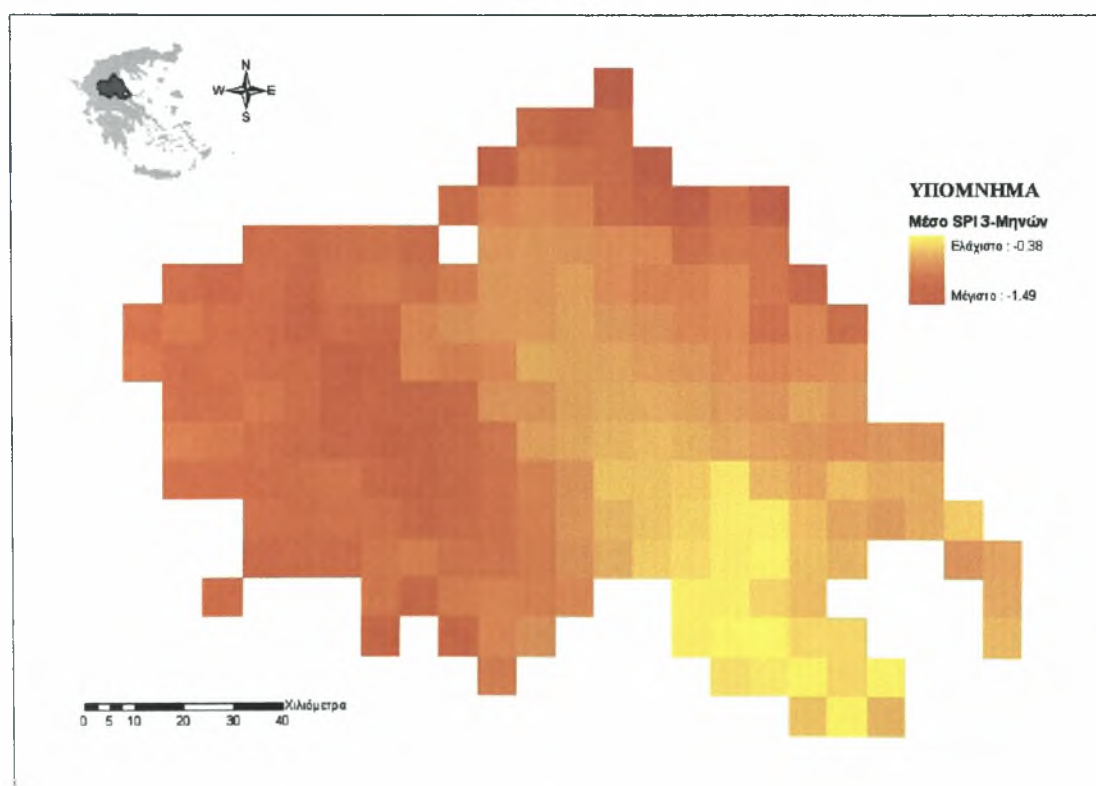
Σχήμα Α9. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 9-Μηνών, υδρολογικού έτους 1976-77.



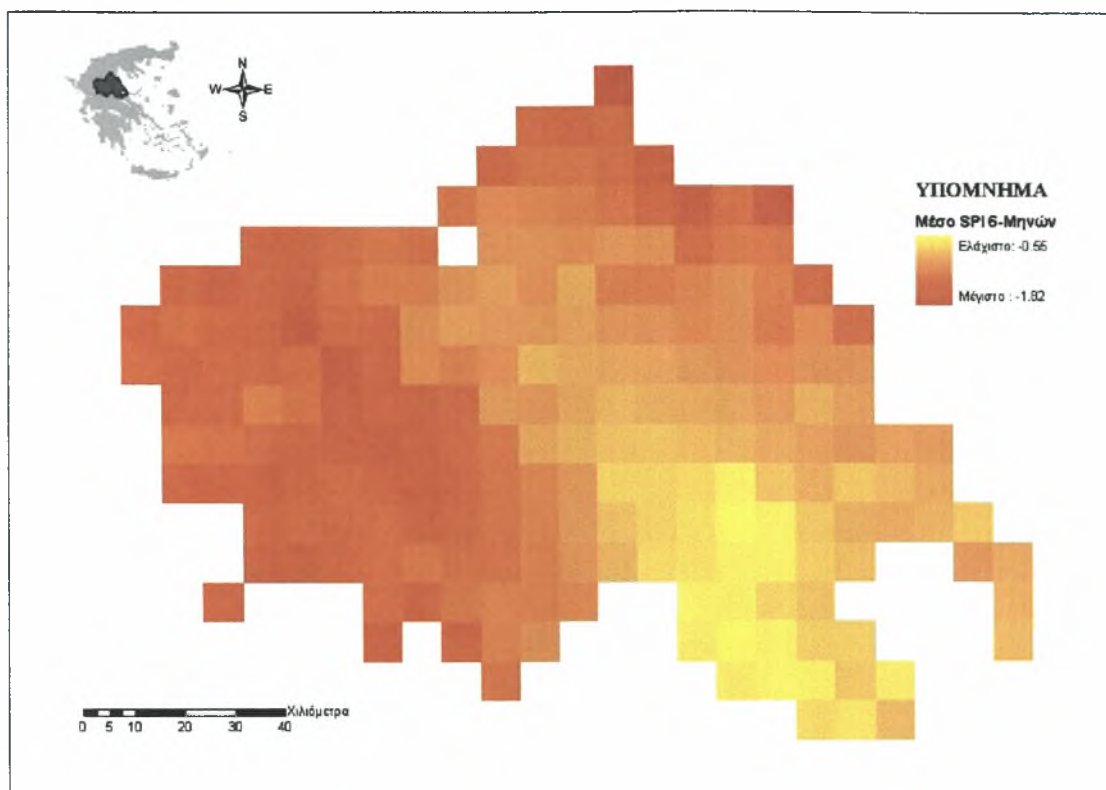
Σχήμα Α10. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 12-Μηνών, υδρολογικού έτους 1976-77.



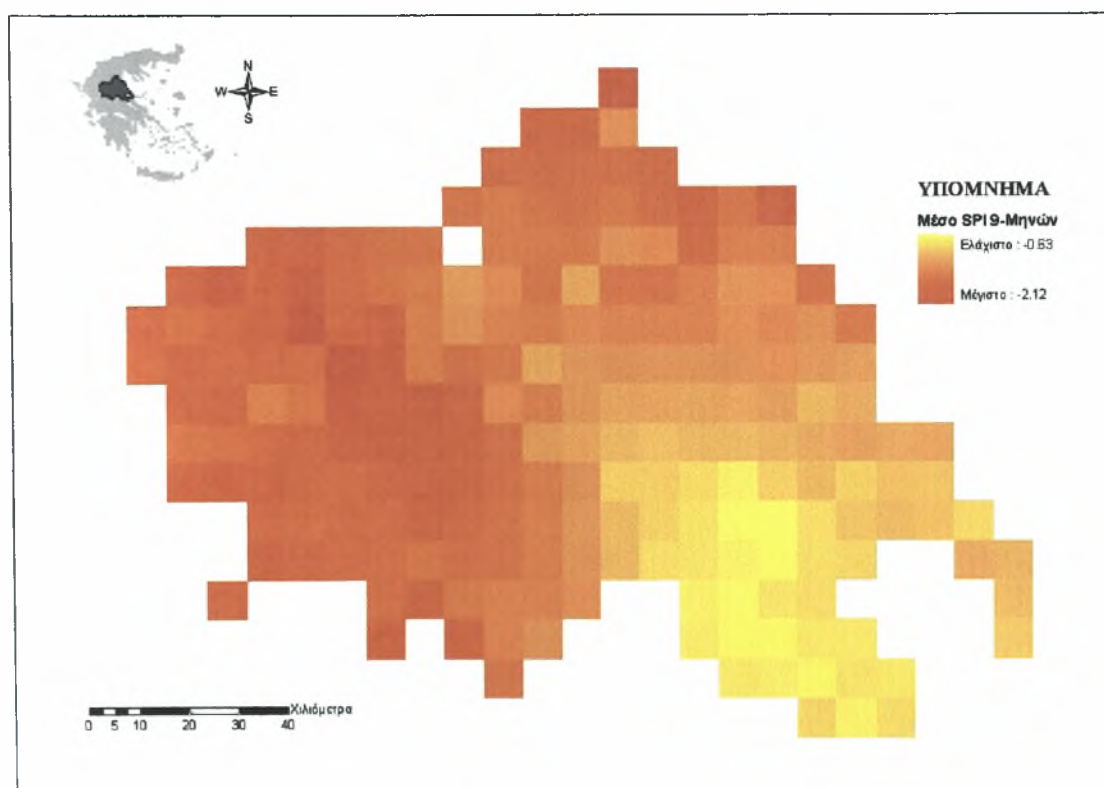
Σχήμα Α11. Χωρική κατανομή μέσου δείκτη ξηρασίας SPI 1-Μηνός, υδρολογικού έτους 1989-90.



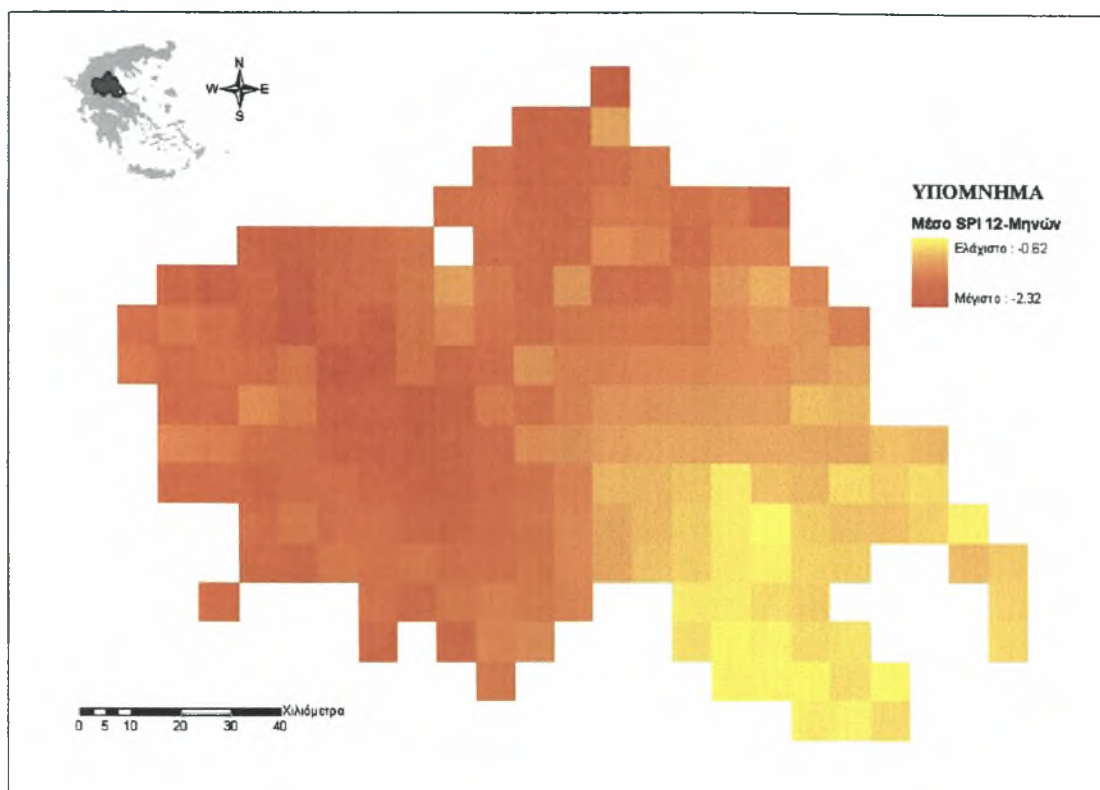
Σχήμα Α12. Χωρική κατανομή μέσου δείκτη ξηρασίας SPI 3-Μηνών, υδρολογικού έτους 1989-90.



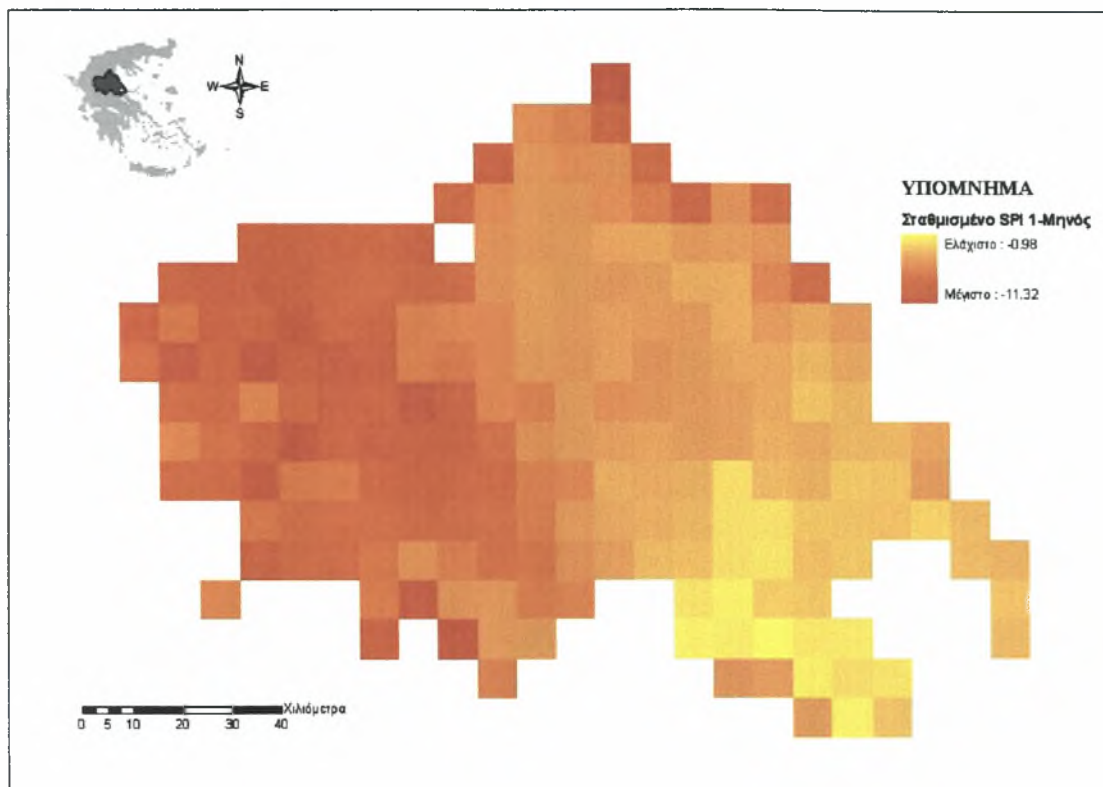
Σχήμα A13. Χωρική κατανομή μέσου δείκτη ξηρασίας SPI 6-Μηνών, υδρολογικού έτους 1989-90.



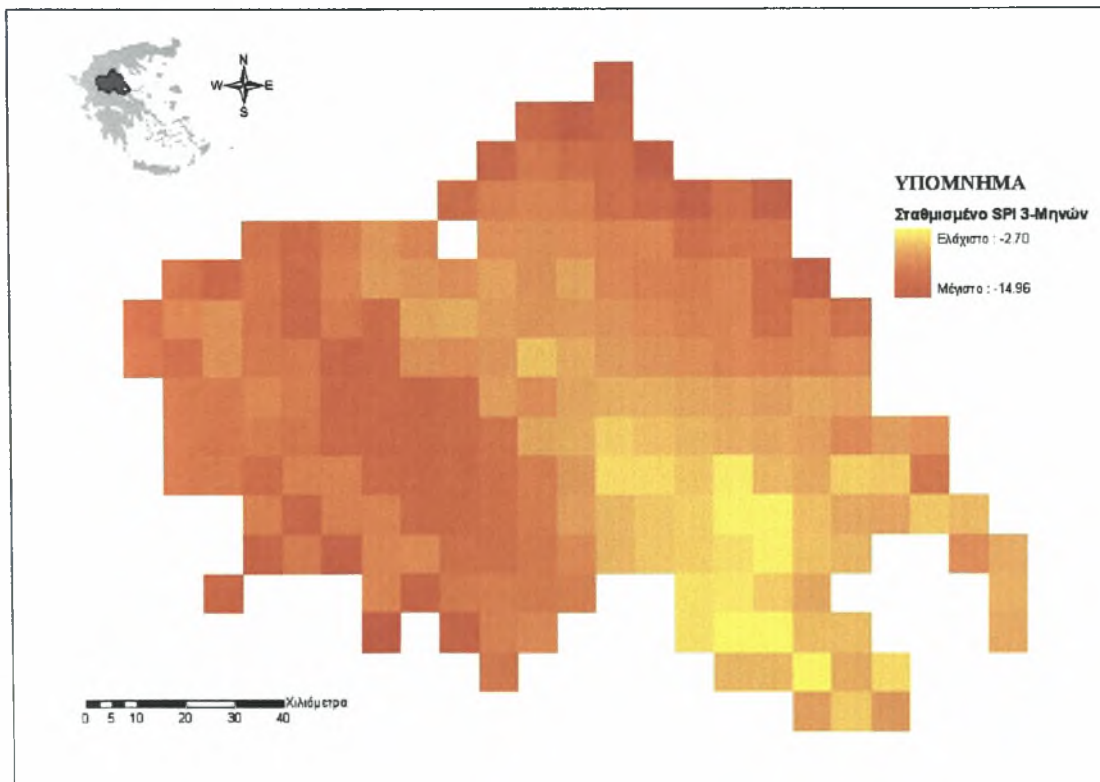
Σχήμα A14. Χωρική κατανομή μέσου δείκτη ξηρασίας SPI 9-Μηνών, υδρολογικού έτους 1989-90.



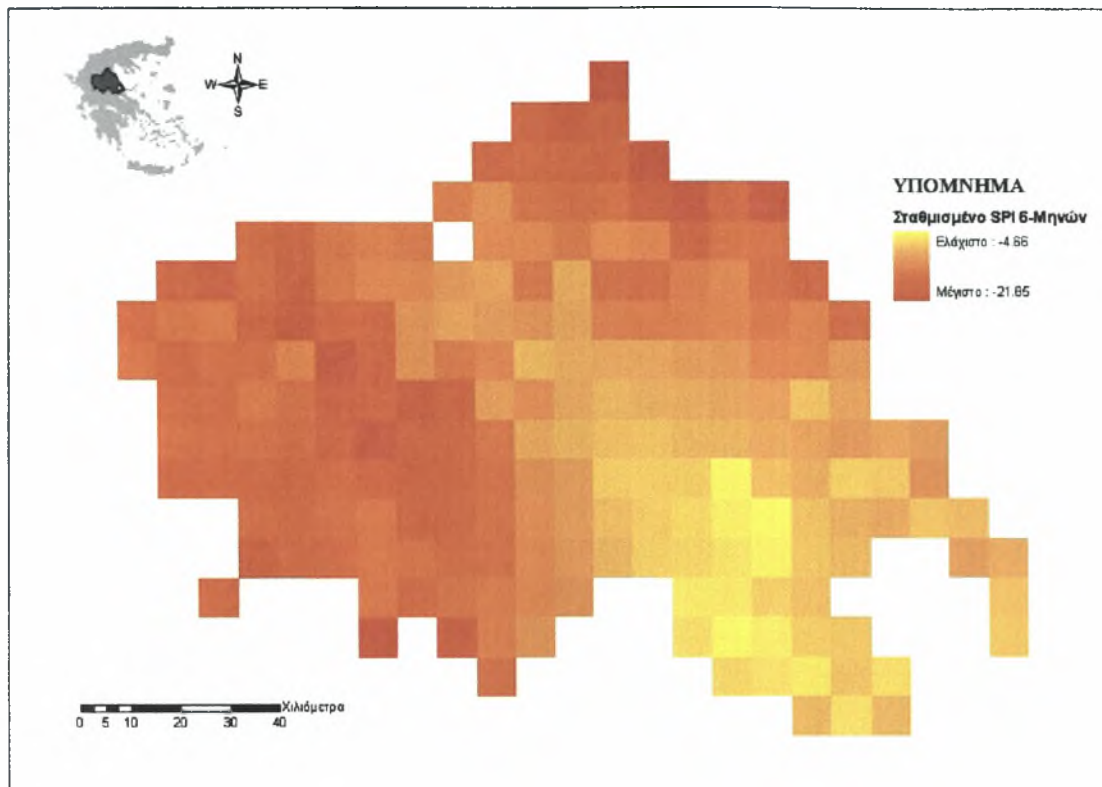
Σχήμα Α15. Χωρική κατανομή μέσου δείκτη ξηρασίας SPI 12-Μηνών, υδρολογικού έτους 1989-90.



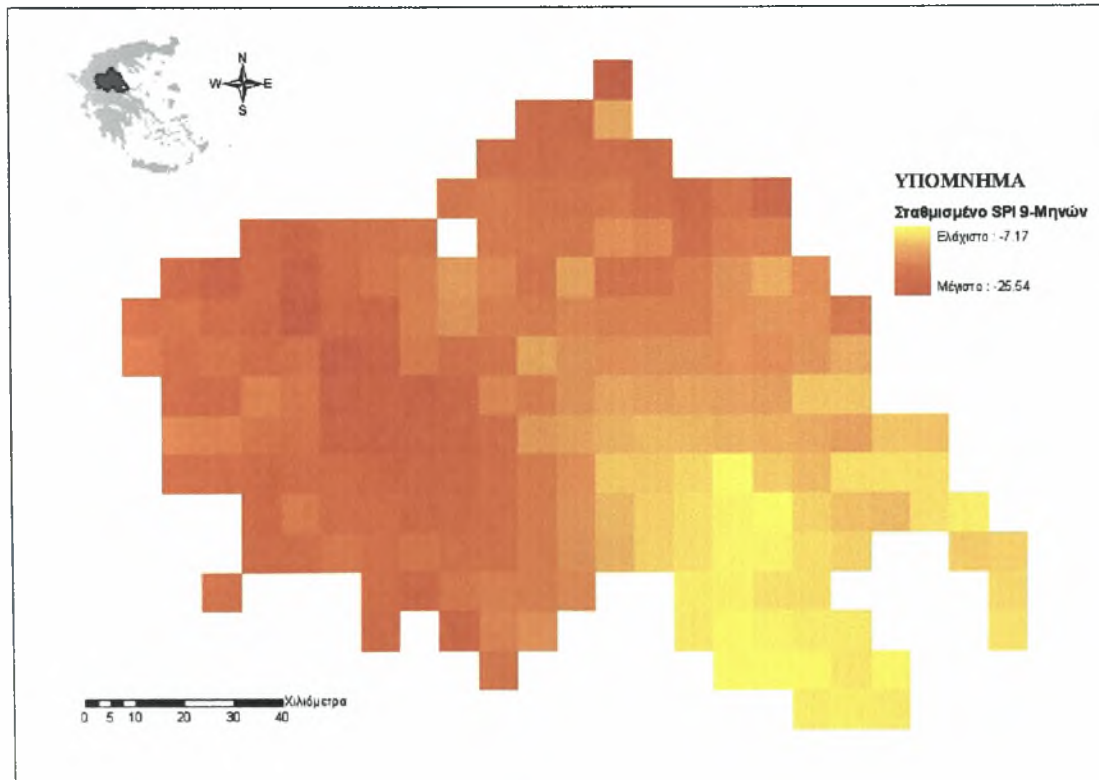
Σχήμα A16. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 1-Μηνός, υδρολογικού έτους 1989-90.



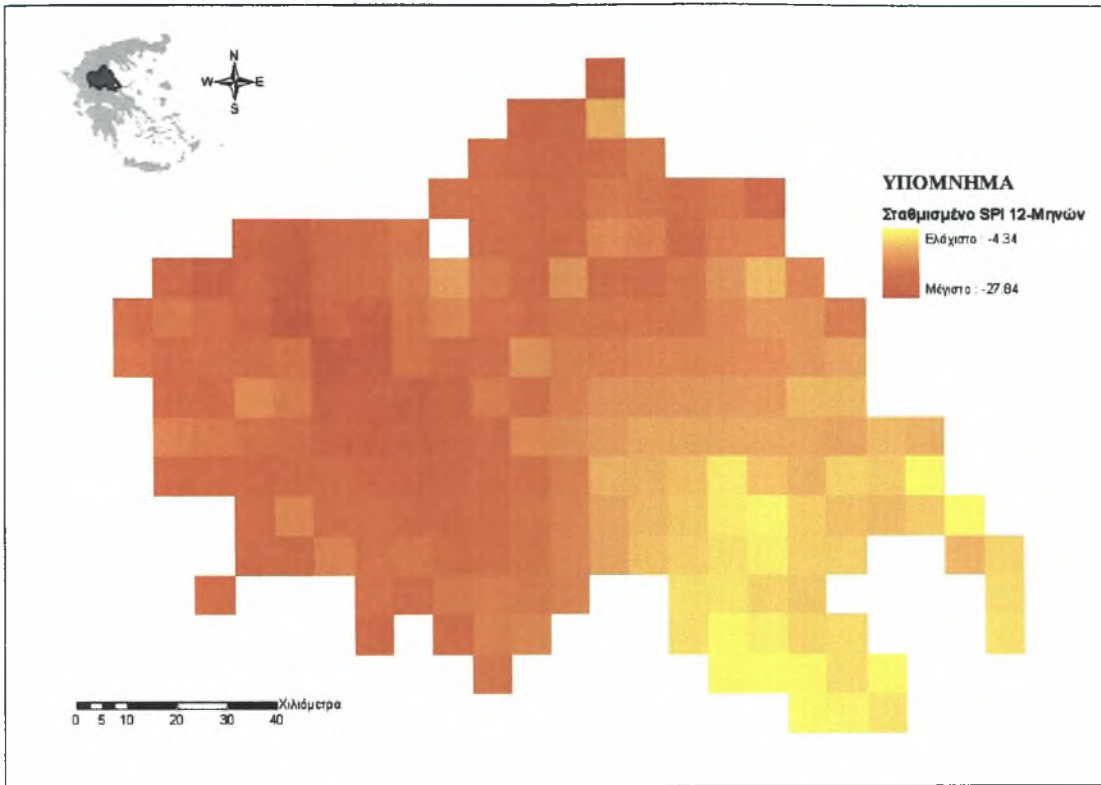
Σχήμα A17. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 3-Μηνών, υδρολογικού έτους 1989-90.



Σχήμα Α18. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 6-Μηνών, υδρολογικού έτους 1989-90.

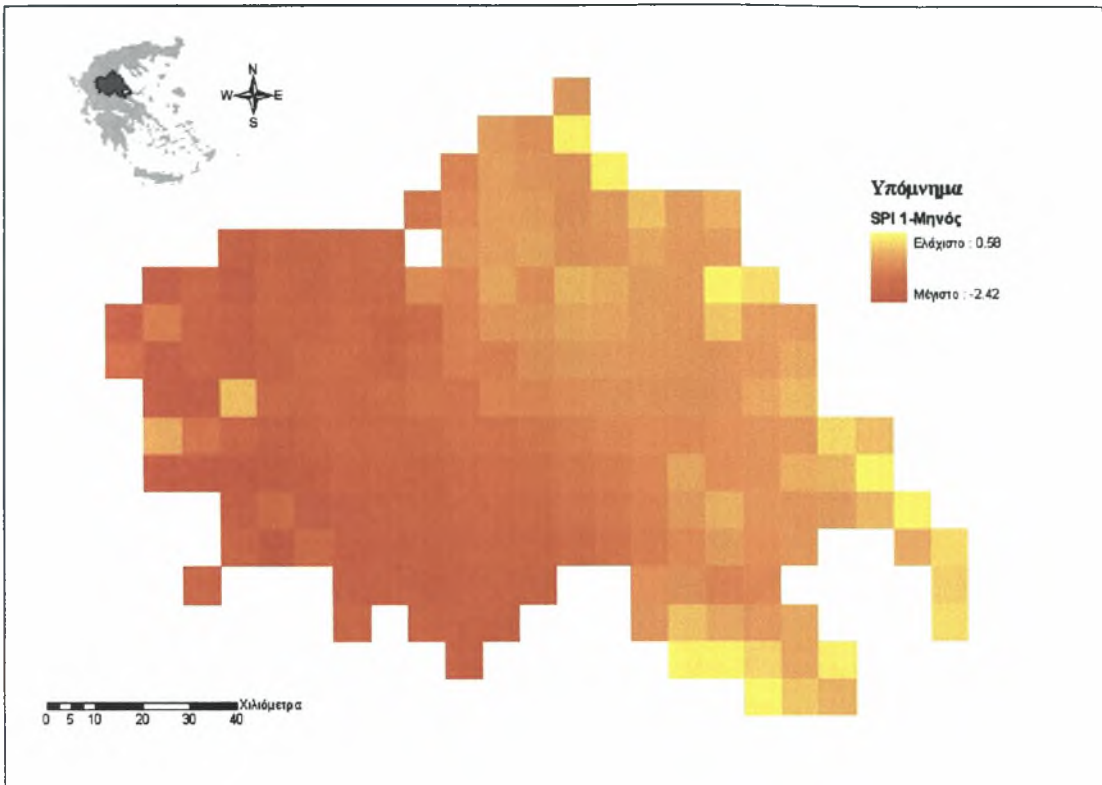


Σχήμα Α19. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 9-Μηνών, υδρολογικού έτους 1989-90.

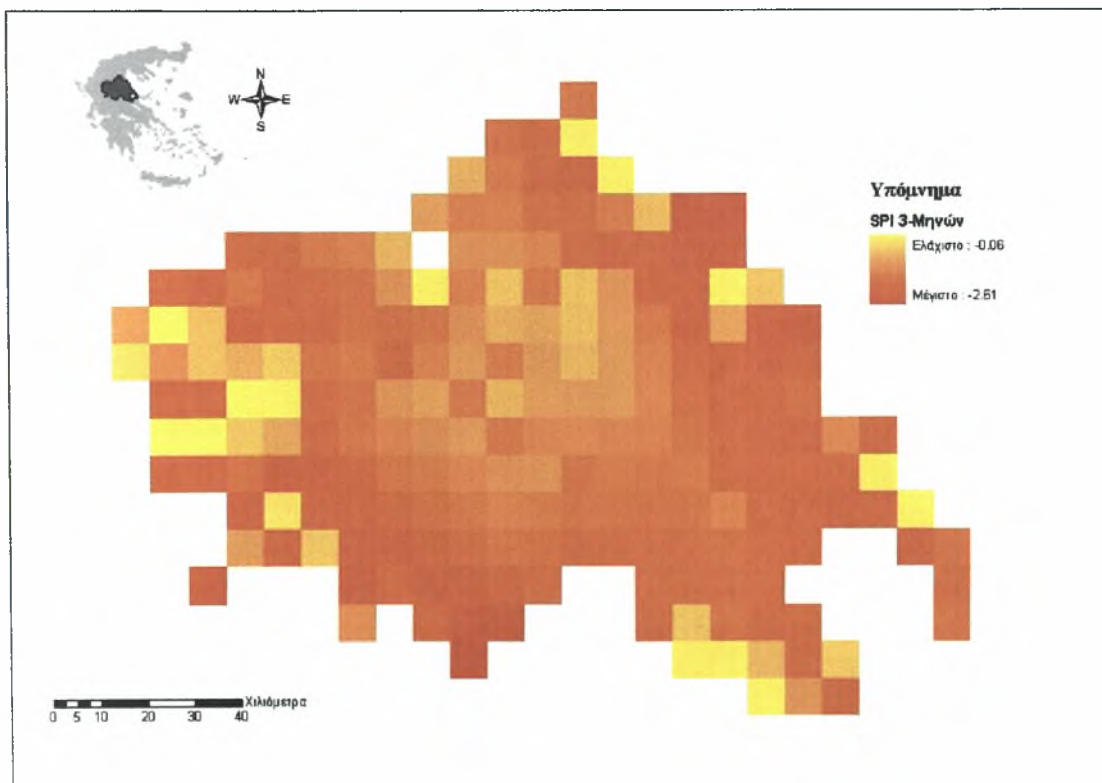


Σχήμα Α20. Χωρική κατανομή σταθμισμένου δείκτη ξηρασίας SPI 12-Μηνών, υδρολογικού έτους 1989-90.

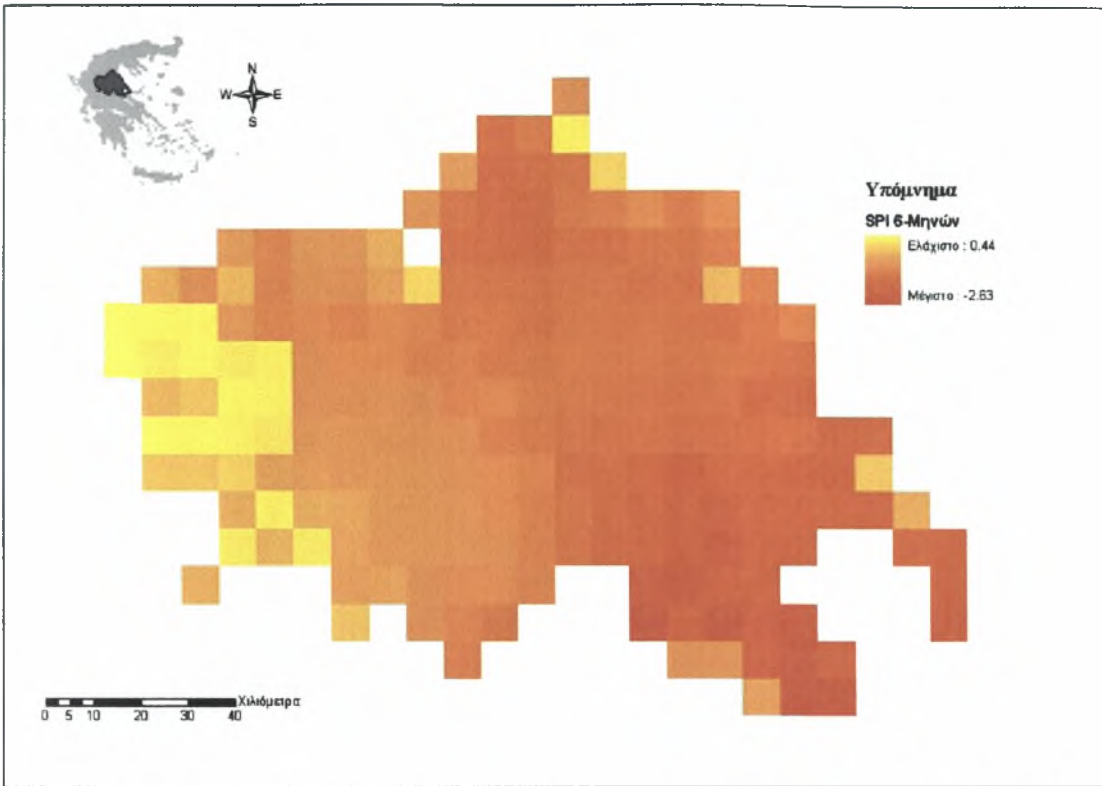
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Β. ΧΑΡΤΕΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΜΗΝΙΑΙΟΥ
ΔΕΙΚΤΗ ΞΗΡΑΣΙΑΣ (SPI).**



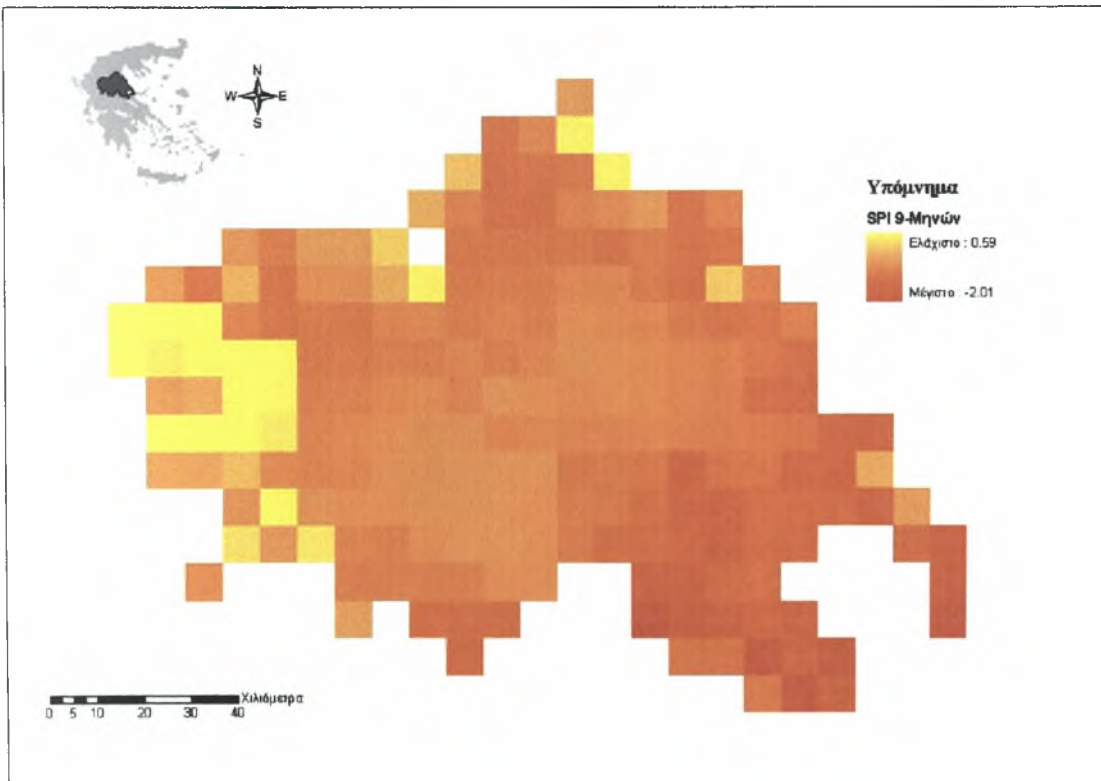
Σχήμα Β1. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας, *SPI 1-Μηνός*, ΜΑΡΤΙΟΥ 1977.



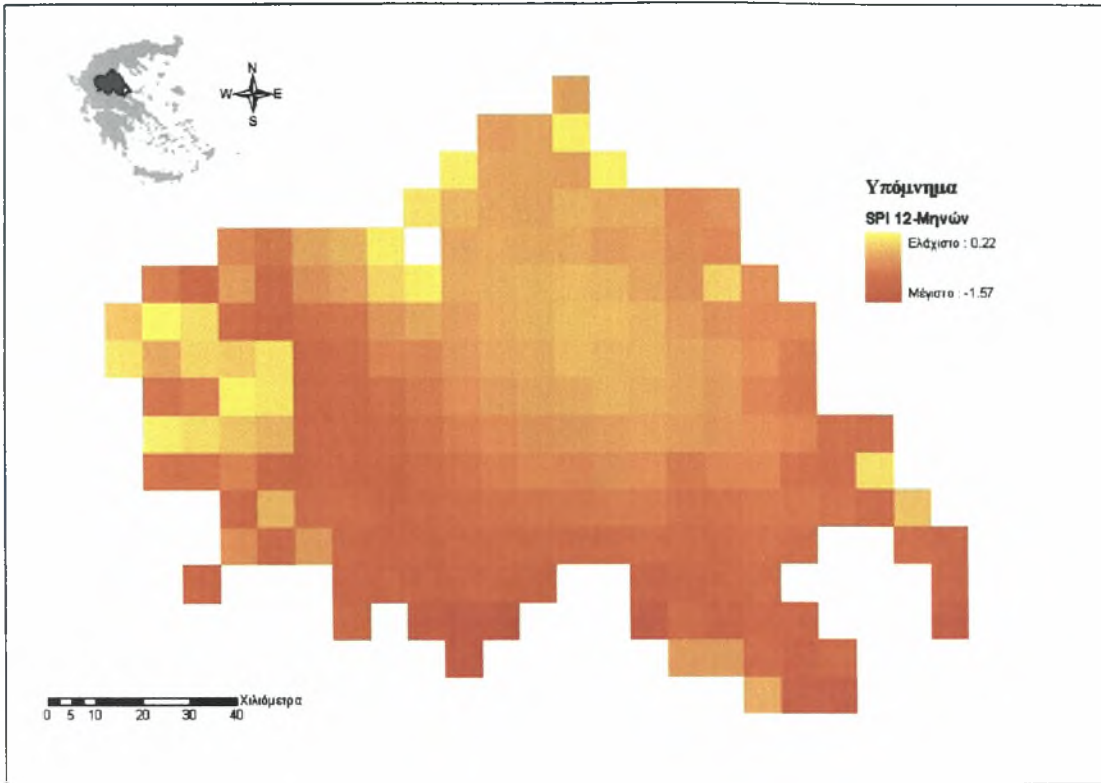
Σχήμα Β2. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας, *SPI 3-Μηνών*, ΜΑΡΤΙΟΥ 1977.



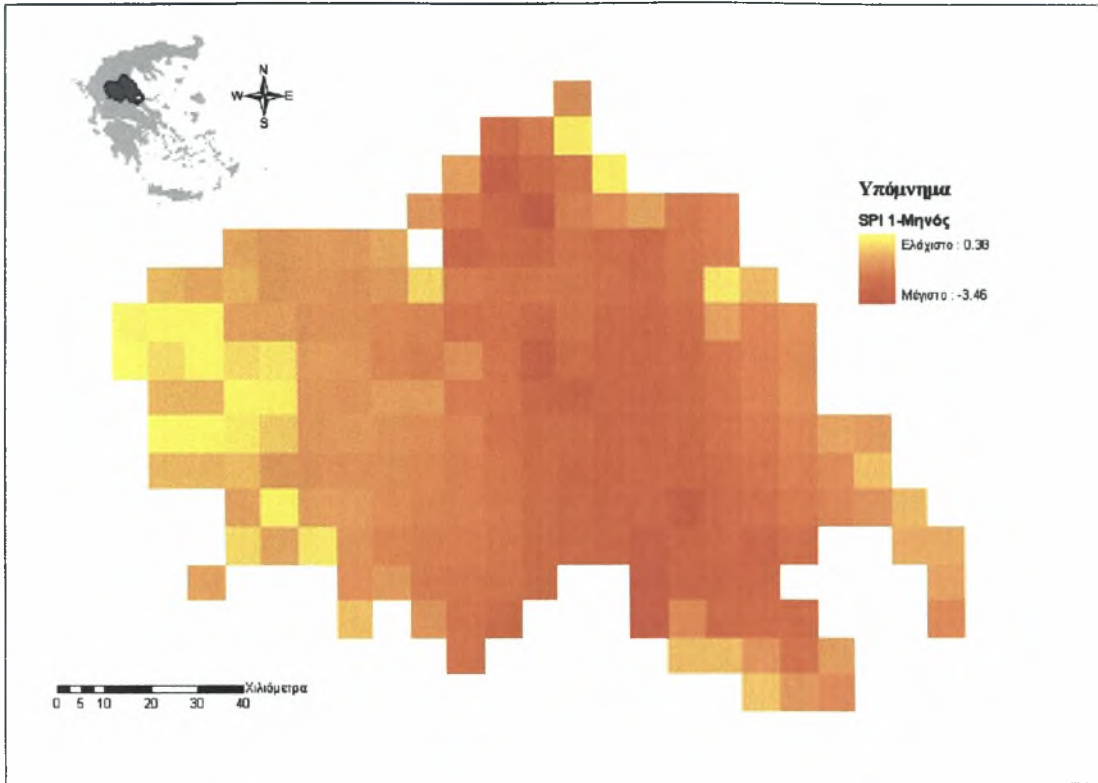
Σχήμα Β3. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας, SPI 6-Μηνών, ΜΑΡΤΙΟΥ 1977.



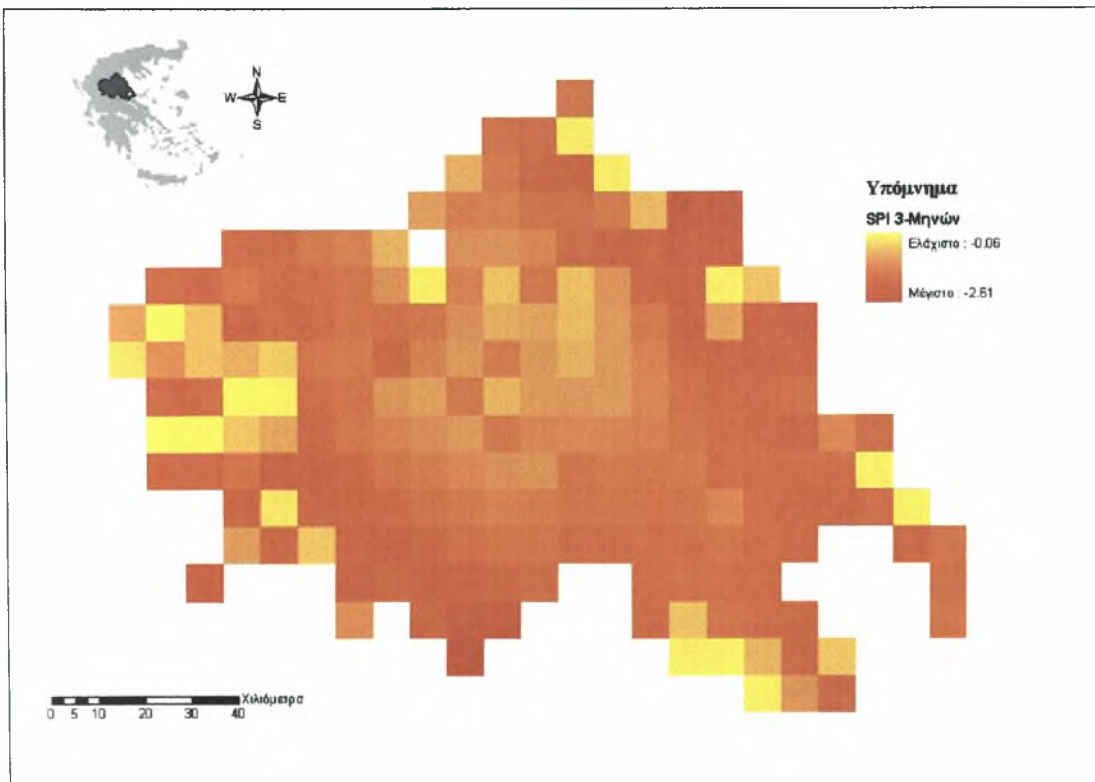
Σχήμα Β4. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας, SPI 9-Μηνών, ΜΑΡΤΙΟΥ 1977.



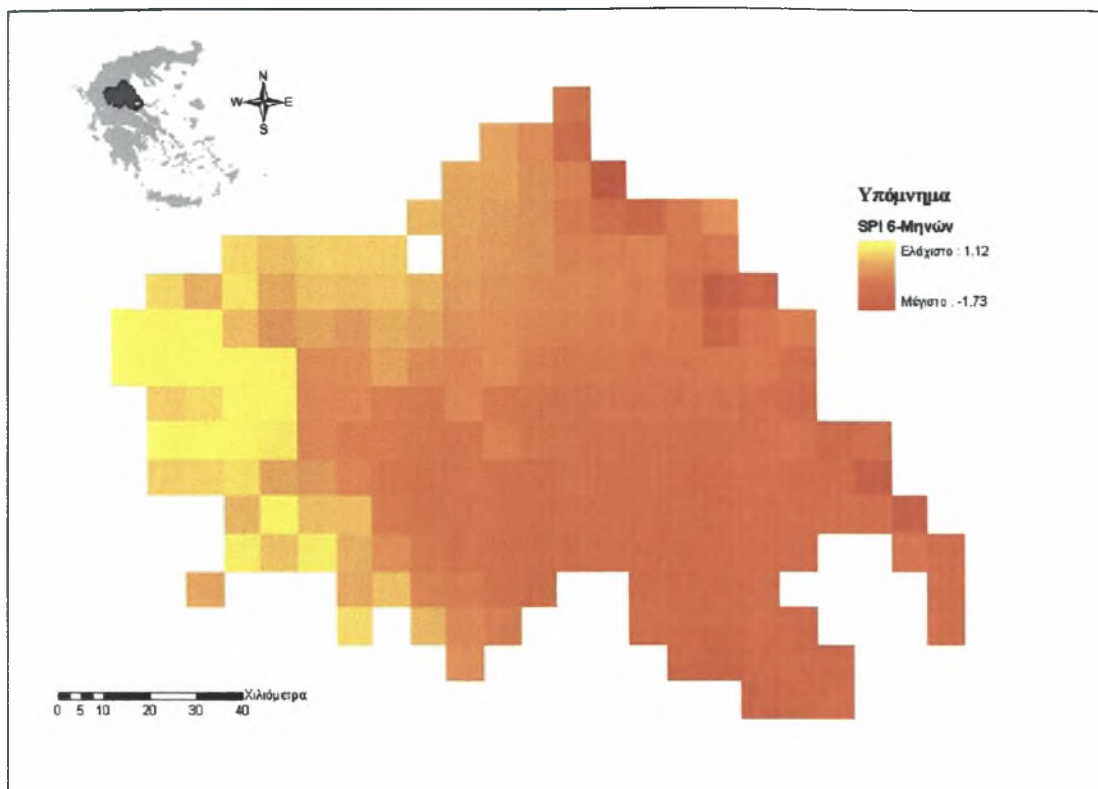
Σχήμα Β5. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας, SPI 12-Μηνών, ΜΑΡΤΙΟΥ 1977.



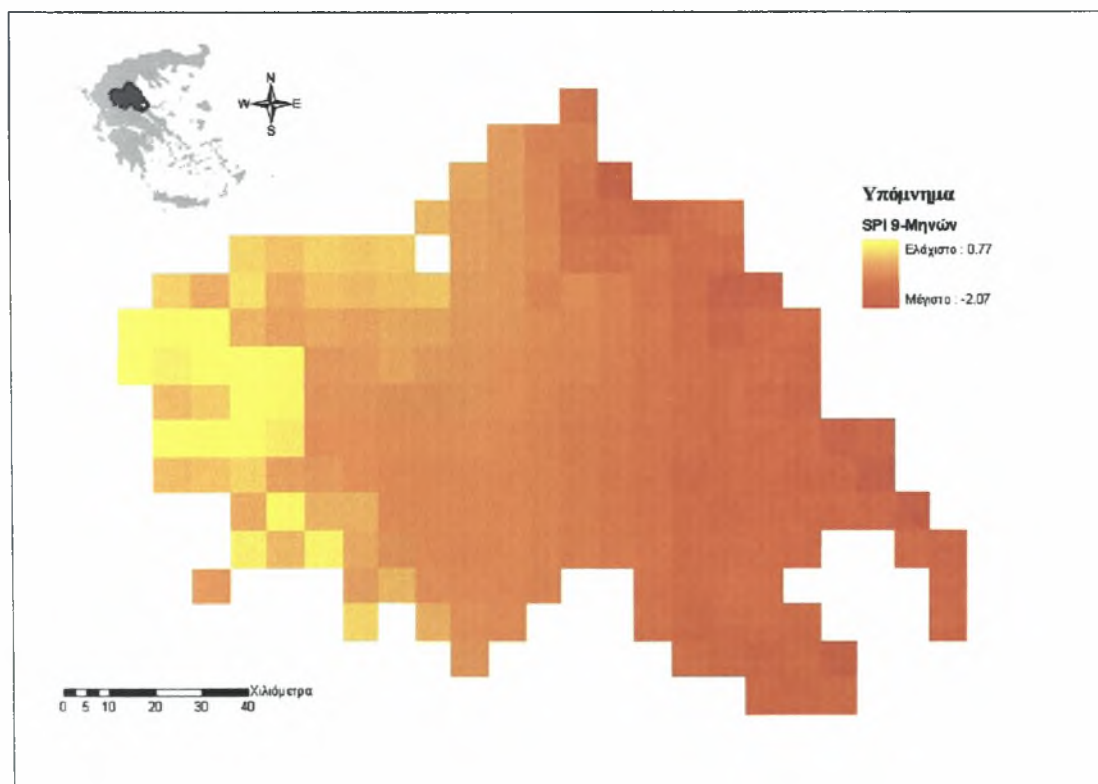
Σχήμα Β6. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 1-Μηνός, ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1970.



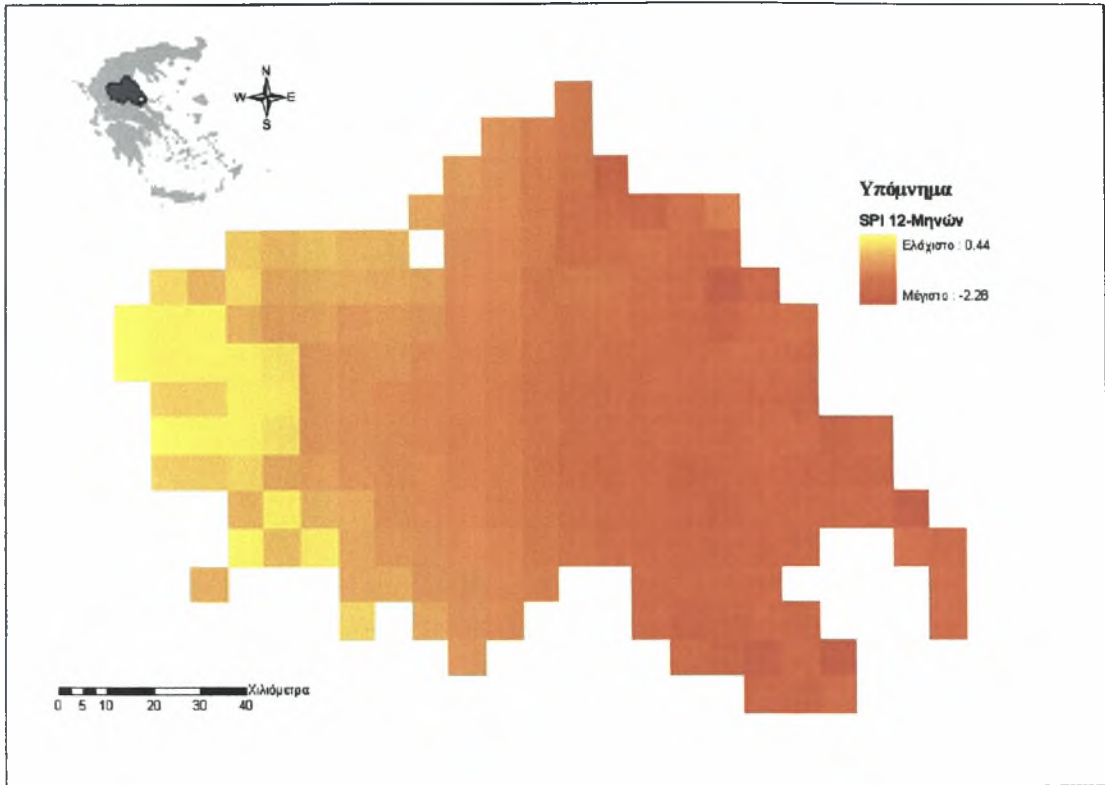
Σχήμα Β7. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 3-Μηνών, ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1970.



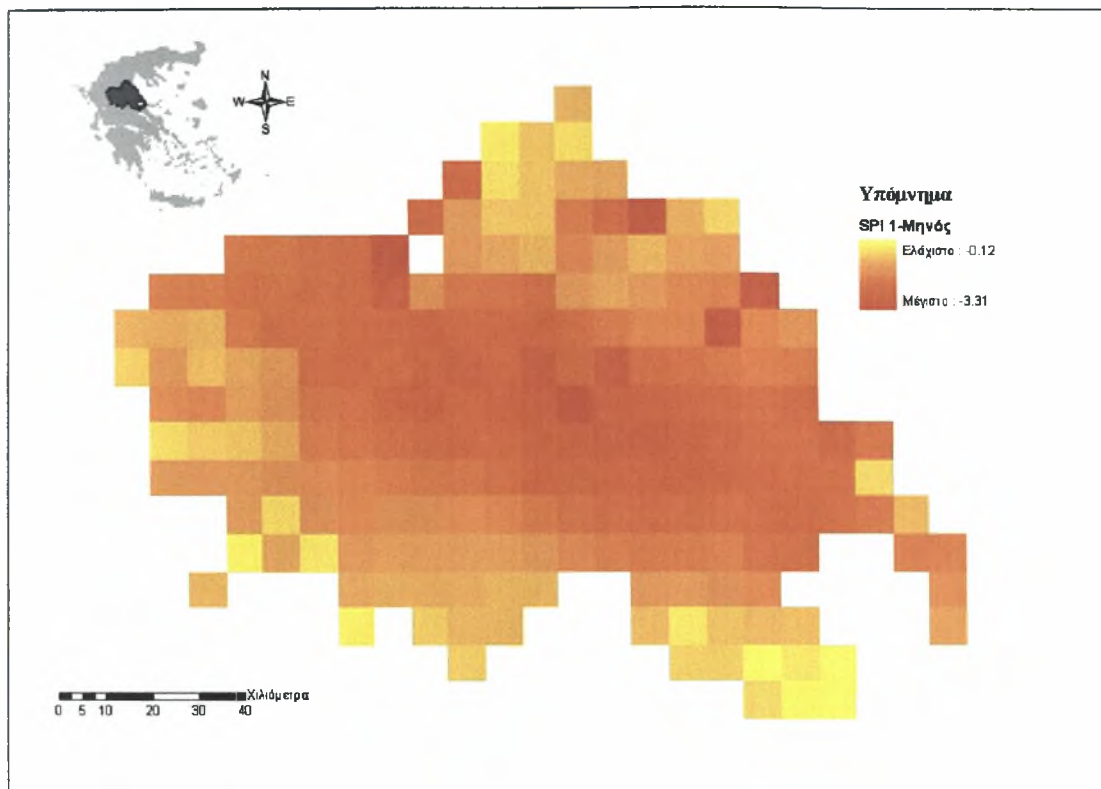
Σχήμα Β8. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 6-Μηνών, ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1970.



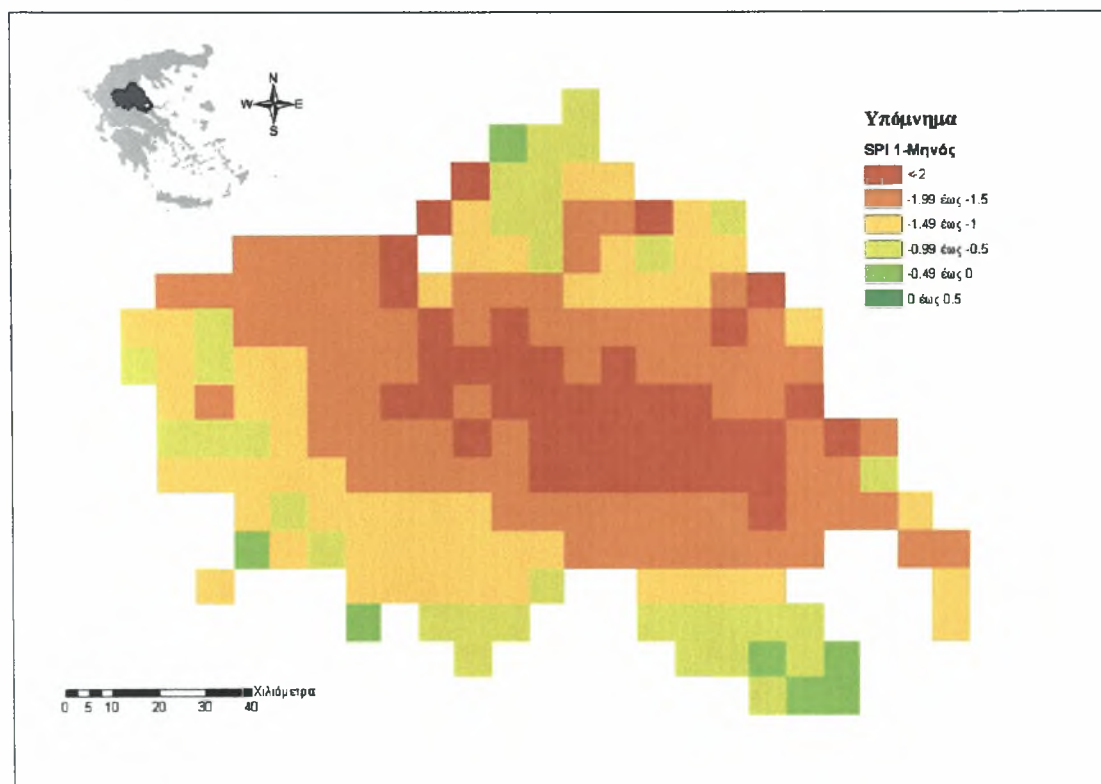
Σχήμα Β9. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 9-Μηνών, ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1970.



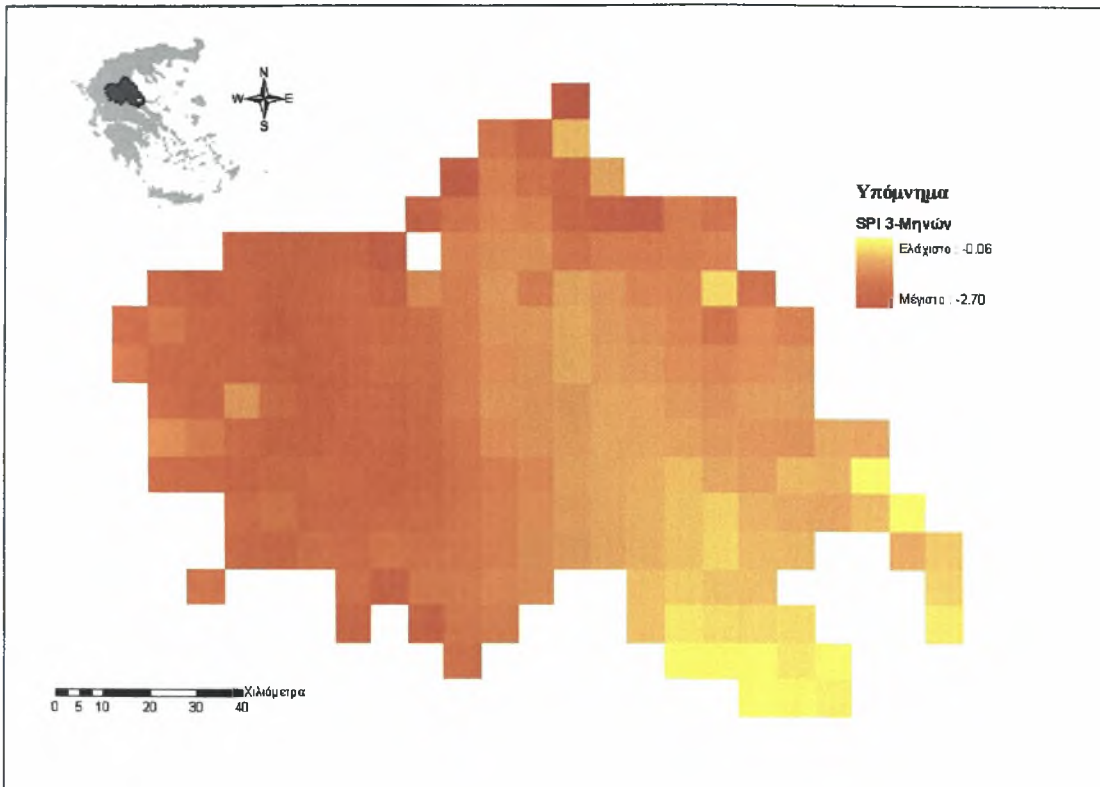
Σχήμα Β10. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 12-Μηνών, ΑΠΡΙΛΙΟΥ 1970.



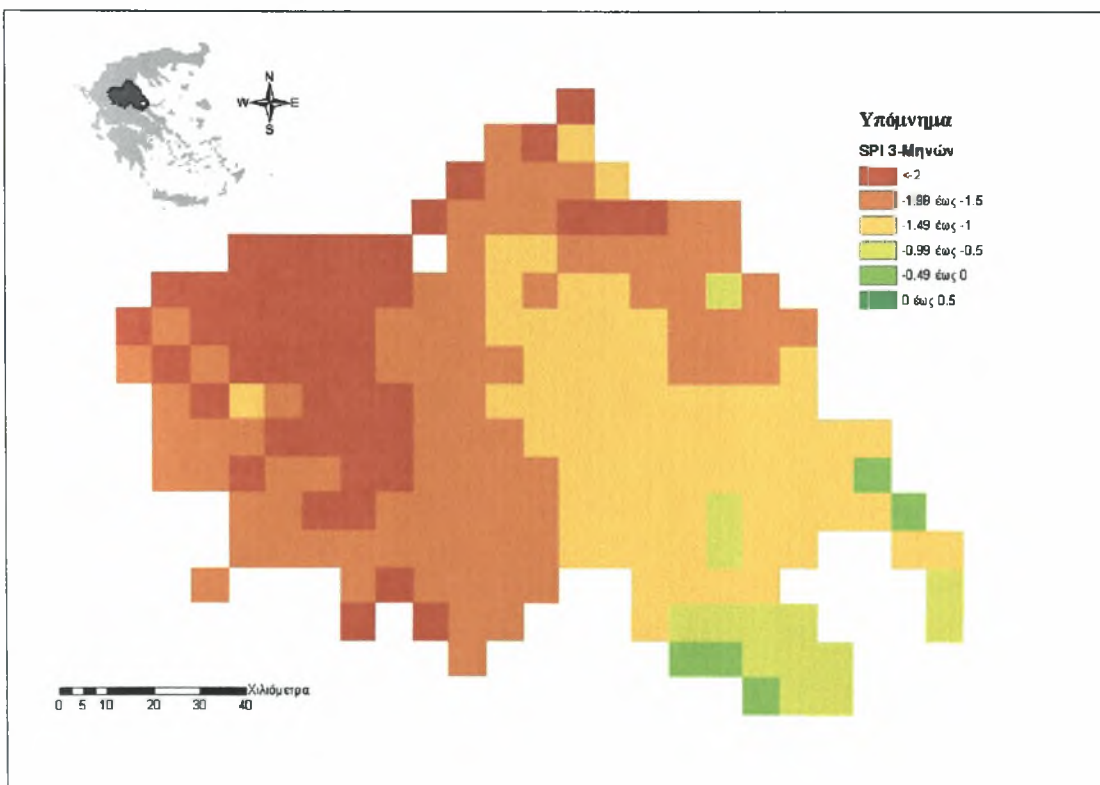
Σχήμα Β11α. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας *SPI 1-Μηνός*, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 1990.



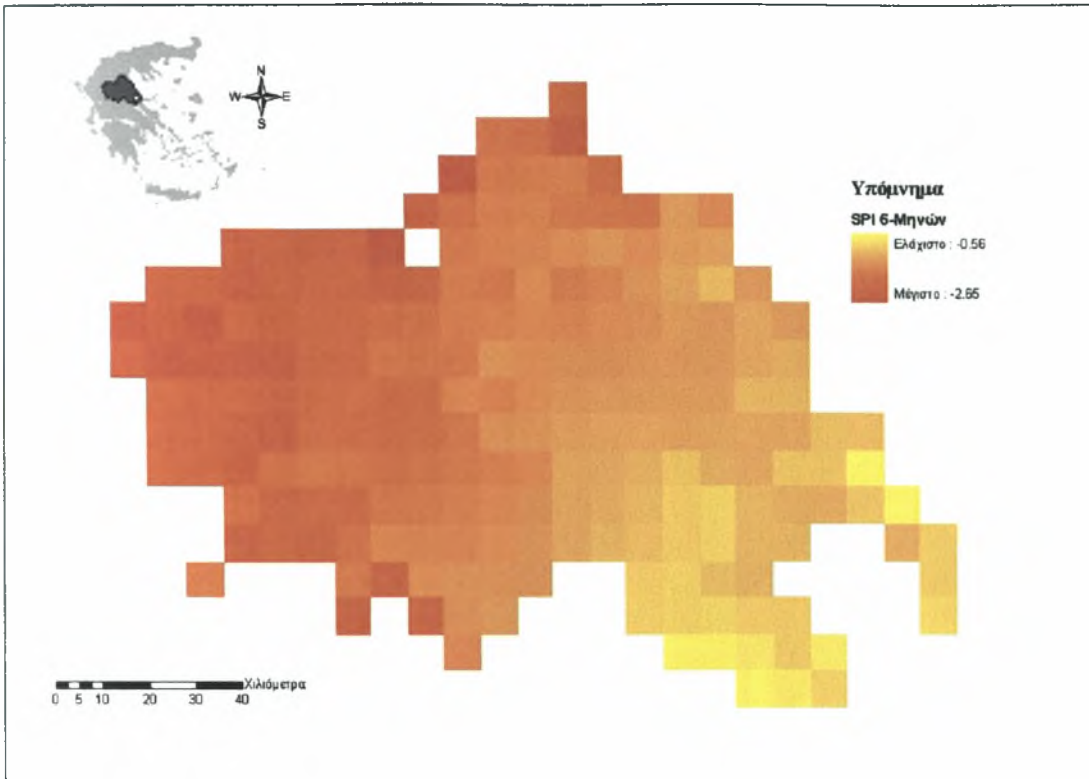
Σχήμα Β11β. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας *SPI 1-Μηνός*, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 1990, με κλάσεις *SPI*.



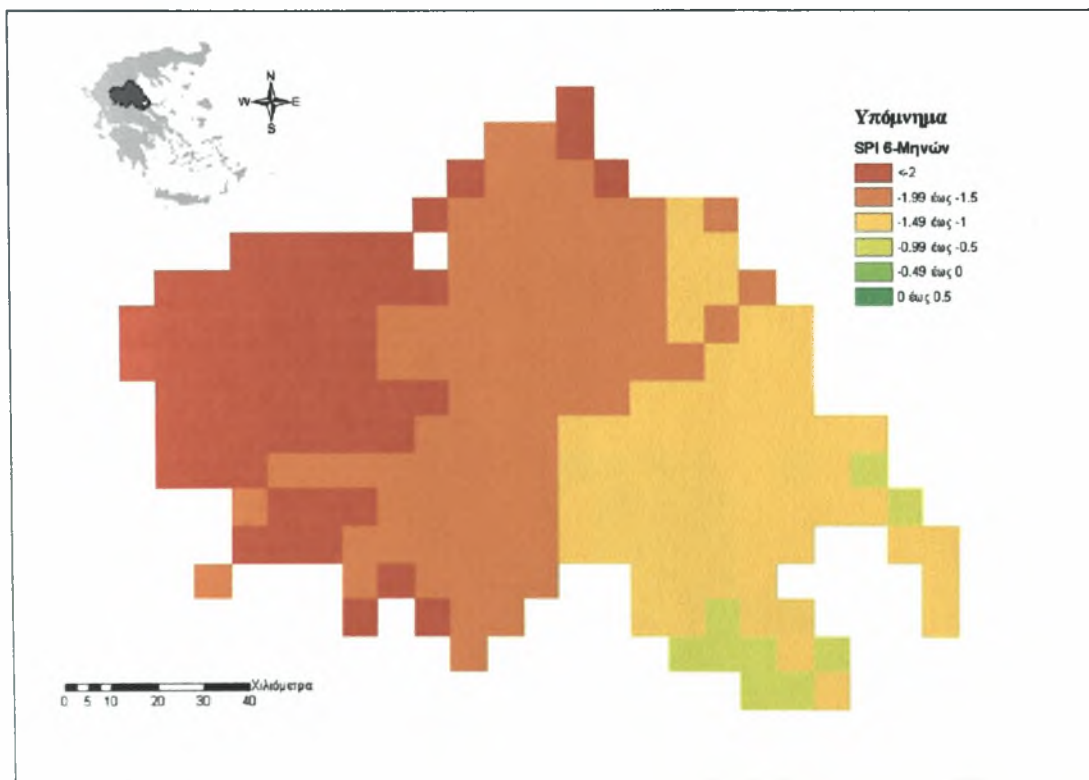
Σχήμα Β12α. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 3-Μηνών, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 1990.



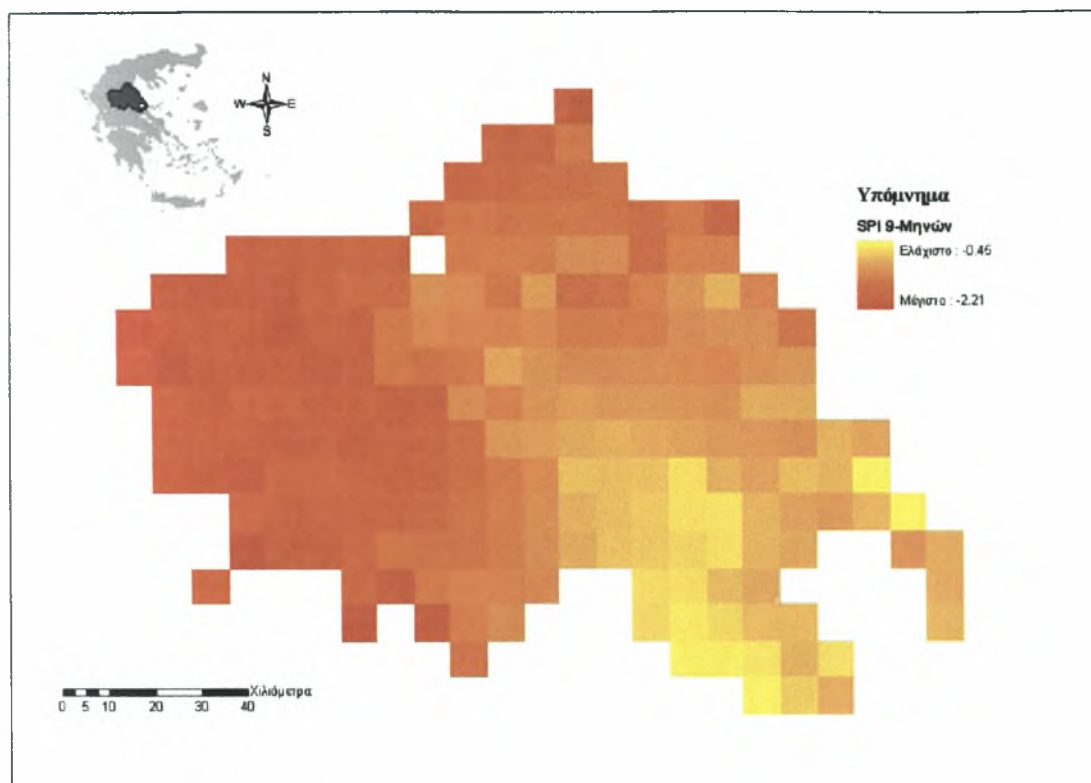
Σχήμα Β12β. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 3-Μηνών, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 1990, με κλάσεις SPI.



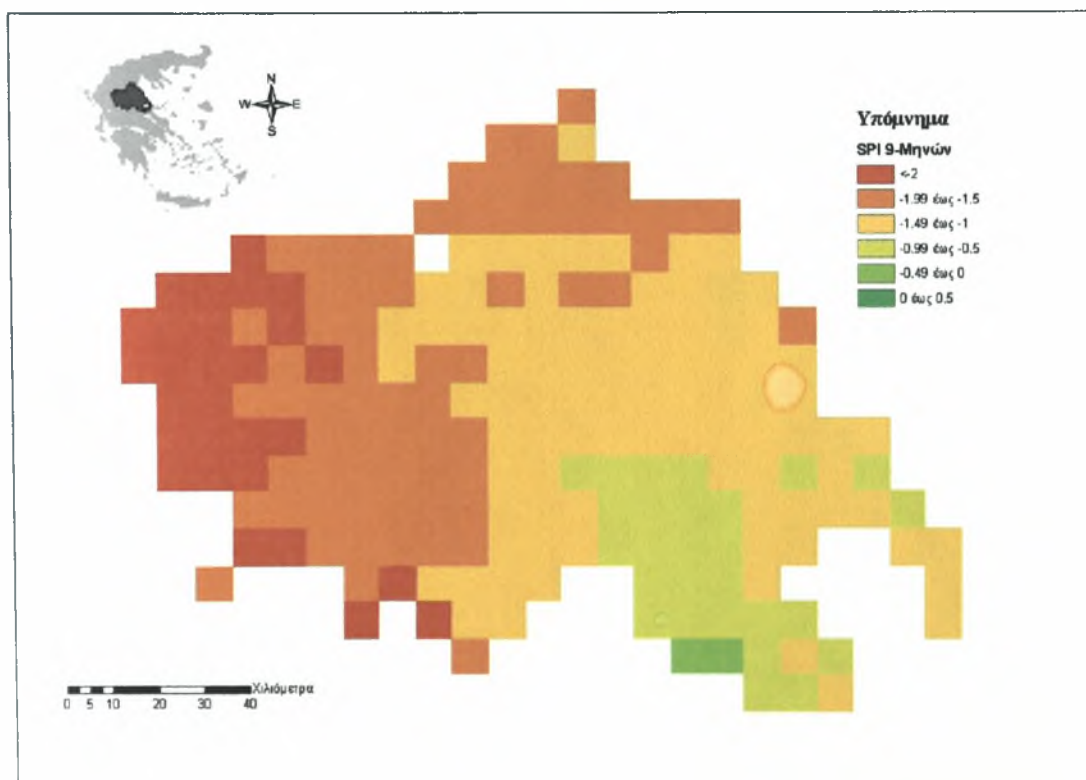
Σχήμα Β13α. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 6-Μηνών, ΦΕΒΡΟΥΑ-ΡΙΟΥ 1990.



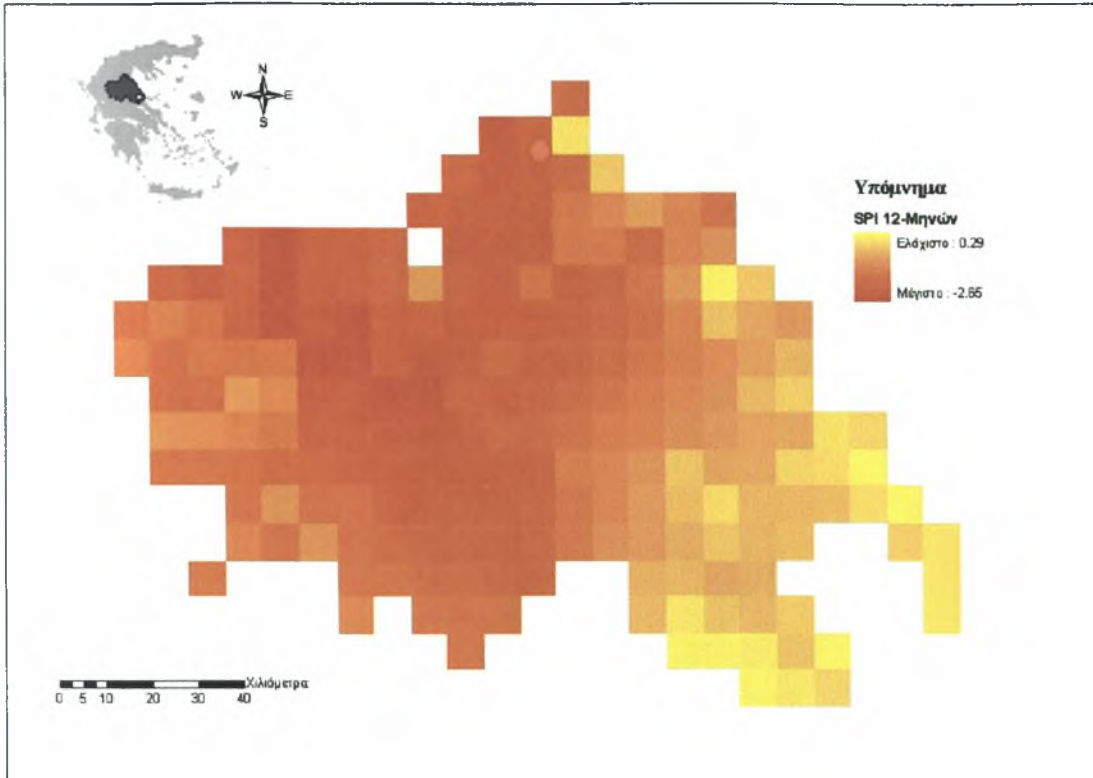
Σχήμα Β13β. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 6-Μηνών, ΦΕΒΡΟΥΑ-ΡΙΟΥ 1990, με κλάσεις SPI.



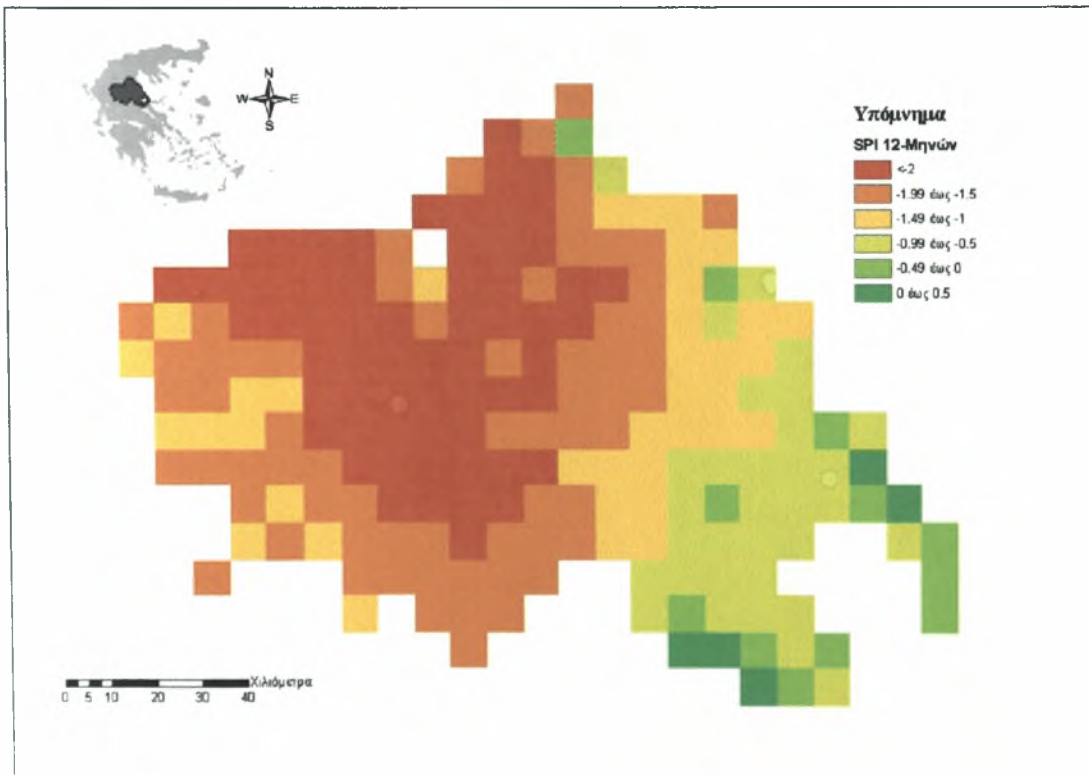
Σχήμα Β14α. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 9-Μηνών, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 1990.



Σχήμα Β14β. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 9-Μηνών, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 1990, με κλάσεις SPI.

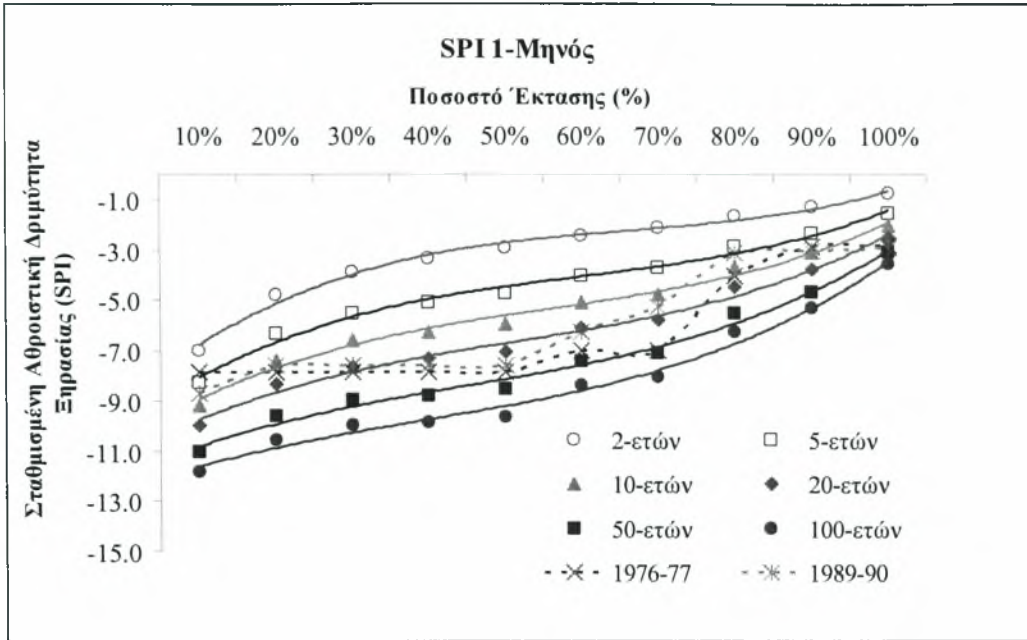


Σχήμα Β15α. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 12-Μηνών, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 1990.

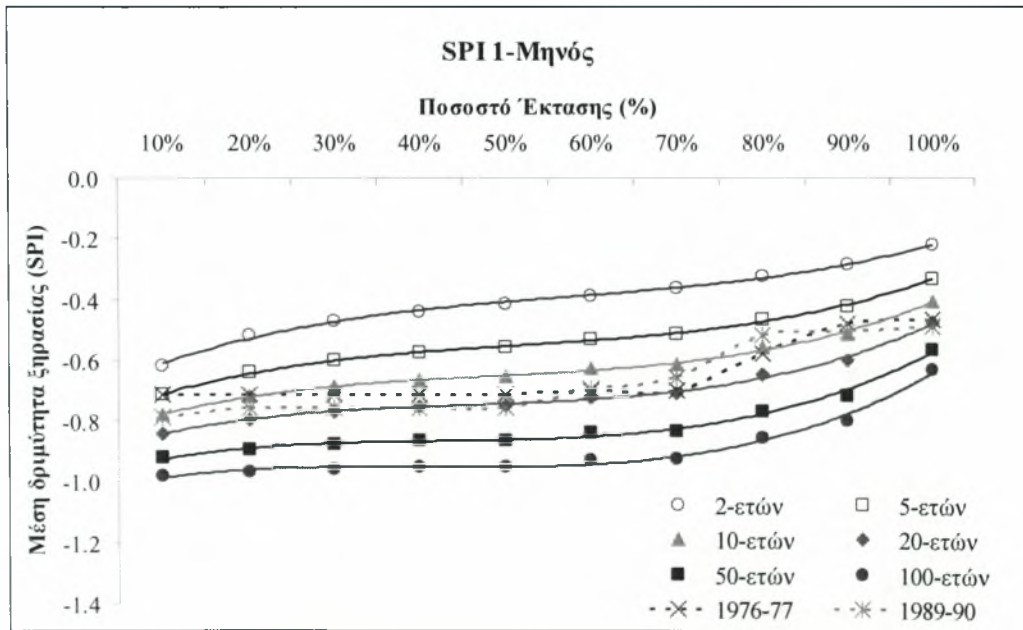


Σχήμα Β15β. Χωρική κατανομή δείκτη ξηρασίας SPI 12-Μηνών, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΥ 1990, με κλάσεις SPI.

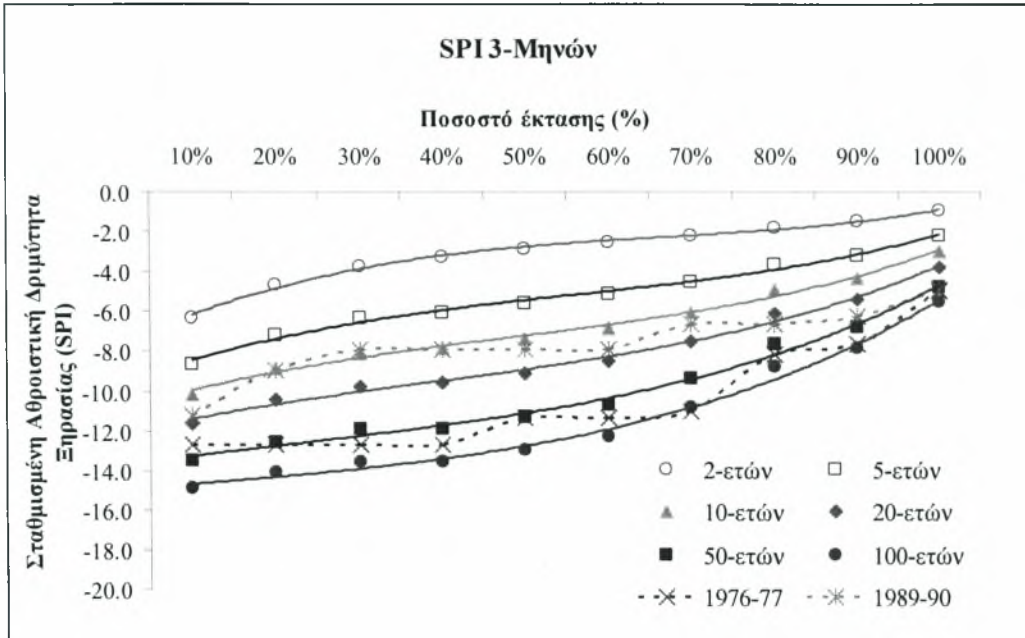
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Γ. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ –
ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΎΕΚΤΑΣΗΣ – ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (SAF), ΓΙΑ α)
Ετήσια σταθμισμένη αθροιστική δριμύτητα ξηρασίας. β) Ετήσια μέση δριμύτητα
ξηρασίας.**



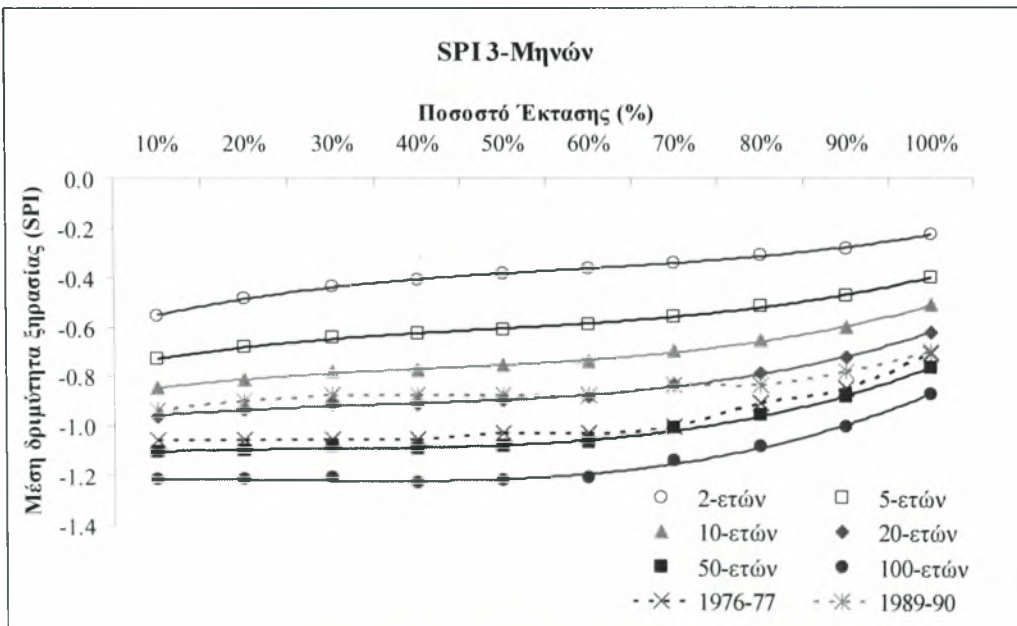
Σχήμα Γ1α . Καμπύλες Σταθμισμένης αθροιστικής Δριμύτητας ξηρασίας 1-Μηνός– Έκτασης(%) – Περιόδου επαναφοράς, Με διακεκομμένες γραμμές τα ετήσια γεγονότα ξηρασίας.



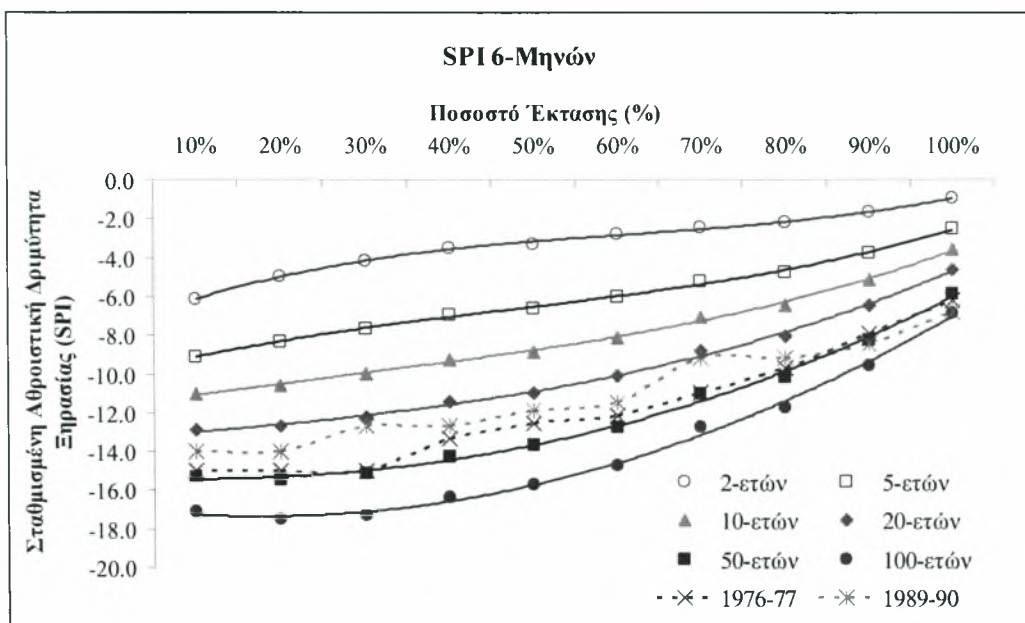
Σχήμα Γ1β . Καμπύλες Μέσης Δριμύτητας ξηρασίας 1-Μηνός– Έκτασης(%) – Περιόδου επαναφοράς, Με διακεκομμένες γραμμές τα ετήσια γεγονότα ξηρασίας.



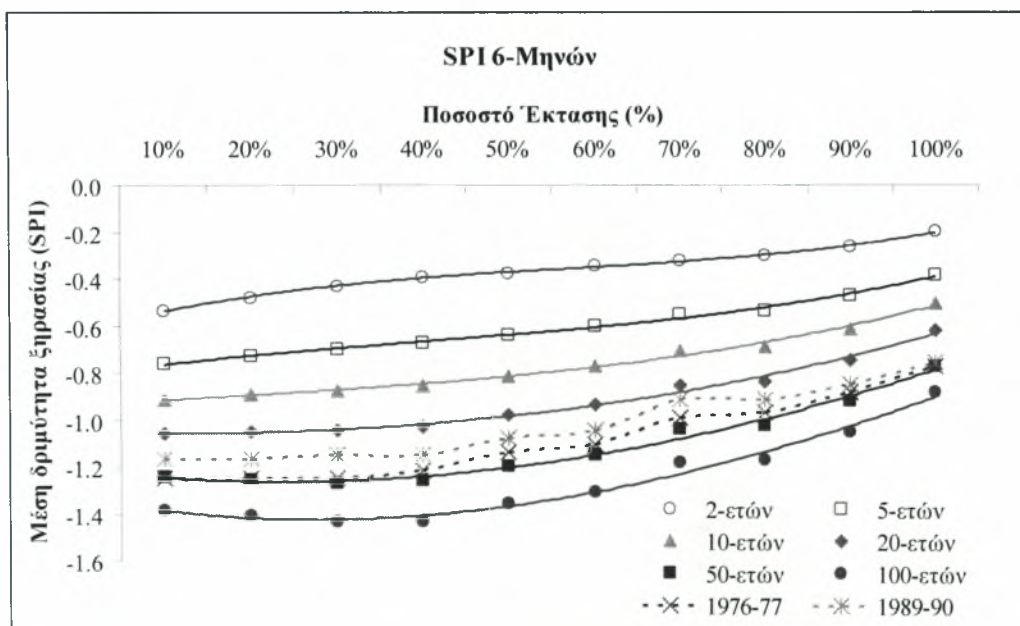
Σχήμα Γ2α . Καμπύλες Σταθμισμένης αθροιστικής Δριμύτητας ξηρασίας 3-Μηνών– Έκτασης(%) – Περιόδου επαναφοράς, Με διακεκομμένες γραμμές τα ετήσια γεγονότα ξηρασίας.



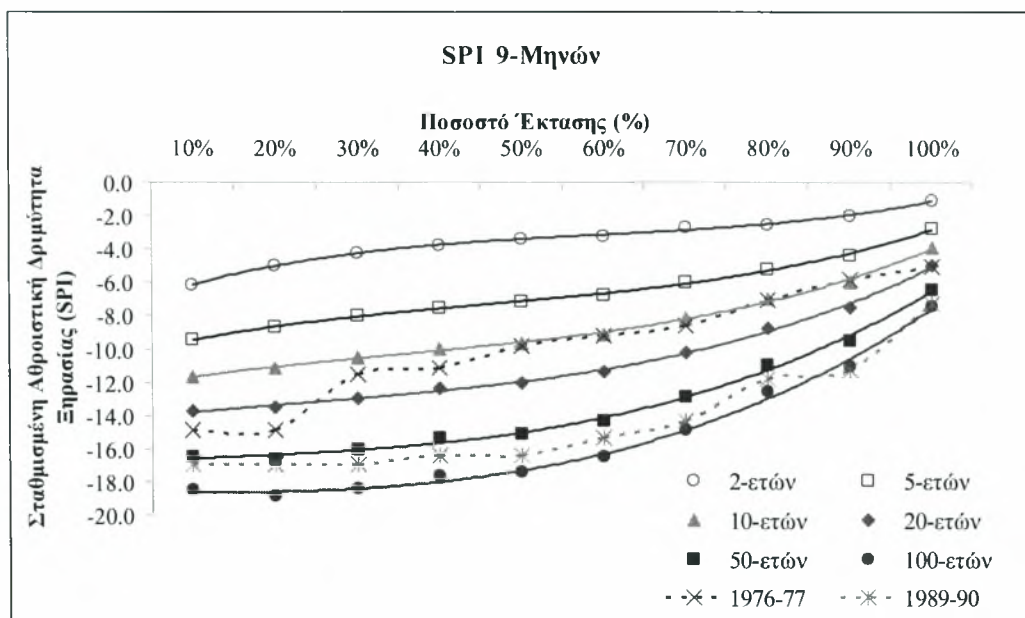
Σχήμα Γ2β . Καμπύλες Μέσης Δριμύτητας ξηρασίας 3-Μηνών– Έκτασης(%) – Πε- ριόδου επαναφοράς, Με διακεκομμένες γραμμές τα ετήσια γεγονότα ξηρασίας.



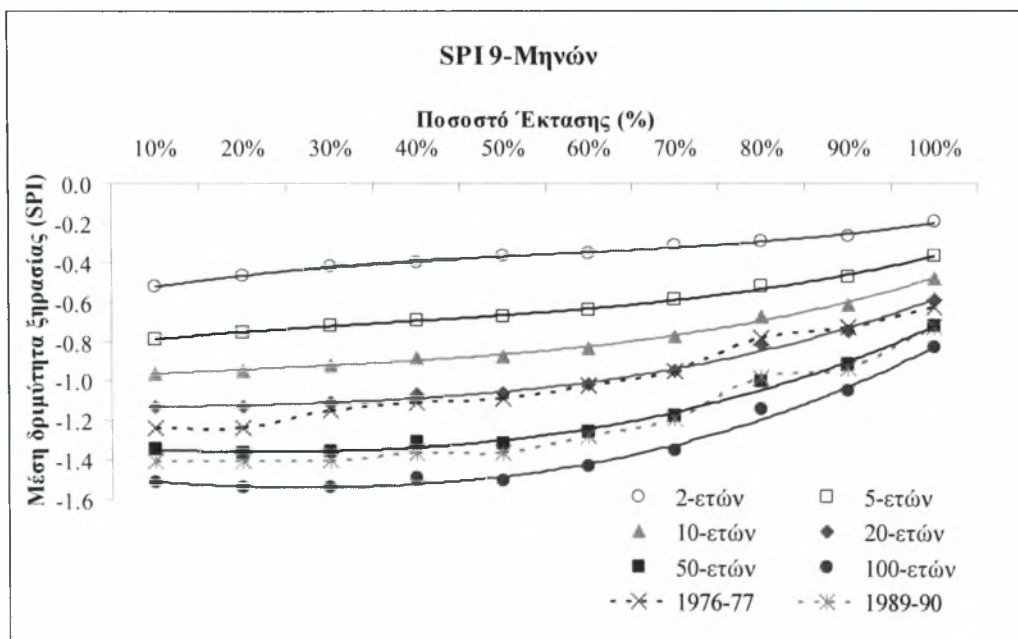
Σχήμα Γ3α . Καμπύλες Σταθμισμένης αθροιστικής Δριμύτητας ξηρασίας 6-Μηνών– Έκτασης(%) – Περιόδου επαναφοράς, Με διακεκομμένες γραμμές τα ετήσια γεγονότα ξηρασίας.



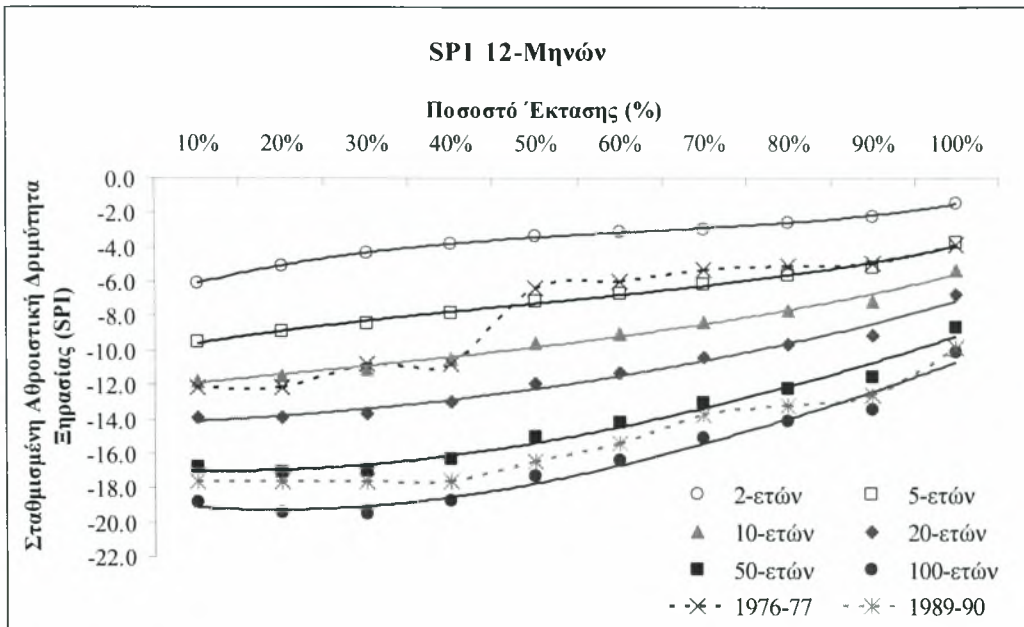
Σχήμα Γ3β . Καμπύλες Μέσης Δριμύτητας ξηρασίας 6-Μηνών– Έκτασης(%) – Περιόδου επαναφοράς, Με διακεκομμένες γραμμές τα ετήσια γεγονότα ξηρασίας.



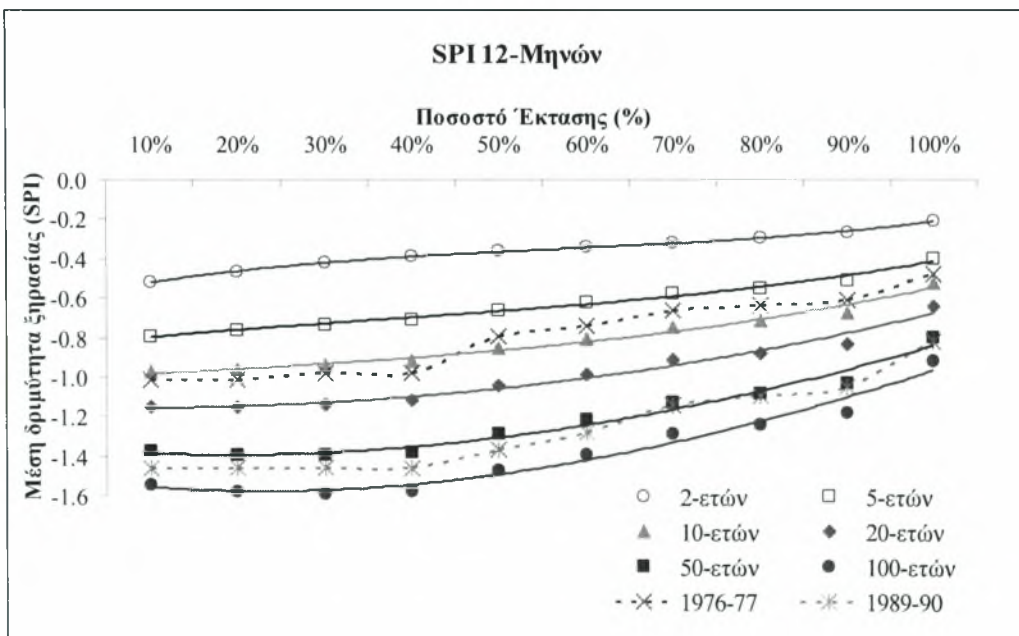
Σχήμα Γ4α . Καμπύλες Σταθμισμένης αθροιστικής Δριμύτητας ξηρασίας 9-Μηνών– Έκτασης(%) – Περιόδου επαναφοράς, Με διακεκομμένες γραμμές τα ετήσια γεγονότα ξηρασίας.



Σχήμα Γ4β . Καμπύλες Μέσης Δριμύτητας ξηρασίας 9-Μηνών– Έκτασης(%) – Περιόδου επαναφοράς, Με διακεκομμένες γραμμές τα ετήσια γεγονότα ξηρασίας.



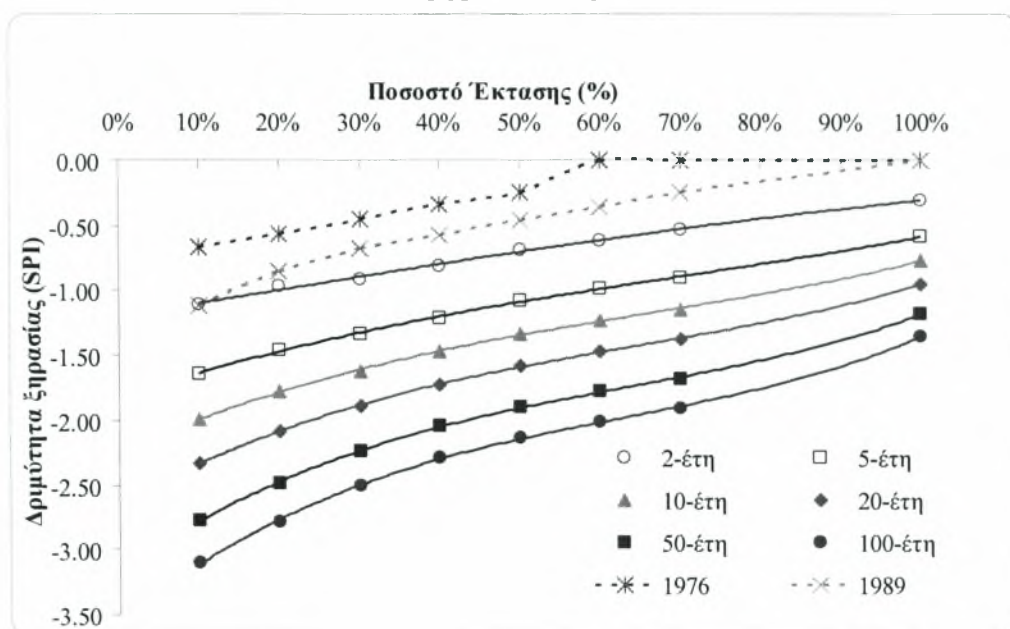
Σχήμα Γ5α. Καμπύλες Σταθμισμένης αθροιστικής Δριμύτητας Ξηρασίας 9-Μηνών– Έκτασης(%) – Περίοδου επαναφοράς, Με διακεκομμένες γραμμές τα ετήσια γεγονότα Ξηρασίας.



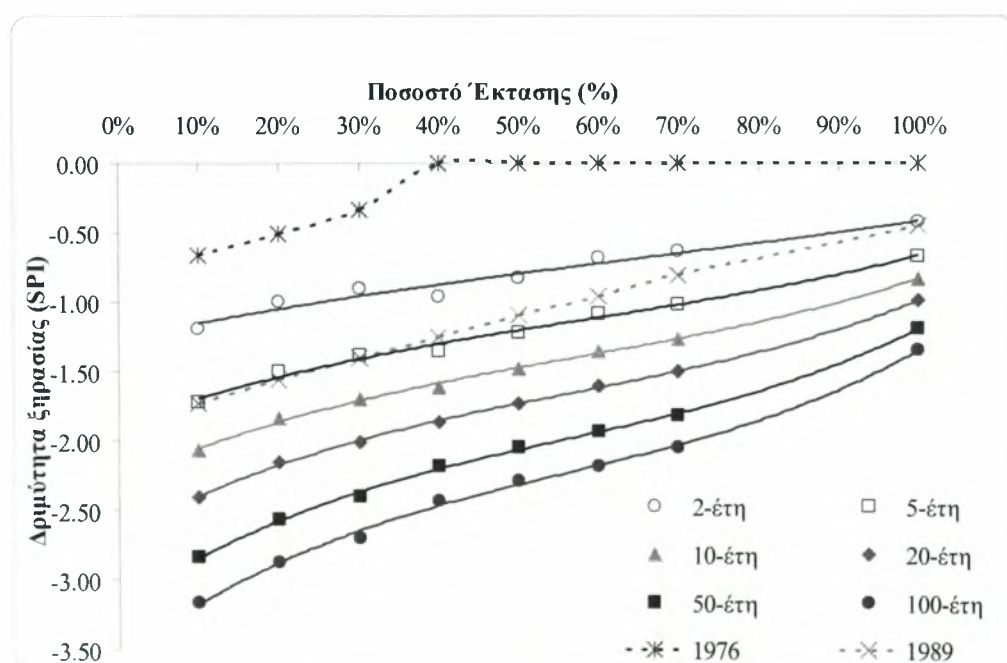
Σχήμα Γ5β. Καμπύλες Μέσης Δριμύτητας Ξηρασίας 9-Μηνών– Έκτασης(%) – Περίοδου επαναφοράς, Με διακεκομμένες γραμμές τα ετήσια γεγονότα Ξηρασίας.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - Δ. ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ –
ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΎΕΚΤΑΣΗΣ – ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ (SAF), ΓΙΑ
ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑ ΞΗΡΑΣΙΑΣ**

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ

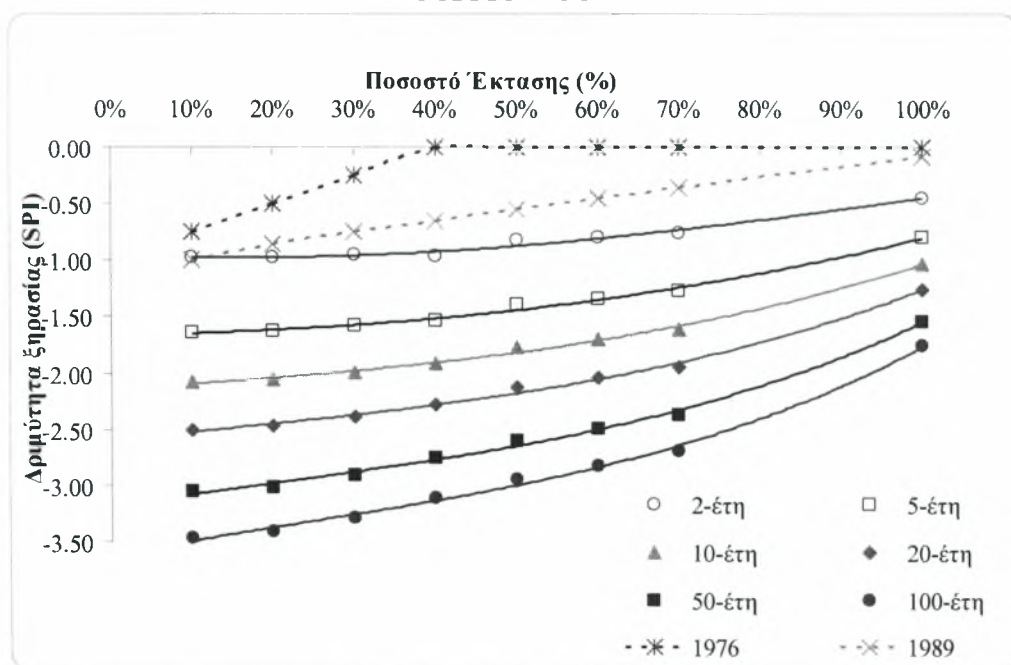


Σχήμα Δ9α. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς , Οκτωβρίου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών

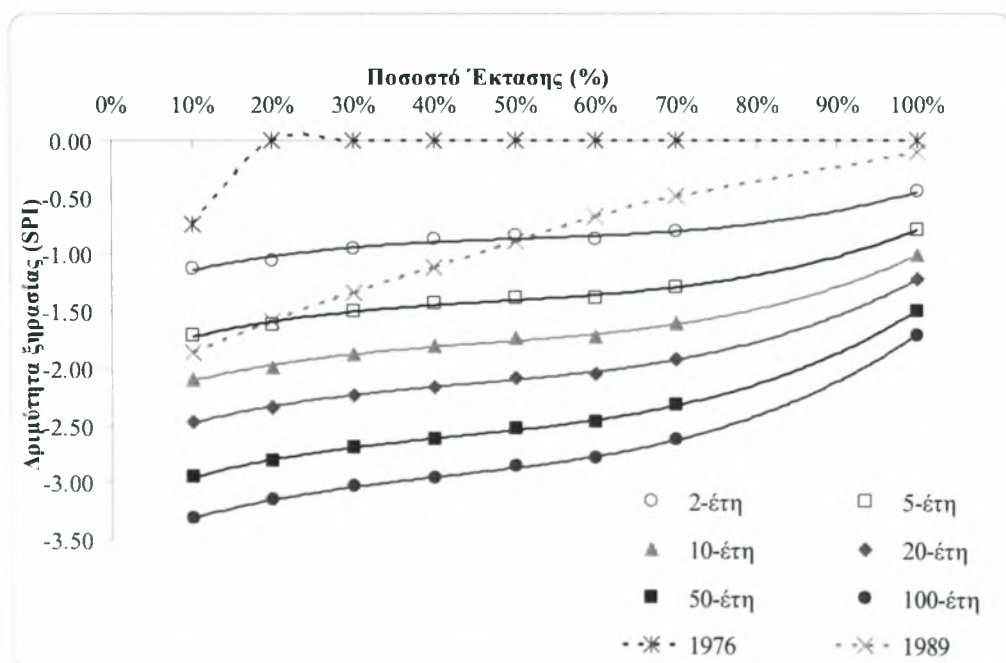


Σχήμα Δ1β. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Οκτωβρίου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ

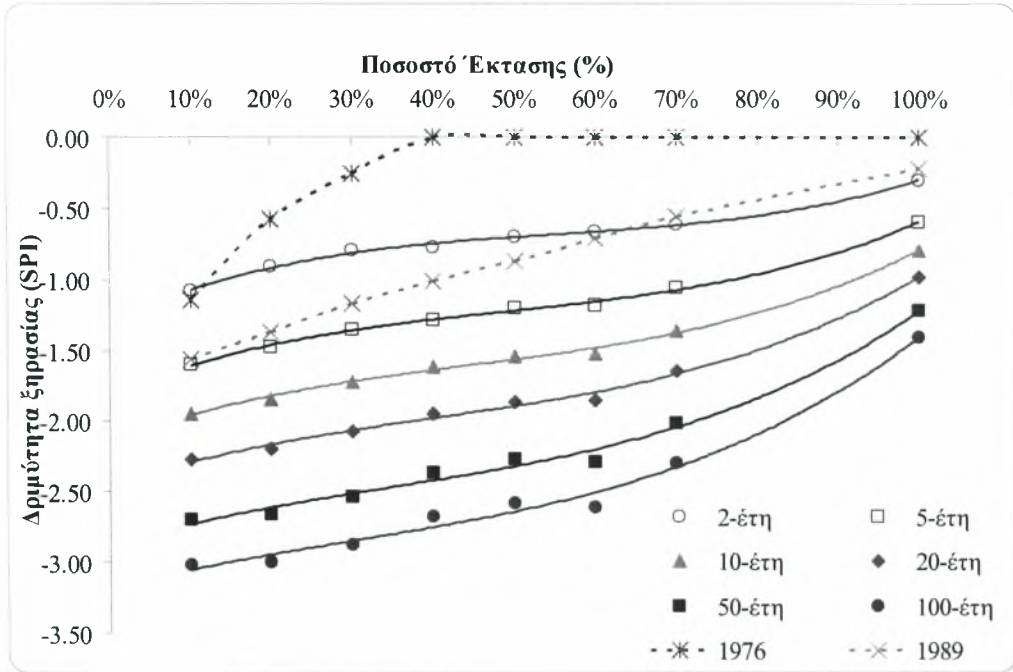


Σχήμα Δ1γ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Οκτωβρίου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχων υδρολογικών ετών



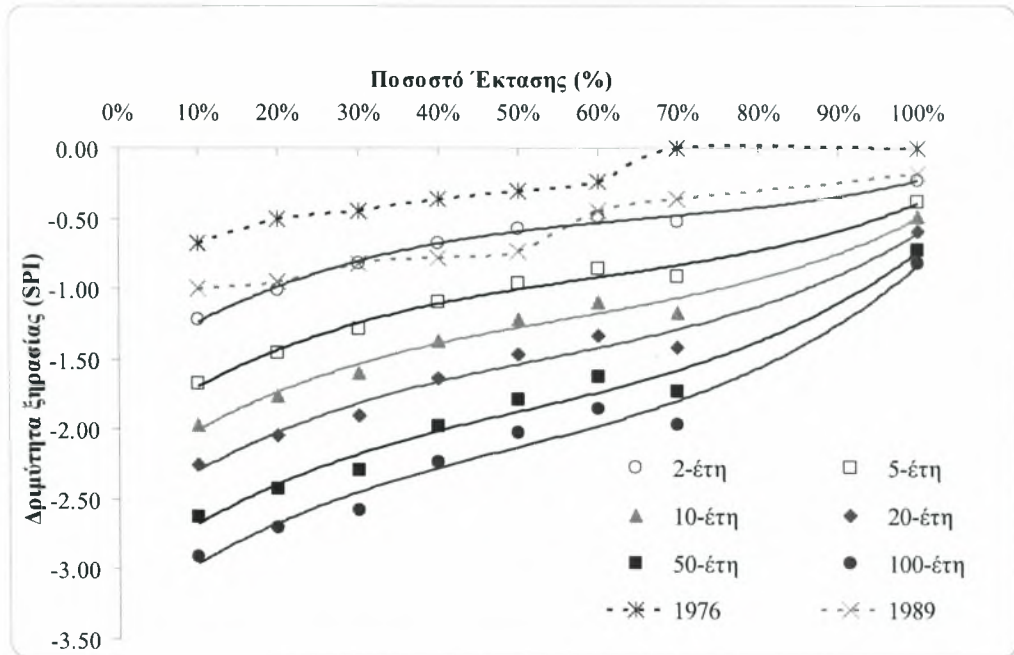
Σχήμα Δ1δ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Οκτωβρίου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχων υδρολογικών ετών.

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ

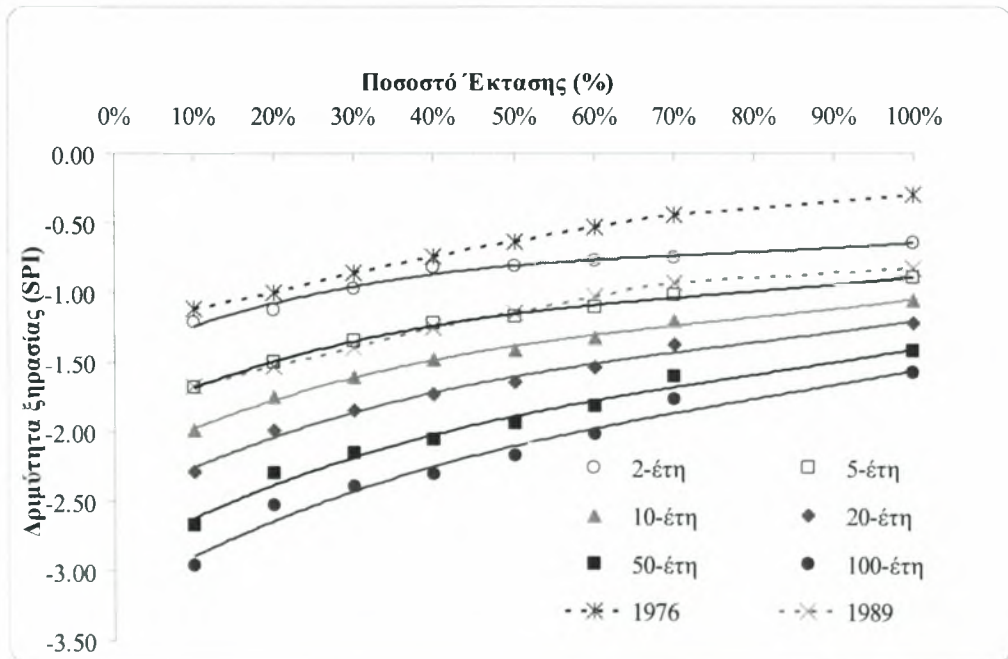


Σχήμα Δ1ε. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Οκτωβρίου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ

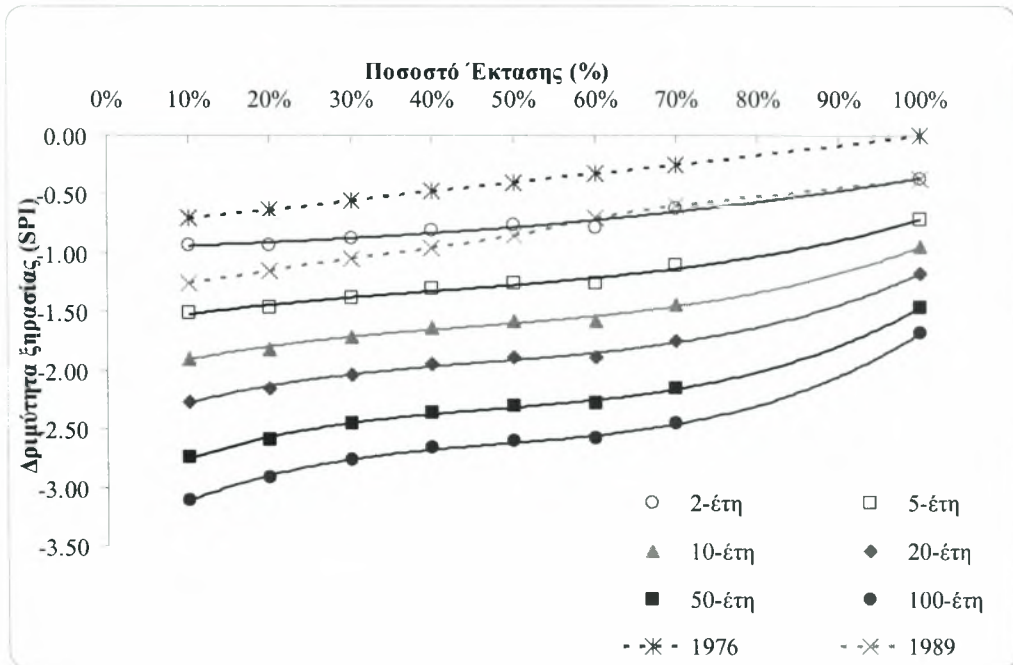


Σχήμα Δ2α. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Νοεμβρίου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

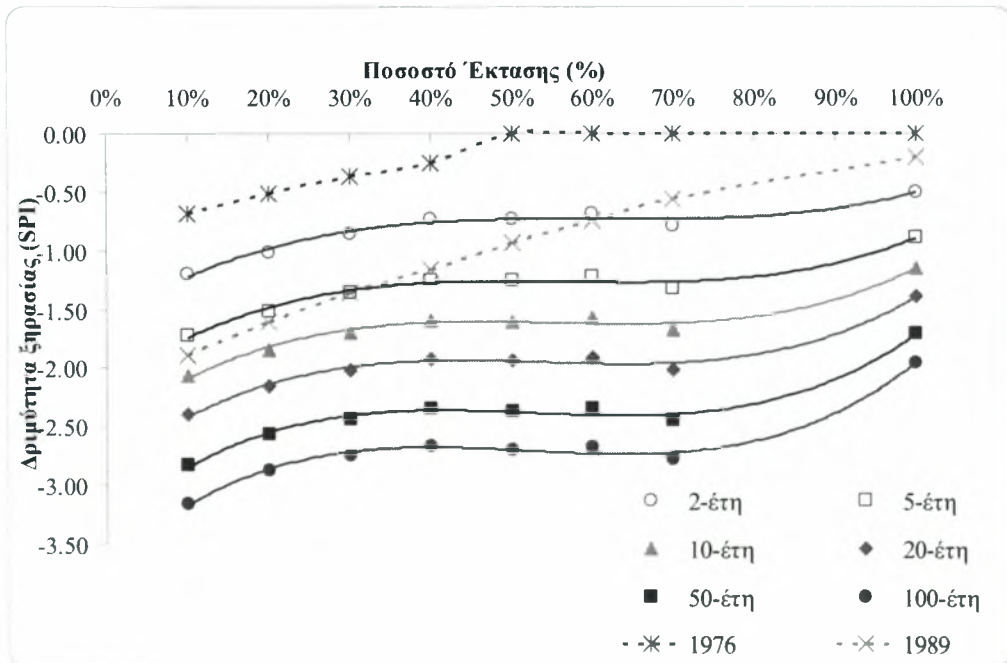


Σχήμα Δ2β. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Νοεμβρίου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ

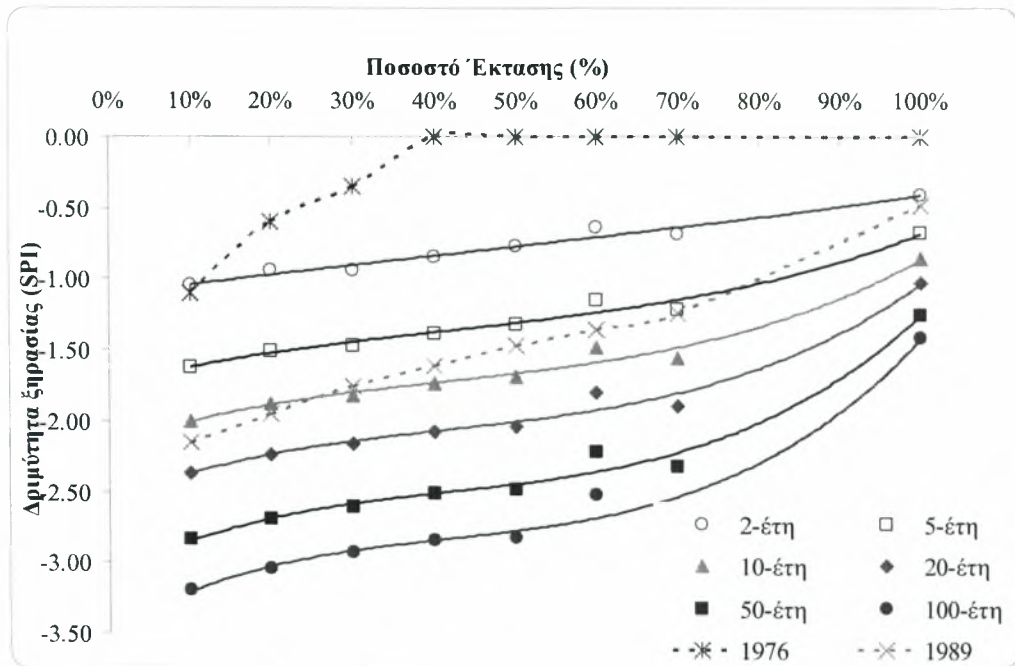


Σχήμα Δ2γ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Νοεμβρίου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχων υδρολογικών ετών.



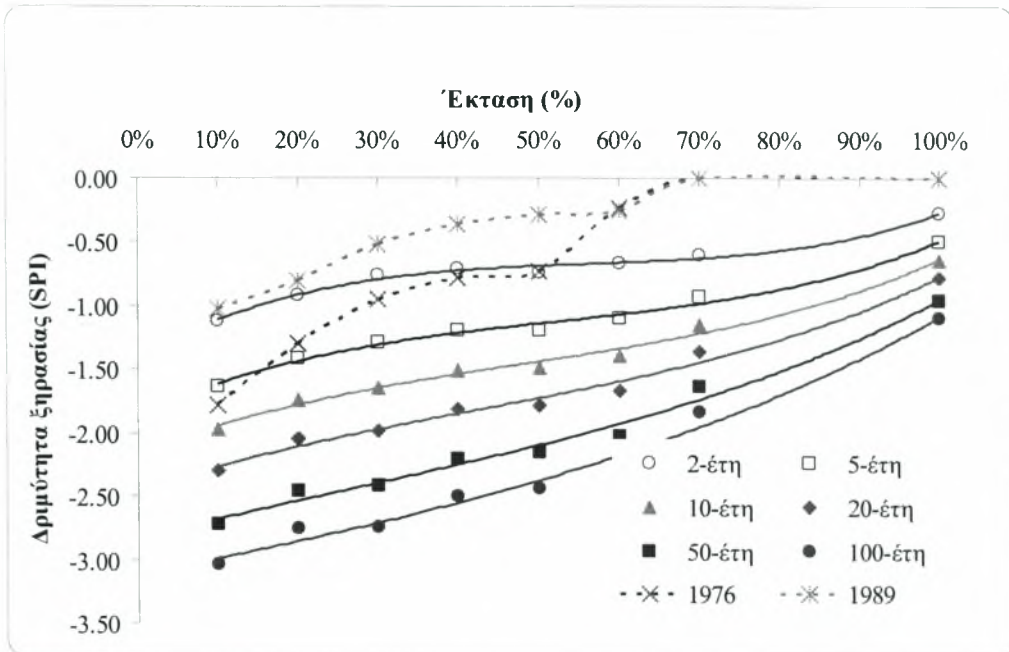
Σχήμα Δ2δ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Νοεμβρίου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχων υδρολογικών ετών.

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ

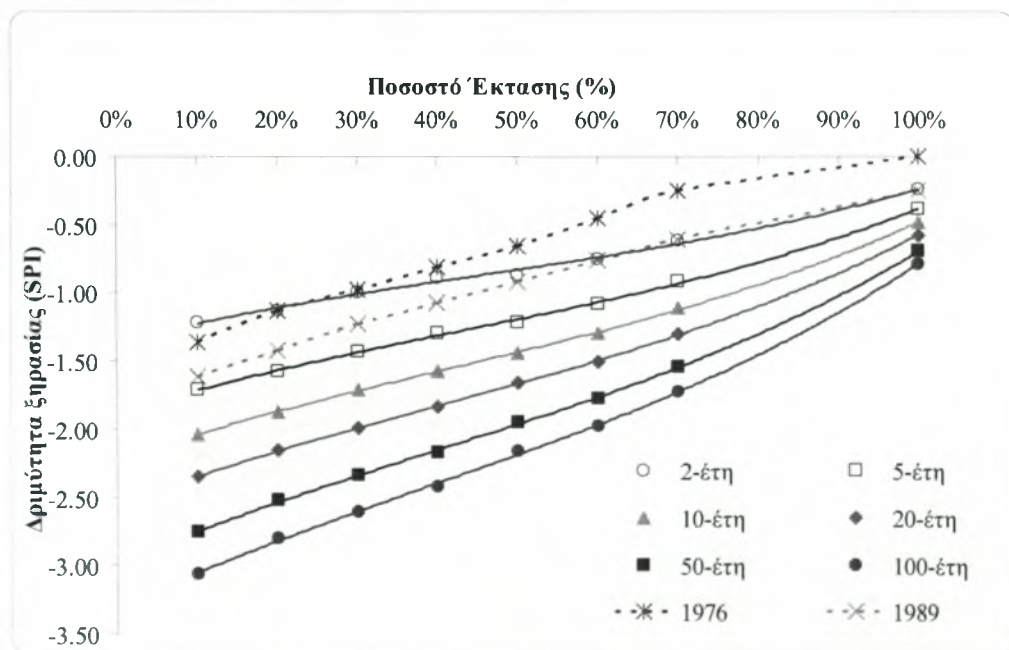


Σχήμα Δ2ε. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Νοεμβρίου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

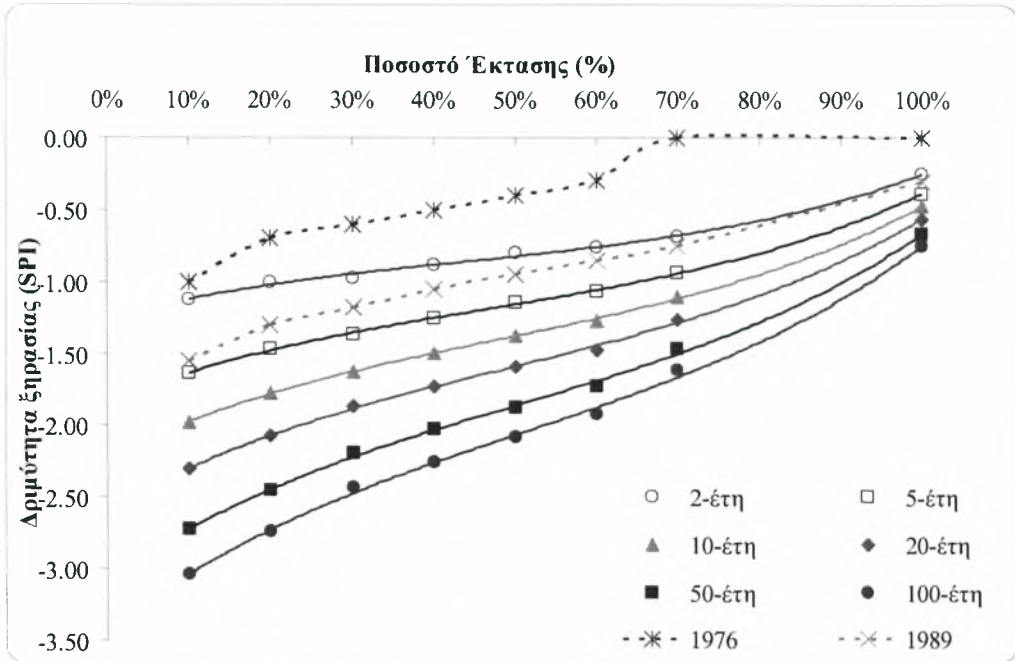


Σχήμα Δ3α. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Δεκεμβρίου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

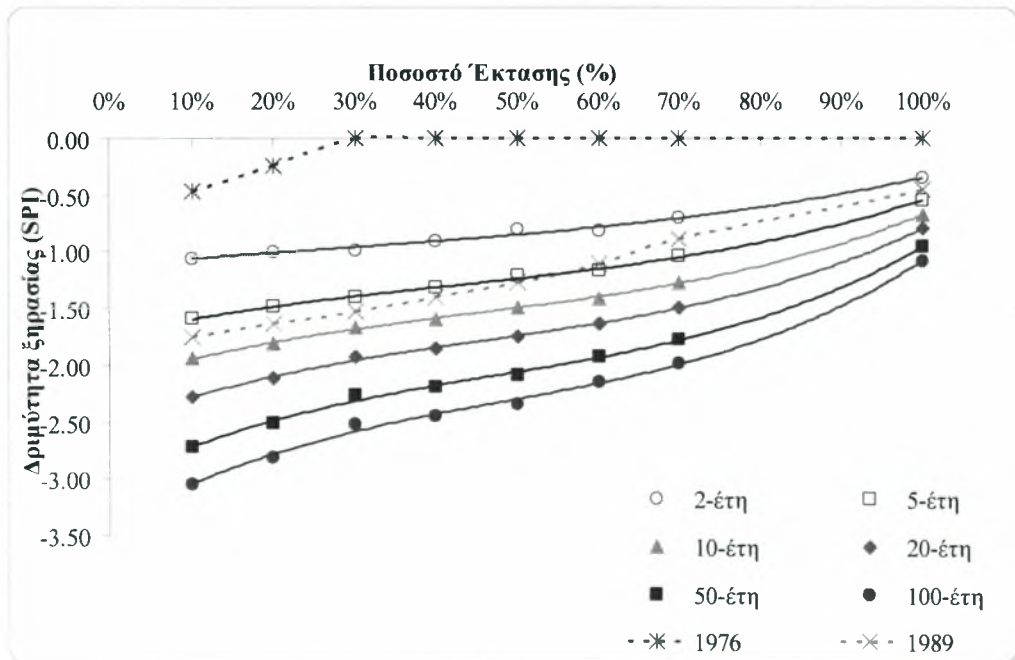


Σχήμα Δ3β. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Δεκεμβρίου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

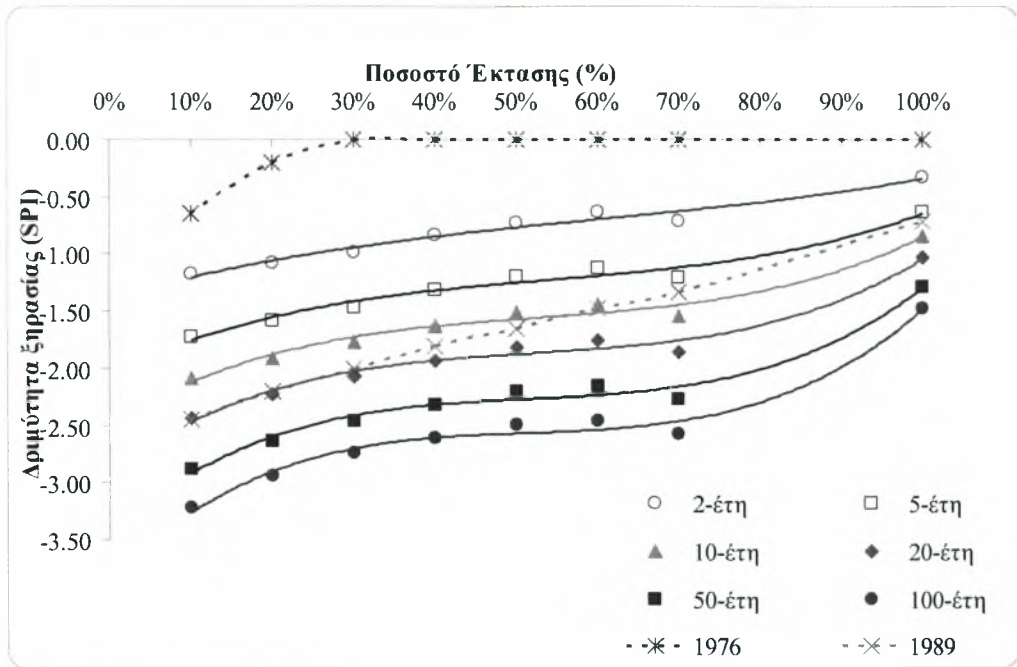


Σχήμα Δ3γ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Δεκεμβρίου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.



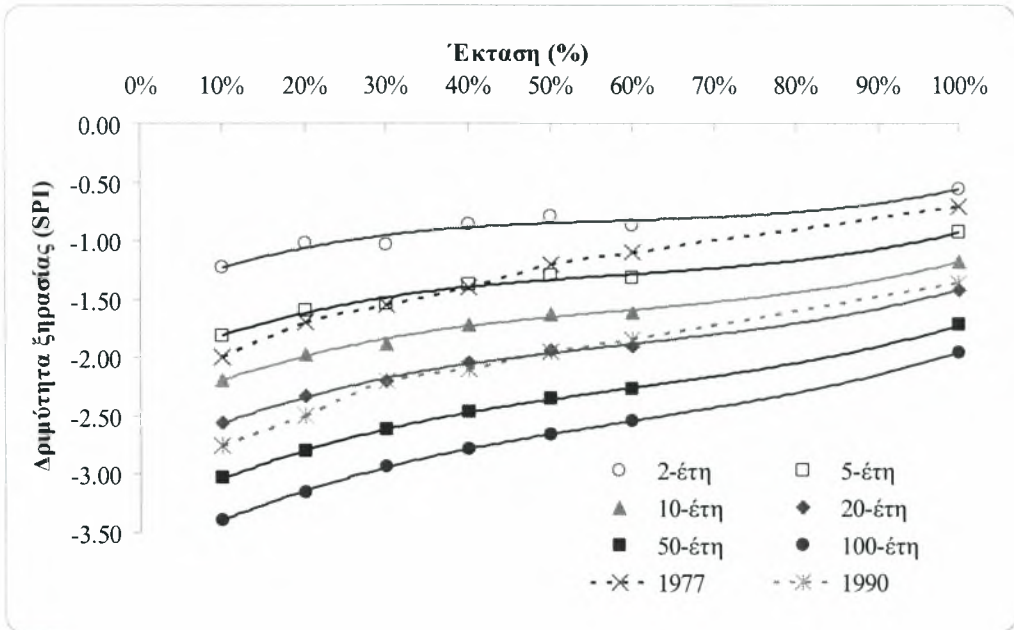
Σχήμα Δ3δ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Δεκεμβρίου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

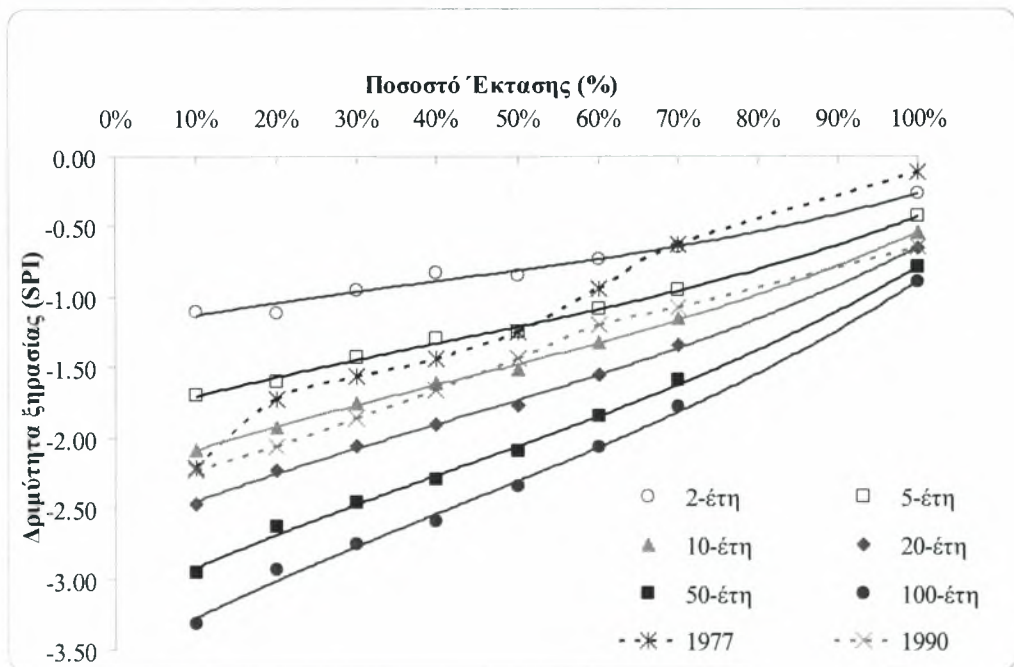


Σχήμα Δ3ε. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Δεκεμβρίου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

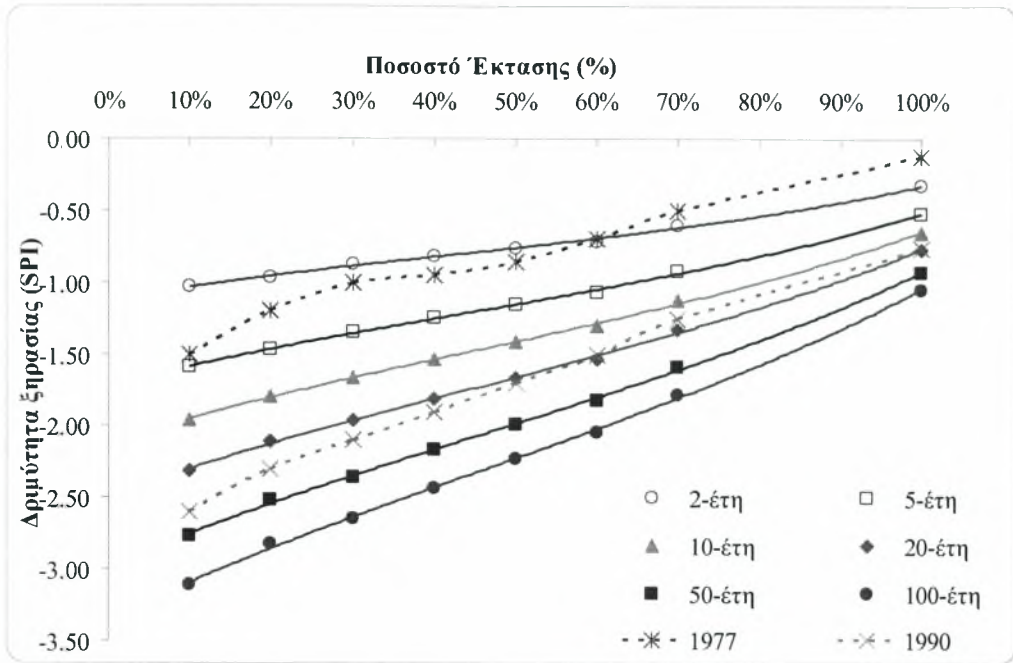


Σχήμα Δ4α. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιανουαρίου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

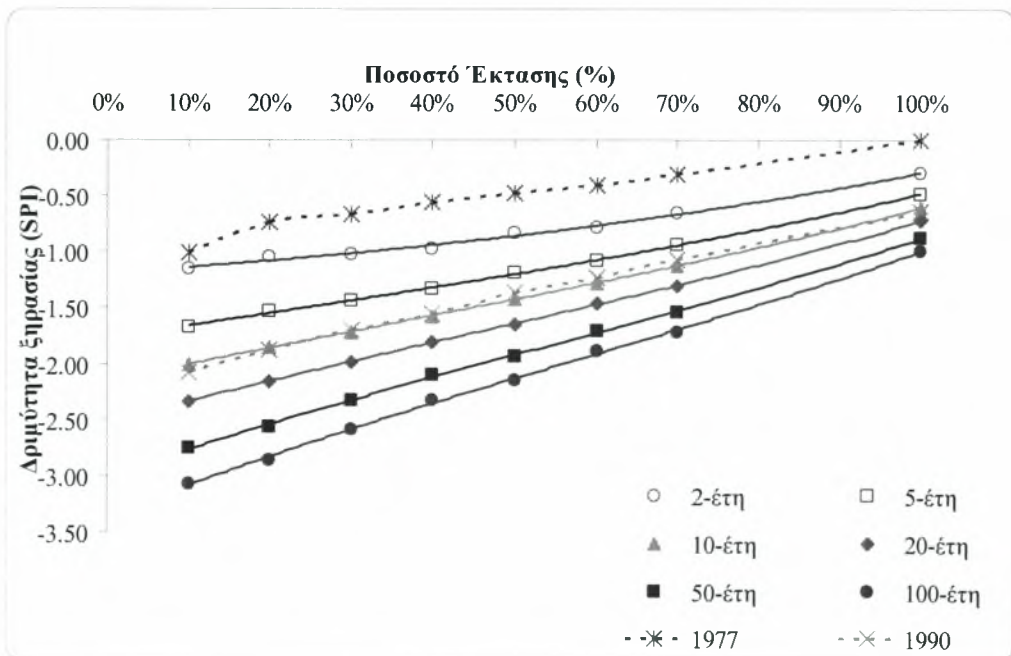


Σχήμα Δ4β. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιανουαρίου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

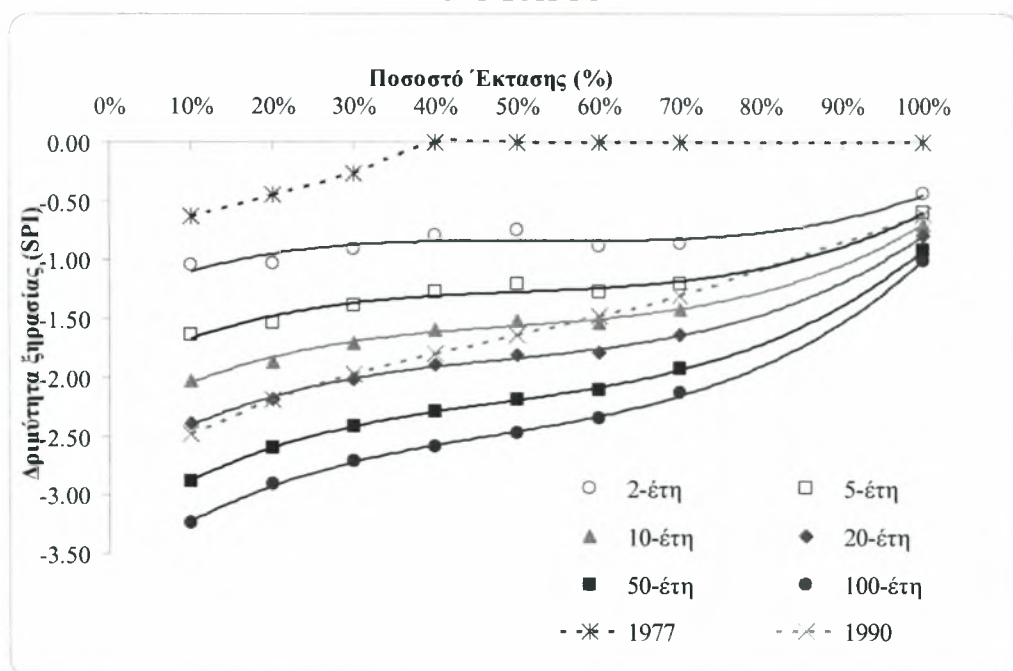


Σχήμα Δ4γ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιανουαρίου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχων υδρολογικών ετών.



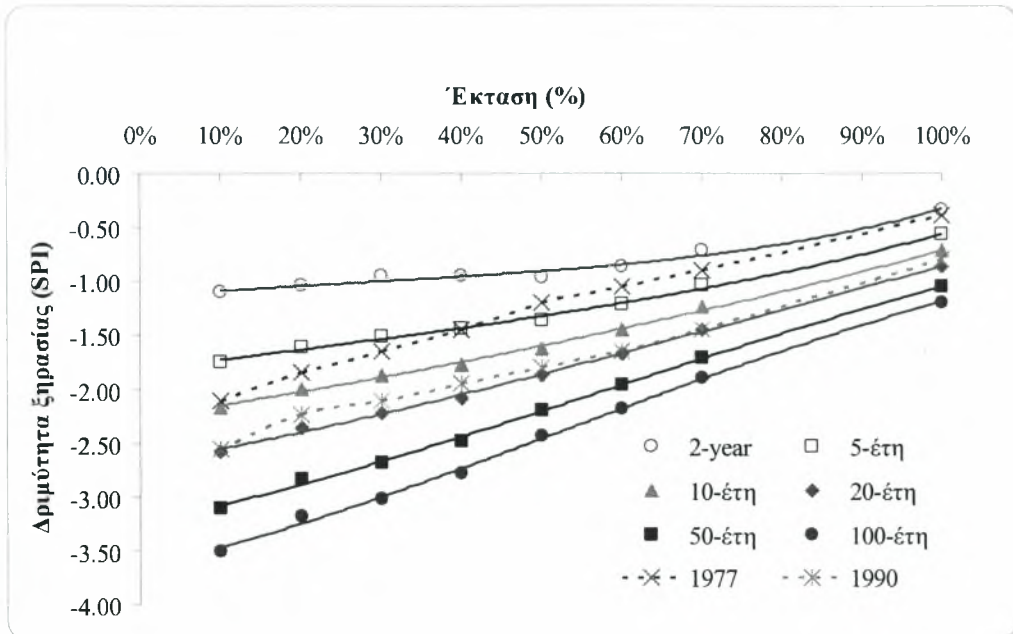
Σχήμα Δ4δ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιανουαρίου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχων υδρολογικών ετών.

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

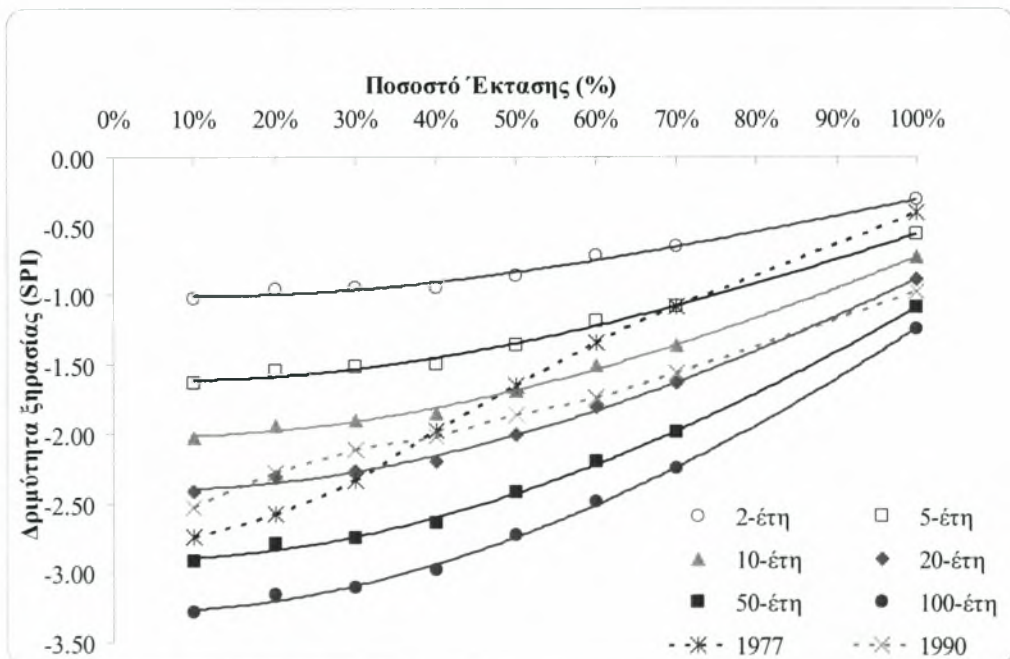


Σχήμα Δ4ε. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιανουαρίου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

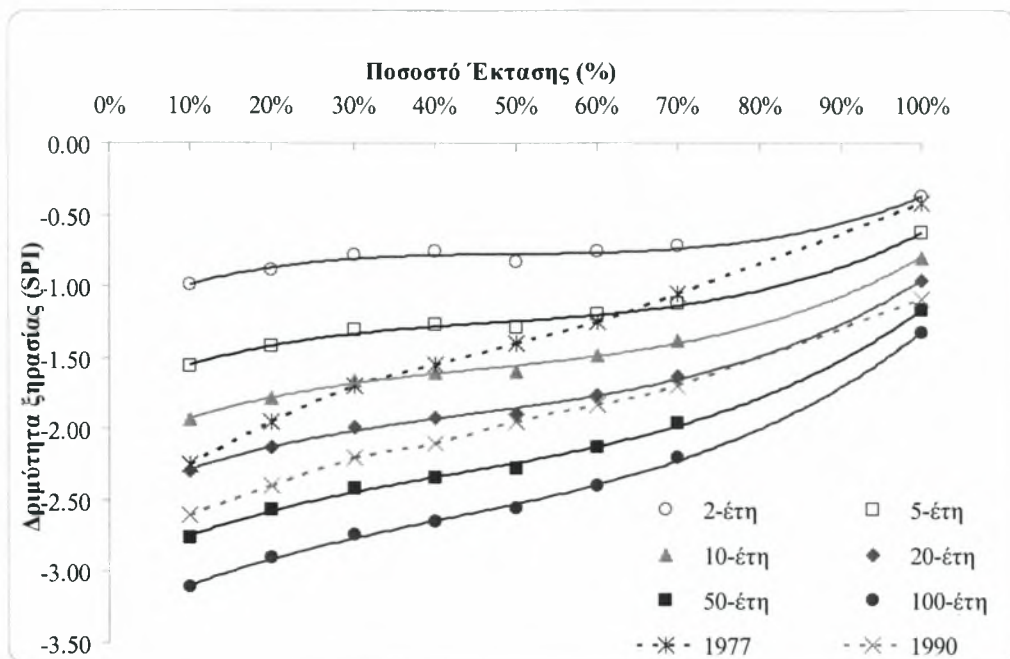


Σχήμα Δ5α. Καμπύλες Αριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Φεβρουαρίου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών

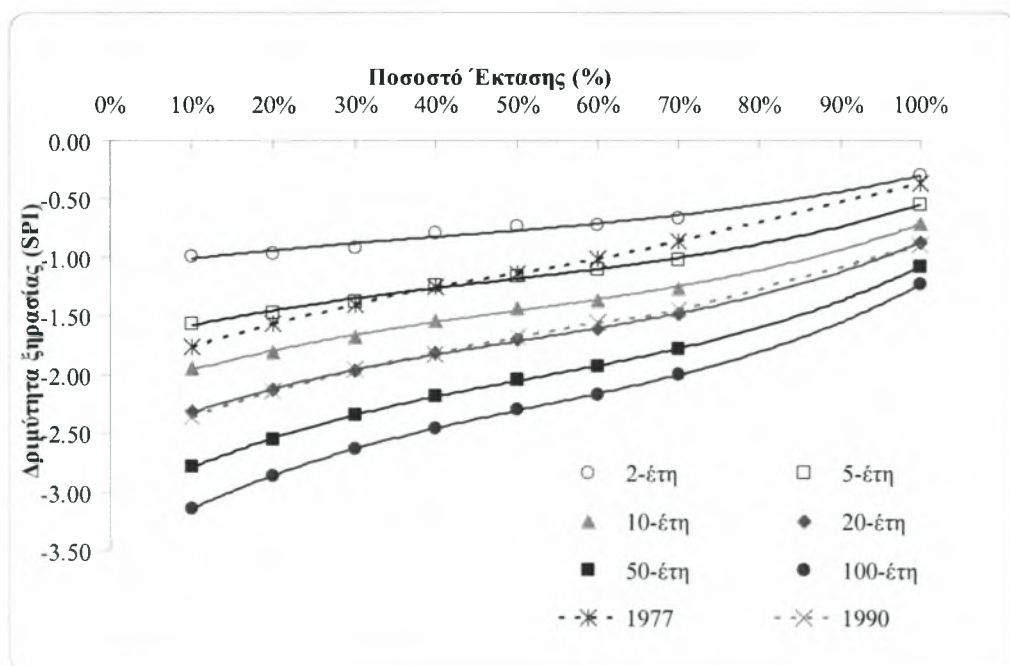


Σχήμα Δ5β. Καμπύλες Αριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Φεβρουαρίου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

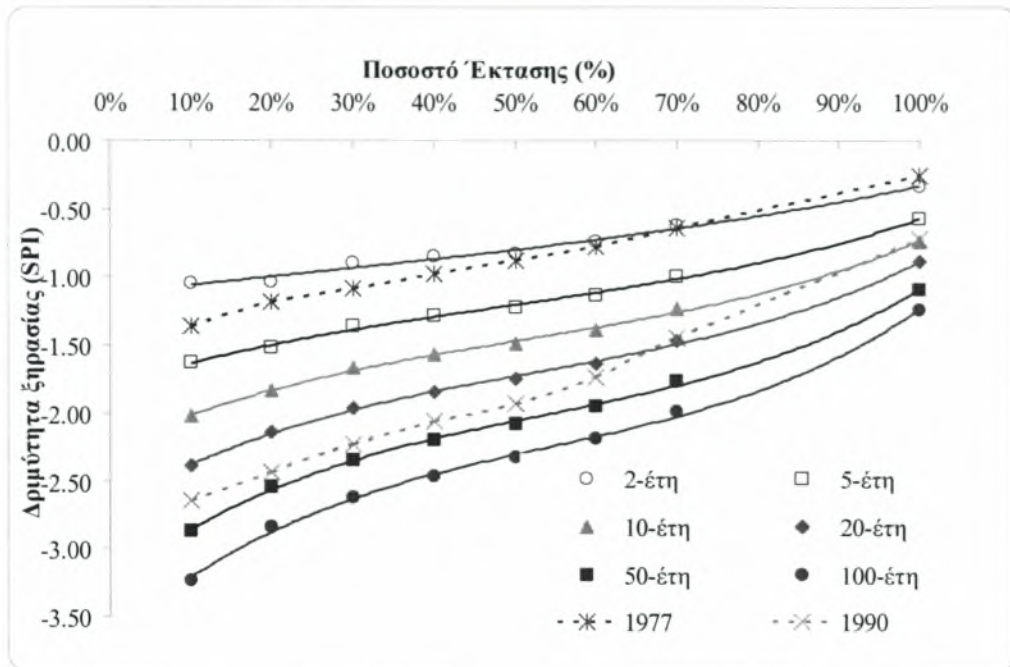


Σχήμα Δ5γ. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Φεβρουαρίου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.



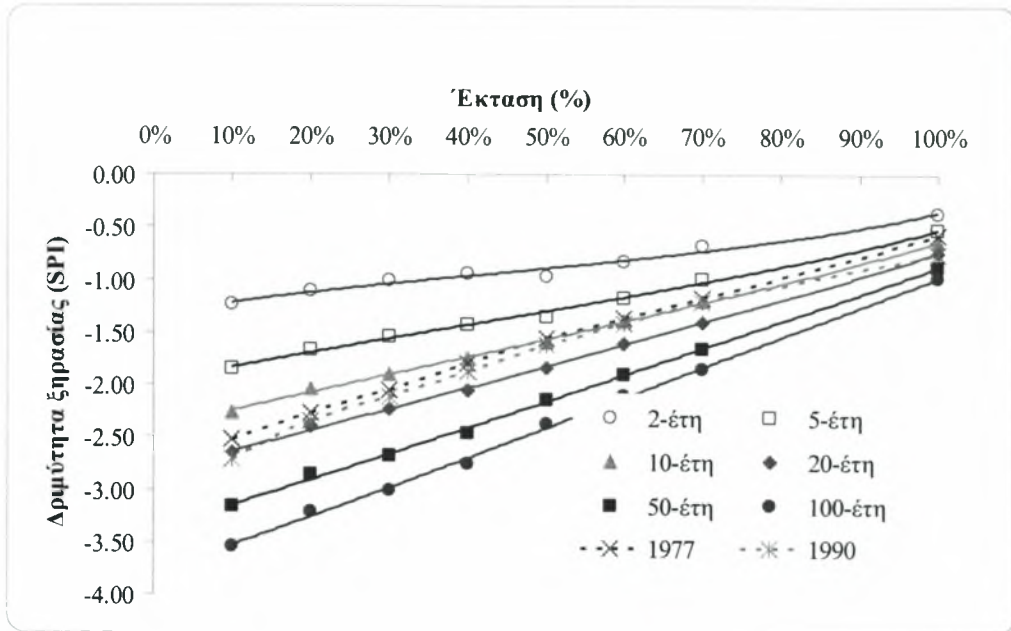
Σχήμα Δ5δ. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Φεβρουαρίου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

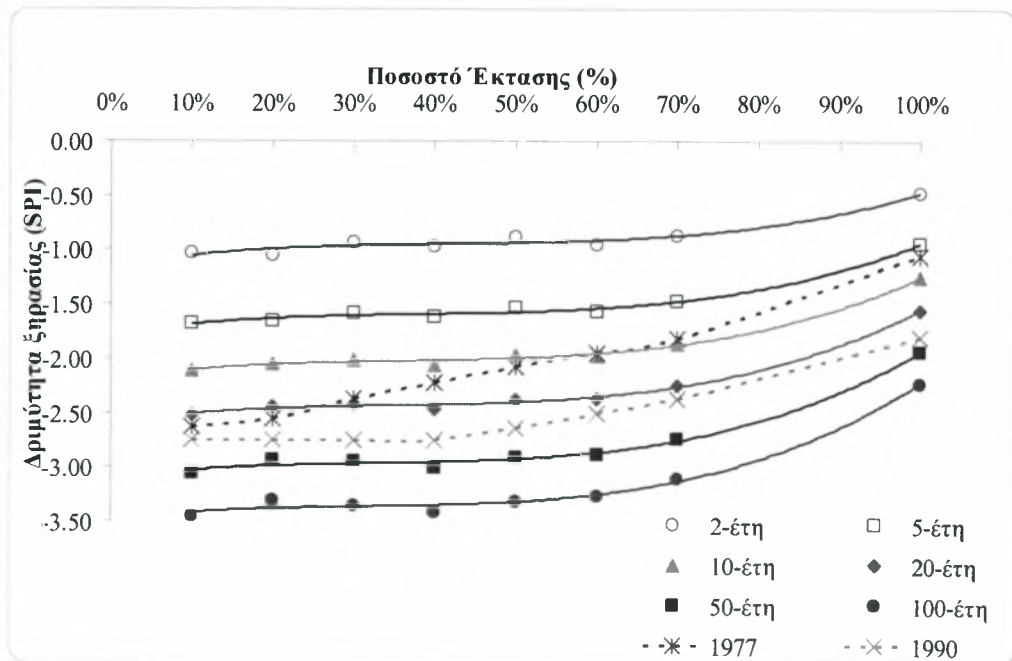


Σχήμα Δ5ε. Καμπύλες Δριμότητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Φεβρουαρίου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.

ΜΑΡΤΙΟΣ

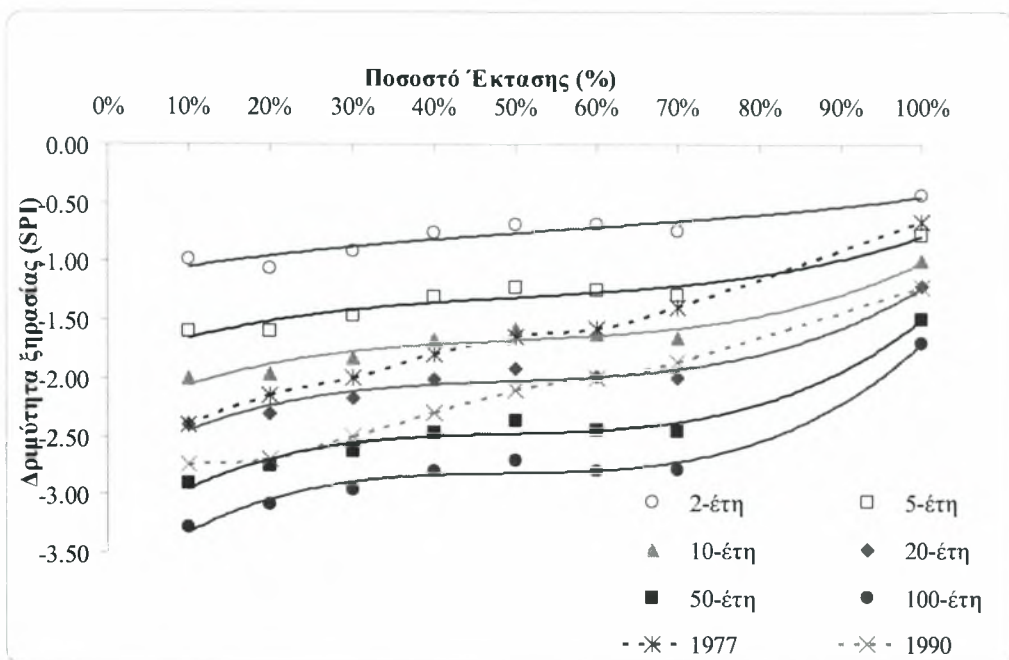


Σχήμα Δ6α. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Μαρτίου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

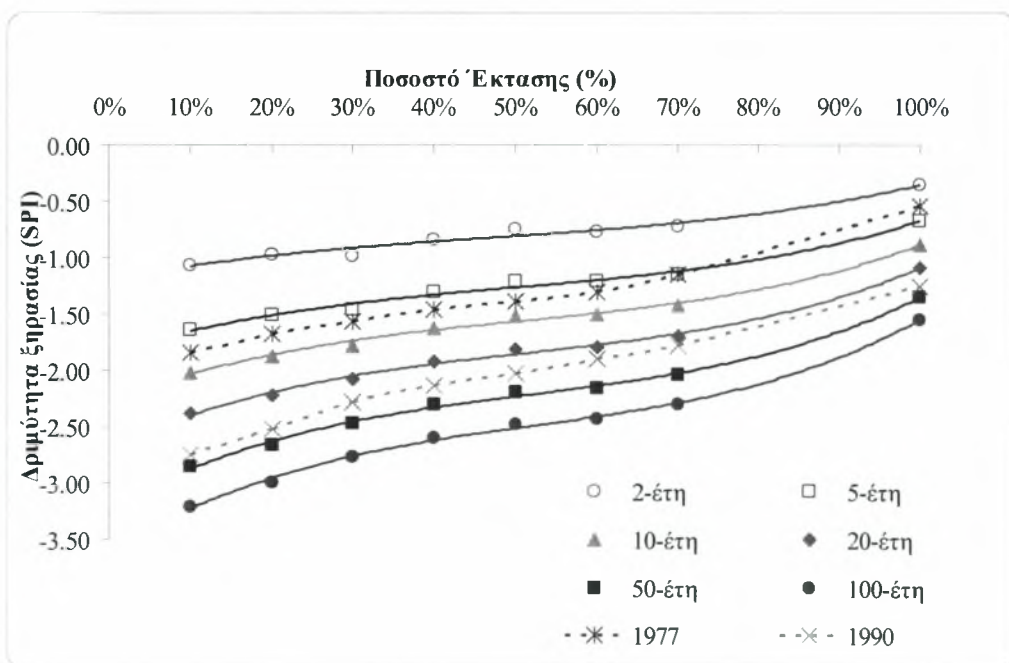


Σχήμα Δ6β. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Μαρτίου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΜΑΡΤΙΟΣ

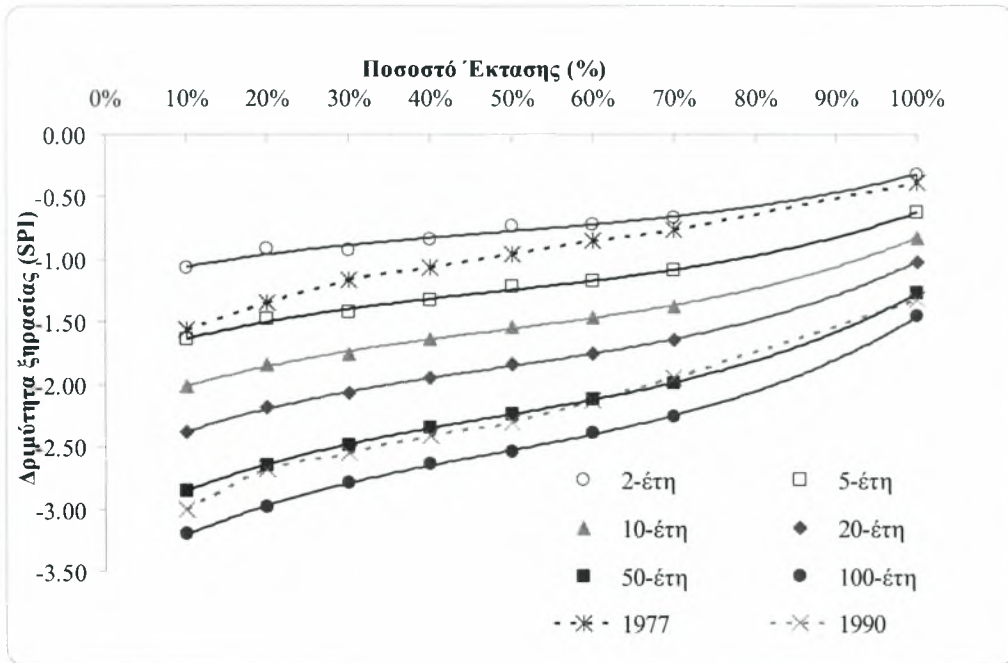


Σχήμα Δ6γ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Μαρτίου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχων υδρολογικών ετών.



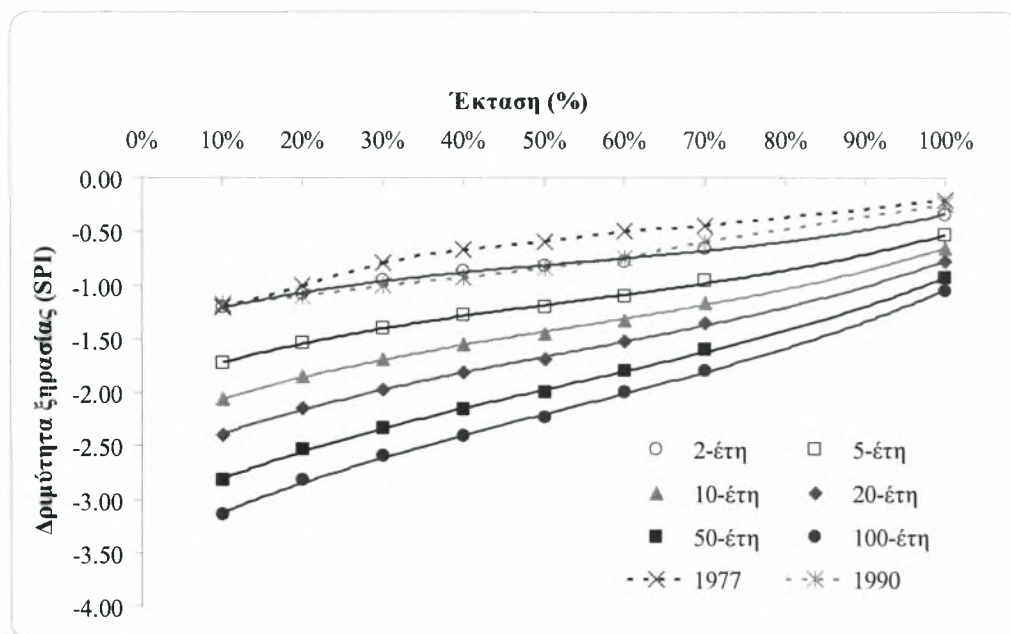
Σχήμα Δ6δ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Μαρτίου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχων υδρολογικών ετών.

ΜΑΡΤΙΟΣ

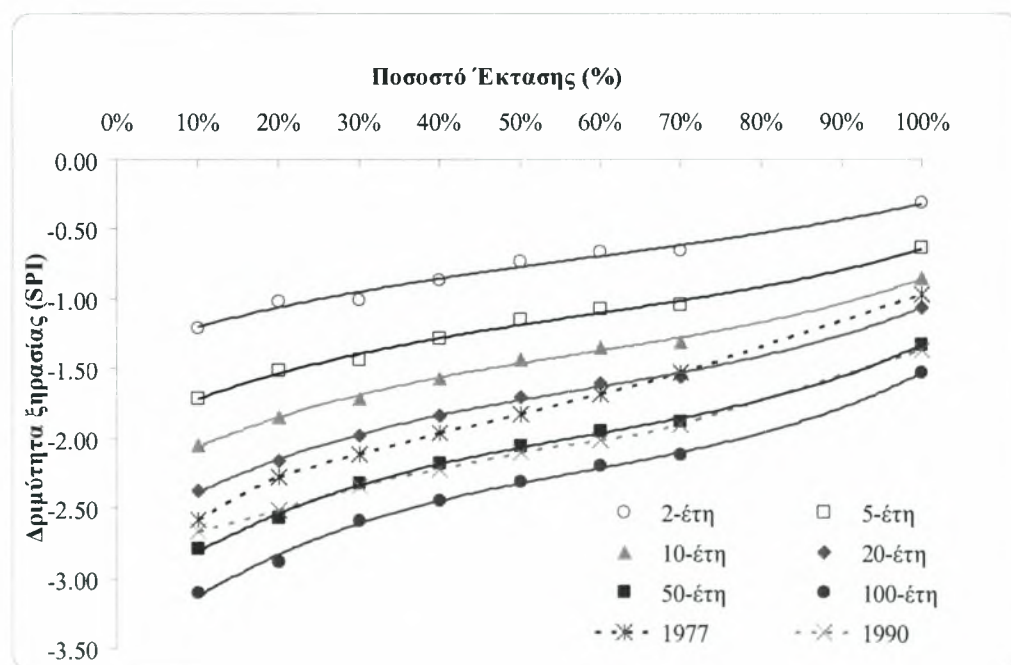


Σχήμα Δ6ε. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Μαρτίου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

Α ΡΙΑΙΟΣ

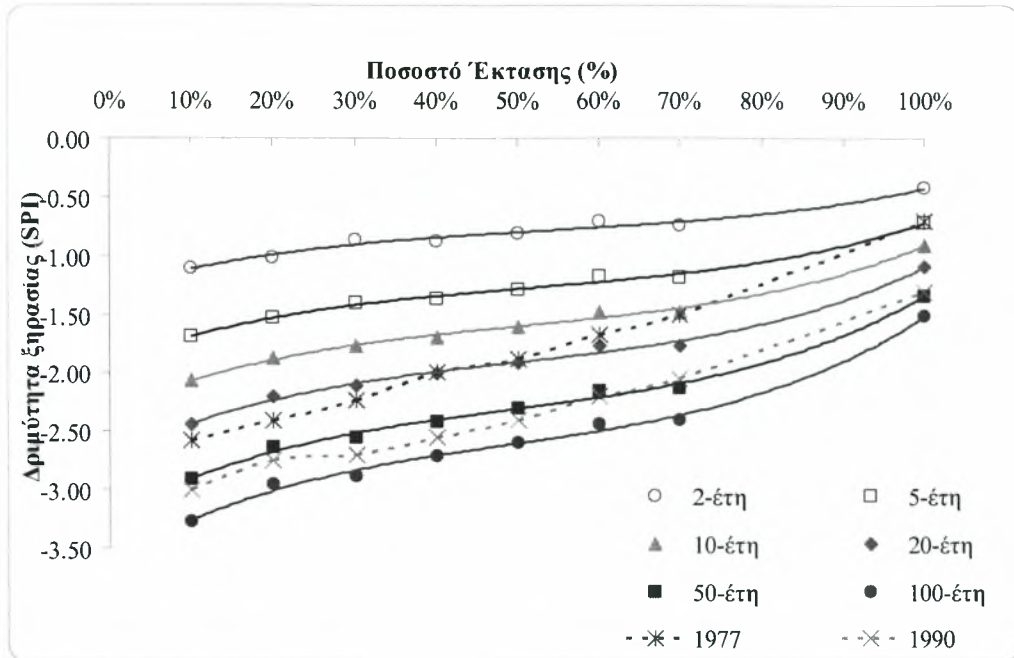


Σχήμα Δ7α. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Απριλίου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

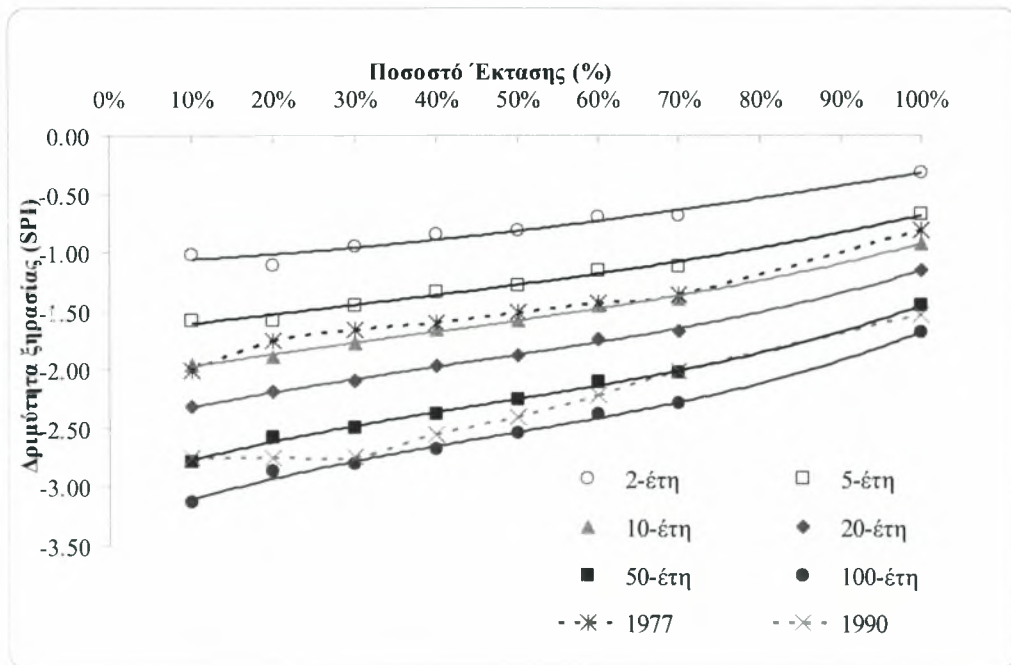


Σχήμα Δ7β. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Απριλίου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

Α ΡΙΛΙΟΣ

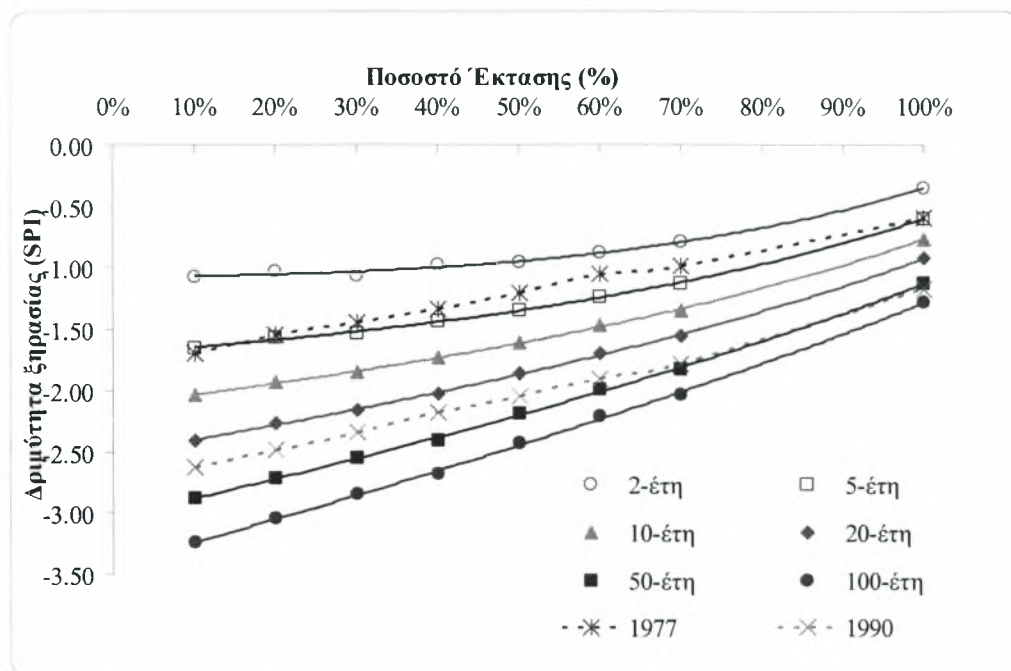


Σχήμα Δ7γ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Απριλίου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.



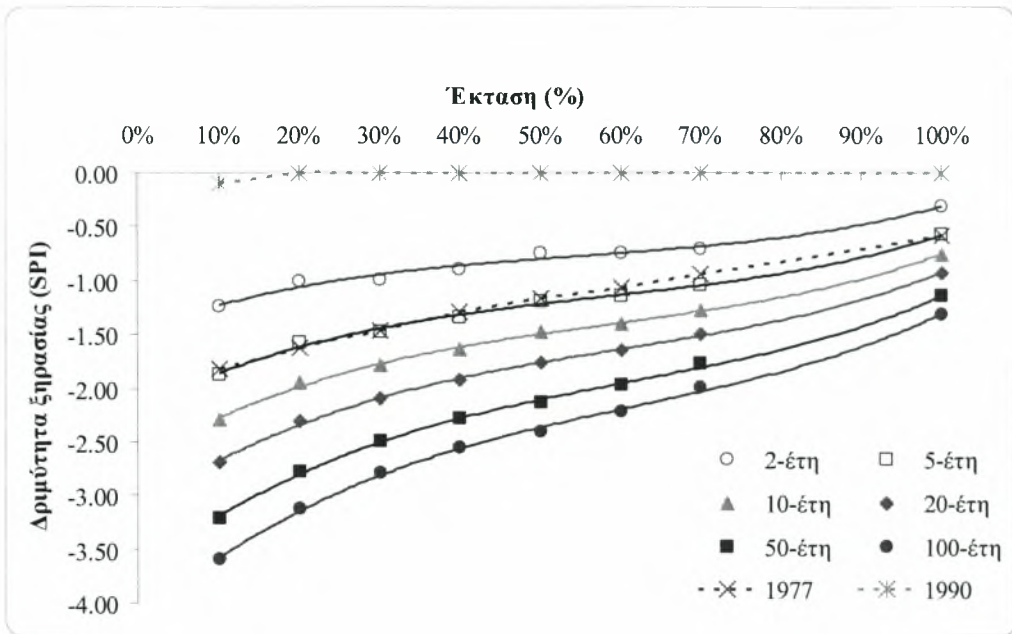
Σχήμα Δ7δ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Απριλίου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.

Α ΡΙΛΙΟΣ

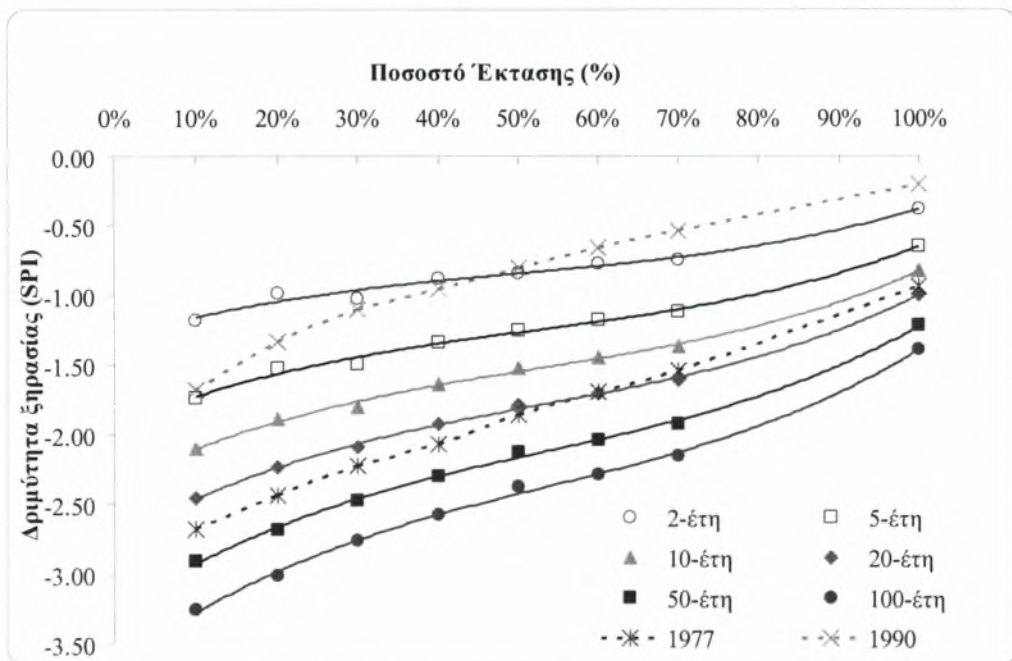


Σχήμα Δ7ε. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Απριλίου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχων υδρολογικών ετών.

ΜΑΙΟΣ

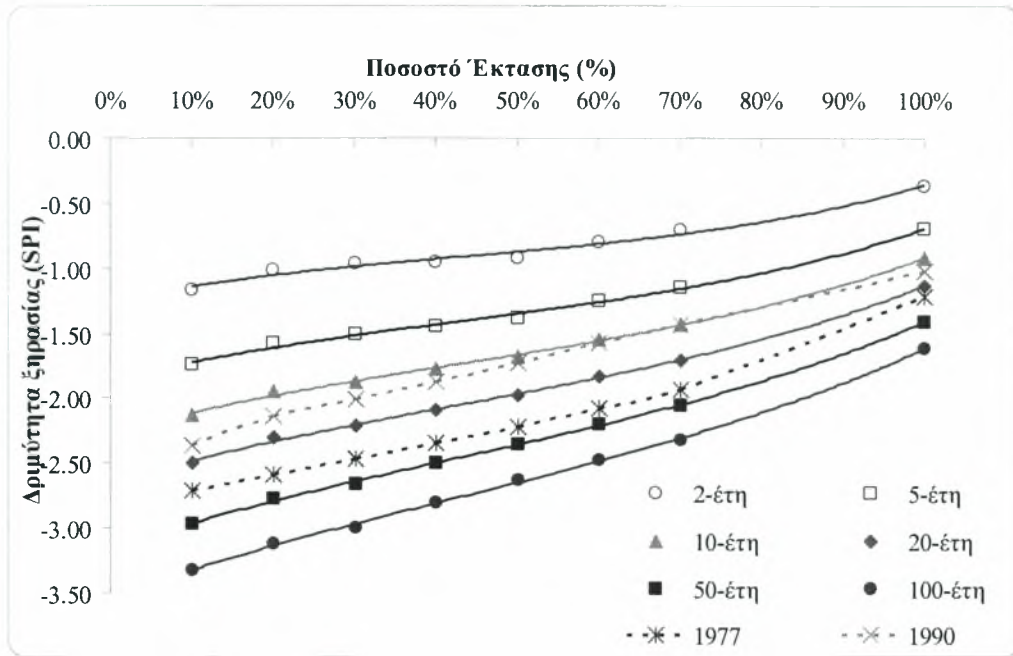


Σχήμα Δ8α. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Μαΐου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.

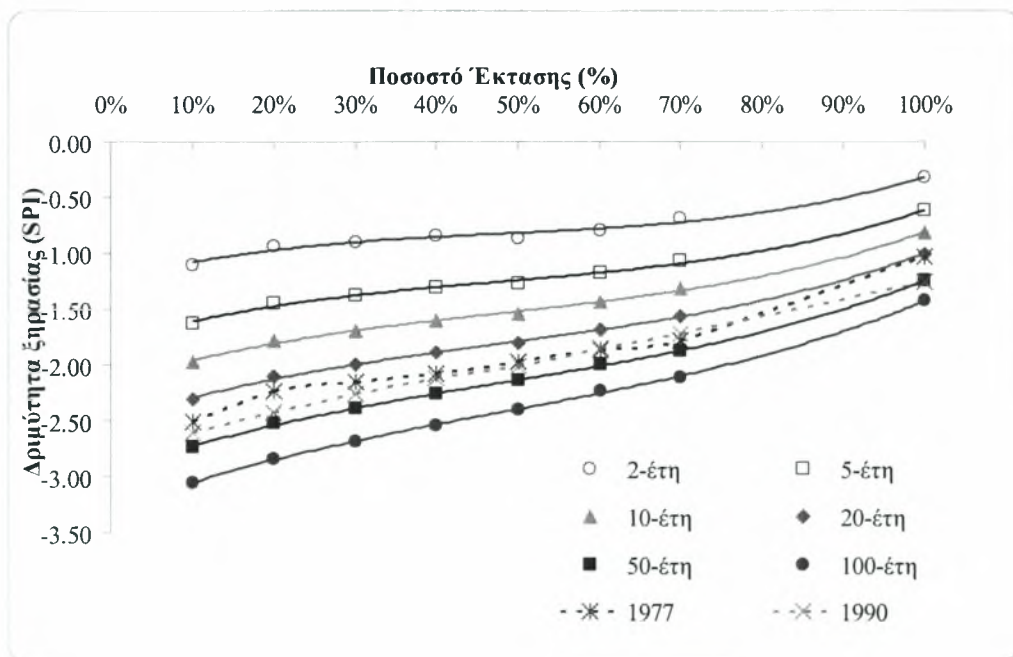


Σχήμα Δ8β. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Μαΐου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.

ΜΑΙΟΣ

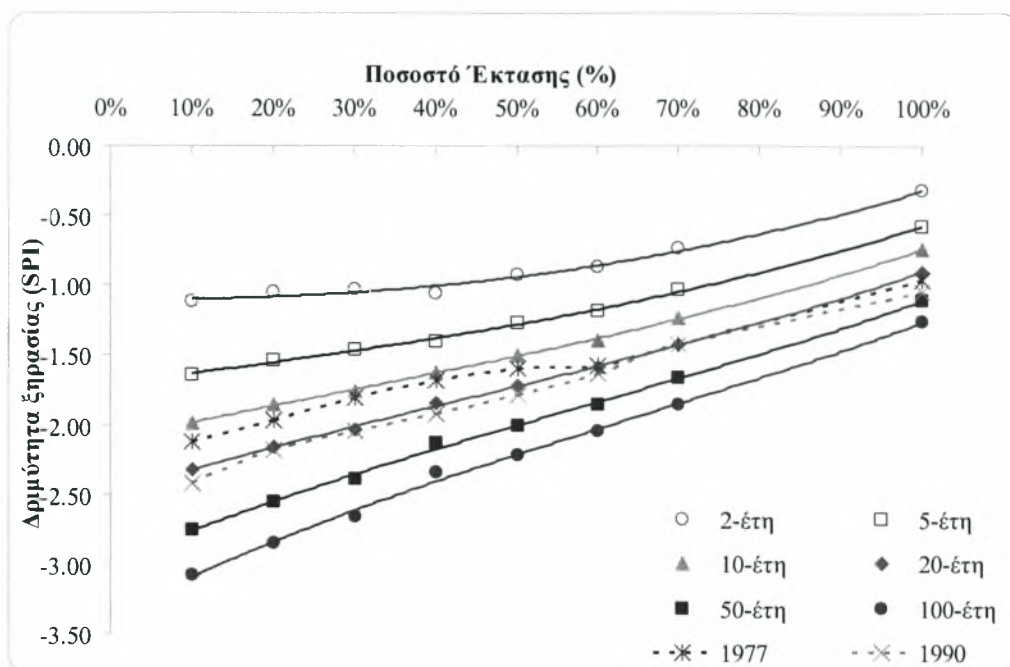


Σχήμα Δ8γ. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Μαΐου, 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.



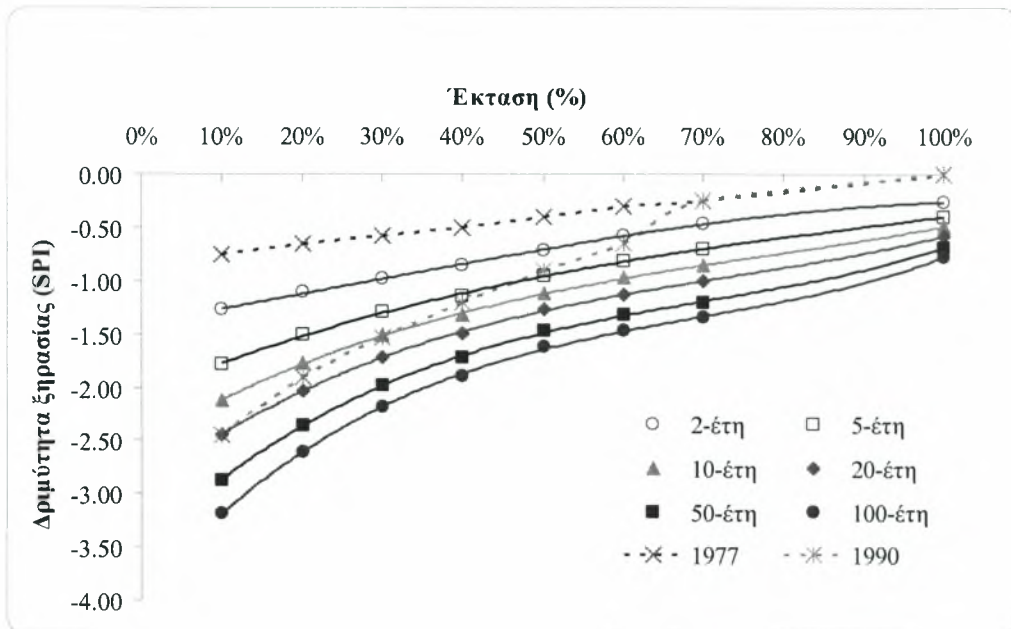
Σχήμα Δ8δ. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Μαΐου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.

ΜΑΙΟΣ

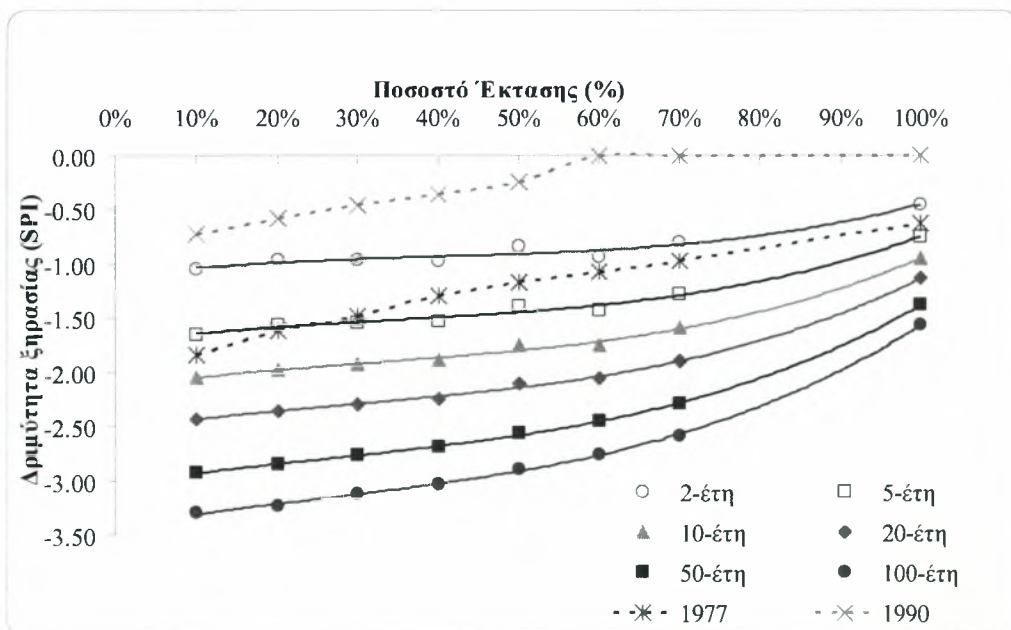


Σχήμα Δ8ε. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Μαΐου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.

ΙΟΥΝΙΟΣ

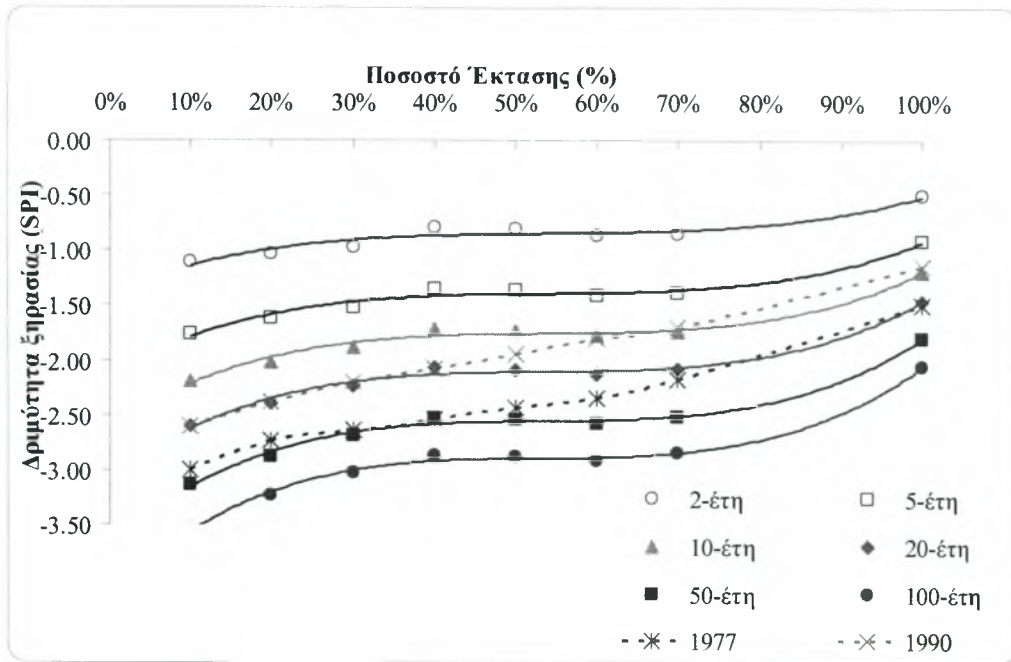


Σχήμα Δ9α. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιουνίου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

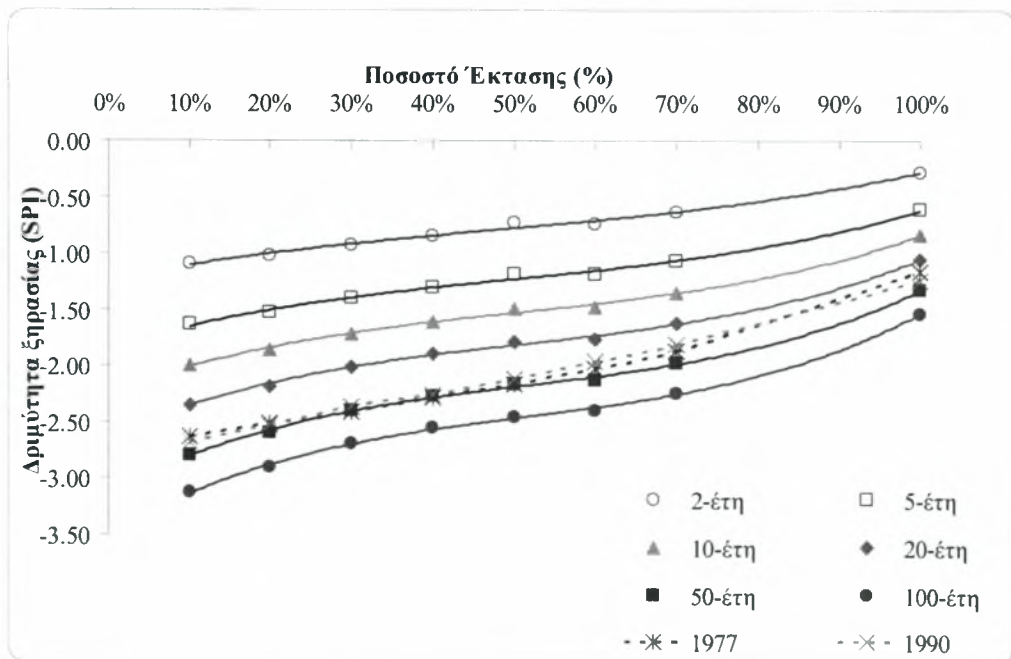


Σχήμα Δ9β. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιουνίου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΙΟΥΝΙΟΣ

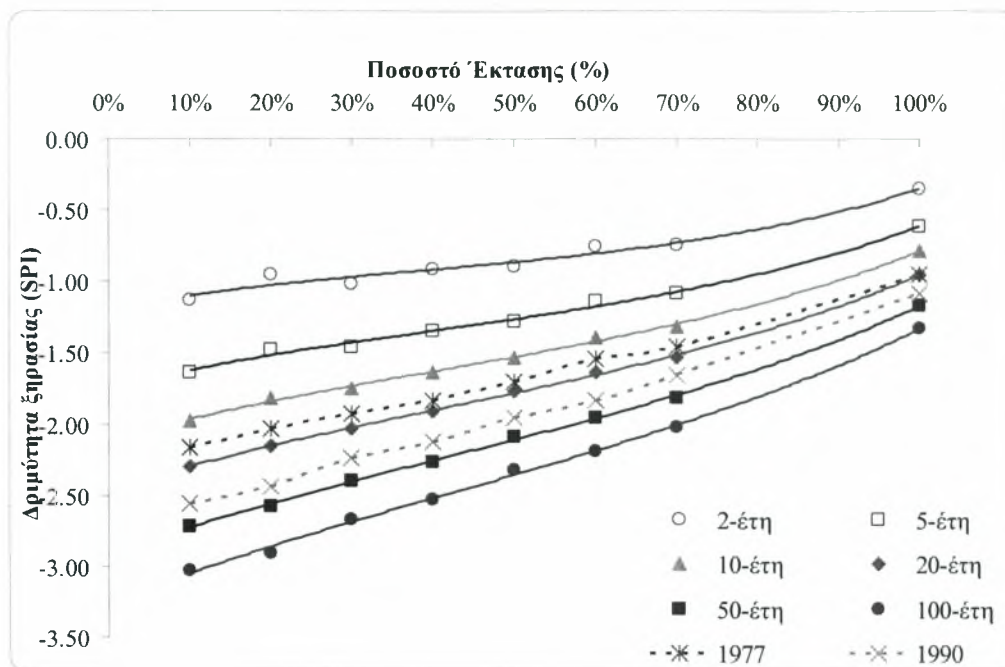


Σχήμα Δ9γ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιουνίου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.



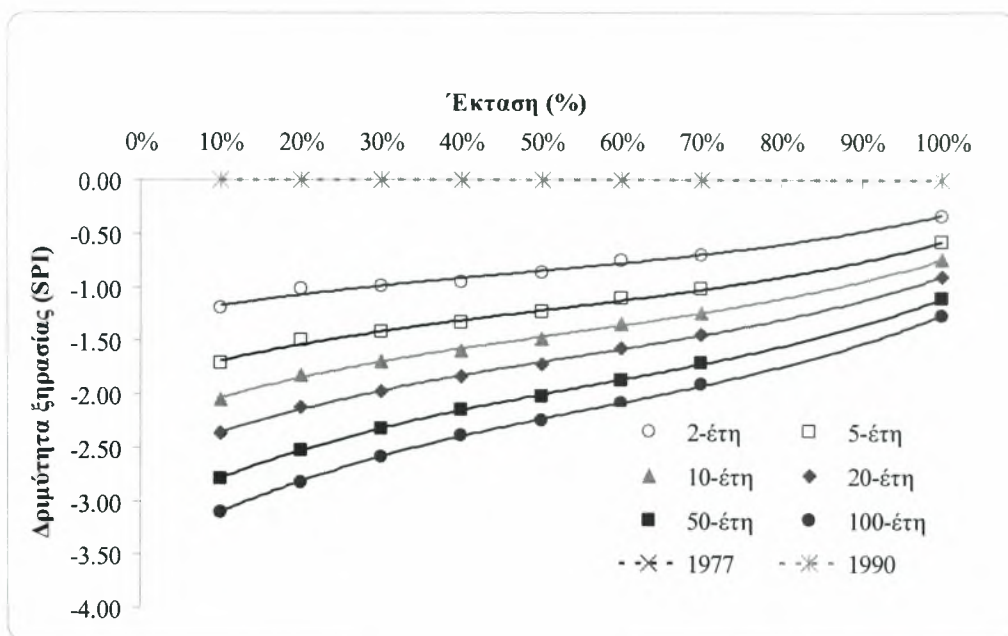
Σχήμα Δ9δ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιουνίου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΙΟΥΝΙΟΣ

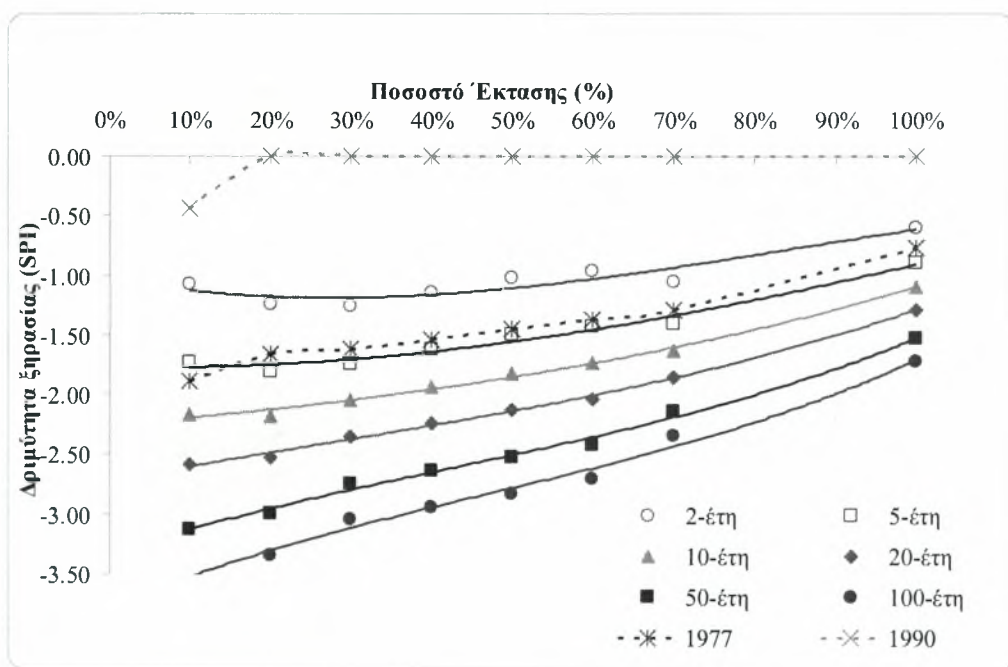


Σχήμα Δ9ε. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιουνίου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.

ΙΟΥΛΙΟΣ

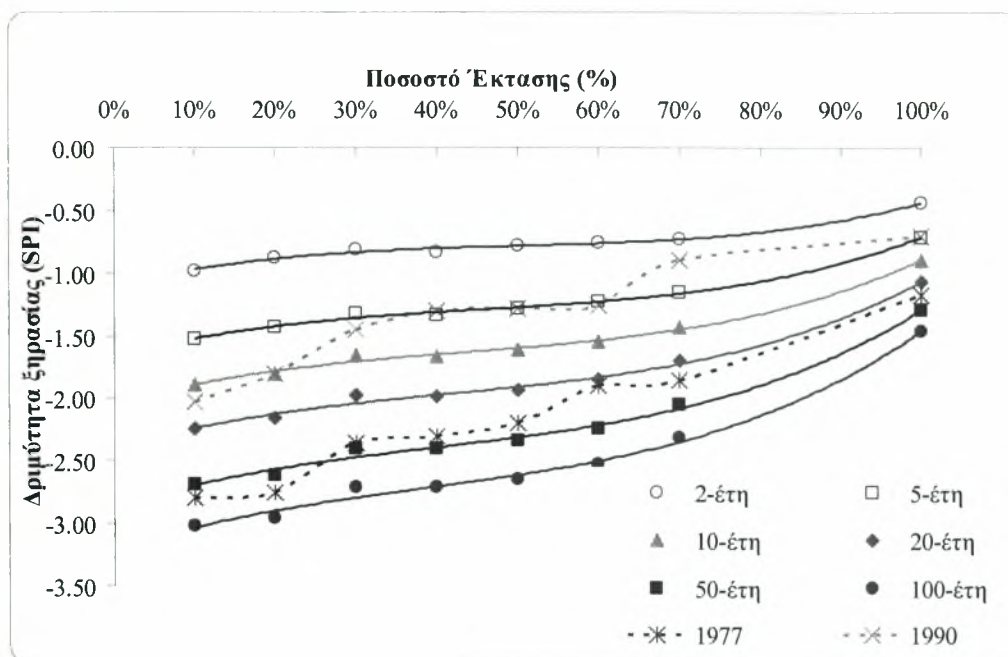


Σχήμα Δ10α. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιουλίου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

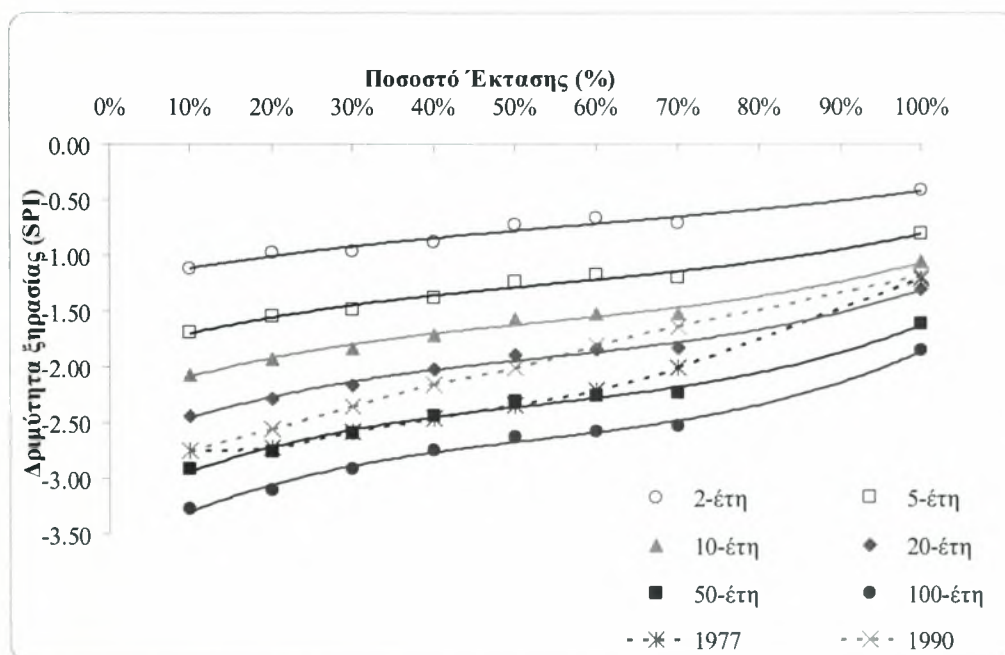


Σχήμα Δ10β. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιουλίου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΙΟΥΛΙΟΣ

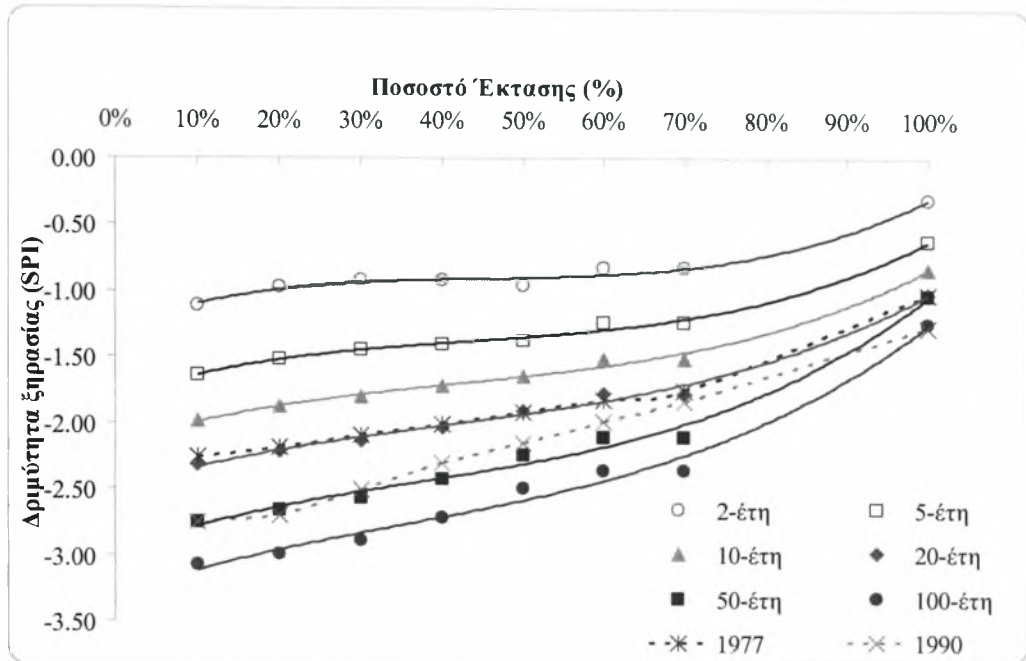


Σχήμα Δ10γ. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιουλίου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.



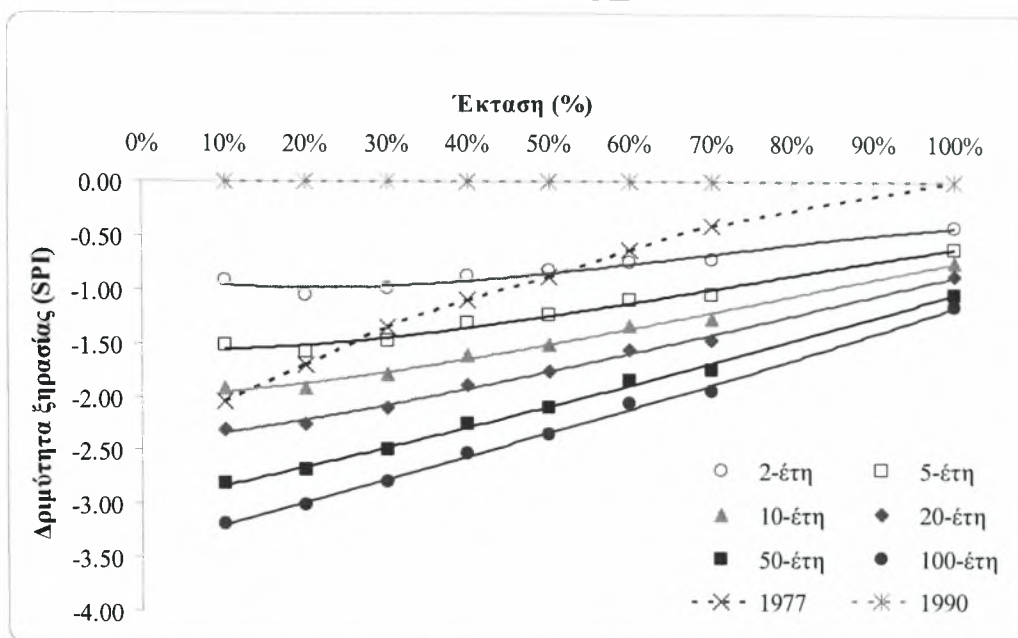
Σχήμα Δ10δ. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιουλίου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών ετών.

ΙΟΥΛΙΟΣ

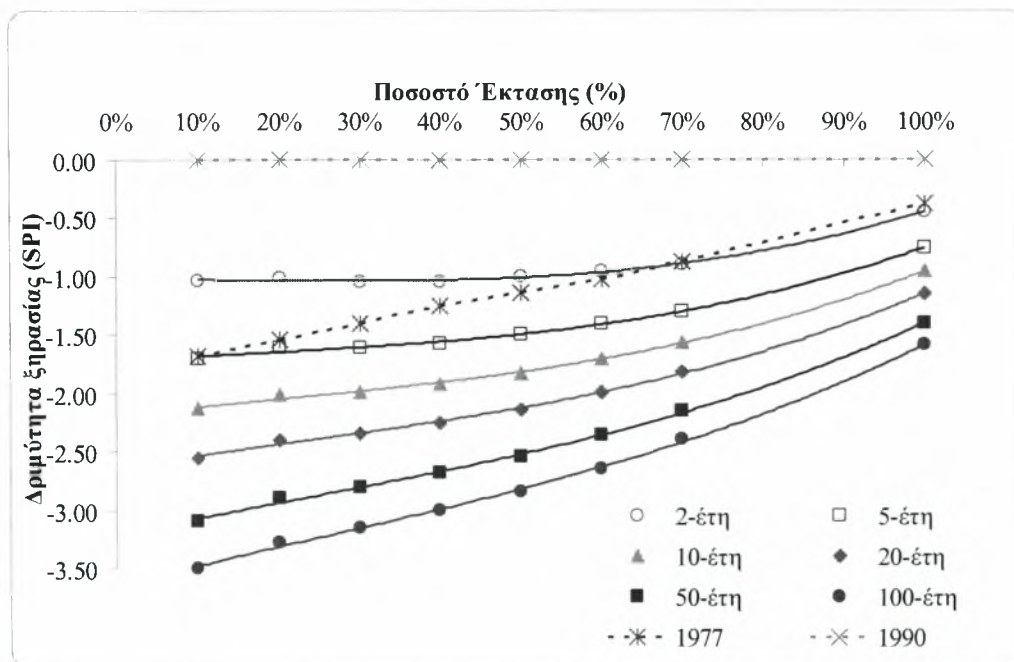


Σχήμα Δ10ε. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Ιουλίου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών ετών.

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

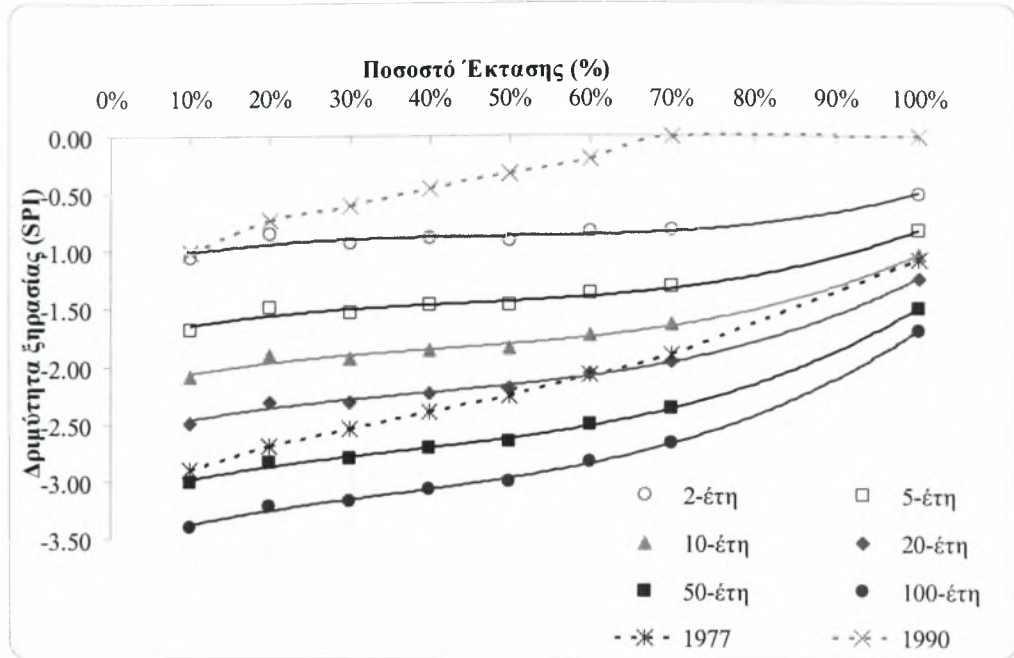


Σχήμα Δ11α. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Αυγούστου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντίστοιχων υδρολογικών ετών.

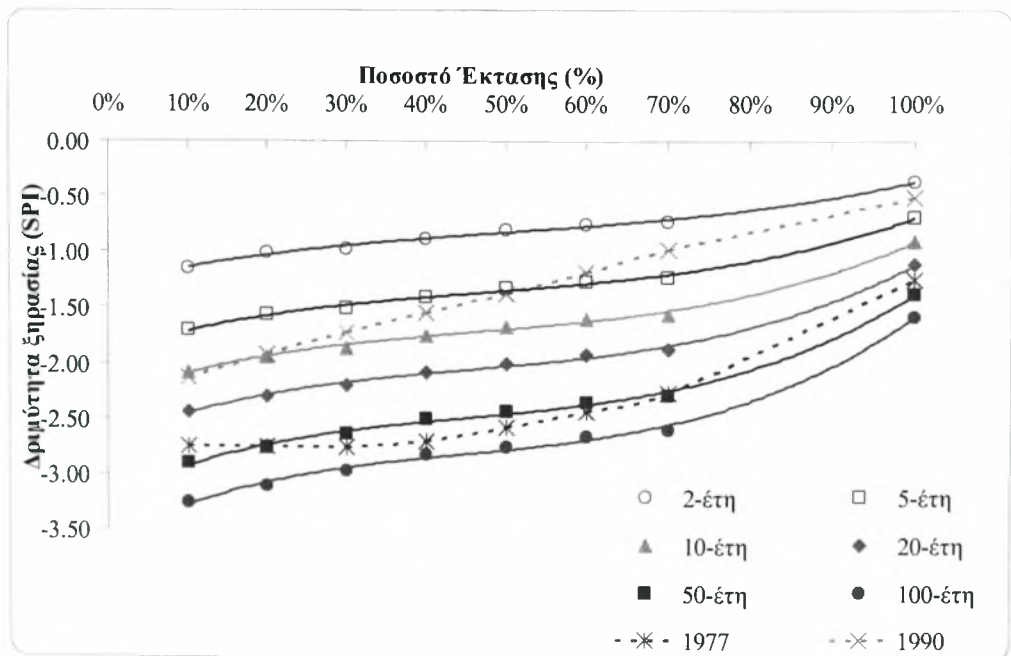


Σχήμα Δ11β. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Αυγούστου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντίστοιχων υδρολογικών ετών.

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

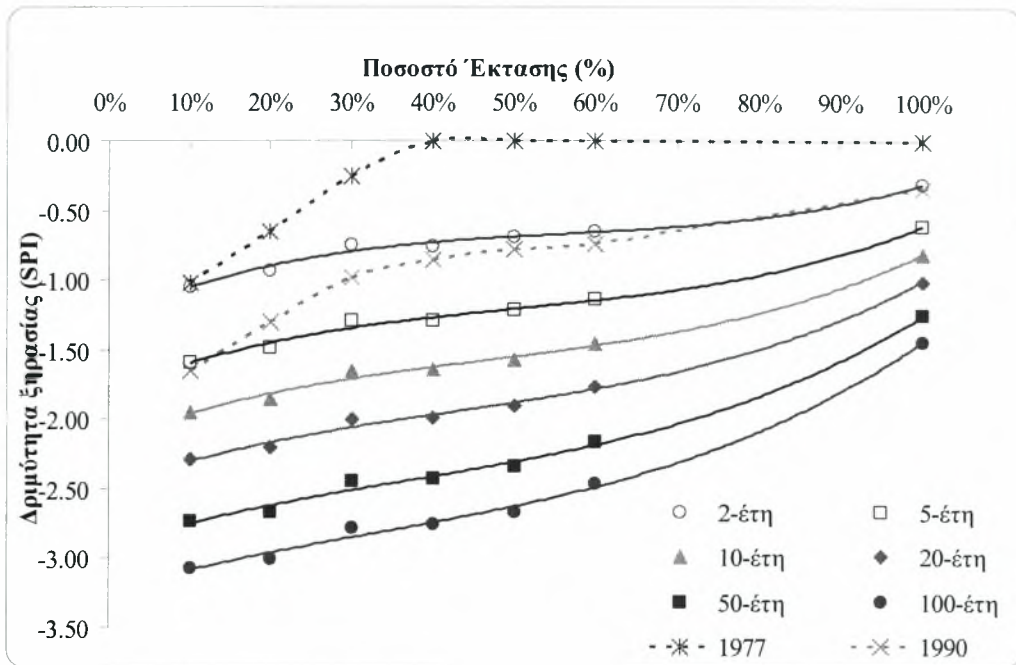


Σχήμα Δ11γ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Αυγούστου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών.



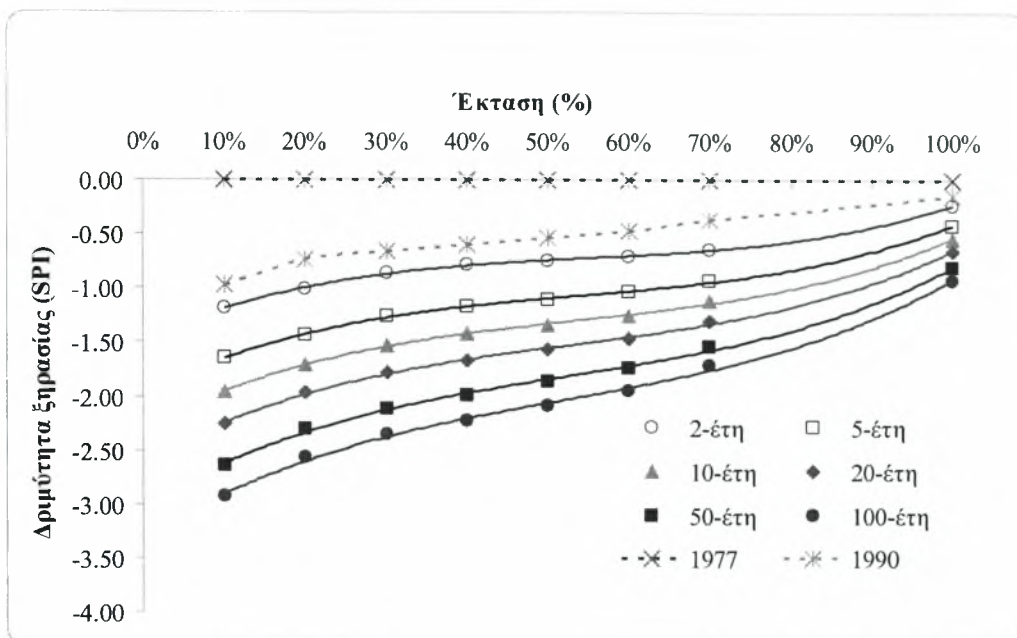
Σχήμα Δ11δ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Αυγούστου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών.

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

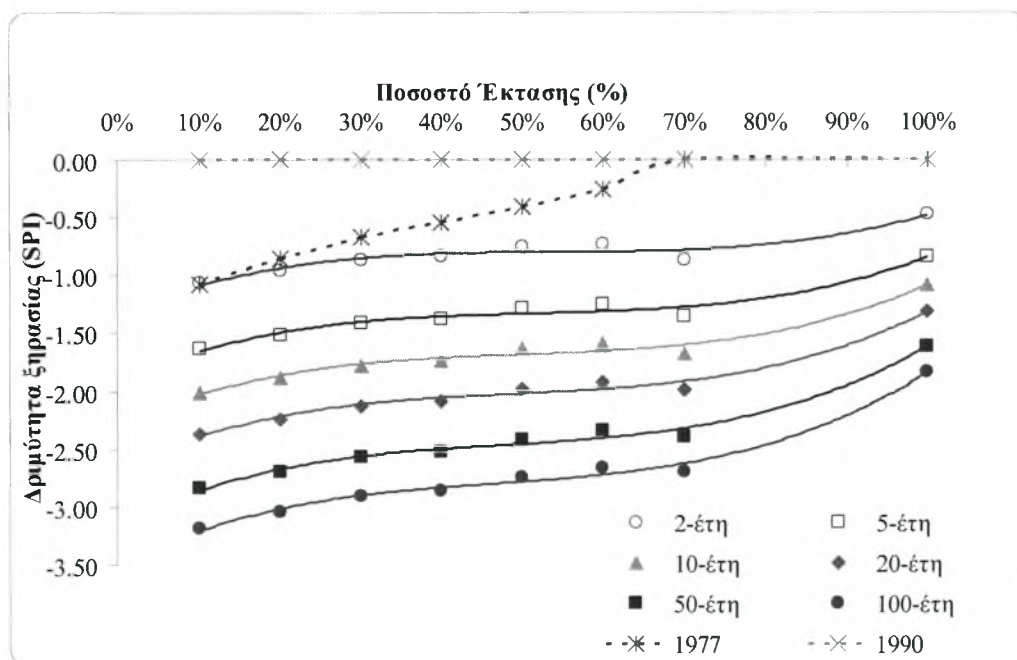


Σχήμα Δ11ε. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Αυγούστου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών.

ΣΕ ΤΕΜΒΡΙΟΣ

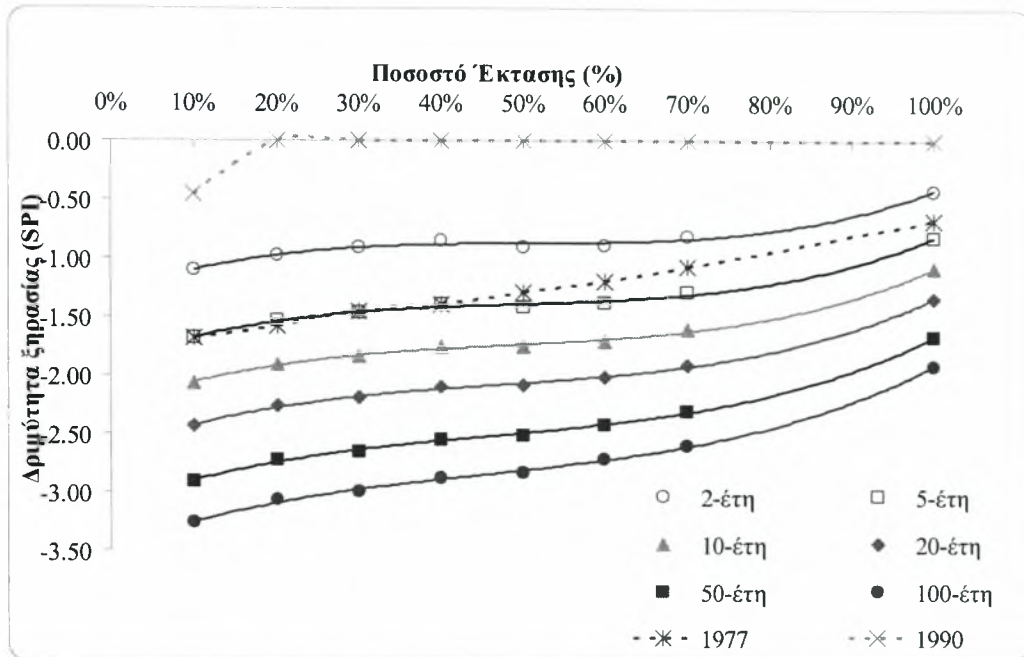


Σχήμα Δ12α. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Σεπτεμβρίου 1-Μηνός. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών.

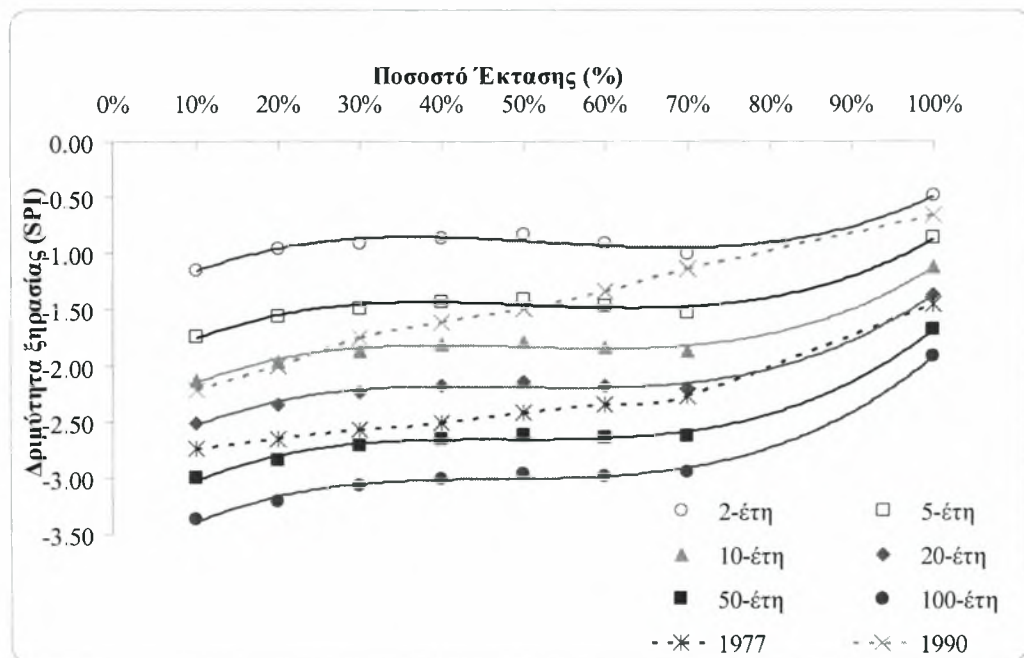


Σχήμα Δ12β. Καμπύλες Δριμύτητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Σεπτεμβρίου 3-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών.

ΣΕ ΤΕΜΒΡΙΟΣ

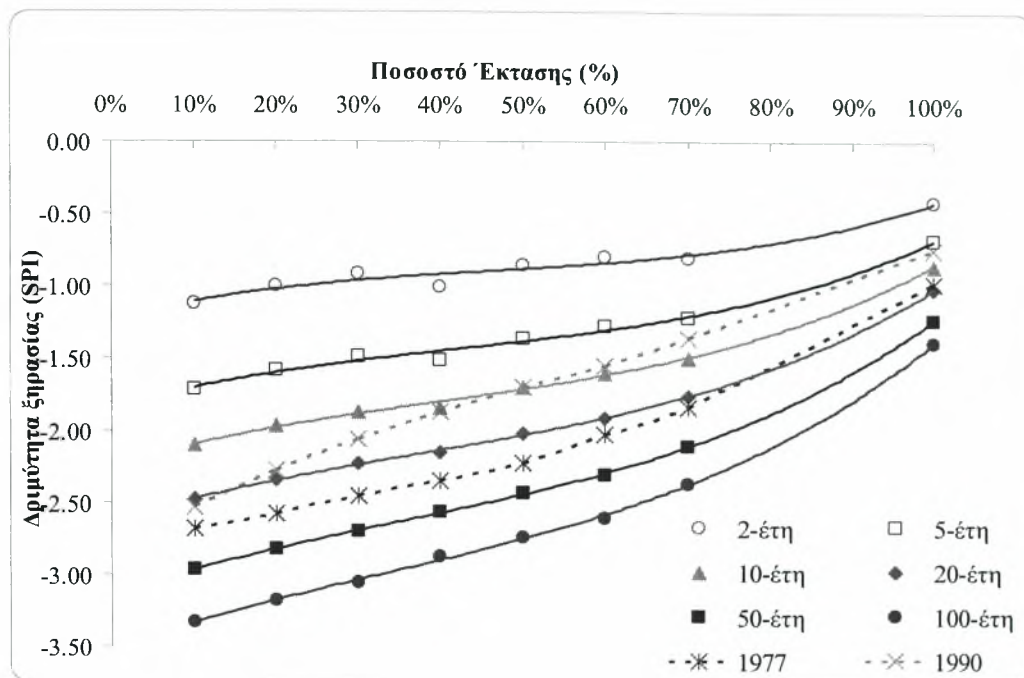


Σχήμα Δ12γ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Σεπτεμβρίου 6-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών.



Σχήμα Δ12δ. Καμπύλες Δριμύτητας ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Σεπτεμβρίου 9-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα ξηρασίας αντιστοίχων υδρολογικών.

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ



Σχήμα Δ12ε. Καμπύλες Αριμότητας Ξηρασίας – Έκτασης – Περιόδου επαναφοράς, Σεπτεμβρίου 12-Μηνών. Με διακεκομμένες γραμμές μηνιαία γεγονότα Ξηρασίας αντιστοιχών υδρολογικών.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074469