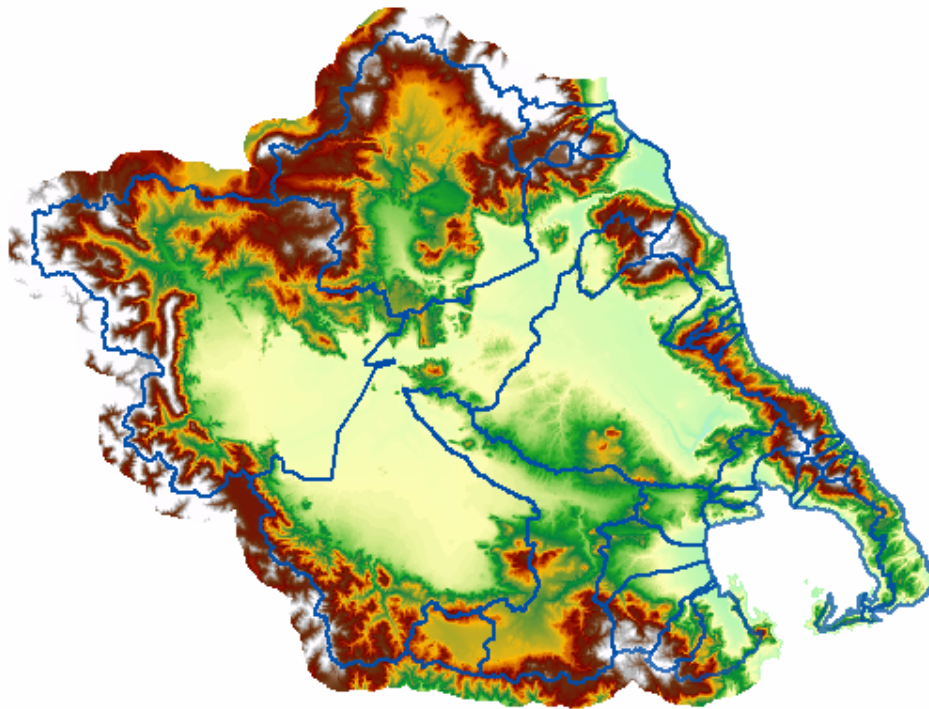




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΧΡΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ
ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**



Διπλωματική Εργασία ΚΑΛΠΙΑ ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ

Επιβλέπουσα: Μ. Α. ΜΙΜΙΚΟΥ, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Ε.Μ.Π. με επιβλέπουσα Καθηγήτρια την κ. Μ. Α. Μιμίκου.

Αντικείμενο της αποτέλεσε η ανάλυση της ξηρασίας στο Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας με τη χρήση του δείκτη “Standardized Precipitation Index” SPI.

Για την πολύτιμη συνεισφορά τους στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας, οφείλω να ευχαριστήσω τους:

Μαρία Μιμίκου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Μαγδαληνή Κοσσίδα, Γεωλόγο Ε.Κ.Π.Α., Υποψήφια Διδάκτορα Ε.Μ.Π.

Μακρόπουλο Χρήστο, Λέκτορα Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | i |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας | 1 |
| 1.1. Γενικά χαρακτηριστικά | 1 |
| 1.2. Γεωγραφικά και Κλιματικά χαρακτηριστικά | 2 |
| 1.3. Γεωμορφολογικά-γεωλογικά χαρακτηριστικά | 4 |
| 1.4. Υδρολογικό ισοζύγιο – Προσφορά νερού | 4 |
| 1.4.1 Κύριες υδρολογικές λεκάνες | 4 |
| 1.4.2 Κύριες υδρογεωλογικές λεκάνες | 4 |
| 1.4.3 Αξιολόγηση ποιοτικής κατάστασης υδάτων | 5 |
| 1.4.4. Περιγραφή του υδατικού συστήματος στη σημερινή κατάσταση | 5 |
| 1.4.5. Υδρολογικό ισοζύγιο διαμερίσματος | 6 |
| 1.5. Χρήσεις νερού – Ζήτηση | 7 |
| 1.6. Συμπεράσματα | 9 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Το φαινόμενο της Ξηρασίας | 11 |
| 2.1. Εισαγωγή | 11 |
| 2.2. Ορισμός της Ξηρασίας | 12 |
| 2.3. Τύποι Ξηρασίας | 13 |
| 2.4. Χαρακτηριστικά της ξηρασίας | 15 |
| 2.5 Αίτια ξηρασίας | 16 |
| 2.6. Επιπτώσεις της ξηρασίας | 18 |
| 2.7. Διαχείριση ξηρασίας | 20 |
| 2.8. Η Ξηρασία στην Ευρώπη και την Ελλάδα | 26 |
| 2.9. Συμπεράσματα | 29 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Δείκτες Ξηρασίας | 30 |
| 3.1. Ορισμός | 30 |
| 3.2. Αναγκαιότητα Δεικτών Ξηρασίας | 30 |
| 3.3. Χαρακτηριστικά Δεικτών Ξηρασίας | 31 |
| 3.4. Συνήθεις Δείκτες Ξηρασίας | 33 |
| 3.5. Ο ρόλος των Δεικτών στη Διαχείριση της Ξηρασίας | 44 |
| 3.6. Αδυναμίες Δεικτών Ξηρασίας | 45 |
| 3.7. Ο δείκτης SPI (Standardized Precipitation Index) | 46 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SPI | 54 |
| 4.1. Εισαγωγή | 54 |
| 4.2. Μεθοδολογία Ανάλυσης Ξηρασίας με το δείκτη SPI | 55 |
| 4.2.1. Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων | 55 |
| 4.2.2. Υπολογισμός Δείκτη SPI | 56 |
| 4.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης Ξηρασίας με το Δείκτη SPI | 61 |
| 4.3.1. Σύγκριση δεικτών SPI 1- και SPI 12- μηνών | 61 |
| 4.3.2. Συχνότητα εμφάνισης των επεισοδίων ξηρασίας | 76 |
| 4.3.3. Διάρκεια ξηρασίας | 80 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ | 83 |
| 5.1. Η Ξηρασία στο Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας | 83 |
| 5.2. Συμπεριφορά του δείκτη SPI | 84 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 88 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία αναλύεται το φαινόμενο της ξηρασίας μέσω του δείκτη ξηρασίας «Standardized Precipitation Index» ή SPI για το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Κύριος στόχος είναι η ανίχνευση επεισοδίων μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας και η αναγνώριση των κύριων χαρακτηριστικών τους στην περίοδο 1980-2008. Επιλέχθηκε για μελέτη η Θεσσαλία εξαιτίας του γνωστού προβλήματος που αντιμετωπίζει η περιοχή σχετικά με τη διαχείριση των υδάτινων πόρων της. Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της ξηρασίας είναι ο δείκτης SPI διότι είναι ευρύτατα αποδεκτός και ίσως ο πλέον αξιόπιστος ανάμεσα σε ένα μεγάλο φάσμα δεικτών ξηρασίας που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως. Υπολογίστηκε ο SPI για δύο χρονικά κατώφλια (1-μήνας, 12-μήνες) προκειμένου να αποτιμηθεί τόσο η μετεωρολογικά όσο και η υδρολογικά ξηρασία.

Πιο συγκεκριμένα, η διπλωματική εργασία χωρίζεται στα εξής κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης της εργασίας, στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Καταρχήν, δίνονται μερικά γενικά χαρακτηριστικά που αφορούν το κλίμα, τη γεωμορφολογία και την ανάπτυξη της περιοχής. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι κύριοι υδατικοί πόροι του διαμερίσματος, επιφανειακοί και υπόγειοι, ενώ δίνονται και δεδομένα προσφοράς νερού από κάθε πόρο. Ακολουθούν οι διάφορες χρήσεις του νερού, με κυρίαρχη με μεγάλη διαφορά την άρδευση, και συνεπώς, τα δεδομένα της ζήτησης του νερού. Προκύπτει ότι το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας είναι το πλέον ελλειμματικό, σε απόλυτα μεγέθη, του ελληνικού χώρου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται περιγραφή του φαινομένου της ξηρασίας. Πρώτα επισημαίνεται η πολυπλοκότητα του φαινομένου και οι τεράστιες καταστροφές που έχει προκαλέσει παγκοσμίως. Στη συνέχεια, δίνεται ο ορισμός της, οι τύποι της, τα χαρακτηριστικά της, τα αίτια και οι επιπτώσεις της. Ακολουθεί το σημαντικό κομμάτι της διαχείρισης της ξηρασίας. Παρουσιάζονται οι κύριες μεθοδολογίες, μερικά μέτρα αντιμετώπισης της ξηρασίας και το απαραίτητο θεσμικό πλαίσιο για την υλοποίηση σχεδίων διαχείρισης. Φυσικά, γίνεται αναφορά στη μέχρι τώρα αναποτελεσματικότητα στο συγκεκριμένο τομέα. Τέλος, δίνονται στοιχεία για την ξηρασία στην Ευρώπη και στην Ελλάδα.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι δείκτες ξηρασίας. Αρχικά δίνεται ο ορισμός των δεικτών. Στη συνέχεια, εξηγείται η αναγκαιότητα της χρήσης τους για την ανάλυση του πολύπλοκου φαινομένου της ξηρασίας. Ακολουθούν τα βασικά χαρακτηριστικά τους και οι ιδιότητες που τους χαρακτηρίζουν «καλούς δείκτες». Κατόπιν, γίνεται αναφορά στους κυριότερους δείκτες ξηρασίας και σε μερικά βασικά χαρακτηριστικά τους, και τονίζεται ο βασικός τους ρόλος στη διαχείριση της ξηρασίας ως εργαλεία καταγραφής και πρόβλεψης του

φαινομένου, ενώ επισημαίνονται ορισμένες κοινές τους αδυναμίες. Τέλος, αναλύεται εκτενώς ο δείκτης SPI.

Το τέταρτο κεφάλαιο στην ανάλυση της ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας με τη χρήση του δείκτη SPI. Περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε με εκτενή περιγραφή του τρόπου υπολογισμού του SPI. Επιπλέον παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης, με συγκεκριμένες αναφορές στη σύγκριση των δεικτών SPI-1month και SPI-12months, στην ανάλυση της συχνότητας εμφάνισης των επεισοδίων ξηρασίας, στη χωροχρονική εξέλιξη και διάρκεια αυτής

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συμπεράσματα σχετικά με την ξηρασία στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας και την συμπεριφορά και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα του δείκτη SPI.

DROUGHT ASSESSMENT AND FORECASTING USING INDICES IN THESSALY RIVER BASIN DISTRICT

ABSTRACT

In this thesis, the drought phenomenon is analysed using the drought index called Standardized Precipitation Index - SPI for the region of Thessaly. The main objects are the reconnaissance of episodes of meteorological and hydrological drought and the identification of their main features in the period 1980-2008. Thessaly was selected to be studied due to the significant problem of the region relating with water resources management. The SPI index was used for the drought analysis because it is widely accepted and probably, it is the most reliable index among many other indices that are used globally. SPI was computed for two time scales (1-month and 12-months) in order to assess drought by the meteorological and the hydrological point of view.

More specifically, thesis is organised in the following chapters:

In the first chapter, there is information about the study area, the river basin district of Thessaly. Firstly, some main characteristics are indicated, concerning the climate, the geomorphology and the development of the region. Afterwards, the basic water resources are presented, surface and underground, and their main elements, too. In addition, the main water uses are pointed (irrigation is the dominant use by far) and consequently, the water demand is noted. It is concluded that Thessaly has the biggest deficit, in total numbers, of the river basin districts of Greece.

In the second chapter, there is a description of the drought phenomenon. At first, it is underlined its complexity and the enormous disasters that it has caused. Next, the definition, types, features, causes and consequences of drought are mentioned. The important issue of drought management follows. Main methodologies, several mitigation measures and the necessary institutional frame for drought management plans are presented. Naturally, there is a reference about the present ineffectiveness in this field. Finally, some elements are given about drought in Europe and Greece.

In the third chapter, there is a presentation of drought indices. Firstly, their definition is given. Next, there is an explanation about the necessity of their use for the analysis of the complex phenomenon of drought. Afterwards, their basic features and the qualities of a “good” index are described. Besides, there is a reference on main drought indices, their characteristics and it is indicated their fundamental role in drought management as monitoring and forecasting tools. Some common weaknesses of drought indices are referred, too. Finally, the Standardized Precipitation Index - SPI – is analysed extensively.

In the fourth chapter, there is the drought analysis in the river basin district of Thessaly using the SPI. The methodology which was followed and the way of the SPI calculation are

described. Furthermore, the analysis results are presented, with specific references on the comparison between the SPI-1month and the SPI-12months, the frequency of drought episodes and the temporal – spatial evolution and the duration of the drought.

Finally, in the fifth chapter, some conclusions about the drought in the river basin district of Thessaly, the behaviour and the advantages/disadvantages of SPI are presented.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας

1.1. Γενικά χαρακτηριστικά

Η Θεσσαλική πεδιάδα αποτελεί την μεγαλύτερη πεδινή έκταση στην Ελλάδα. Κύριες καλλιέργειες είναι το βαμβάκι, ο αραβόσιτος, ο καπνός, τα τεύτλα, τα κηπευτικά, οι δενδροκαλλιέργειες, τα σιτηρά και τα αμπέλια. Το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, που έχει ως μείζονα χρήση την άρδευση, είναι σήμερα το πιο ελλειμματικό διαμέρισμα της ηπειρωτικής χώρας σε νερό. Οι κύριοι υδατικοί πόροι του διαμερίσματος είναι ο ποταμός Πηνειός και οι υπόγειοι υδροφορείς της δυτικής και της ανατολικής Θεσσαλίας. Οι τοπικοί υδατικοί πόροι, επιφανειακοί και υπόγειοι, παρά την ενίσχυσή τους από τις εκροές του ταμιευτήρα Πλαστήρα, δεν επαρκούν για την κάλυψη των απαιτήσεων σε αρδευτικό νερό των υφιστάμενων καλλιεργειών. Η έλλειψη υποδομών σε έργα ταμίευσης, σε συνδυασμό με τον μη ορθολογικό προγραμματισμό των καλλιεργειών, έχει οδηγήσει σε σημαντικό περιορισμό της θερινής ροής των ποταμών και δραματική υποβάθμιση των υδροφορέων, εξαιτίας της εντατικής χρήσης των γεωτρήσεων, τη στιγμή που η χρήση των, κατά κανόνα, χωμάτων καναλιών ως έργων μεταφοράς έχει ως συνέπεια अपαράδεκτα υψηλές απώλειες νερού. Ανεξάρτητα από την πρόοδο των έργων, η αντιμετώπιση των ελλειμμάτων πρέπει να εστιάσει στη διαχείριση της ζήτησης, ιδιαίτερα της αρδευτικής. Ειδικότερα, πρέπει να προωθηθεί η αναδιάρθρωση των υφιστάμενων καλλιεργειών (βαμβάκι, καπνός, σιτάρι, μηδική) που, πέρα από το γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα υδροβόρες, παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα με τη νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική. Συνοψίζοντας δηλαδή, θα λέγαμε πως η πλήρης ανάκαμψη των υδροφορέων προϋποθέτει συνδυασμό κατασκευαστικών (εκτροπή Αχελώου, φράγματα Θεσσαλίας) και μη κατασκευαστικών μέτρων (π.χ. αναδιάρθρωση καλλιεργειών, καλύτερη διαχείριση νερού), καθώς μεμονωμένες και αποσπασματικές δράσεις δεν είναι δυνατό να δώσουν λύση στο πρόβλημα.

Αναπτυξιακή ταυτότητα

Το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας συμπίπτει σχεδόν με την Περιφέρεια Θεσσαλίας, που είναι μια από τις κεντρικές περιοχές της χώρας. Στο διαμέρισμα υπάρχει η μεγαλύτερη πεδινή περιοχή της χώρας, που όμως έχει ανεπαρκείς υδατικούς πόρους. Πέρα από τα δύο μεγάλα αστικά κέντρα της Λάρισας και του Βόλου, που αποτελούν μια σημαντική αγορά μεγάλου πληθυσμού για τα δεδομένα της ελληνικής επαρχίας, σημαντικής εισοδηματικής στάθμης, η Θεσσαλία έχει και μικρότερα δυναμικά αστικά κέντρα (Τρίκαλα, Καρδίτσα, Τύρναβος) και 32 ημιαστικά, άμεσα συνδεδεμένα με τις εξελίξεις στον αγροτικό χώρο. Στο ΕΣΠΑ 2007–2013 περιλαμβάνονται ως πόλος ανάπτυξης οι πόλεις της Λάρισας και του Βόλου, που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους και παρουσιάζουν συμπληρωματικές υποδομές. Ο πόλος αυτός μπορεί να αποτελέσει κεντρικό αναπτυξιακό πόλο της χώρας και να λειτουργήσει εξισορροπητικά ανάμεσα στην Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Λόγω της κεντρικής του θέσης, το

διαμέρισμα συνδέεται άμεσα, εκτός από την κεντρική και τη δυτική Μακεδονία, και με την Ήπειρο, και μέσω αυτών και με τις όμορες βαλκανικές χώρες. Οι συνδέσεις αυτές, με την προβλεπόμενη βελτίωση στην υποδομή των μεταφορών, θα συντελέσουν στη δημιουργία νέων αναπτυξιακών αξόνων της χώρας και θα αυξήσουν την αναπτυξιακή σημασία του διαμερίσματος. Η Θεσσαλία, παρά τις σημαντικές δυνατότητές της, δεν έχει αναπτυχθεί μέχρι σήμερα στο επιθυμητό και εφικτό επίπεδο. Το κατά κεφαλήν ΑΕΠ είναι χαμηλότερο από το μέσο της χώρας και οπωσδήποτε από τα χαμηλότερα της ευρωπαϊκής ένωσης, ενώ οι δείκτες ευημερίας δεν είναι υψηλοί. Ο τουρισμός, με εξαίρεση το Πήλιο και τη λίμνη Πλαστήρα, δεν είναι αναπτυγμένος και η γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή δεν έχει πλήρως προσαρμοστεί στις σύγχρονες δυνατότητες. Η μόνιμα δευτερεύουσα θέση σε σχέση με την πρωτεύουσα προς νότο και τη Θεσσαλονίκη προς βορρά ίσως εξηγεί την υστέρηση αυτή. Οι προοπτικές είναι ευνοϊκές για ανάπτυξη του πρωτογενούς τομέα, αλλά και των υπόλοιπων τομέων, λόγω της ύπαρξης φυσικών πόρων και της προβλεπόμενης αντιμετώπισης σχετικών αναγκών (νερό, βελτίωση της προσβασιμότητας ακτών και ορεινών περιοχών), του διαθέσιμου ανθρώπινου δυναμικού, καθώς και των αστικών εξυπηρετήσεων. Η ύπαρξη πανεπιστημίων και ερευνητικής-τεχνολογικής υποδομής συντελεί στην παραπάνω ευνοϊκά διαμορφούμενη προοπτική.

1.2. Γεωγραφικά και Κλιματικά χαρακτηριστικά

Το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας συμπίπτει σχεδόν με το αντίστοιχο γεωγραφικό διαμέρισμα. Μικρά μόνο τμήματα του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, κυρίως προς τα νότια και νοτιοδυτικά, ανήκουν σε γειτονικά υδατικά διαμερίσματα. Η συνολική έκταση του διαμερίσματος είναι 13 377 km².

Το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας περιλαμβάνει το Νομό Λάρισας, σχεδόν στο σύνολό του, πολύ μεγάλο μέρος των Νομών Μαγνησίας, Τρικάλων και Καρδίτσας, και μικρά τμήματα των Νομών Πιερίας, Γρεβενών και Φθιώτιδας.

Ο πληθυσμός του διαμερίσματος, με βάση τα απογραφικά στοιχεία της ΕΣΥΕ, το 1991 ήταν 730 945 κάτοικοι και το 2001 ήταν 750 445 κάτοικοι, παρουσιάζοντας αύξηση 2.7%. Στον Πίνακα 1.1, εκτός από την έκταση και τον πληθυσμό, παρουσιάζεται το ποσοστό συμμετοχής της έκτασης και του πληθυσμού (1991) κάθε νομού στο διαμέρισμα.

| Νομός | Έκταση τμήματος που ανήκει στο διαμέρισμα (km ²) | Ποσοστό έκτασης νομού που ανήκει στο διαμέρισμα | Πληθυσμός τμήματος που ανήκει στο διαμέρισμα (1991) | Ποσοστό πληθυσμού που ανήκει στο διαμέρισμα (1991) | Πληθυσμός τμήματος που ανήκει στο διαμέρισμα (2001) |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Λάρισα | 5 283 | 98% | 270 612 | 100% | 279 305 |
| Μαγνησίας | 2 242 | 85% | 182 830 | 92% | 190 642 |
| Τρικάλων | 2 667 | 79% | 134 015 | 97% | 133 215 |
| Καρδίτσας | 2 163 | 82% | 118 874 | 94% | 121 380 |
| Πιερίας | 113 | 7% | 4 488 | 4% | 4 934 |
| Γρεβενών | 167 | 7% | 5 091 | 14% | 5 237 |
| Φθιώτιδας | 742 | 17% | 15 035 | 9% | 15 732 |
| Σύνολο | 13 377 | | 730 945 | | 750 445 |

Πίνακας 1.1: Έκταση και πληθυσμός του διαμερίσματος κατά νομό

Πηγή: ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ 2008, ΥΠΕΧΩΔΕ, ΚΥΥ (2008).

Κλίμα

Με βάση το κλίμα, το υδατικό διαμέρισμα διαιρείται σε τρεις περιοχές:

- την ανατολική παράκτια και ορεινή, με μεσογειακό κλίμα·
- την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα·
- τη δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16 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. Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στο διαμέρισμα είναι σχετικά μεγάλο στα δυτικά, στη συνέχεια μειώνεται στο πεδινό τμήμα και αυξάνεται πάλι στο ορεινό ανατολικό τμήμα. 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 (Κουτσογιάννης, 1988). Στο σύνολο του διαμερίσματος, η μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση εκτιμάται σε 678 mm (Κ/Ξ Διαχείρισης Υδάτων Κεντρικής & Δυτικής Ελλάδος, 2005). Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο ως τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί οι Ιούλιος και Αύγουστος. 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 τους μήνες Φεβρουάριο και Ιανουάριο. Στα δυτικά και ορεινά τμήματα του διαμερίσματος, αρχίζουν το Σεπτέμβριο και φτάνουν μέχρι και τις αρχές Ιουλίου. 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. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται από 67% μέχρι 72%. Στο διαμέρισμα εμφανίζεται ξηρή περίοδος 4 ως 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.

1.3. Γεωμορφολογικά-γεωλογικά χαρακτηριστικά

Το διαμέρισμα παρουσιάζει απλή γεωμορφολογική εικόνα, με τα ορεινά τμήματά του περιμετρικά και τα πεδινά στις κεντρικές περιοχές. Υπάρχουν πέντε ορεινοί όγκοι, μεταξύ των οποίων ο Όλυμπος, με υψόμετρο 2 917 m, το μεγαλύτερο στην Ελλάδα. Το πεδινό τμήμα χωρίζεται σε ανατολική και δυτική περιοχή από τα χαμηλά Χαλκηδόνια Όρη. Οι δύο αυτές περιοχές είναι ανεξάρτητες από υδρογεωλογική άποψη. Το μέσο υψόμετρο του διαμερίσματος είναι 285 m. Όσον αφορά το γεωλογικό μέρος, το Θεσσαλικό Πεδίο είναι τεκτονικό βύθισμα που περιβάλλεται από τις οροσειρές Ολύμπου-Καμβουνίων στα βόρεια, Πίνδου στα δυτικά, Όθρυος στα νότια και Πηλίου-Όσσας στα ανατολικά.

1.4. Υδρολογικό ισοζύγιο – Προσφορά νερού

1.4.1 Κύριες υδρολογικές λεκάνες

Η κύρια υδρολογική λεκάνη του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας είναι η λεκάνη του Πηνειού, με έκταση περίπου 9 500 km². Στο υδατικό διαμέρισμα βρίσκεται ακόμη και η κλειστή λεκάνη της Κάρλας, καθώς και άλλα μικρότερα ρέματα. Η έκταση των κυριότερων λεκανών του διαμερίσματος παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.2.

| Λεκάνη | Έκταση (km ²) |
|-----------------------|---------------------------|
| Πηνειού (εκβολές) | 9 500 |
| Κλειστή λεκάνη Κάρλας | 1 050 |
| Υπόλοιπες λεκάνες | 2 827 |
| Σύνολο | 13 377 |

Πίνακας 1.2: Έκταση και πληθυσμός του διαμερίσματος κατά νομό

Πηγές: Μελισσάρης (1990), ΥΠΕΧΩΔΕ (1995)

1.4.2 Κύριες υδρογεωλογικές λεκάνες

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 της ανατολικής Θεσσαλίας. Οι δύο λεκάνες διαχωρίζονται με λοφώδη περιοχή νεογενών αποθέσεων (Ταουσάνη), που θεωρείται ξεχωριστή υδρογεωλογική ενότητα. Στην περίμετρο των δύο τμημάτων της Θεσσαλικής Πεδιάδας αναπτύσσονται κατά τόπους σημαντικές καρστικές υδρογεωλογικές ενότητες που σήμερα αποδίδουν μεγάλες ποσότητες νερού. Οι ενότητες αυτές αναπτύσσονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς των γεωτεκτονικών ζωνών.

1.4.3 Αξιολόγηση ποιοτικής κατάστασης υδάτων

Το μεγαλύτερο τμήμα της Θεσσαλίας καλύπτεται από εντατικές καλλιέργειες που έχουν σαν αποτέλεσμα την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων αζωτούχων λιπασμάτων. Οι έντονες γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες που αναπτύσσονται στην περιοχή, σε συνδυασμό με το φορτίο των αστικών λυμάτων αποτελούν την κύρια πηγή ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Η επιβάρυνση των αποδεκτών από την ελεύθερη κτηνοτροφία και την γεωργία έγκειται κυρίως στην τροφοδότηση των υδάτινων αποδεκτών με φώσφορο και άζωτο από επιφανειακές απορροές.

Τα νερά του Πηνειού είναι από ποιοτική άποψη κατάλληλα για άρδευση, ενώ σε ότι αφορά την ύδρευση, παρότι περιστασιακά έχουν καταγραφεί συγκεντρώσεις, κυρίως νιτρικών, αμμωνίας, ολικού φωσφόρου και βαρέων μετάλλων, πάνω από τις επιτρεπόμενες, το 95% των δειγμάτων κυμαίνεται στα επίπεδα τιμών που καθορίζονται για την κατηγορία A2. Η λίμνη Πλαστήρα φαίνεται ότι έχει νερό κατάλληλο για ύδρευση (μετά από επεξεργασία), άρδευση και διαβίωση ψαριών, ενώ οι συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου κυμαίνονται σε επίπεδα που δεν συνιστούν πρόβλημα ευτροφισμού. Γενικά, οι μικρές συγκεντρώσεις αζωτούχων ενώσεων που παρατηρούνται στο διαμέρισμα, παρά την παρουσία εντατικών καλλιεργειών και πλήθους σημειακών ρυπαντών, αποδίδονται στους μεγάλης δυναμικότητας υδροφορείς και την παρουσία αργιλικών πετρωμάτων στις προσχώσεις, που απορροφούν τμήμα των ρυπαντικών φορτίων. Τέλος, επισημαίνεται ότι στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας υπάρχουν 23 τόποι κοινοτικής σημασίας (SCI) και 6 ζώνες ειδικής προστασίας (SPA), ενώ ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή του Θεσσαλικού πεδίου, η οποία βάσει των διατάξεων της Οδηγίας 91/676/ΕΟΚ περί νιτρορρύπανσης, έχει χαρακτηριστεί ως ευπρόσβλητη.

1.4.4. Περιγραφή του υδατικού συστήματος στη σημερινή κατάσταση

Η σημαντικότερη χρήση νερού στη Θεσσαλία είναι η άρδευση. Από μεγάλα έργα αξιοποίησης των επιφανειακών υδατικών πόρων, μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί οι ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου. Από το φράγμα Πλαστήρα εκτρέπονται τα νερά του Ταυρωπού (παραπόταμου του Αχελώου) από το Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας προς το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, για άρδευση, ύδρευση αλλά και παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Τα έργα Σμοκόβου, που περιλαμβάνουν το φράγμα στον ποταμό Σοφαδίτη (παραπόταμος του Πηνειού) και τη σήραγγα εκτροπής Λεονταρίου, κατασκευάστηκαν με σκοπό την εξασφάλιση νερού για την άρδευση 252 000 στρεμμάτων στους Νομούς Καρδίτσας, Φθιώτιδας και Λάρισας, την ύδρευση οικισμών και την παραγωγή ενέργειας. Επισημαίνεται ότι ένα μέρος των εισροών του ταμιευτήρα Σμοκόβου προέρχεται από τις απορροές του οροπεδίου της Ξυνιάδας, έκτασης 80 km² (η συνολική λεκάνη τροφοδοσίας του ταμιευτήρα έχει έκταση 376.5 km²).

Στα δύο τμήματα της πεδιάδας Θεσσαλίας έχει κατασκευαστεί, για αρδευτικούς σκοπούς, πλήθος υδρογεωτρήσεων, είτε από την τοπική ΥΕΒ, στα πλαίσια του Προγράμματος Ανάπτυξης Υπόγειων Υδάτων Θεσσαλίας (ΠΑΥΥΘ), είτε από ιδιώτες.

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980, ξεκίνησε η κατασκευή μικρής κλίμακας έργων αξιοποίησης των επιφανειακών νερών. Συγκεκριμένα, έχουν κατασκευαστεί 13 πεδινοί ταμιευτήρες σε ακαλλιέργητες εκτάσεις του Δημοσίου, που εξυπηρετούν μέχρι 60 000 στρέμματα, κυρίως στις παρακάρλιες περιοχές του ΤΟΕΒ Πηνειού. Επιπλέον, έχουν κατασκευαστεί 85 μόνιμα και 60 πρόχειρα φράγματα και λιμνοδεξαμενές σε συλλεκτήρες ή ποταμούς. Σημαντικότερα είναι το φράγμα Αγιονερίου στο Ν. Λάρισας, χωρητικότητας 14.0 hm³, και το φράγμα Παναγιώτικο στο Ν. Μαγνησίας, χωρητικότητας 1.63 hm³ (Γκούμας, 2006). Ακόμη, βρίσκεται σε εξέλιξη η κατασκευή των έργων της Κάρλας, καθώς και του ρουφράκτη Γυρτώνης στον Πηνειό.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΥΠΓΕ, από τη λίμνη Πλαστήρα αρδεύονται πάνω από 150 000 στρέμματα, ενώ από ιδιωτικές γεωτρήσεις αρδεύονται 600 000 στρέμματα. Συγκεκριμένα, σήμερα αρδεύονται 18 000 στρέμματα μέσω σωληνωτών αγωγών και άλλα 37 000 στρέμματα από προσωρινά έργα (ρουφράκτες). Τέλος, από τα προσωρινά χωμάτινα φράγματα αρδεύονται, αν και πλημμελώς, σημαντικές εκτάσεις των νομών Καρδίτσας, Τρικάλων και Λάρισας, και συγκεκριμένα πάνω από 500 000 στρέμματα. Σε επίπεδο διαμερίσματος σήμερα αρδεύονται συνολικά, μέσω οργανωμένων δικτύων, 769 500 στρέμματα, ενώ από ιδιωτικά έργα αρδεύονται 1 124 500 στρέμματα. Έτσι, η συνολική αρδευόμενη έκταση φθάνει τα 1 894 000 στρέμματα.

| Νομός | Συνολική αρδευόμενη έκταση στο νομό (στρέμ.) | Συμμετοχή νομού | Αρδευόμενη έκταση στο διαμέρισμα (στρέμ.) | Συνολική αρδευτική ζήτηση νομού (hm ³ /έτος) | Αρδευτική ζήτηση στο διαμέρισμα (hm ³ /έτος) |
|---------------|----------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Λάρισας | 972 852 | 100% | 972 852 | 632.7 | 632.7 |
| Μαγνησίας | 184 585 | 95% | 175 356 | 111.4 | 105.8 |
| Τρικάλων | 410 456 | 100% | 410 456 | 289.7 | 289.7 |
| Καρδίτσας | 756 939 | 100% | 756 939 | 510.1 | 510.1 |
| Πιερίας | 233 488 | 1% | 2 334 | 144.5 | 1.4 |
| Γρεβενών | 22 735 | 5% | 1 137 | 14.6 | 0.7 |
| Φθιώτιδας | 523 042 | 8% | 41 843 | 353.3 | 28.3 |
| Σύνολο | | | 2 360 917 | | 1 568.7 |

Πίνακας 1.3: Εκτίμηση ζήτησης για άρδευση με βάση το σύνολο των δυνάμενων να αρδευτούν εκτάσεων.

Πηγή: ΕΣΥΕ (1995)

1.4.5. Υδρολογικό ισοζύγιο διαμερίσματος

Το υδατικό δυναμικό του διαμερίσματος στις σημερινές συνθήκες θεωρήθηκε ότι περιλαμβάνει προσεγγιστικά τα ακόλουθα αθροιστικά μεγέθη:

- την απορροή του Πηνειού στην έξοδο της λεκάνης του
- την ποσότητα που λαμβάνεται από τη λίμνη Πλαστήρα
- το υδατικό δυναμικό της υδρογεωλογικής λεκάνης της δυτικής Θεσσαλίας
- το υδατικό δυναμικό της υδρογεωλογικής λεκάνης της ανατολικής Θεσσαλίας

Μεσοπρόθεσμα θεωρείται ότι στο δυναμικό του υδατικού διαμερίσματος θα προστεθούν:

- τα νερά της εκτροπής του Αχελώου·
- οι απολήψεις από τον ταμιευτήρα Κάρλας (τα κύρια έργα διαμόρφωσης του ταμιευτήρα έχουν ολοκληρωθεί και τα συμπληρωματικά έργα βρίσκονται στη φάση δημοπράτησης).

Ο Πίνακας 1.4 αναφέρεται στο υδατικό δυναμικό σε τμήμα του διαμερίσματος, αφαιρώντας τις περιοχές που οι υδατικοί πόροι τους δεν είναι εκμεταλλεύσιμοι πρακτικώς. Το δυναμικό αυτό (3 208 hm³ στη σημερινή κατάσταση) είναι τμήμα μόνο (75%) του θεωρητικού υδατικού δυναμικού.

| Σενάριο | Έκταση λεκάνης (km ²) | Ετήσια απορροή (hm ³) | Απορροή Ιουλίου (hm ³) |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| Σημερινή κατάσταση | | | |
| Λεκάνη Πηνειού (συνολική) | 9 500 | 2 558 | 54 |
| Απόληψη από φράγμα Πλαστήρα* | 161 | 144 | 43 |
| Υπόγεια νερά δυτικής Θεσσαλίας | | 385 | 96 |
| Υπόγεια νερά ανατολικής Θεσσαλίας | | 121 | 30 |
| Σύνολο | 9 661 | 3 208 | 223 |
| Μεσοπρόθεσμο σενάριο*** | | | |
| Λεκάνη Πηνειού (μερική) | 8 073 | 2 384 | 52 |
| Απόληψη από φράγμα Πλαστήρα* | 161 | 144 | 43 |
| Υπόγεια νερά δυτικής Θεσσαλίας | | 256 | 64 |
| Υπόγεια νερά ανατολικής Θεσσαλίας | | 81 | 20 |
| Πρόσθετη εισροή από εκτροπή Αχελώου | | 600 | 125 |
| Απόληψη από φράγμα Σμιοκόβου* | 377 | 157 | 47 |
| Απολήψιμο απόθεμα ταμιευτήρα Κάρλας** | 1 050 | 68 | 20 |
| Σύνολο | 9 661 | 3 690 | 372 |
| Μακροπρόθεσμο σενάριο**** | | | |
| Λεκάνη Πηνειού (μερική) | 5 718 | 1 718 | 38 |
| Απόληψη από φράγμα Πλαστήρα* | 161 | 144 | 43 |
| Υπόγεια νερά δυτικής Θεσσαλίας | | 128 | 32 |
| Υπόγεια νερά ανατολικής Θεσσαλίας | | 40 | 10 |
| Πρόσθετη εισροή από εκτροπή Αχελώου | | 600 | 125 |
| Απόληψη από φράγμα Σμιοκόβου* | 376 | 157 | 47 |
| Απολήψιμο απόθεμα ταμιευτήρα Κάρλας** | 1 050 | 68 | 20 |
| Απόληψη από φράγμα Παλιοδερλί* | 428 | 52 | 16 |
| Απόληψη από φράγμα Κρύας Βρύσης* | 953 | 190 | 57 |
| Απόληψη από φράγμα Θεόπετρας* | 128 | 15 | 5 |
| Απόληψη από φράγμα Νεοχωρίου* | 171 | 23 | 7 |
| Απόληψη από φράγμα Καλούδας* | 467 | 57 | 17 |
| Απόληψη από φράγμα Παλαιομονάστηρου* | 210 | 27 | 8 |
| Σύνολο | 9 661 | 3 219 | 425 |

Πίνακας 1.4: Συνολικό (επιφανειακό και υπόγειο) υδατικό δυναμικό.

Πηγές: ΥΠΕΧΩΔΕ (1995), Κουτσογιάννης κ.ά. (2001)

* Ονομαστική ετήσια απόληψη, με επίπεδο αξιοπιστίας 90% και με βάση το κανονικό σενάριο εισροών (Κουτσογιάννης κ.ά., 2001).

** Η εκτίμηση βασίστηκε στη μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ (1999).

*** Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι θεωρήθηκαν μειωμένοι στα 2/3.

**** Οι υπόγειοι υδατικοί πόροι θεωρήθηκαν μειωμένοι στο 1/3.

1.5. Χρήσεις νερού – Ζήτηση

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1.3, οι ανάγκες σε αρδευτικό νερό είναι, για το σύνολο του διαμερίσματος, 1 569 hm³ το χρόνο. Ακολουθούν οι Πίνακες 1.5 και 1.6, όπου φαίνονται οι ανάγκες σε νερό για κτηνοτροφία και ύδρευση, αντίστοιχα. Για το σύνολο του διαμερίσματος και σύμφωνα με τα δεδομένα του έτους 1995, χρειάζονται 11.8 hm³ το χρόνο, για κτηνοτροφία, ενώ οι υδρευτικές ανάγκες υπολογίστηκαν σε 68.5 hm³ το χρόνο και 28.8 hm³ το πεντάμηνο Μαΐου-Σεπτεμβρίου. Η αντίστοιχη εκτίμηση της ΜΠΕ του Αχελώου ανεβάζει την υδρευτική ζήτηση στα 80 hm³, ενώ η Κ/Ξ Διαχείρισης Υδάτων Κεντρικής & Δυτικής Ελλάδος (2005), με βάση τα πληθυσμιακά δεδομένα της απογραφής 2001, εκτιμά τη ζήτηση στα 64.3 hm³. Τέλος, η συνολική κατανάλωση για βιομηχανική χρήση προκύπτει πολύ μικρή σε σχέση με τα μεγέθη των άλλων χρήσεων και για αυτό δεν συνυπολογίζεται.

| Νομός | Συμμετοχή στη σταβλι-σμένη κτηνοτροφία | Συμμετοχή στην ελεύθερη κτηνοτροφία | Ζήτηση για σταβλισμένη κτηνοτροφία (hm ³ /έτος) | Ζήτηση για ελεύθερη κτηνοτροφία (hm ³ /έτος) | Ζήτηση στο διαμέρισμα (hm ³ /έτος) |
|---------------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Λάρισα | 100% | 99% | 1.1 | 4.4 | 5.5 |
| Μαγνησίας | 95% | 95% | 0.6 | 1.2 | 1.7 |
| Τρικάλων | 100% | 60% | 1.1 | 2.2 | 2.4 |
| Καρδίτσας | 100% | 65% | 0.7 | 1.6 | 1.7 |
| Πιερίας | 1% | 3% | 0.4 | 0.7 | 0.1 |
| Γρεβενών | 5% | 15% | 0.2 | 0.7 | 0.1 |
| Φθιώτιδας | 8% | 15% | 0.4 | 1.9 | 0.3 |
| Σύνολο | | | | | 11.8 |

Πίνακας 1.5: Εκτίμηση ζήτησης για κτηνοτροφία

Πηγή: ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ 2008, ΥΠΕΧΩΔΕ, ΚΥΥ (2008).

| Νομός | Ετήσιες ανάγκες | Ανάγκες Μαΐου-Σεπτεμβρίου |
|---------------|-----------------|---------------------------|
| Λάρισα | 25.49 | 10.70 |
| Μαγνησίας | 17.40 | 7.31 |
| Τρικάλων | 12.16 | 5.11 |
| Καρδίτσας | 11.08 | 4.65 |
| Πιερίας | 0.45 | 0.19 |
| Γρεβενών | 0.48 | 0.20 |
| Φθιώτιδας | 1.44 | 0.60 |
| Σύνολο | 68.48 | 28.76 |

Πίνακας 1.6: Εκτίμηση ζήτησης για ύδρευση (hm³)

Πηγή: ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ 2008, ΥΠΕΧΩΔΕ, ΚΥΥ (2008).

Η συνολική (για όλες τις χρήσεις) μελλοντική ζήτηση νερού στο διαμέρισμα διαμορφώνεται στα επίπεδα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.7. Καταρτίστηκαν δύο σενάρια: (α) το μεσοπρόθεσμο σενάριο, με την παραδοχή ότι στις εκτάσεις που αρδεύονται με συλλογικά δίκτυα θα προστεθούν και οι εκτάσεις των έργων των οποίων η κατασκευή έχει ήδη προγραμματιστεί, ενώ παράλληλα οι εκτάσεις που αρδεύονται από μη συλλογικά έργα θα μειωθούν στο μισό εκείνων της υφιστάμενης κατάστασης· και (β) το μακροπρόθεσμο σενάριο,

με την παραδοχή ότι στις εκτάσεις που αρδεύονται με συλλογικά δίκτυα προστίθενται και οι εκτάσεις των έργων που έχουν μελετηθεί πέραν όλων των παραπάνω, ενώ παράλληλα οι εκτάσεις που αρδεύονται από μη συλλογικά έργα θα μειωθούν στο ¼ εκείνων της υφιστάμενης κατάστασης. Εφόσον οι παραδοχές της εξέλιξης των εκτάσεων που αρδεύονται από μη συλλογικά δίκτυα δίνουν, τελικά, μείωση της συνολικής έκτασης σε σχέση με τη σημερινή κατάσταση, τότε στο σενάριο λαμβάνεται η σημερινή έκταση.

| | Έτος | Ιούλιος |
|------------------------------|--------------|------------|
| Μεσοπρόθεσμο σενάριο | | |
| Αρδευση | 1 550* | 329 |
| Υδροευση | 69 | 7 |
| Κτηνοτροφία | 13 | 1 |
| Σύνολο | 1 632 | 337 |
| Μακροπρόθεσμο σενάριο | | |
| Αρδευση | 1 693 | 359 |
| Υδροευση | 69 | 7 |
| Κτηνοτροφία | 13 | 1 |
| Σύνολο | 1 775 | 367 |

*Ίσες με τις εκτιμήσεις μέσω αρδευόμενων εκτάσεων, λόγω του ότι η έκταση των ποτιστικών καλλιεργειών δίνεται από την ΕΣΥΕ μικρότερη της συνολικής αρδευόμενης.

Πίνακας 1.7: Συνολική μελλοντική ζήτηση νερού για καταναλωτικές χρήσεις (hm³).

Πηγή: ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ 2008, ΥΠΕΧΩΔΕ, ΚΥΥ (2008).

1.6. Συμπεράσματα

Ο Πίνακας 1.8 περιλαμβάνει την προσφορά και τη συνολική ζήτηση νερού για κάθε σενάριο. Η σύγκριση κατά το μήνα Ιούλιο δείχνει τα ακόλουθα:

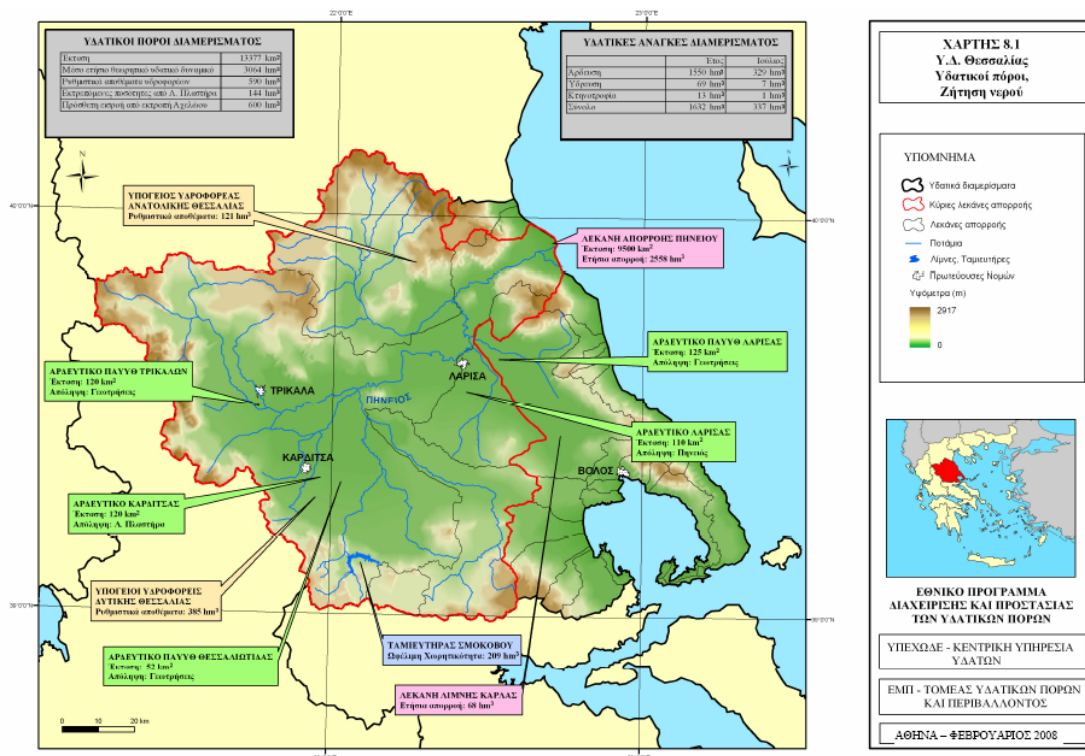
- Η ζήτηση νερού δεν καλύπτεται στις σημερινές συνθήκες και το έλλειμμα νερού είναι μεγάλο.
- Με την εισροή 600 hm³/έτος από τον Αχελώο, σε συνδυασμό με τα έργα Σμοκόβου, και, μακροπρόθεσμα, με την κατασκευή όλων των μελετημένων φραγμάτων στους παραπόταμους του Πηνειού, η ζήτηση νερού καλύπτεται πλήρως, και υπάρχει μικρό πλεόνασμα νερού (της τάξεως των 50 hm³) για περαιτέρω αξιοποίηση.

| | Προσφορά | Ζήτηση |
|-----------------------|----------|------------|
| Σημερινές συνθήκες | 223 | 337 (278)* |
| Μεσοπρόθεσμο σενάριο | 372 | 337 |
| Μακροπρόθεσμο σενάριο | 425 | 367 |

*Με βάση τις αρδευθείσες εκτάσεις το 1991

Πίνακας 1.8: Σύγκριση προσφοράς και συνολικής ζήτησης νερού για καταναλωτικές χρήσεις το μήνα Ιούλιο (hm³).

Πηγή: ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ 2008, ΥΠΕΧΩΔΕ, ΚΥΥ (2008).



Σχήμα 1.1: Οι υδατικοί πόροι και ανάγκες του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας

Πηγή: ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ 2008, ΥΠΕΧΩΔΕ, ΚΥΥ (2008).

Οι υδατικοί πόροι και ανάγκες του διαμερίσματος φαίνονται περιληπτικά στο Σχήμα 1.1. Συνοψίζοντας, είναι σημαντικό να παρατηρηθεί πως το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας προκύπτει να είναι το πλέον ελλειμματικό, σε απόλυτα μεγέθη, του ελληνικού χώρου, καθώς εμφανίζει τη μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ ζήτησης και προσφοράς νερού το μήνα αιχμής (Ιούλιος). Συγκεκριμένα, προκύπτει ότι στις σημερινές συνθήκες το έλλειμμα για το μήνα Ιούλιο εκτιμάται σε $337 - 223 = 114 \text{ hm}^3$ ή ποσοστό 34% επί της ζήτησης. Η ενίσχυση του υδατικού δυναμικού της Θεσσαλίας από τα νερά του Αχελώου αναμένεται να καλύψει μεγάλο ποσοστό των ελλειμμάτων και με μικρό, αναλογικά, κόστος, δεδομένου ότι σημαντικό μέρος των απαιτούμενων έργων έχει ήδη ολοκληρωθεί. Ωστόσο, βασικής σημασίας ζήτημα είναι η ενδεχόμενη εμφάνιση εντονότερων επεισοδίων ξηρασίας. Κάτι τέτοιο θα επιβάρυνε ακόμη περισσότερο την υπάρχουσα κατάσταση. Για αυτό το λόγο, το φαινόμενο της ξηρασίας, το οποίο αναγνωρίζεται παγκοσμίως ως φυσική καταστροφή με ανυπολόγιστες και πολύπλευρες συνέπειες, θα πρέπει να αναλυθεί διεξοδικά στις μελέτες που αφορούν τη διαχείριση των υδατινών πόρων της Θεσσαλίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Το φαινόμενο της Ξηρασίας

2.1. Εισαγωγή

Η ξηρασία είναι ένα ακραίο μετεωρολογικό-κλιματικό φαινόμενο, που μπορεί να εμφανιστεί σε ανύποπτο χρόνο, σε οποιαδήποτε περιοχή και με απροσδιόριστη διάρκεια, ενώ είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης πολλών παραμέτρων. Η ξηρασία δεν περιορίζεται σε συγκεκριμένες περιοχές. Μάλιστα, είναι λάθος να θεωρείται ότι είναι πρόβλημα κυρίως των ξηρών και ερημικών περιοχών. Αντιθέτως, η εμφάνιση ξηρασίας σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από σημαντικά ποσά βροχόπτωσης, προκαλεί πολύ περισσότερα προβλήματα σε σχέση με αυτά που εμφανίζονται στις ξηρές περιοχές. Αυτό συμβαίνει επειδή τα οικοσυστήματα των περιοχών με ξηρό κλίμα έχουν συνηθίσει να επιβιώνουν με περιορισμένη υγρασία, ενώ αντίθετα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, τα οικοσυστήματα είναι δυνατόν ακόμα και να καταστραφούν αν το ποσό της βροχόπτωσης περιοριστεί σε σημαντικό βαθμό.

Από τη μέχρι σήμερα μετεωρολογική έρευνα, φαίνεται ότι είναι ένα φαινόμενο, που τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει σημαντική αύξηση στη συχνότητα εμφάνισής του, σε πολλές χώρες του κόσμου, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ο αριθμός των φυσικών καταστροφών που έχουν αναφερθεί έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες παγκοσμίως. Για παράδειγμα, ο αριθμός των πλημμυρών αυξήθηκε από 142 τη δεκαετία του 1960 σε 603 τη δεκαετία του 1980 και αντίστοιχα για τις ξηρασίες, από 62 σε 237 (Centre for Research in the Epidemiology of Disasters, 1991, Blaikie et al., 1994). Η ξηρασία είναι από τις φυσικές καταστροφές που αρκετές φορές δεν καταγράφονται διότι τα στατιστικά τους στοιχεία συλλέγονται συνήθως από διεθνείς φιλανθρωπικούς οργανισμούς. Για να γίνει καταγραφή της ξηρασίας, θα πρέπει η χώρα που προσβάλλεται να ζητήσει βοήθεια από τη διεθνή κοινότητα. Έτσι, σοβαρές ξηρασίες που συνέβησαν σε Αυστραλία, Ουρουγουάη, Βραζιλία, Καναδά, Ισπανία, Ιταλία και ΗΠΑ δε συμπεριλαμβάνονται στα παραπάνω στατιστικά στοιχεία (Wilhite, 1996). Μάλιστα, είναι η ακριβότερη φυσική καταστροφή στον κόσμο (Wilhite, 2000) και μπορεί να θεωρηθεί ως ο πιο σοβαρός κλιματικός κίνδυνος του 20^{ου} αιώνα (Obasi 1994) έχοντας προκαλέσει απώλειες δισεκατομμυρίων δολαρίων (Bruce, 1994). Ενδεικτικά, η ξηρασία του 1988 στις ΗΠΑ προκάλεσε ζημιές της τάξης των 40 δισεκατομμυρίων δολαρίων (Riebsame et al., 1990), αποτελώντας έτσι την ακριβότερη καταστροφή της Αμερικανικής ιστορίας. Τέλος, η ξηρασία θεωρείται από πολλούς η πιο περίπλοκη και λιγότερο κατανοητή φυσική καταστροφή, επηρεάζοντας περισσότερους ανθρώπους από ότι οποιαδήποτε άλλη (Hagman, 1984). Για παράδειγμα, οι ξηρασίες της δεκαετίας του 1980 στην υποσαχάρια Αφρική υπολογίζεται ότι έβλαψαν περισσότερους από 40 εκατομμύρια ανθρώπους (Office of Foreign Disaster Assistance, 1990).

Η ξηρασία είναι μία σχετική κατάσταση, εφόσον η εμφάνισή της είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων και διαφέρει από τις άλλες ακραίες μετεωρολογικές καταστάσεις σε πολλά

σημεία. Πρώτον, είναι δύσκολο να οριστεί η έναρξη και η λήξη ενός επεισοδίου ξηρασίας, και αυτό γιατί παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνιση από τη στιγμή που θα παρατηρηθεί απουσία βροχοπτώσεων, ενώ τα καταστροφικά της αποτελέσματα μπορούν να συνεχιστούν και μετά την εμφάνιση κάποιων βροχοπτώσεων - για το λόγο αυτό θεωρείται ως «έρπον φαινόμενο» (Tannehill, 1947). Δεύτερον, δεν μπορεί να υπάρξει ένας κοινός παγκόσμιος επιστημονικός ορισμός για την ξηρασία - κάθε περιοχή πρέπει να έχει το δικό της ορισμό ανάλογα με την κλιματολογία και την τοπογραφία που τη χαρακτηρίζει. Αυτό εξηγεί και το πλήθος των ορισμών που έχουν καταγραφεί στη διάρκεια των τελευταίων χρόνων (World Meteorological Organization (WMO), 1975; Meteorological Office, 1991; Wilhite and Glantz, 1985). Επιπρόσθετα, ο ορισμός της ξηρασίας αλλάζει ανάλογα με το αντικείμενο της κάθε επιστήμης. Για την Μετεωρολογία, ξηρασία είναι η ελάττωση της βροχόπτωσης σε σχέση με την «κανονική» τιμή της για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για την γεωργία σημαίνει μη παραγωγική σοδειά, που είναι αποτέλεσμα της έλλειψης του νερού στα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Για την υδρολογία και την υδρογεωλογία σημαίνει πτώση της στάθμης των λιμνών, ποταμών και του υδροφόρου ορίζοντα κάτω από κάποιο όριο για μία ορισμένη χρονική περίοδο, ενώ για την οικονομία ή την πολιτική, η ξηρασία εμφανίζεται μόνο όταν υπάρχουν οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις (Αναγνωστοπούλου, 2003).

Με βάση τα παραπάνω είναι επιτακτική η αναγκαιότητα ολοκληρωμένης μελέτης πάνω στο φαινόμενο της ξηρασίας. Λέγοντας ολοκληρωμένη, εννοείται πως η μελέτη ενός τέτοιου φαινομένου δεν είναι δυνατόν να βασιστεί μόνο σε ένα αντικείμενο έρευνας (π.χ. μετεωρολογία), αλλά απαιτείται η συνεργασία πολλών διαφορετικών τομέων (όπως είναι υδρολογία, γεωργία, οικονομία) έτσι ώστε να επιτευχθεί διερεύνηση σε βάθος του φαινομένου με σκοπό την κατανόηση, αξιολόγηση και ερμηνεία των αιτιών δημιουργίας του, καθώς και των επιπτώσεών του.

2.2. Ορισμός της Ξηρασίας

Είναι γεγονός ότι μέχρι στιγμής δεν έχει δοθεί ένας περιεκτικός και ευρέως αποδεκτός ορισμός της ξηρασίας. Η ξηρασία ορίζεται διαφορετικά από περιοχή σε περιοχή ή ακόμη, ανάλογα με το στόχο του κάθε ερευνητή. Ίσως ο πιο γενικός από τους προτεινόμενους ορισμούς είναι αυτός των Berman and Rodier (1985): «ξηρασία είναι η μείωση της διαθεσιμότητας του νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή και για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα». Τα χαρακτηριστικά της εξαρτώνται και από άλλους παράγοντες, όπως είναι οι υψηλές θερμοκρασίες, οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή σχετική υγρασία (Oladipo, 1985). Επίσης, η ξηρασία εξαρτάται από το χρόνο εμφάνισής της (π.χ. αν η απουσία βροχόπτωσης συμβαίνει κατά τα στάδια ανάπτυξης των φυτών) αλλά και από την αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων (π.χ. ένταση βροχόπτωσης, αριθμός επεισοδίων βροχής). Έτσι, κάθε επεισόδιο ξηρασίας μπορεί να θεωρηθεί μοναδικό, με τα δικά του χαρακτηριστικά.

Τέλος, είναι σημαντικό να τονιστεί η διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στην ανυδρία (aridity) και την ξηρασία (drought). Η πρώτη περίπτωση, η οποία συναντάται στη βιβλιογραφία και ως ξηρότητα, αναφέρεται σε ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του κλίματος, μία μόνιμη κατάσταση, να παρουσιάζει μειωμένη βροχόπτωση, η οποία δεν φτάνει για τη διατήρηση της βλάστησης (Wallen, 1967; Ελληνική Μετεωρολογική Εταιρία, 1998). Αντίθετα, η ξηρασία (drought) αναφέρεται σε μία παροδική κατάσταση του κλίματος που χαρακτηρίζεται από σημαντική ελάττωση του υετού σε μία περιοχή (Αναγνωστοπούλου, 2003). Επισημαίνεται ότι και τα 2 φαινόμενα προκαλούνται από φυσικά αίτια, σε αντίθεση με τη λειψυδρία ή την ερημοποίηση, όπου ανθρωπογενείς παράγοντες συμβάλλουν αποφασιστικά στη δημιουργία τους (Ε.Ε., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006).

2.3. Τύποι Ξηρασίας

Η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη κατηγοριοποίηση της ξηρασίας αρχικά προτάθηκε από τους Dracup et al. (1980) και ολοκληρώθηκε αργότερα από τους Wilhite and Glantz (1985). Η κατηγοριοποίηση αυτή, η οποία έχει υιοθετηθεί και από την Αμερικάνικη Μετεωρολογική Ένωση (American Meteorological Society, 2004), είναι η εξής: η μετεωρολογική, η υδρολογική, η γεωργική και η κοινωνικοοικονομική ξηρασία. Οι τρεις πρώτες κατηγορίες αναφέρονται ως περιβαλλοντικές ξηρασίες, ενώ η κοινωνικοοικονομική ξηρασία θεωρείται επιχειρησιακή (water resources systems) ξηρασία (Wilhite, 2000). Στο Σχήμα 2.1 φαίνεται η σχέση των διαφορετικών κατηγοριών ξηρασίας με την εξέλιξη του φαινομένου. Ωστόσο, η ξηρασία είναι ένα μοναδικό φυσικό φαινόμενο, του οποίου η επίδραση αντικατοπτρίζεται σε διάφορους τομείς. Για αυτό, η διαφοροποίηση απορρέει από τους προσβαλλόμενους τομείς και όχι από το ίδιο το φαινόμενο (Tsakiris and Pangalou, 2009). Μάλιστα, οι διάφορες μορφές ξηρασίας δεν παρουσιάζονται πάντα ξεχωριστά, αλλά συχνά συνδυάζονται ή διαδέχονται η μία την άλλη. Ειδικότερα:

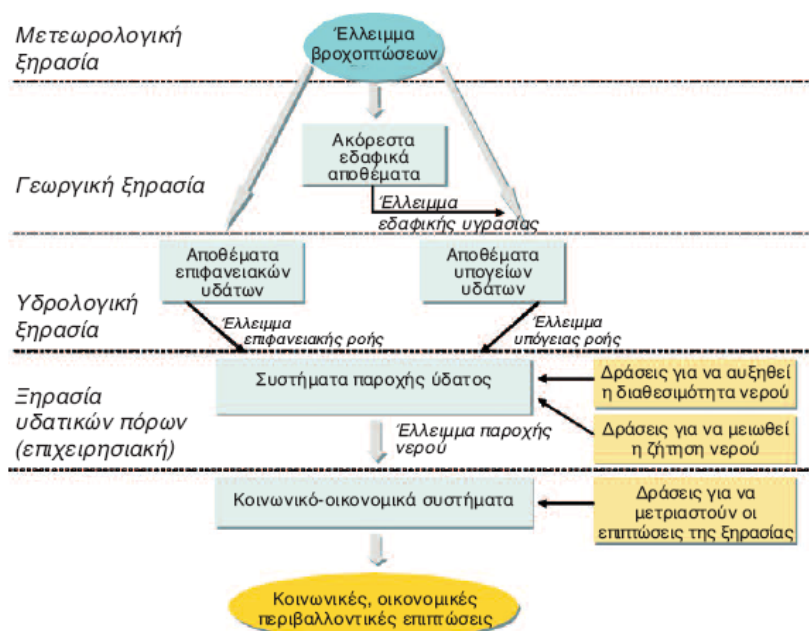
Η μετεωρολογική ξηρασία (meteorological drought) Η μετεωρολογική ξηρασία προσδιορίζει το βαθμό έλλειψης βροχοπτώσεων από το όριο που δείχνει τις κανονικές συνθήκες (π.χ. το μέσο) σε μια χρονική περίοδο, και τη διάρκεια της περιόδου με μειωμένες βροχοπτώσεις. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO, 1986), σε κάθε περιοχή, η ξηρασία καθορίζεται ως το 60% ή λιγότερο του κανονικού ετήσιου υετού για περισσότερο από δύο συνεχόμενα έτη σε έκταση μεγαλύτερη του 50% της περιοχής. Άλλοι ορισμοί της μετεωρολογικής ξηρασίας βασίζονται στον αριθμό ημερών βροχόπτωσης κάτω από κάποιο συγκεκριμένο όριο. Τέτοιοι ορισμοί δεν είναι εφικτοί σε περιοχές, όπου η κατανομή της βροχόπτωσης παρουσιάζει έντονη εποχιακή διακύμανση, ενώ η εμφάνιση ξηρασίας είναι συχνό φαινόμενο. Συνεπώς, η μετεωρολογική ξηρασία εξαρτάται από την περιοχή. Μάλιστα, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, που έχουν ως αποτέλεσμα την έλλειψη βροχόπτωσης, είναι αρκετά μεταβλητές από περιοχή σε περιοχή. Επίσης, η μετεωρολογική ξηρασία, εκτός από

βροχοπτώσεις λιγότερες από τις κανονικές, μπορεί επίσης να υποδηλώνει υψηλότερες θερμοκρασίες, ταχείς ανέμους, χαμηλή σχετική υγρασία, αυξημένη εξατμισοδιαπνοή, λιγότερες νεφώσεις και περισσότερη ακτινοβολία με αποτέλεσμα μειωμένη κατακράτηση ακτινοβολίας, μικρότερη απορροή, μειωμένη διήθηση και λιγότερη αναπλήρωση των υπογείων υδάτων.

Η **γεωργική ξηρασία** (agricultural drought) συνδέει τη μετεωρολογική ξηρασία με τις επιπτώσεις στη γεωργία, εστιάζοντας κυρίως στην έλλειψη βροχόπτωσης, στη διαφορά μεταξύ πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, στο εδαφικό νερό, κ.α. Η ανάγκη ενός φυτού σε νερό εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του είδους του, το στάδιο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκεται, καθώς επίσης και από τις φυσικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, η γεωργική ξηρασία για την περίπτωση της ξηρικής γεωργίας ορίζεται ως έλλειψη της εδαφικής υγρασίας, μετά από μια μετεωρολογική ξηρασία, η οποία έχει αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή και στην ανάπτυξη της βλάστησης. Ενώ για την περίπτωση της αρδευόμενης γεωργίας, η γεωργική ξηρασία ορίζεται ως έλλειψη ύδατος στις περιφέρειες άρδευσης λόγω ξηρασίας στους επιφανειακούς ή υπόγειους υδατικούς πόρους που χρησιμοποιούνται για γεωργικές χρήσεις. Για παράδειγμα, μία σημαντική ξηρή περίοδος κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου μπορεί να έχει μικρές ή και ανύπαρκτες επιπτώσεις σε κάποιες αγροτικές περιοχές. Αν όμως αυτή η κατάσταση συνεχιστεί και κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, τότε οι επιπτώσεις είναι σημαντικές γιατί τα χαμηλά ποσά βροχόπτωσης σε συνδυασμό με την χαμηλή υγρασία του εδάφους, που είναι αποτέλεσμα της ξηρασίας κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, έχουν ως συνέπεια την έλλειψη υγρασίας στο έδαφος κατά την εαρινή περίοδο και τις αρνητικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών.

Η **υδρολογική ξηρασία** (hydrological drought) αφορά στις επιπτώσεις της έλλειψης βροχόπτωσης σε ένα υδρολογικό σύστημα. Αναφέρεται στην ελάττωση της παροχής σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Η υδρολογική ξηρασία, συνήθως, παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνισή της σε σχέση με τη μετεωρολογική και τη γεωργική ξηρασία επειδή χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να φανούν τα ελλείμματα των βροχοπτώσεων στα στοιχεία του υδρολογικού συστήματος. Η μεν μετεωρολογική εμφανίζεται αμέσως μόλις καταγραφεί η έλλειψη της βροχής, ενώ η γεωργική εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους. Το νερό του υδρολογικού κύκλου χρησιμοποιείται για διαφορετικούς σκοπούς (άρδευση, ύδρευση, υδροηλεκτρική ενέργεια) με αποτέλεσμα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ξηρασίας να υπάρχει μεγάλος ανταγωνισμός μεταξύ των διαφορετικών χρηστών. Η υδρολογική ξηρασία μπορεί να μετρηθεί ως όριο στα επίπεδα της ροής του ρέματος, της λίμνης και των υπογείων υδάτων. Επισημαίνεται ότι ο Whipple (1966) ορίζει ένα έτος ως υδρολογικά ξηρό όταν η απορροή σε μια λεκάνη απορροής είναι κάτω από κάποιο όριο. Το όριο αυτό είναι διαφορετικό για κάθε λεκάνη απορροής και για κάθε υδατικό μέσο.

Η **κοινωνικο-οικονομική ξηρασία** (socioeconomic drought) σχετίζεται με τα αποθέματα και τις απαιτήσεις ορισμένων οικονομικών αγαθών ή υπηρεσιών σε συνδυασμό με τις τρεις προηγούμενες μορφές ξηρασίας (μετεωρολογική, γεωργική και υδρολογική). Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ανάγκες των αγαθών γίνονται τόσο πιο έντονες όσο τα αποθέματα μειώνονται, γεγονός που έχει σοβαρές επιπτώσεις στην κοινωνική και οικονομική κατάσταση μιας περιοχής. Το μέγεθος των αρνητικών επιπτώσεων των επεισοδίων ξηρασίας εξαρτάται εκτός από την ελάττωση των βροχοπτώσεων, την ένταση και τη διάρκεια τους, και από την αποτελεσματικότητα των μέτρων περιορισμού που έχουν προσαρμοστεί στα συστήματα υδροδότησης και στα κοινωνικό-οικονομικά συστήματα. Συνεπώς, ο ορισμός της κοινωνικό-οικονομικής ξηρασίας χρησιμοποιείται ώστε να αναδείξει τις επιπτώσεις της έλλειψης νερού στον πληθυσμό και την οικονομία υπό το πρίσμα οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών κριτηρίων.



Σχήμα 2.1: Το φαινόμενο της ξηρασίας: οι μορφές της και οι σχέσεις μεταξύ τους

Πηγή: E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006.

2.4. Χαρακτηριστικά της ξηρασίας

Τρία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των επεισοδίων ξηρασίας: η ένταση, η διάρκεια και η χωρική κατανομή.

Η **ένταση** της ξηρασίας αναφέρεται, κυρίως, στη μείωση της βροχόπτωσης και στη σοβαρότητα των επιπτώσεων της μείωσης αυτής. Γενικά, μπορεί να καθοριστεί με τον υπολογισμό διάφορων δεικτών ξηρασίας, οι οποίοι υπολογίζονται σε σχέση με τις κανονικές

τιμές της βροχόπτωσης. Εκτενέστερη περιγραφή και ανάλυση των δεικτών ξηρασίας γίνεται σε επόμενο κεφάλαιο της παρούσης εργασίας.

Το δεύτερο βασικό χαρακτηριστικό της ξηρασίας είναι η **διάρκεια**. Ένα επεισόδιο ξηρασίας, μπορεί να παρουσιάζει ένα μικρό χρονικό διάστημα υστέρησης της εμφάνισης του (1-3 μήνες) σε σχέση με την πρώτη ελάττωση ή την πλήρη απουσία της βροχόπτωσης, ενώ στη συνέχεια μπορεί να διατηρείται για μήνες ή και για χρόνια, παρά το γεγονός ότι στο διάστημα αυτό μπορεί να καταγραφούν βροχοπτώσεις, μικρής όμως σημαντικότητας.

Ο Μαχαίρας (1992) ταξινόμησε την ξηρασία σε τρεις τύπους σύμφωνα με την διάρκεια εμφάνισής τους: στη μόνιμη ξηρασία, στην περιοδική ή εποχική ξηρασία και στην τυχαία ξηρασία. Η μόνιμη ξηρασία οδηγεί στη δημιουργία ερήμων και οφείλεται στους υποτροπικούς αντικυκλώνες, στην ηπειρωτικότητα και στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Οι έρημοι της Καλιφόρνιας, της Χιλής και της Σαχάρας αποτελούν παραδείγματα μόνιμης ξηρασίας. Η εποχική ξηρασία προκαλείται από την ετήσια κύμανση των υποτροπικών δυναμικών αντικυκλώνων, ενώ τα πραγματικά αίτια της τυχαίας ξηρασίας δεν είναι γνωστά, αφού η κυκλοφορία της ατμόσφαιρας μπορεί να παρουσιάζει ανώμαλη συμπεριφορά όχι μόνο σε μια περιοχή όπου εμφανίζεται η ξηρασία αλλά και σε πολλές άλλες οι οποίες μπορεί να χαρακτηρίζονται από πλημμύρες ή κανονικές συνθήκες βροχοπτώσεων.

Το τρίτο χαρακτηριστικό της ξηρασίας είναι η **χωρική κατανομή**. Οι περιοχές, που επηρεάζονται από ακραία φαινόμενα ξηρασίας, αυξάνουν σταδιακά όσο η ξηρασία διατηρείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Μεγάλες χώρες, όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, η Κίνα, η Βραζιλία, η Ινδία σπάνια επηρεάζονται ολόκληρες από κάποιο επεισόδιο ξηρασίας. Αντίθετα, δεν είναι σπάνιο να παρατηρηθεί ξηρασία σε ολόκληρο το πλάτος και μήκος των μικρών χωρών, όπως είναι η Ελλάδα. Η γνώση της χωρικής κατανομής της ξηρασίας ανά περιοχή έχει πολύ μεγάλη σημασία και μάλιστα, πολύ περισσότερο ανά λεκάνη απορροής. Αυτό συμβαίνει διότι ο σχεδιασμός για τη Διαχείριση της ξηρασίας αλλά και ευρύτερα, για τη Διαχείριση των υδατικών πόρων, γίνεται συνήθως σε επίπεδο λεκάνης απορροής.

2.5 Αίτια ξηρασίας

Τα αίτια της εμφάνισης ξηρασίας σε μια περιοχή δεν είναι δυνατόν να καθοριστούν με βεβαιότητα αλλά σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία διατυπώθηκαν διάφορες υποθέσεις (Bryant 1991). Επίσης, για τη βελτίωση της πρόβλεψης της ξηρασίας έχουν αναλυθεί οι ατμοσφαιρικές αιτίες που την προκαλούν (Namias, 1983; Ropelewski and Halpert, 1987, 1989). Είναι πιθανό η εμφάνιση της ξηρασίας να είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης ορισμένων παραμέτρων ή να μην ευθύνεται καμία από αυτές και να πρόκειται για ένα τυχαίο

γεγονός. Οι κύριες θεωρίες που ερμηνεύουν την εμφάνιση κάποιων επεισοδίων ξηρασίας είναι οι εξής:

- Αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας
- Φαινόμενο EI – Niño
- Αστρονομικοί Παράγοντες

Αλλαγές στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας

Οι Gribbin (1978), Brysson and Murray (1979) και Lamb (1982) υποστηρίζουν ότι η εμφάνιση ξηρασίας είναι αποτέλεσμα μιας γενικής αλλαγής στην κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι οι μετακινήσεις των κυμάτων Rossby είναι υπεύθυνες, τόσο για μικρής διάρκειας ξηρασία όσο και για ημιμόνιμες καταστάσεις του κλίματος σε συγκεκριμένες περιοχές του βορείου Ημισφαιρίου. Ειδικότερα, οι Bryson and Murray (1977) υποστηρίζουν ότι η ξηρασία στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου αλλά και της βόρειας Αφρικής οφείλεται κατά κύριο λόγο στη θέση των κυμάτων Rossby.

Αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία μπορεί να προκληθούν και από άλλους παράγοντες, μικρότερης σημασίας. Η εισαγωγή μεγάλης ποσότητας ηφαιστειακής τέφρας ή λεπτόκοκκου κονιορτού από τις ερήμους μπορεί να μεταβάλει το ισοζύγιο της ακτινοβολίας με άμεσο αποτέλεσμα την υπερθέρμανση των αερίων μαζών και την εμφάνιση ξηρασίας στις περιοχές αυτές. Επίσης, η διέλευση των αερίων μαζών πάνω από ψυχρές θαλάσσιες μάζες έχει ως αποτέλεσμα το μη πλήρη εμπλουτισμό αυτών με τα απαραίτητα ποσά υγρασίας οπότε έμμεσα παρατηρείται ελάττωση βροχοπτώσεων στις περιοχές όπου αυτές επηρεάζουν.

Φαινόμενο EI – Niño

Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα που εμφανίζουν οι ωκεανοί, σε συνδυασμό με την ανταλλαγή ποσών ενέργειας ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και στους ωκεανούς, αποτελεί τον κύριο παράγοντα καθορισμού των κλιμάτων στην επιφάνεια της γης. Η ελάττωση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, η οποία είναι αποτέλεσμα, κυρίως, της μεταβολής της τροχιάς των θαλάσσιων ρευμάτων, μπορεί να προκαλέσει μεταβολή στη συνηθισμένη εμφάνιση των καιρικών φαινομένων σε μια μεγάλη ή μικρή περιοχή στην επιφάνειά του πλανήτη, με αποτέλεσμα να εμφανιστεί ως ένα επιπλέον αίτιο εμφάνισης ξηρασίας. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το φαινόμενο EI Niño, που παρατηρείται στην περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανού και χρησιμοποιείται για την περιγραφή των ακραίων επεισοδίων μόνο.

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

Αστρονομικοί Παράγοντες

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

Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι το φαινόμενο της Νότιας Κύμανσης (ENSO) και οι διάφοροι αστρονομικοί παράγοντες εκφράζουν μόλις τα 15-30% της ολικής διακύμανσης της βροχόπτωσης, οπότε το 70% περίπου της πιθανότητας εμφάνισης ξηρασίας σε κάποια περιοχή οφείλεται σε άλλους κλιματικούς παράγοντες που τελούν ακόμα υπό έρευνα (Bryant, 1991).

2.6. Επιπτώσεις της ξηρασίας

Η ξηρασία σπάνια προκαλεί υλικές ζημιές, όπως οι πλημμύρες, οι ανεμοστρόβιλοι και οι τυφώνες. Οι επιπτώσεις της είναι χωρίς ιδιαίτερη δομή και παρουσιάζονται διάσπαρτες σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, σε αντίθεση με τις ζημιές που προκύπτουν από τις άλλες φυσικές καταστροφές. Για το λόγο αυτό, ο ποσοτικός προσδιορισμός των ζημιών που μπορεί να προκαλέσει η ξηρασία είναι δύσκολο να εκτιμηθεί.

Πιο συγκεκριμένα, οι περίοδοι ξηρασίας συμβάλλουν σε σημαντικές απώλειες των γεωργικών καλλιεργειών (Karl and Koscielny, 1982; Austin et al., 1998; Quiring and Papakryiakou, 2003), καταστροφές στα φυσικά οικοσυστήματα (Kogan, 1995, 1997) αυξάνουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς δασών (Orwing and Abrams, 1997; Abrams et al., 1998; Pausas, 2004) και προκαλούν διαδικασίες υποβάθμισης εδάφους και ερημοποίησης (Schlesinger et al., 1990; Glantz, 1994; Bruins and Berliner, 1998; Nicholson et al., 1998; Pickup, 1998), κοινωνική ανησυχία (Morales et al., 2000), υποσιτισμό και πτώχευση (Garcia, 1984; Kanti, 1998). Επίσης, λόγω της κλιματικής αλλαγής και της αυξανόμενης ερημοποίησης (Mabbutt, 1985; Le Houerou, 1996; Geist and Lambin, 2004) η ικανότητα υπολογισμού των συνεπειών της ξηρασίας είναι ζωικής σημασίας. Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες ξηρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής (Byun and Wilhite, 1999) και έχει δοθεί προτεραιότητα στην ανάπτυξη σχεδίων παρακολούθησης ξηρασίας (drought monitoring plans) σε πολλές από αυτές (Wilhite, 1997; Svoboda et al., 2002).

Παρόλο που ο πλήρης ορισμός των επιπτώσεων της ξηρασίας είναι περίπλοκος, οι κύριες συνέπειες είναι δυνατόν να ταξινομηθούν γενικά σε τρεις κατηγορίες: οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές. Κάθε κατηγορία περιλαμβάνει αρκετές επιπτώσεις, ανάλογα

με τον επηρεαζόμενο τομέα. Στον Πίνακα 2.1 αναφέρεται μια λίστα των κύριων επιπτώσεων της ξηρασίας.

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

Πίνακας 2.1: Σύνοψη των κύριων επιπτώσεων που πρέπει να ληφθούν υπόψη σε κάθε τομέα.

Πηγή: Ε.Ε., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006.

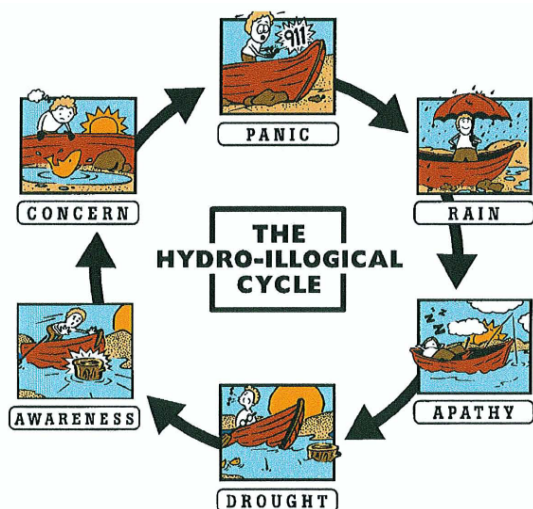
Έχει αποδειχθεί ότι παρόμοιες προσεγγίσεις είναι πολύ αποτελεσματικές στην αποτίμηση της επικινδυνότητας της ξηρασίας. Η παροχή όσο το δυνατόν περισσότερων πληροφοριών για κάθε συνέπεια, όπως κοινωνικές ομάδες που επηρεάζονται, εκτιμώμενη ζημιά, κλπ, είναι χρήσιμη. Συχνά διαφορετικές ομάδες έχουν διαφορετικές αντιλήψεις για τη ζημιά από την ξηρασία. Τέτοια περίπτωση είναι οι ομάδες που έχουν αντικρουόμενες οικονομικές ή περιβαλλοντικές προτεραιότητες. Ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό λοιπόν της αποτίμησης των επιπτώσεων της ξηρασίας είναι ο προσδιορισμός της ομάδας ενδιαφέροντος και το επίπεδο συμφωνίας μεταξύ των μελών της ομάδας.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι, αφού οι συνέπειες της ξηρασίας εμφανίζονται με κάποια καθυστέρηση σε σχέση με την έναρξη ενός επεισοδίου και διαρκούν για αρκετό καιρό μετά τη λήξη του επεισοδίου, υπάρχει η δυνατότητα να εφαρμοστούν αποτελεσματικά μέτρα ανακούφισης, πολύ περισσότερο από ότι σε άλλα ακραία υδρολογικά φαινόμενα (πχ. πλημμύρες), με την προϋπόθεση όμως την έγκαιρη αντίληψη μιας επερχόμενης ξηρασίας και την παρακολούθησή της (Rossi, 2003).

2.7. Διαχείριση ξηρασίας

Η ξηρασία επιφέρει αξιοσημείωτο πόνο και κακουχίες στην κοινωνία (Wilhite, 1997). Αποκαλύπτει με πολυάριθμους τρόπους το γεγονός ότι οικονομικά, κοινωνικά, πολιτικά και περιβαλλοντικά συστήματα είναι ευάλωτα σε ένα ευμετάβλητο κλίμα. Ακόμη, φανερώνει τις αλληλεξαρτήσεις που υπάρχουν ανάμεσα στα συστήματα, επιτείνοντας έτσι την ανάγκη για καλύτερη συνεργασία μεταξύ των εμπλεκομένων. Κλιματικές αλλαγές εξαιτίας αυξημένων συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα υποδηλώνουν μια πιθανή αύξηση στη συχνότητα και στην ένταση των σοβαρών επεισοδίων ξηρασίας στο μέλλον. Σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού και της ζήτησης για νερό, υπάρχει πίεση για τη μείωση της ατομικής ταλαιπωρίας και των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ξηρασίας.

Συνεπώς, είναι σημαντικό να δημιουργηθούν σχέδια ετοιμότητας για την ξηρασία ώστε να αντιμετωπίζεται έγκαιρα και συστηματικά. Εντούτοις, προηγούμενες προσπάθειες διαχείρισης ξηρασίας έχουν αποδειχθεί αναποτελεσματικές, χωρίς συνεργασία και άκαιρες. Διαφωτιστικό είναι το σχήμα 2.2: The hydro-illogical cycle («Ο υδρο-παραλογικός κύκλος»).



Σχήμα 2.2: «Ο υδρο-παραλογικός κύκλος»

Πηγή: National Drought Mitigation Center, 2007

Η αργή εκκίνηση του φαινομένου καθώς και η απουσία ενός καθολικά αποδεκτού ορισμού της ξηρασίας προκαλεί προβλήματα στους επιστήμονες, στους διαχειριστές φυσικών πόρων και σε αυτούς που παίρνουν τις αποφάσεις. Επίσης, επειδή η ξηρασία δεν είναι τόσο ορατή όσο άλλες φυσικές καταστροφές, ο κόσμος αρκετές φορές δυσκολεύεται να συνειδητοποιήσει τις συνέπειές της και την ανάγκη για κατάλληλο σχεδιασμό διαχείρισης. Ακόμη, άλλο ένα εμπόδιο είναι η έλλειψη μεθοδολογιών, οι οποίες θα κατευθύνουν τους ανθρώπους στον απαραίτητο προγραμματισμό (National Drought Mitigation Center, USA, 2007). Για αυτό το λόγο, ο D. A. Wilhite (Wilhite, 1991; Wilhite et al., 2000) ανέπτυξε και αναθεώρησε μια μεθοδολογία που

παρέχει οδηγίες, βασικά στοιχεία σχεδιασμού και μια διαδικασία 10 βημάτων προγραμματισμού διαχείρισης ξηρασίας που μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε βαθμίδα κρατικού ή γεωγραφικού περιβάλλοντος. Τα 10 αυτά βήματα συνοπτικά είναι τα εξής:

- 1) ορισμός μιας επιτροπής που θα ηγείται της προσπάθειας,
- 2) καθορισμός σκοπού και στόχων του σχεδιασμού,
- 3) αναζήτηση ομάδων με συγκρουόμενα συμφέροντα και συνεργασία μεταξύ τους,
- 4) καταγραφή πόρων και εκτίμηση της τρωτότητάς τους στην ξηρασία,
- 5) σύνταξη του σχεδίου ξηρασίας,
- 6) καθορισμός των αναγκών για την απαραίτητη έρευνα και πλήρωση τυχόν θεσμικών κενών,
- 7) κατανόηση και συνεργασία μεταξύ επιστημόνων και πολιτικών,
- 8) δημοσιοποίηση του σχεδίου ξηρασίας – ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κόσμου,
- 9) ανάπτυξη εκπαιδευτικών και ενημερωτικών προγραμμάτων και
- 10) εκτίμηση και αναθεώρηση του σχεδίου ξηρασίας.

Τονίζεται ότι ένα σχέδιο ξηρασίας θα πρέπει να αποτελείται από τα εξής 3 κύρια συστατικά:

- παρακολούθηση, έγκαιρη ειδοποίηση και πρόβλεψη,
- εκτίμηση επικινδυνότητας και πιθανών επιπτώσεων, και
- αντιμετώπιση και μετριασμός των επιπτώσεων.

Παρόμοια είναι και η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στις Οδηγίες Διαχείρισης Ξηρασίας (Ε.Ε., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006) και συνοψίζεται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Μεθοδολογία σχεδίου διαχείρισης της ξηρασίας.

Πηγή: Ε.Ε., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006.

Το παράδειγμα της Αυστραλίας

Επιτυχημένη διαχειριστική πολιτική για την ξηρασία θεωρείται το παράδειγμα της Αυστραλίας, η οποία, παρόλο που επικεντρώνεται στη διαχείριση της γεωργικής ξηρασίας, θεωρείται ότι θα μπορούσε να εφαρμοστεί και για άλλους τομείς. Μάλιστα, αναφέρεται ως πρότυπο για τις ΗΠΑ (Wilhite, 1997). Σύμφωνα με αυτή την πολιτική, η ξηρασία αντιμετωπίζεται ως αναπόσπαστο κομμάτι του Αυστραλιανού κλίματος και όχι ως φυσική καταστροφή. Έτσι, αποτελεί έναν από τους πολλούς κινδύνους που αντιμετωπίζει η αγροτική δραστηριότητα και συνεπώς ενθαρρύνονται οι αγρότες να υιοθετούν διαχειριστικές τακτικές που αποδέχονται την ξηρασία σαν κομμάτι του κύκλου εργασίας τους. Μακροπρόθεσμοι στόχοι του σχεδίου είναι η αύξηση παραγωγικότητας, η βελτίωση χρήσης των φυσικών πόρων και η ενδυνάμωση της αυτοπεποίθησης των αγροτών. Η προσπάθεια αυτή πλαισιώνεται από την κυβέρνηση, διερευνώντας για βελτιωμένα συστήματα παρακολούθησης, εργαλεία πρόγνωσης και κατάλληλα συστήματα λήψης αποφάσεων. Τέλος, προβλέπεται ειδική αντιμετώπιση για περιπτώσεις ακραίων επεισοδίων ξηρασίας. Πριν την ανακήρυξη έκτακτης περίπτωσης, προηγείται αποτίμηση της κατάστασης μέσω αντικειμενικών επιστημονικών παρατηρήσεων και εισηγήσεις αρμόδιων αγροτικών επιτροπών και ατόμων εξειδικευμένων σε τομείς όπως οικονομικά, οικονομική διοίκηση, τραπεζικά συστήματα, βιώσιμη γεωργία και αγροτική διαχείριση. Η αποτίμηση, που πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο αντικειμενική, γίνεται με βάση 6 βασικά κριτήρια: μετεωρολογικές συνθήκες, γεωργικές και κτηνοτροφικές συνθήκες, υδατικά αποθέματα, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, επίπεδα αγροτικών εσόδων και την κλίμακα του φαινομένου. Η βοήθεια στις ακραίες περιπτώσεις ξηρασίας έχει βραχυπρόθεσμους στόχους και είναι συνήθως οικονομική. Προτιμούνται για βοήθεια οι αγροτικές επιχειρήσεις που είναι παραγωγικές μακροπρόθεσμα και έχουν πραγματοποιήσει καλή διαχείριση. Επίσης λαμβάνονται υπόψη το εισόδημα και τα κεφάλαια που μπορεί να έχουν οι παραγωγοί από άλλες δραστηριότητες εκτός γεωργίας. Τέλος, άνθρωποι που χάνουν τις περιουσίες τους λόγω ακραίων φαινομένων ξηρασίας, αποκαθίστανται από το κράτος.

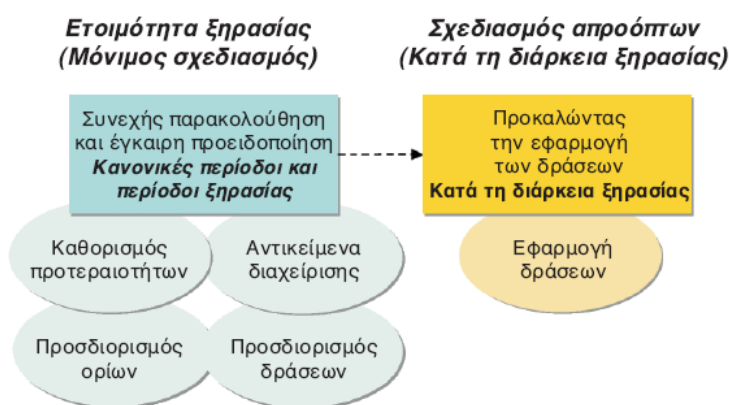
Προσεγγίσεις στη διαχείριση της ξηρασίας

Οι δύο βασικές προσεγγίσεις σχετίζονται με τη διαχείριση πριν ή κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ξηρασίας:

Η **διορθωτική προσέγγιση** βασίζεται στην εφαρμογή μέτρων και δράσεων μετά την εκκίνηση και την αντίληψη του φαινομένου ξηρασίας. Η προσέγγιση αυτή λαμβάνεται κυρίως σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης. Συχνά έχει ως αποτέλεσμα αναποτελεσματικές τεχνικές και οικονομικές λύσεις, καθώς οι αποφάσεις λαμβάνονται μέσα σε λίγο χρόνο για την εκτίμηση των βέλτιστων δράσεων και η συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερόμενων είναι πολύ περιορισμένη.

Η **προληπτική προσέγγιση** περιλαμβάνει τον έγκαιρο σχεδιασμό των μέτρων, με τα κατάλληλα εργαλεία σχεδιασμού και τη συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερομένων. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται τόσο στα βραχυπρόθεσμα όσο και στα μακροπρόθεσμα μέτρα και

περιλαμβάνει τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή των συστημάτων για μια έγκαιρη προειδοποίηση των συνθηκών ξηρασίας. Έγκειται στον έγκαιρο σχεδιασμό των απαραίτητων μέτρων για την πρόληψη ή την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της ξηρασίας. Η προληπτική μέθοδος προβλέπει τη συνεχή καταγραφή των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών και της κατάστασης των υδατικών αποθεμάτων, ώστε να αναγνωριστούν πιθανές καταστάσεις κρίσης και να εφαρμοστούν τα απαραίτητα μέτρα πριν εμφανιστεί πραγματική ανάγκη σε νερό. Εν τούτοις, αν δεν είναι δυνατό να αποφευχθεί μια κρίση που εμφανίζεται ως φυσική δημόσια καταστροφή (μετά την κυβερνητική ανακοίνωση), το Σχέδιο Απρόοπτης Ξηρασίας υλοποιείται μέχρι την επαναφορά σε κανονικές συνθήκες. Στο σχήμα 2.4 απεικονίζονται τα βασικά στοιχεία της προληπτικής προσέγγισης. Είναι προφανές ότι αυτή η προσέγγιση, ακόμα κι αν είναι πιο περίπλοκη, είναι πιο αποτελεσματική από τη διορθωτική (και πιο συνηθισμένη) προσέγγιση, καθώς επιτρέπει τον προσδιορισμό εκ των προτέρων μέτρων περιορισμού (τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα), βελτιώνοντας την ποιότητα των παρεμβάσεων. Ωστόσο, για πολλούς λόγους, οι κυβερνήσεις δυσκολεύονται να εγκαταλείψουν τη διορθωτική προσέγγιση και να υιοθετήσουν την πρόληψη.



Σχήμα 2.4: Σύνοψη των χαρακτηριστικών της προληπτικής προσέγγισης.

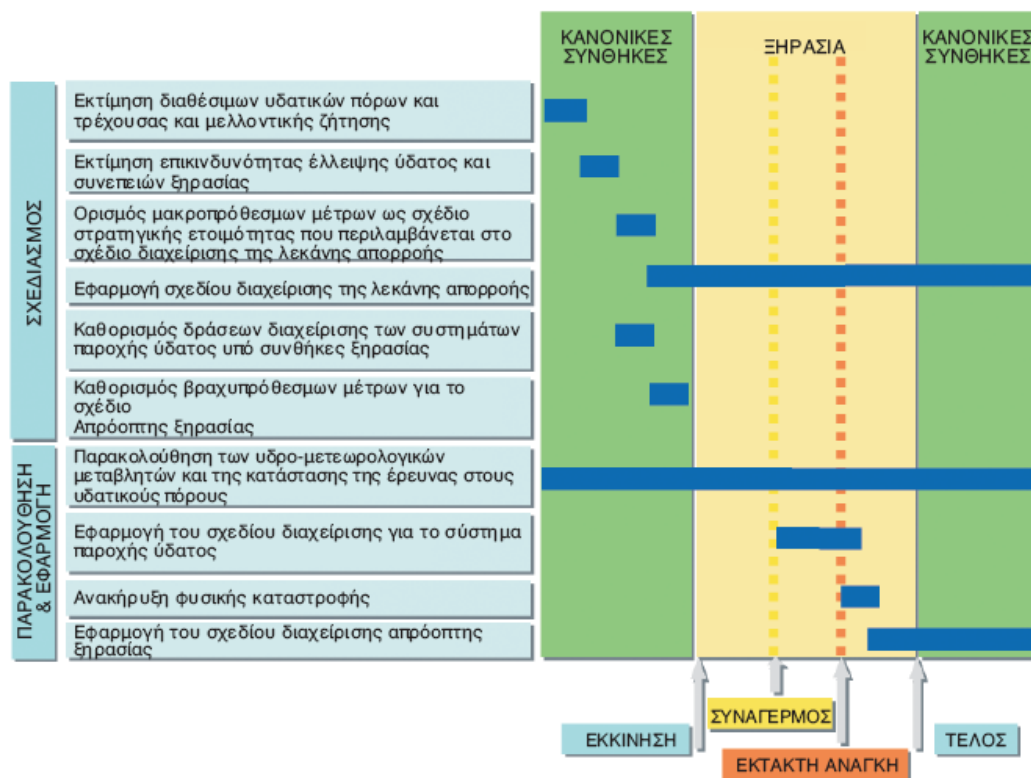
Πηγή: Ε.Ε., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006.

Τέλος, η ακριβής επιλογή των εργαλείων για την αναγνώριση ενός επεισοδίου ξηρασίας, όπως δείκτες που να παρέχουν μια συνθετική και αντικειμενική περιγραφή των συνθηκών, είναι βασικής σημασίας. Επιπλέον, αυτά τα εργαλεία πρέπει να μπορούν να προβλέπουν την εξέλιξη της ισχύουσας ξηρασίας, ώστε να εφαρμοστούν τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισής της και οι αντίστοιχες πολιτικές διαχείρισης υδάτινων πόρων. Παρόλα αυτά, πρέπει να τονιστεί ότι τα εργαλεία μετεωρολογικής πρόβλεψης παρέχουν μερική μόνο πληροφόρηση και θα πρέπει να πλαισιωθούν και με άλλα δεδομένα (πχ οικονομικά και περιβαλλοντικά στοιχεία) ώστε να υπάρξει ολοκληρωμένη διαχείριση της κάθε περίπτωσης.

Το επιχειρησιακό μέρος της διαχείρισης

Η επιλογή παρεμβάσεων διαχείρισης της ξηρασίας θα πρέπει να εξετάσει δύο διαφορετικές προτεραιότητες: η πρώτη αναφέρεται στην εξασφάλιση επαρκούς παροχής οικιακού ύδατος

κατάλληλου για τη δημόσια υγεία, την ασφάλεια και την ευημερία, η δεύτερη προσανατολίζεται στη μείωση των αρνητικών επιδράσεων της ξηρασίας στην οικονομία, το περιβάλλον και την κοινωνική ευημερία. Στο Σχήμα 2.5 υπάρχει μια γενική παρουσίαση των διαδοχικών βημάτων για την εφαρμογή των δράσεων διαχείρισης της ξηρασίας. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, ο σχεδιασμός διαχείρισης της ξηρασίας θα πρέπει να γίνεται σε κανονικές συνθήκες, πριν να λάβει χώρα η ξηρασία.



Σχήμα 2.5: Διαδοχικά βήματα για την εφαρμογή των δράσεων διαχείρισης της ξηρασίας

Πηγή: Ε.Ε., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006

Σημείο κλειδί για αποτελεσματική πρόληψη της ξηρασίας και τον περιορισμό της είναι ο τρόπος επιλογής και εφαρμογής των διαφορετικών παρεμβάσεων με βάση την προτεραιότητα της κατανομής ύδατος στις διάφορες χρήσεις, τις ενδείξεις που παρέχονται από τα συστήματα παρακολούθησης της ξηρασίας και τη μέθοδο που υιοθετείται για την αποτίμηση της επικινδυνότητας της ξηρασίας.

Μέτρα περιορισμού της ξηρασίας

Η προετοιμασία σχεδίων διαχείρισης της ξηρασίας απαιτεί την επιλογή του πιο κατάλληλου συνδυασμού μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων δράσεων σε σχέση με την τρωτότητα του εκάστοτε συστήματος και σε σχέση με τη σοβαρότητα της ξηρασίας. Δεδομένου του μεγάλου αριθμού και των διαφόρων τύπων μέτρων περιορισμού, θεωρείται απαραίτητο να υιοθετηθεί μια σωστή διαδικασία αποτίμησης για την επιλογή του πιο κατάλληλου

συνδυασμού. Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται συνήθη μέτρα περιορισμού της ξηρασίας, τόσο μακροπρόθεσμα όσο και βραχυπρόθεσμα, 3 ειδών:

- μείωση της ζήτησης νερού
- αύξηση της παροχής νερού
- ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της ξηρασίας

Επίσης, αναφέρονται και οι τομείς στους οποίους αφορούν τα μέτρα.

| Κατηγορία | Είδος δράσεων | Επηρεαζόμενοι τομείς | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----|----|---|
| Μακροχρόνιες δράσεις | | | | | |
| Μείωση της ζήτησης | Οικονομικά κίνητρα για εξοικονόμηση ύδατος | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| | Αγρονομικές τεχνικές για μείωση της κατανάλωσης ύδατος | | ΑΓ | | |
| | Ξηρικές καλλιέργειες αντί για αρδευόμενες | | ΑΓ | | |
| | Δίκτυο διπλής διανομής για αστική χρήση | ΑΣ | | | |
| | Ανακύκλωση ύδατος στη βιομηχανία | | | B | |
| Αύξηση της παροχής ύδατος | Δίκτυα μεταφοράς για ανταλλαγές δυο κατευθύνσεων | ΑΣ | ΑΓ | B | |
| | Επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένου ύδατος από τα απόβλητα | | ΑΓ | B | Ψ |
| | Μεταφορές ύδατος από λεκάνη σε λεκάνη και μέσα στις λεκάνες | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| | Κατασκευή νέων δεξαμενών ή αύξηση του όγκου αποθεμάτων ιπτων υπαρχόντων δεξαμενών | ΑΣ | ΑΓ | B | |
| | Κατασκευή αγροτικών λιμνών | | ΑΓ | | |
| | Αφαλάτωση υφάλμυρων ή αλμυρών υδάτων | ΑΣ | ΑΓ | | Ψ |
| | Έλεγχος ρωγμών και απωλειών εξάτμισης | ΑΣ | ΑΓ | B | |
| Ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων | Εκπαιδευτικές δραστηριότητες για τη βελτίωση της ετοιμότητας σε κατάσταση ξηρασίας ή/και της μόνιμης εξοικονόμησης ύδατος | ΑΣ | ΑΓ | B | |
| | Ανακατανομή των υδατικών πόρων με βάση τις απαιτήσεις ποιότητας | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| | Ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| | Εφαρμογή ενός Σχεδίου Διαχείρισης της Ξηρασίας | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| | Ασφαλιστικά προγράμματα | | ΑΓ | B | |
| Βραχυπρόθεσμες δράσεις | | | | | |
| Μείωση της ζήτησης | Εκστρατεία δημόσιας πληροφόρησης για εξοικονόμηση ύδατος | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| | Περιορισμός σε κάποιες αστικές χρήσεις ύδατος (π.χ. Πλύσιμο αυτοκινήτων, κηπουρική, κ.λπ) | ΑΣ | | | |
| | Περιορισμός άρδευσης μονοετών καλλιεργειών | | ΑΓ | | |
| | Τιμολόγηση | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| Αύξηση της παροχής ύδατος | Υποχρεωτικός επιμερισμός | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| | Βελτίωση της υπάρχουσας αποδοτικότητας των υδατικών συστημάτων (προγράμματα εντοπισμού διαρροής, νέοι επιχειρησιακοί κανόνες, κ.λπ) | | ΑΣ | ΑΓ | B |
| | Χρήση πρόσθετων πηγών χαμηλής ποιότητας ή υψηλού κόστους εκμετάλλευσης | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| | Υπερεκμετάλλευση των υδροφορέων ή χρήση των υπόγειων αποθεμάτων | ΑΣ | ΑΓ | B | |
| | Αύξηση εναλλακτικών κατευθύνσεων χρησιμοποιώντας ήπιους οικολογικούς ή ψυχαγωγικούς περιορισμούς | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| Ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων | Προσωρινή ανακατανομή των υδατικών πόρων | ΑΣ | ΑΓ | B | Ψ |
| | Δημόσιοι πόροι για την αποζημίωση των ζημιών εισοδήματος | ΑΣ | ΑΓ | B | |
| | Μείωση φόρων ή παράταση της προθεσμίας πληρωμής | ΑΣ | ΑΓ | B | |
| | Δημόσιοι πόροι για την ασφάλιση των καλλιεργειών | | ΑΓ | | |

ΑΣ= αστικός; ΑΓ= αγροτικός; B= βιομηχανικός; Ψ= ψυχαγωγικός

Πίνακας 2.2: Μακροπρόθεσμα και βραχυπρόθεσμα μέτρα περιορισμού της ξηρασίας

Πηγή: Ε.Ε., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006

Θεσμικό πλαίσιο για μια αποτελεσματική διαχείριση της ξηρασίας

Η υλοποίηση μιας προληπτικής προσέγγισης υπονοεί την προετοιμασία σχεδίων, στα οποία τα μέτρα περιορισμού της ξηρασίας είναι σαφώς καθορισμένα από όλους τους φορείς για την υλοποίησή τους. Υπό το πρίσμα αυτό, μια ξεκάθαρη ανάθεση αρμοδιοτήτων ανάμεσα στους διαφορετικά εμπλεκόμενους φορείς είναι το σημείο κλειδί. Επομένως μια νομική πράξη, η οποία θα προσδιορίζει τις ευθύνες είναι απαραίτητη σε κάθε χώρα. Μια τέτοια πράξη θα μπορούσε να είναι μέρος της εθνικής στρατηγικής για τους υδατικούς πόρους ή/και στρατηγική καταπολέμησης της ερημοποίησης (στα πλαίσια της συνθήκης των Ηνωμένων Εθνών). Καμία δράση διαχείρισης, νομοθεσία ή στρατηγική δεν μπορεί να αποκριθεί από μόνη της σε όλες τις πλευρές και δεν μπορεί να επιτύχει όλους τους σκοπούς για την αποτελεσματική διαχείριση της ξηρασίας. Πολλαπλές προσπάθειες συνεργασίας χρειάζονται για την αντιμετώπιση των πολυδιάστατων επιπτώσεων της ξηρασίας στην κοινωνία. Άλλες σημαντικές πλευρές που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι:

- Η συμμετοχή των άμεσα ενδιαφερομένων
- Η διαχείριση και οι αλλαγές στη νομοθεσία για τις άδειες νερού που επιτρέπουν ανταλλαγή νερού κατά τις ξηρασίες
- Ο προσδιορισμός προτύπων αποτελεσματικότητας για την ενίσχυση της οικονομίας νερού και ποινές όταν υπάρχει έλλειψη σεβασμού προς αυτή.

2.8. Η Ξηρασία στην Ευρώπη και την Ελλάδα

Τα περιστατικά ξηρασίας έχουν επιδεινωθεί στις περισσότερες Ευρωπαϊκές περιοχές κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών σε συχνότητα, διάρκεια ή ένταση (Nastos and Zerefos, 2009). Κλιματικά μοντέλα συμπεραίνουν σε μελλοντική γενική αύξηση της ξηρασίας λόγω μείωσης της βροχόπτωσης. Χρησιμοποιώντας μια υψηλής ανάλυσης προσομοίωση, οι Jones et al. (1996) προέβλεψαν ότι μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, η Ευρώπη θα αντιμετωπίσει αύξηση της έντασης, της διάρκειας και της χωρικής εξάπλωσης των ξηρασιών στην περιοχή της Μεσογείου. Αν επιβεβαιωθούν οι προβλέψεις για μείωση της βροχής στη Μεσόγειο (New et al., 2002), οι συνέπειες θα είναι σοβαρές για την περιοχή, λόγω της ανεπάρκειας των υδάτινων πόρων, της υψηλής ζήτησής τους για γεωργικές, βιομηχανικές και τουριστικές δραστηριότητες αλλά και λόγω των φαινομένων της διάβρωσης και της ερημοποίησης (López, Bermúdez and Sánchez, 1997). Παρόλα αυτά, πρέπει να επισημανθεί ότι μοντέλα τόσο μεγάλων εκτάσεων παρουσιάζουν περιορισμούς εξαιτίας της μεγάλης κλίμακας ανάλυσης η οποία δεν μπορεί να προσομοιώσει ικανοποιητικά το φαινόμενο της ξηρασίας σε περιοχές με υψηλή διακύμανση βροχοπτώσεων, όπως είναι αυτές με Μεσογειακό κλίμα.

Η ξηρασία είναι ένα επαναλαμβανόμενο γνώρισμα του Ευρωπαϊκού κλίματος που δεν περιορίζεται στην περιοχή της Μεσογείου. Μπορεί να συμβεί τόσο σε περιοχές με ξηρό γενικά κλίμα, όσο και σε περιοχές που χαρακτηρίζονται συνήθως από υψηλά ύψη βροχής (European

Environment Agency, 2001). Μεγάλες Ευρωπαϊκές εκτάσεις έχουν εμφανίσει ξηρασία κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα. Πρόσφατα, σοβαρά και παρατεταμένα επεισόδια ξηρασίας έχουν φανερώσει την τρωτότητα της Ευρώπης σε αυτή τη φυσική καταστροφή με αποτέλεσμα την αφύπνιση του κόσμου, των κυβερνήσεων και των αντίστοιχων οργανισμών, πρώτον για τα πολλά κοινωνικοοικονομικά προβλήματα που απορρέουν από την έλλειψη νερού και δεύτερον για την ανάγκη λήψης κατάλληλων μέτρων.

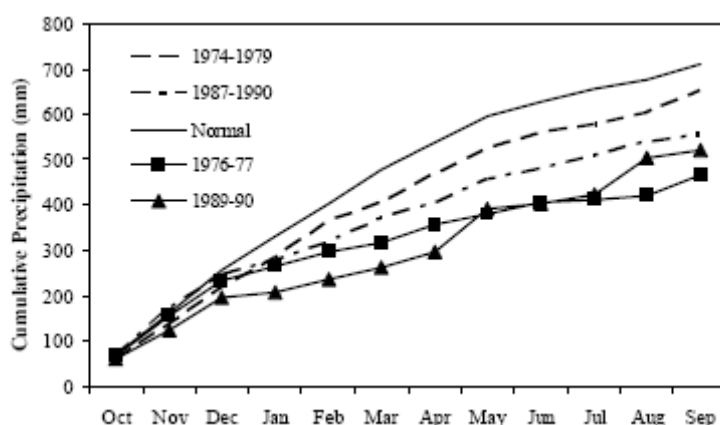
Όσον αφορά την **Ελλάδα**, το κύριο χαρακτηριστικό που πρέπει να επισημανθεί είναι η άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Αυτό οφείλεται στο γεωγραφικό και γεωμορφολογικό ανάγλυφο της χώρας καθώς και στις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν. Πιο συγκεκριμένα, η δυτική Ελλάδα και το ανατολικό Αιγαίο εμφανίζουν μεγαλύτερα ύψη βροχής σε σχέση με το κεντρικό και νότιο Αιγαίο, ενώ οι ορεινές περιοχές εμφανίζουν μεγαλύτερα ύψη βροχής και χιονιού σε σχέση με τις πεδινές περιοχές. Ακόμη, το καλοκαίρι καταγράφονται τα μικρότερα ύψη βροχής σε σχέση με τις άλλες εποχές.

Η Αναγνωστοπούλου (2003) απέδειξε ότι, σύμφωνα με την παρουσία ή την απουσία των επεισοδίων ξηρασίας, η Ελλάδα μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερις κύριες περιοχές: στη δυτική και ηπειρωτική Ελλάδα, στη νότια και νοτιοανατολική Ελλάδα (Κρήτη και Δωδεκάνησα), στην ανατολική νησιωτική Ελλάδα (νησιά ανατολικού Αιγαίου και βορειοανατολική Ελλάδα) και τέλος στον κεντρικό άξονα της Ελλάδας, ο οποίος περιλαμβάνει την κεντρική Μακεδονία, την ανατολική ηπειρωτική Ελλάδα, τις Σποράδες και τις Κυκλάδες. Ακόμη, χρονικά, εκτός από τη μόνιμη ξηρασία που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σχεδόν σε ολόκληρη την Ελλάδα, και οι υπόλοιπες εποχές εμφανίζουν ιδιαίτερα επεισόδια ξηρασίας. Επιπλέον, σύμφωνα με την Αναγνωστοπούλου (2003), τα χαρακτηριστικά της ξηρασίας για την ελληνική περιοχή είναι τα εξής:

- Ως ξηρή ημέρα στην Ελλάδα καθορίζεται εκείνη η ημέρα όπου το ύψος βροχόπτωσης είναι μικρότερο ή ίσο των 0.1mm.
- Επεισόδιο ξηρασίας στην Ελλάδα, κυρίως κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, ορίζεται εκείνο το χρονικό διάστημα όπου θα πρέπει οι συνεχόμενες ημέρες ξηρασίας να είναι περισσότερες από 10.
- Ως εξαιρετική ξηρασία μπορεί να καθοριστούν εκείνα τα επεισόδια ξηρασίας όπου παρατηρούνται συνεχόμενοι μήνες με τιμές του δείκτη SPI < -2.0.
- Η ξηρασία σπάνια εμφανίζεται σε ολόκληρο τον ελληνικό χώρο. Παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι μια μικρή σε έκταση χώρα, η ιδιαίτερη τοπογραφία και το έντονο ανάγλυφο έχουν σαν αποτέλεσμα τη διαφορετική κατανομή των βροχοπτώσεων.

Τέλος, αποδεικνύεται ότι υπάρχει αύξηση της έντασης και της διάρκειας των επεισοδίων ξηρασίας στην ελληνική επικράτεια για την περίοδο 1958-1997 και μάλιστα, τα επεισόδια ξηρασίας και εξαιρετικής ξηρασίας εμφανίζουν σημαντική αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης κατά τη διάρκεια της υποπεριόδου 1978-1997 (Αναγνωστοπούλου, 2003).

Ειδικότερα, η **Θεσσαλία** αντιμετώπισε ακραία και επίμονα περιστατικά ξηρασίας στις περιόδους από τα μέσα ως τα τέλη της δεκαετίας του 1970 και από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 ως τις αρχές της επόμενης. Η μέση αθροιστική επιφανειακή βροχόπτωση κατά τη διάρκεια των 2 αυτών περιόδων συγκρίνεται με την κανονική επιφανειακή βροχόπτωση στο Σχήμα 2.6, όπου και φαίνεται η υστέρηση. Ειδικότερα, τα υδρολογικά έτη 1976-1977 και 1989-1990 είναι το πρώτο και δεύτερο ξηρότερο έτος αντίστοιχα, για την περίοδο 1960-1993 (Loukas and Vasiliades, 2004). Η παρατεταμένη και σημαντική μείωση της μηνιαίας και της ετήσιας βροχόπτωσης έχει δραματική επίδραση στους υδάτινους πόρους της περιοχής. Συνήθως, οι ξηρές περίοδοι συνοδεύονται από υψηλές θερμοκρασίες, κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερους ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής και σε ξηρά εδάφη. Αυτές οι συνθήκες επιδρούν αρνητικά στη φυσική βλάστηση και στη γεωργία της Θεσσαλίας, καθώς και στα διαθέσιμα αποθέματα των ταμιευτήρων. Επίσης, έχουν ως συνέπειες την ελλιπή άρδευση και την υπερεκμετάλλευση των υπογείων νερών. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους 1989-1990, η παροχή νερού από το φράγμα Πλαστήρα για άρδευση μειώθηκε περισσότερο από 70% και οι αρδευόμενες εκτάσεις από επιφανειακούς υδάτινους πόρους μειώθηκαν κατά 90%



Σχήμα 2.6: Αθροιστική επιφανειακή βροχόπτωση στις πιο ξηρές περιόδους της Θεσσαλίας από το 1960 ως το 1993.

Πηγή: Loukas A. and Vasiliades L. (2004).

Νομικό πλαίσιο για τη διαχείριση της ξηρασίας στην Ευρώπη

Η Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα Ύδατα 2000/60 προσδιορίζει σαφώς το σχεδιασμό ως το κύριο εργαλείο εγγύησης της προστασίας των υδάτινων σωμάτων και υποδηλώνει το περιορισμό των γεγονότων πλημμύρας και ξηρασίας ως το βασικό αντικείμενο. Εν τούτοις, δεν λαμβάνει υπόψη κριτήρια και δράσεις αντιμετώπισης της επικινδυνότητας της ξηρασίας, οι αναφορές στην ξηρασία είναι σπάνιες και ασαφείς και συχνά παραπλανητικές και τα μέτρα περιορισμού θεωρούνται μόνο προαιρετικά. Οι περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες δεν έχουν εκδώσει ένα νομικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση της επικινδυνότητας της ξηρασίας και οι δράσεις εκτάκτου ανάγκης διαχειρίζονται από Αντιπροσωπείες Πολιτικής Προστασίας ή κάποιες νομικές πράξεις που αναφέρονται σε ανάκαμψη από φυσικές καταστροφές. Τα

μαθήματα που πήραμε κατά τη διάρκεια των πιο πρόσφατων ξηρασιών έχουν δείξει την ανεπάρκεια των νομικών συστημάτων, την προώθηση του σχεδιασμού μέτρων περιορισμού της ξηρασίας και της αντικατάστασης των επιχορηγήσεων για την κάλυψη των ζημιών με ασφάλειες.

Η Ισπανία είναι ένα παράδειγμα θεσμικής υποστήριξης για τις πρωτοβουλίες αυτές. Η επιτυχία των περισσότερων περιπτώσεων οφείλεται στην υδατική διαχείριση σε επίπεδο λεκάνης, επιτρέποντας το συντονισμό των στρατηγικών, των φυσικών και των τεχνικών θεμάτων. Για παράδειγμα, στην Ισπανία υπάρχει ξεκάθαρη ανταλλαγή γνώσεων μεταξύ των εμπλεκόμενων σωμάτων, όπως επίσης και ξεκάθαρος ορισμός των περιεχομένων των σχεδίων διαχείρισης της ξηρασίας. Ο Νόμος 10/2001 εφαρμόζει μια προληπτική προσέγγιση για την αντιμετώπιση της επικινδυνότητας:

- προσδιορίζει τη βάση ανάπτυξης ενός συστήματος υδρολογικών δεικτών για τη συνεχή καταγραφή και πρόγνωση γεγονότων ξηρασίας
- δίνει την ευθύνη στις Αρχές Διαχείρισης της Λεκάνης για την προετοιμασία των σχεδίων διαχείρισης της ξηρασίας και στις δημοτικές αντιπροσωπείες υδάτων για την προετοιμασία των σχεδίων εκτάκτου ανάγκης για διαχείριση ξηρασίας, και
- αναθέτει ευθύνες για την ανακήρυξη της ξηρασίας

2.9. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω, είναι κατανοητό πως το φαινόμενο της ξηρασίας είναι μια φυσική καταστροφή που έχει προκαλέσει πολλών ειδών προβλήματα – περιβαλλοντικά, οικονομικά, κοινωνικά – παγκοσμίως. Παρόλα αυτά, υπάρχουν σπάνια παραδείγματα σωστής διαχείρισης και αυτό σε ένα βαθμό δικαιολογείται από την πολυπλοκότητα του φαινομένου. Η ξηρασία χαρακτηρίζεται με βάση την ένταση, τη χρονική διάρκεια και τη χωρική κατανομή της, ενώ έχει κατηγοριοποιηθεί και ανάλογα με τους τομείς που επηρεάζει σε μετεωρολογική, γεωργική, υδρολογική και κοινωνικο-οικονομική. Όλα αυτά επέβαλλαν τη δημιουργία δεικτών ξηρασίας, έτσι ώστε να είναι εφικτή η αναγνώριση των χαρακτηριστικών της. Μάλιστα, ο ρόλος τους στη διαχείριση της ξηρασίας είναι βασικός αφού χρησιμοποιούνται ως εργαλεία πρόβλεψης και έγκαιρης καταγραφής της. Υπάρχει ένα μεγάλο φάσμα δεικτών που έχουν χρησιμοποιηθεί, μερικοί από τους οποίους παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Δείκτες Ξηρασίας

3.1. Ορισμός

Δείκτης ονομάζεται ένας σταθμισμένος συνδυασμός δύο ή περισσότερων ενδείξεων. Ένας δείκτης σχεδιάζεται, ώστε να είναι η περίληψη του συστήματος. Για παράδειγμα, ένας «περιβαλλοντικός δείκτης» μπορεί να περιέχει δεδομένα για την ποιότητα του αέρα, την ποιότητα των υδάτων, την ποιότητα του εδάφους, κ.λπ. Ένα άλλο παράδειγμα είναι οι Οικονομικές Ενδείξεις που χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν οικονομική δραστηριότητα, όπως ο ρυθμός ανάπτυξης του ΑΕΠ. Ένας δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να οδηγήσει σε ένα συγκεκριμένο γεγονός ή συμπέρασμα (E.E., MEDAWater, MEDROPLAN, 2006).

Η Αμερικάνικη Μετεωρολογική Ένωση (American Meteorological Society -1997) προτείνει ότι η προσφορά και η ζήτηση νερού στο χώρο και στο χρόνο είναι οι δύο βασικές διαδικασίες που θα έπρεπε να συμπεριλαμβάνονται σε έναν αντικειμενικό ορισμό της ξηρασίας και συνεπώς, στην παραγωγή ενός δείκτη ξηρασίας. Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization-1992) σαν δείκτη ξηρασίας ορίζει έναν δείκτη ο οποίος συνδέεται με μερικά από τα αθροιστικά αποτελέσματα ενός παρατεταμένου και ασυνήθιστου ελλείμματος υγρασίας (Heim, 2002).

3.2. Αναγκαιότητα Δεικτών Ξηρασίας

Η αναγνώριση, η ποσοτικοποίηση και η παρακολούθηση των επεισοδίων ξηρασίας είναι δύσκολη υπόθεση, αφού όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ξηρασία είναι πολύπλοκο φαινόμενο που δύσκολα μπορεί να ανιχνευτεί άμεσα. Διάφορες μεθοδολογίες έχουν προταθεί για την εκτίμηση της ξηρασίας. Οι κυριότερες είναι δύο (Tsakiris and Pangalou, 2009): α) Μεθοδολογίες βασισμένες στις ενδείξεις των συνεπειών της ξηρασίας (εμπειρικές μεθοδολογίες) και β) μεθοδολογίες βασισμένες σε δείκτες ξηρασίας και συνδυασμούς τους (μαθηματικές μεθοδολογίες). Η πρώτη κατηγορία ενδείκνυται κυρίως για ιστορικές αναλύσεις ξηρασιών, καθώς αποτυγχάνει να ανιχνεύσει και να παρακολουθήσει επεισόδια που συμβαίνουν εκείνη τη στιγμή και συνεπώς δεν μπορεί να συμβάλει στη λήψη άμεσων αποφάσεων για μέτρα αντιμετώπισης. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τη χρήση διάφορων δεικτών ξηρασίας οι οποίοι και θα αναλυθούν σε αυτό το κεφάλαιο.

Ο χαρακτηρισμός της ξηρασίας είναι περίπλοκος και υπάρχει ένα μεγάλο φάσμα μετεωρολογικών ή υδρολογικών δεικτών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η ξηρασία είναι ένα τρισδιάστατο φαινόμενο που μπορεί να αξιολογηθεί με βάση την ένταση, τη διάρκεια και τη γεωγραφική έκταση. Επιπλέον, το μεγάλο πλήθος ορισμών της ξηρασίας, η μεγάλη

μεταβλητότητα που εμφανίζει σε σχέση με την τοπογραφία και το κλίμα της κάθε περιοχής και οι πολύπλοκες φυσικές διεργασίες που την προκαλούν, επέβαλλαν τη δημιουργία δεικτών ξηρασίας, έτσι ώστε να είναι εφικτή η αναγνώριση των χαρακτηριστικών της, καθώς επίσης και η δυνατότητα αξιολόγησής της όχι μόνο σε τοπικό επίπεδο αλλά και σε μία ευρύτερη περιοχή.

Απαιτείται μια ακριβής επιλογή μεθόδων προσδιορισμού της ξηρασίας ικανών να περιγράψουν με ένα συνθετικό και σαφή τρόπο την εξέλιξη των συνθηκών ξηρασίας στο χώρο και το χρόνο. Ο κάθε δείκτης έχει τη δική του αξία και συχνά υποστηρίζει ο ένας τον άλλο. Ένας συνδυασμός τους είναι συνήθως η προτιμώμενη επιλογή. Οι δείκτες ξηρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή όλων των τύπων ξηρασίας: μετεωρολογική ξηρασία, υδρολογική ξηρασία, γεωργική ξηρασία και κοινωνικό-οικονομική ξηρασία.

3.3. Χαρακτηριστικά Δεικτών Ξηρασίας

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

- να μπορούν να υπολογιστούν από διαθέσιμα δεδομένα από συστήματα συλλογής δεδομένων,
- να έχουν άμεση σχέση με τρωτά κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά συστήματα, και
- να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προβλέψεις και συστήματα έγκαιρης καταγραφής.

Γενικά, ένας δείκτης ξηρασίας είναι δόκιμος όταν παρουσιάζει μία ξεκάθαρη, απλή και ποιοτική ανάλυση των κύριων χαρακτηριστικών της ξηρασίας: την ένταση, τη διάρκεια και τη χωρική έκτασή της (Hayes, 2000). Πολλοί είναι οι δείκτες ξηρασίας που έχουν αναπτυχθεί. Ανάμεσα σε αυτούς, πιο ευρέως εφαρμοσμένοι είναι ο Percent of Normal, τα Deciles που εφαρμόζονται κατά κύριο λόγο στην Αυστραλία, ο Palmer Drought Severity Index (PDSI), που έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά στις ΗΠΑ, ο China-Z index (CZI), που χρησιμοποιείται από το Εθνικό Μετεωρολογικό Κέντρο της Κίνας (Wu et al., 2001), ο Crop Moisture Index (CMI), ο Surface Water Supply Index (SWSI) που έχει υιοθετηθεί από αρκετές πολιτείες των ΗΠΑ και ο Standardized Precipitation Index (SPI – McKee et al., 1993), που γίνεται αποδεκτός όλο και σε πιο πολλά μέρη της γης. Ακόμη, η πρόσφατη πρόοδος στον τομέα της τηλεπισκόπησης παρέχει προϊόντα που έχουν μεγάλη δυναμική ως δείκτες ξηρασίας, ιδίως όταν οι πηγές δεδομένων είναι περιορισμένες. Ο NDVI χρησιμοποιείται ευρέως για τη συνεχή παρακολούθηση και πρόβλεψη της παραγωγής καλλιεργειών μέσω δορυφορικών εικόνων παγκοσμίως. Δε γίνεται ιδιαίτερη αναφορά για τους τηλεσκοπικούς-δορυφορικούς δείκτες στο παρόν κείμενο καθώς έχουν διαφορετικό γνωστικό υπόβαθρο.

Οι διάφοροι δείκτες ξηρασίας χρησιμοποιούν για τον υπολογισμό τους δεδομένα των υψών βροχής, του πάχους του στρώματος του χιονιού, των αποθεμάτων του νερού στο έδαφος, θερμοκρασίας, εξατμισοδιαπνοής καθώς και άλλες παραμέτρους. Μάλιστα, κάποιοι από τους δείκτες περιέχουν, εκτός από μετεωρολογικές και υδρολογικές μεταβλητές, παραμέτρους που λαμβάνουν υπόψη τις χρήσεις ύδατος στη λεκάνη απορροής. Παρόλα αυτά, η βροχόπτωση θεωρείται πως είναι η σημαντικότερη παράμετρος (Oladipo, 1985; Guttman, 1998; Keyantash and Dracup, 2002).

Η τιμή του δείκτη ξηρασίας είναι ένας καθαρός αριθμός, που μπορεί να φανεί περισσότερο χρήσιμος σε σχέση με την ανάλυση της κάθε παραμέτρου χωριστά. Ακόμα και αν ο υπολογισμός των δεικτών είναι περίπλοκος, τα αποτελέσματα θα πρέπει να παρουσιαστούν σε απλή μορφή. Μάλιστα, η δυνατότητα των δεικτών να μπορούν να συνοψίζουν πολλά διαφορετικά και πρωτογενή δεδομένα απεικονίζοντας έτσι μια πιο ξεκάθαρη και ολοκληρωμένη εικόνα του φαινομένου αποτελεί ένα μεγάλο πλεονέκτημα.

Η σωστή εφαρμογή και ερμηνεία των δεικτών μπορεί να ορίσει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε ξεχωριστού επεισοδίου ξηρασίας, ενώ η μελέτη των τιμών ορισμένων δεικτών μπορεί επίσης να δώσει την πιθανότητα εμφάνισης των επεισοδίων ξηρασίας. Όμως, είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι κακή χρήση τους, με τη μη σωστή εφαρμογή των περιορισμών του κάθε δείκτη, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων.

Σημειώνεται ότι μέχρι στιγμής δεν έχει βρεθεί κάποιος δείκτης που να είναι ο βέλτιστος για όλες τις περιοχές και για όλες τις περιπτώσεις. Παρόλα αυτά, ορισμένοι δείκτες παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με άλλους, για συγκεκριμένες καταστάσεις. Για παράδειγμα, ο δείκτης Palmer (Palmer Drought Severity Index) δημιουργήθηκε και εφαρμόστηκε σε μία περιοχή με ομαλό ανάγλυφο στις ΗΠΑ, με σκοπό τον καθορισμό της εμφάνισης ξηρασίας. Σε περιοχές, όμως, όπου το ανάγλυφο είναι έντονο θεωρείται πιο αξιόπιστη η χρήση του δείκτη Palmer σε συνδυασμό με άλλους δείκτες, όπως είναι ο δείκτης SWSI (Surface Water Supply Index), οι οποίοι χρησιμοποιούν παραμέτρους που λαμβάνουν υπόψη τη διαφορετική τοπογραφία κάθε περιοχής. Ακόμα, ανάλογα με το είδος της ξηρασίας επιλέγεται και ο κατάλληλος δείκτης, ενώ μερικοί δείκτες είναι καλύτεροι για ιστορικές αναλύσεις ξηρασιών, ενώ άλλοι είναι προτιμότεροι για την παρακολούθηση ενός επεισοδίου που συμβαίνει εκείνη την περίοδο.

Ιδιότητες ενός «καλού» δείκτη Ξηρασίας

Σύμφωνα με τους Tsakiris and Pangalou (2009) τα βασικά χαρακτηριστικά ενός καλού δείκτη ξηρασίας είναι: α) η απλότητα του δείκτη, δηλαδή να είναι εύχρηστος και κατανοητός, β) να είναι σωστά ορισμένος, δηλαδή επιστημονικά αποδεκτός και να έχει φυσική έννοια, γ) η ευαισθησία, δηλαδή να ανταποκρίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών, δ) η έγκαιρη ανταπόκριση του δείκτη στις κλιματικές διακυμάνσεις, ε) η μεταβιβασιμότητα, δηλαδή να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες περιοχές, στ) η διαθεσιμότητα στοιχείων, δηλαδή να υπάρχει πρόσβαση σε μεγάλου μήκους χρονοσειρές και καλής ποιότητας δεδομένα και ζ) το χαμηλό κόστος επεξεργασίας δεδομένων για την παραγωγή του δείκτη. Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι

μερικές ιδιότητες έρχονται σε σύγκρουση μεταξύ τους. Για παράδειγμα, ένας δείκτης που απαιτεί για τον υπολογισμό του αρκετά είδη δεδομένων, ενδεχομένως να είναι πιο σωστά ορισμένος και επιστημονικά πιο αποδεκτός (ιδιότητα β), αλλά μπορεί να μην είναι διαθέσιμα όλα τα απαιτούμενα στοιχεία (ιδιότητα στ).

Οι Keyantash and Dracup (2002) και Narasimhan and Srinivasan (2005) πρότειναν για απαραίτητες ιδιότητες ενός καλού δείκτη παραπλήσιες με τις παραπάνω, και είναι οι εξής: α) ευρωστία, δηλαδή να είναι ανεξάρτητος περιοχής και χρόνου που υπολογίζεται και άρα να είναι συγκρίσιμος σε διάφορες περιοχές και χρονικές περιόδους, β) η ευκολία υπολογισμού του και η διαθεσιμότητα στοιχείων, γ) η διαφάνεια, δηλαδή να είναι κατανοητός στους πολίτες, δ) η ορθότητα, δηλαδή να είναι επιστημονικά τεκμηριωμένος και να υπάρχει φυσικό αντίκρισμα, ε) η επεκτασιμότητα, δηλαδή να μπορεί να επεκταθεί στο παρελθόν (π.χ. υπάρχουν τα απαραίτητα διαθέσιμα στοιχεία προηγούμενων ετών?) και άρα να μπορούν να γίνουν ιστορικές συγκρίσεις και στ) η διαστατικότητα, δηλαδή η μονάδα μέτρησης του δείκτη να είναι απλή και να έχει νόημα στον κόσμο (πχ mm βροχής, ποσοστό %). Μάλιστα, με βάση αυτές τις 6 ιδιότητες σταθμισμένες, με τις 2 πρώτες να έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα από τις άλλες 4, ο Quiring (2009) συνέκρινε τους εξής 7 δείκτες: Standardised Precipitation Index (SPI), Palmer Drought Severity Index (PDSI), Deciles, Percent of Normal, Z index, EDI και VCI. Το συμπέρασμα που έβγαλε ήταν η υπεροχή των SPI και Deciles έναντι των υπολοίπων.

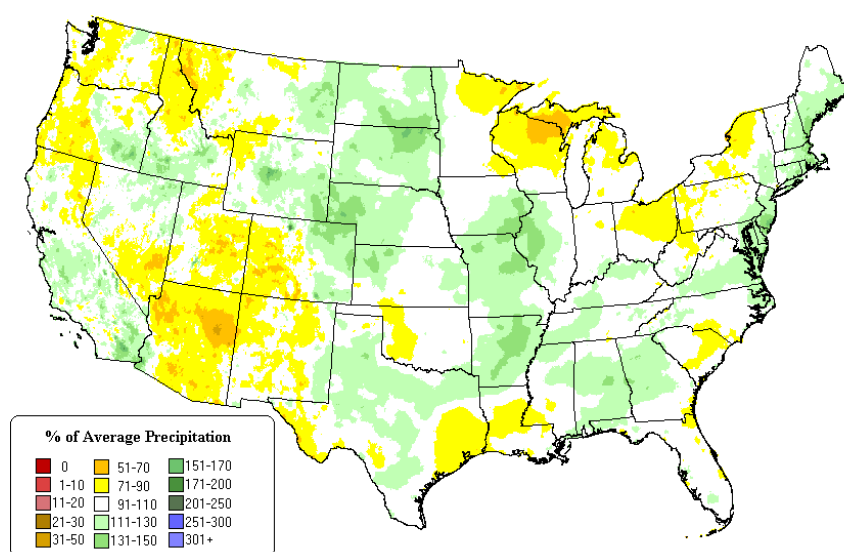
3.4. Συνήθεις Δείκτες Ξηρασίας

Ακολούθως παρουσιάζονται οι κυριότεροι δείκτες ξηρασίας:

Το ποσοστό της μέσης τιμής βροχόπτωσης (Percent of normal)

Το ποσοστό της μέσης τιμής βροχόπτωσης είναι ένας από τους απλούστερους δείκτες ξηρασίας. Σε μία περιοχή υπολογίζεται διαιρώντας την πραγματική τιμή ποσού της βροχόπτωσης δια τη μέση τιμή αυτής-συνήθως η μέση μηνιαία τιμή μιας χρονοσειράς 30 ετών- και πολλαπλασιάζεται επί 100. Ο δείκτης αυτός μπορεί να υπολογιστεί είτε για ένα μήνα είτε για ένα σύνολο μηνών. Συνεπώς, η κανονική βροχόπτωση μιας περιοχής αντιπροσωπεύει το 100%, ενώ τιμές μικρότερες από 100% αντιπροσωπεύουν ξηρές συνθήκες. Το ποσοστό, όμως, της μέσης τιμής βροχόπτωσης εύκολα παρερμηνεύεται εφόσον δίνει διαφορετικές τιμές για διαφορετικές περιοχές και εποχές. Σύμφωνα με τον Hayes (1999) ένα από τα μειονεκτήματα της χρήσης του δείκτη είναι ότι η μέση τιμή δεν είναι ίση με τη διάμεσο του ποσού βροχόπτωσης, δηλαδή με την τιμή η οποία ξεπερνιέται από το 50% των τιμών, αφού η μηνιαία ή η εποχιακή βροχόπτωση δεν παρουσιάζει κανονική κατανομή. Επίσης, ο ίδιος ερευνητής υποστηρίζει ότι εξαιτίας της μεγάλης διακύμανσης των δεδομένων βροχόπτωσης από περιοχή σε περιοχή δεν είναι εφικτή η συσχέτιση των ποσοστών της μέσης τιμής συσχέτισης ανάμεσα σε διαφορετικές περιοχές. Δηλαδή, αυτός ο δείκτης

χρησιμοποιείται αποτελεσματικά στην ανάλυση μιας μόνο περιοχής αλλά και μιας μόνο χρονικής περιόδου.



Σχήμα 3.1: Ποσοστό μέσης βροχόπτωσης Μαΐου 2010 στις Η.Π.Α

Πηγή: <http://www.ocs.oregonstate.edu/prism/index.phtml>

Standardized Precipitation Index (SPI)

Οι McKee et al (1993) ανέπτυξαν το δείκτη SPI ο οποίος υπολογίζεται από τη διαφορά της βροχόπτωσης από τη μέση τιμή για μία ορισμένη χρονική περίοδο διαιρώντας την με την τυπική απόκλιση. Επειδή όμως η βροχόπτωση δεν έχει κανονική κατανομή, γίνεται μία ρύθμιση η οποία επιτρέπει στον δείκτη SPI να έχει κανονική κατανομή. Επομένως, η μέση τιμή του SPI για μία χρονική περίοδο και για συγκεκριμένη περιοχή είναι 0 και η τυπική απόκλιση είναι 1. Αυτή η κανονικοποίηση του δείκτη SPI αποτελεί πλεονέκτημα, έτσι ώστε τα υγρότερα και ξηρότερα τμήματα να μπορούν να αναπαρασταθούν με τον ίδιο τρόπο. Ο δείκτης SPI παρουσιάζεται αναλυτικά στην ακόλουθη ενότητα.

Palmer Drought Severity Index (PDSI)

Ο Palmer Index ή Palmer Drought Index (PDI) ήταν ένα ορόσημο στην ανάπτυξη των δεικτών ξηρασίας (Heim, 2002). Ο PDSI είναι αρκετά δημοφιλής δείκτης και έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε πολλές εφαρμογές στις ΗΠΑ. Είναι περισσότερο αποτελεσματικός στη γεωργική ξηρασία (Willeke et al., 1994). Ο όρος “Palmer Index” αντιπροσωπεύει τους 3 δείκτες PDSI, PHDI και Z Index. Ο Palmer (1965) δημιούργησε το δείκτη Palmer Drought Severity Index (PDSI) με σκοπό τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας. Ο δείκτης PDSI υπολογίζεται με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και το διαθέσιμο νερό του εδάφους (Available Water Content, AWC). Όλοι οι βασικοί όροι της εξίσωσης ισορροπίας του νερού, δηλαδή η εξατμισοδιαπνοή, η απορροή, η επαναφορά του εδάφους σε κανονικές συνθήκες υγρασίας (soil recharge) και η απώλεια υγρασίας από το επιφανειακό στρώμα εδάφους είναι δυνατόν

να υπολογιστούν αν είναι γνωστά τα παραπάνω δεδομένα. Αντίθετα, η ανθρώπινη επίδραση (π.χ. άρδευση) πάνω στην ισορροπία του νερού δεν υπολογίζεται. Η χρησιμοποίηση των κανονικοποιημένων τιμών του δείκτη επιτρέπει να γίνονται συγκρίσεις ανάμεσα σε διαφορετικές περιοχές και σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (Hayes, 1999). Αυτός ο δείκτης σχεδιάστηκε κυρίως για την αντιμετώπιση της ξηρασίας σε ημι-άνυδρες και ξηρές περιοχές όπου η βροχόπτωση είναι η μοναδική ή η κύρια πηγή υγρασίας (Doesken et al. 1991). Ο ίδιος ο Palmer επεσήμανε ότι η εφαρμογή του δείκτη σε διαφορετικά κλίματα μπορεί να οδηγήσει σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα (Palmer, 1965).

Ο PDSI είναι ένας μετεωρολογικός δείκτης ξηρασίας, που εκφράζει τη διάρκεια ενός ξηρού ή υγρού επεισοδίου. Ο Palmer (1965) δημιούργησε κάποια κριτήρια που καθορίζουν την αρχή και το τέλος κάθε επεισοδίου ξηρασίας ή κάθε υγρής περιόδου. Επίσης, ο PDSI έχει μετατραπεί σε υδρολογικό δείκτη, που μπορεί να εντοπιστεί ως PHDI (Karl and Knight, 1985; NOAA, 2003). Ο Palmer Hydrological Drought Severity Index (PHDI) έχει παρόμοια συμπεριφορά με τον PDSI με τις εξής 2 διαφορές: 1) Ο PHDI έχει πιο αυστηρά κριτήρια όσον αφορά την εξάλειψη ενός ξηρού ή υγρού επεισοδίου (Tsakiris and Pangalou, 2009) και 2) ο PHDI μπορεί να υπολογιστεί κατά τη διάρκεια του επεισοδίου ενώ ο PDSI μόνο μετά το τέλος του (Alley, 1984).

Επιπλέον, ο Z Index, άλλη μια παραλλαγή Palmer Index, είναι η εκτίμηση της ξηρασίας για ένα μόνο μήνα (Guttman, 1998) και πιο ειδικά, η σύγκριση της παρατηρούμενης υγρασίας με τις κανονικές (μέσες) συνθήκες (Heim, 2002). Η βασική διαφορά μεταξύ του Z Index και του PDSI είναι ότι, σε αντίθεση με τον PDSI, ο Z Index δε λαμβάνει υπόψη τους προηγούμενους μήνες και για αυτό η τιμή του αλλάζει δραματικά από μήνα σε μήνα.

Ο Palmer υιοθέτησε την ταξινόμηση που φαίνεται στον Πίνακα 3.1 για τις τιμές του δείκτη PDSI, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ -4.0 και 4.0 . Οι παραπάνω τιμές βρίσκουν εφαρμογή σε πολλές περιοχές της Αμερικής (Alley, 1984; Willeke et al., 1994). Ο δείκτης Palmer έδωσε, επίσης, ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ελληνική περιοχή (Dalezios et al., 1991; Dalezios et al., 2000; Loukas et al., 2000).

Κατάταξη των επεισοδίων βροχόπτωσης σε ξηρά και υγρά σύμφωνα με το δείκτη PDSI

| Τιμές του δείκτη PDSI | Χαρακτηρισμός περιόδου |
|-----------------------|------------------------|
| >4.00 | Εξαιρετικά υγρή |
| 3.00-3.99 | Πολύ υγρή |
| 2.00-2.99 | Μέτρια υγρή |
| 1.00-1.99 | Ελαφρά υγρή |
| 0.50-0.99 | Αρχή υγρής περιόδου |
| 0.49-(-0.49) | Κανονική περίοδος |
| (-0.50)-(-0.99) | Αρχή ξηρής περιόδου |
| (-1.00)-(-1.99) | Ελαφρά ξηρή |
| (-2.00)-(-2.99) | Μέτρια ξηρή |
| (-3.00)-(-3.99) | Πολύ ξηρή |
| < -4.00 | Εξαιρετικά ξηρή |

Πίνακας 3.1: Κατάταξη των επεισοδίων βροχόπτωσης σε ξηρά και υγρά σύμφωνα με το δείκτη PDSI

Πηγή: Αναγνωστοπούλου (2003).

Σύμφωνα με τον Alley (1984), τρία είναι τα βασικά πλεονεκτήματα της εφαρμογής του δείκτη:

- Αποτελεί ένα είδος μέτρου της μη κανονικότητας του καιρού σε μία περιοχή,
- Παρουσιάζει τη χωροχρονική κατανομή των επεισοδίων ξηρασίας,
- Δίνει τη δυνατότητα να μελετηθούν σημερινές συνθήκες (ξηρές ή υγρές περίοδοι) με μία ιστορική προοπτική.

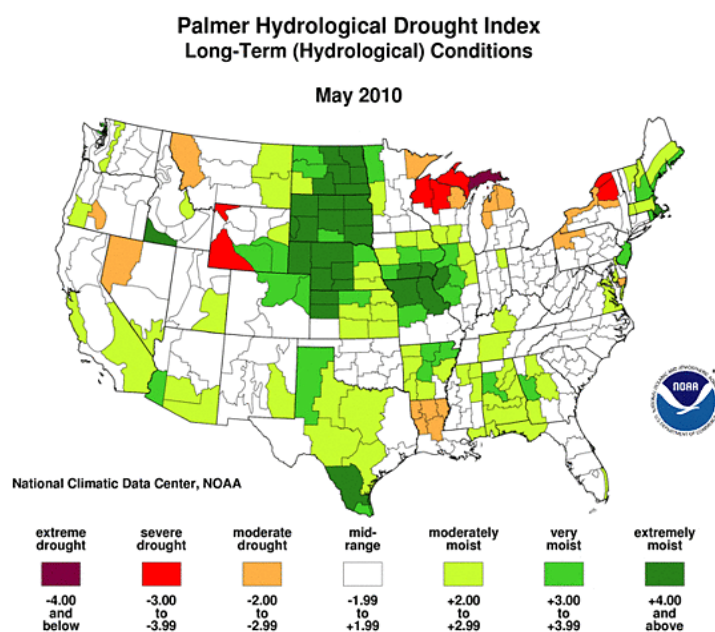
Υπάρχουν όμως και σημαντικά μειονεκτήματα που παρουσιάζονται στη χρήση του δείκτη Palmer (Alley 1984, Karl and Knight 1985, Hayes, 1999). Αυτά είναι:

- Ο ποσοτικός προσδιορισμός της έντασης ενός επεισοδίου ξηρασίας.
- Η σηματοδότηση της έναρξης και του τέλους μιας ξηρής ή υγρής ακολουθίας έχει γίνει αυθαίρετα, βασισμένος σε δεδομένα και αναλύσεις βροχόπτωσης σε δύο συγκεκριμένες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής.
- Ο δείκτης Palmer εμφανίζει ευαισθησία στη τιμή του διαθέσιμου νερού (Available Water Content, AWC) ανάλογα με το τύπο του εδάφους. Έτσι η εφαρμογή του δείκτη σε περιοχές, όπου το διαθέσιμο νερό του εδάφους διαφέρει, μπορεί να παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα.
- Τα δύο στρώματα εδάφους, για τα οποία γίνεται ο υπολογισμός του ισοζυγίου του ύδατος μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά σε μια διαφορετική περιοχή μελέτης.
- Ο δείκτης δεν λαμβάνει υπόψη περιπτώσεις χιονόπτωσης, χιονοκάλυψης και παγωμένου εδάφους. Ως υετός θεωρείται μόνο το ποσό της βροχόπτωσης που πέφτει, με αποτέλεσμα οι τιμές του PDSI να είναι ανακριβείς κατά τους χειμωνιάτικους και εαρινούς μήνες μιας περιοχής, όπου καταγράφονται συχνά χιονοπτώσεις.

- Επίσης, δεν υπολογίζεται η φυσική υστέρηση μεταξύ της βροχόπτωσης και της αντίστοιχης απορροής. Το γεγονός ότι θα πρέπει πρώτα να ικανοποιηθεί η ικανότητα κατακράτησης του εδάφους και των υπογείων στρωμάτων του εδάφους οδηγεί σε μία υποεκτίμηση της επιφανειακής απορροής.
- Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο Thornthwaite (Thornthwaite 1948; Thornthwaite and Mather 1957). Η μέθοδος αυτή παρά το γεγονός της μεγάλης αποδοχής που παρουσιάζει, αποτελεί μία απλή προσέγγιση του φαινομένου. Σήμερα έχουν προταθεί άλλες μέθοδοι που δίνουν σαφώς καλύτερα αποτελέσματα.

Σύμφωνα με τον Hayes (1999) τα τελευταία χρόνια υπάρχουν πολλές εργασίες που προσθέτουν και άλλους περιορισμούς στη λίστα των μειονεκτημάτων του δείκτη Palmer. Πιο συγκεκριμένα οι McKee et al. (1995) υποστηρίζουν ότι ο δείκτης Palmer, επειδή αρχικά δημιουργήθηκε για να εφαρμοστεί στην γεωργία, δεν μπορεί να παρουσιάσει με μεγάλη ακρίβεια την επίδραση της ξηρασίας πάνω στην υδρολογία μιας περιοχής σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Ο Kogan (1995) δέχεται ότι ο δείκτης Palmer, επειδή δημιουργήθηκε για συγκεκριμένες περιοχές της Αμερικής, δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε περιοχές με διαφορετική τοπογραφία. Επίσης, οι Smith et al., (1992) υποστηρίζουν ότι ο δείκτης Palmer δεν δίνει καλά αποτελέσματα σε περιοχές όπου παρατηρούνται ακραίες διακυμάνσεις της βροχόπτωσης και της απορροής.

Πάντως, παρά τους περιορισμούς και τα μειονεκτήματα, ο δείκτης Palmer έχει χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της ξηρασίας και τη λήψη κατάλληλων μέτρων για δεκαετίες και για αυτό θεωρείται αρκετά οικείος στην επιστημονική κοινότητα.



Σχήμα 3.2: PDSI Μάιου 2010 στις Η.Π.Α

Πηγή: <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/prelim/drought/phdiimage.html>.

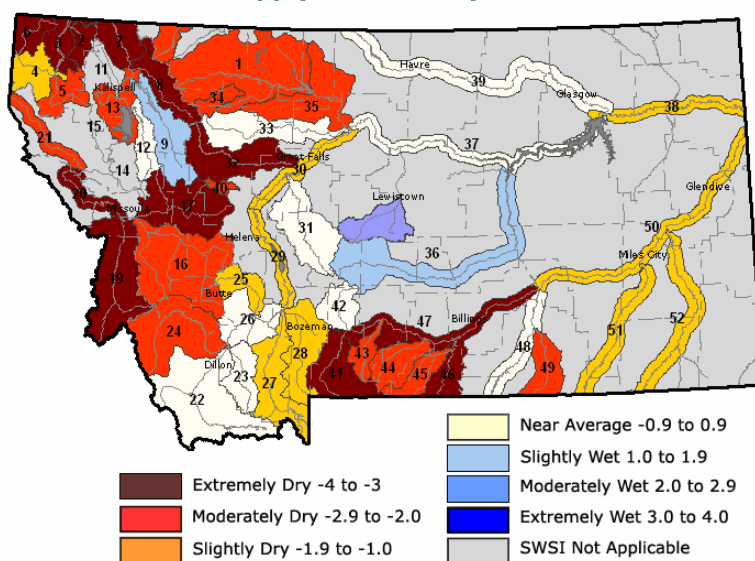
Surface Water Supply Index (SWSI)

Ο δείκτης παροχής επιφανειακού νερού (**SWSI**) δημιουργήθηκε από τους Shafer and Dezman (1982) ώστε να συμπληρώνει το δείκτη Palmer για τις υγρές συνθήκες (ποσότητα του χιονιού και την αντίστοιχη απορροή) και για περιοχές με έντονη τοπογραφία. Ο δείκτης SWSI αποτελεί ένα είδος μέτρου του επιφανειακού νερού και εξαρτάται από το νερό που απορρέει από τα βουνά, όπου το χιόνι παίζει σημαντικό ρόλο.

Τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του δείκτη (SWSI) είναι: το πάχος του στρώματος χιονιού, η παροχή, η βροχόπτωση και το πλεόνασμα νερού (απόθεμα), τα οποία εναλλάσσονται ανάλογα με την χρονική περίοδο μελέτης. Για παράδειγμα, για τον χειμώνα, ο δείκτης SWSI υπολογίζεται βάση του ύψους του χιονιού, της βροχόπτωσης και του πλεονάσματος, ενώ για το καλοκαίρι, το ύψος του χιονιού αντικαθιστάται από την παροχή. Όπως και ο δείκτης Palmer, οι τιμές του δείκτη SWSI κυμαίνονται από -4.0 έως $+4.0$ με μέση τιμή το μηδέν.

Στη μελέτη του ο Hayes (1999) καταγράφει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του δείκτη SWSI. Ειδικότερα, ως πλεονεκτήματα του δείκτη αναφέρονται πρώτον ο εύκολος υπολογισμός του και δεύτερον ότι δίνει αντιπροσωπευτικές μετρήσεις της παροχής του επιφανειακού νερού σε όλο το εύρος της περιοχής μελέτης. Τα μειονεκτήματα στην εφαρμογή του δείκτη SWSI είναι τόσο η μη συνεχής ροή δεδομένων από κάποιους σταθμούς, όσο και η παρουσία ενός νέου σταθμού στη λεκάνη απορροής. Μειονεκτήματα που έχουν ως αποτέλεσμα τον καθορισμό νέων συντελεστών με βάση τις καινούργιες κατανομές συχνότητας. Ένα πολύ βασικό μειονέκτημα είναι η δυσκολία σύγκρισης μεταξύ 2 λεκανών απορροής ή περιοχών, καθώς ο τρόπος υπολογισμού του SWSI για κάθε λεκάνη είναι μοναδικός. Ακόμη, κάποιες αλλαγές στη διεύθυνση του νερού μέσα στη λεκάνη απορροής, όπως είναι οι εκτροπές ή καινούργιες δεξαμενές νερού, απαιτούν την επαναδημιουργία του αλγορίθμου του δείκτη SWSI, έτσι ώστε να υπολογίζονται καινούργιες τιμές για κάθε συντελεστή. Τέλος, τα ακραία φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στον υπολογισμό του δείκτη SWSI. Αν ένα ακραίο επεισόδιο παρουσιάσει τιμές μικρότερες από αυτές της χρονοσειράς των δεδομένων τότε ο δείκτης πρέπει να υπολογιστεί εκ νέου συμπεριλαμβάνοντας τις νέες τιμές στην κατανομή συχνοτήτων στη λεκάνη.

Surface Water Supply Index - May 2010



Σχήμα 3.3: Δείκτης SWSI στην πολιτεία Μοντάνα των Η.Π.Α. για το Μάιο 2010

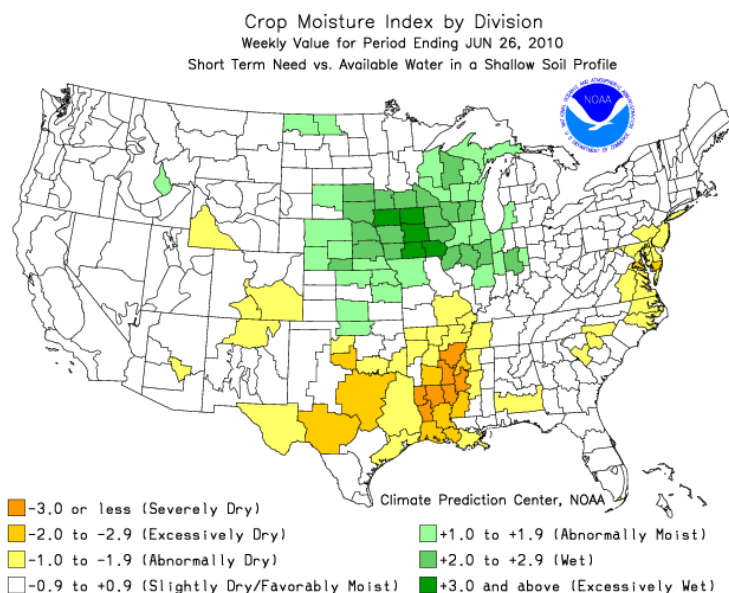
Πηγή: <http://nrms.mt.gov/wis/SWSInteractive/SWSI-App.asp?month=5&year=2010>

Δείκτης Υγρασίας Σοδειάς (CMI-Crop Moisture Index)

Μια άλλη μορφή του δείκτη Palmer αποτελεί ο δείκτης Υγρασίας Σοδειάς (CMI), που έχει ως στόχο να ανιχνεύσει την κατάσταση υγρασίας μιας σοδειάς από εβδομάδα σε εβδομάδα, με μετεωρολογική προσέγγιση (Hayes, 1999). Ο δημιουργός του δείκτη αυτού είναι και πάλι ο Palmer (1968) και η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι σχεδόν η ίδια με αυτή του δείκτη PDSI. Ο δείκτης PDSI εντοπίζει μεγάλης διάρκειας υγρές και ξηρές ακολουθίες, ενώ αντίθετα ο δείκτης CMI σχεδιάστηκε για να εκτιμά μικρής διάρκειας καταστάσεις ξηρασίας κυρίως για αγροτικές περιοχές. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται βάσει των μέσων θερμοκρασιών και του ποσού βροχόπτωσης για κάθε εβδομάδα καθώς επίσης και βάσει της τιμής του δείκτη CMI της προηγούμενης εβδομάδας. Ο δείκτης CMI αντιδρά άμεσα στις διάφορες αλλαγές των καιρικών συνθηκών και επειδή έχει διορθωθεί στο χώρο και στο χρόνο μπορεί να συγκρίνει συνθήκες υγρασίας διαφορετικών περιοχών.

Επειδή ο δείκτης αυτός σχεδιάστηκε για να εντοπίζει μικρής διάρκειας καταστάσεις υγρασίας σε μια αναπτυσσόμενη σοδειά, ο δείκτης CMI δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο εντοπισμού μεγάλης διάρκειας ξηρασίας (Hayes, 1999). Η άμεση αντίδραση του δείκτη CMI στις αλλαγές μικρής κλίμακας μπορεί να δώσει λανθασμένα συμπεράσματα σε συνθήκες μεγάλης κλίμακας. Για παράδειγμα, μία ευεργετική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια μιας ξηρής ακολουθίας μπορεί να κάνει το δείκτη CMI να δώσει ικανοποιητική κατάσταση υγρασίας, ενώ στην πραγματικότητα η ξηρασία συνεχίζει να υφίσταται στην περιοχή. Ένας άλλος λόγος που ο δείκτης CMI δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό μεγάλης κλίμακας ξηρασίας είναι ότι αυτός ξεκινά και τελειώνει κάθε νέα καλλιεργητική περίοδο με την τιμή μηδέν. Αυτοί οι περιορισμοί εμποδίζουν το δείκτη CMI να χρησιμοποιηθεί στον εντοπισμό υδρομετρικών καταστάσεων εκτός από την περίοδο ανάπτυξης των φυτών, και ιδιαίτερα των ξηρών

ακολουθιών που εκτείνονται για αρκετά χρόνια. Θα πρέπει, λοιπόν, οι χρήστες του δείκτη CMI να γνωρίζουν καλά πότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πως να ερμηνεύονται κάθε φορά τα αποτελέσματα του. Για παράδειγμα, ο δείκτης CMI δεν μπορεί να εφαρμοστεί κατά την διάρκεια της βλάστησης του σπόρου ή στην αρχή της περιόδου ανάπτυξης των φυτών. Συνοψίζοντας, ο CMI σχεδιάστηκε κυρίως σαν ένας **δείκτης της γεωργικής ξηρασίας** και είναι περισσότερο αποτελεσματικός τις θερμές περιόδους (Heim, 2002).



Σχήμα 3.4: Δείκτης CMI στις Η.Π.Α. για τον Ιούνιο 2010

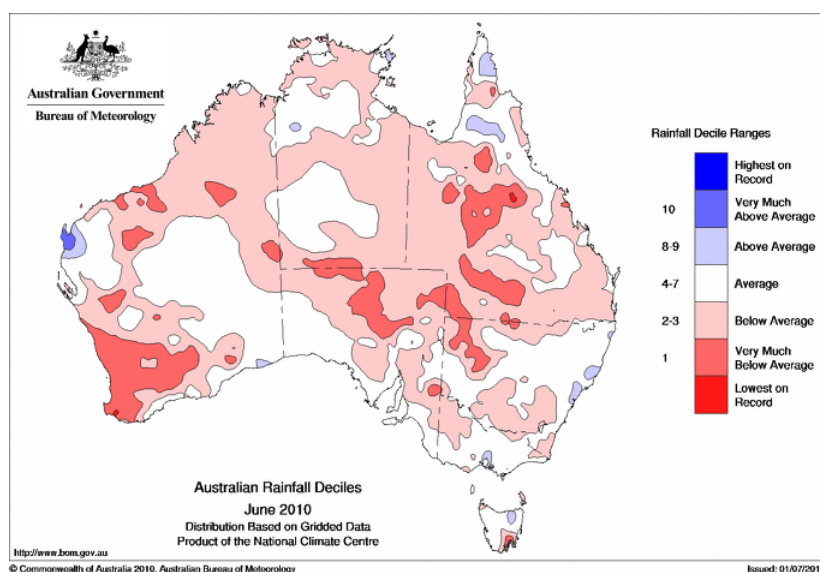
Πηγή: http://www.cpc.noaa.gov/products/monitoring_and_data/drought.shtml

Deciles

Μια άλλη τεχνική εκτίμησης ξηρασίας είναι η διευθέτηση των τιμών βροχόπτωσης μιας χρονοσειράς σε δέκατα (deciles). Αυτός ο δείκτης δημιουργήθηκε από τους Gibbs and Maher (1967) για να αποφύγουν κάποιες αδυναμίες του Percent of Normal, ενώ, όπως και ο Percent of Normal, μπορεί να υπολογιστεί για διάφορες χρονικές κλίμακες. Κατά τα Deciles (που συναντιούνται και ως Percentiles αν αντί για δέκατα έχουμε άλλο ποσοστό) η κατανομή των περιστατικών της βροχόπτωσης για μακρά σειρά ετών διαιρείται σε δέκα μέρη, που το καθένα ονομάζεται decile (δέκατο). Το 1^ο decile είναι το ποσό βροχόπτωσης που δεν ξεπερνιέται από το χαμηλότερο 10% των περιστατικών. Το 2^ο decile είναι το ποσό βροχόπτωσης που δεν ξεπερνιέται από το χαμηλότερο 20% των περιστατικών. Τα deciles συνεχίζονται μέχρι να ταυτιστεί το 10^ο decile με το μεγαλύτερο καταγεγραμμένο ποσό βροχόπτωσης της χρονοσειράς. Εξ' ορισμού, το 5^ο decile είναι η διάμεσος του δείγματος, δηλαδή είναι το ποσό βροχόπτωσης που δεν ξεπερνιέται από το 50% των τιμών της χρονοσειράς. Τα deciles χωρίζονται στις εξής 5 κατηγορίες:

| Κατηγορίες deciles | | |
|-----------------------------------|-------|---------------------------|
| Deciles χαμηλότερο 20% | 1-2: | Πολύ κάτω από το κανονικό |
| Deciles επόμενο χαμηλότερο 20% | 3-4: | Κάτω από το κανονικό |
| Deciles μεσαίο 20% | 5-6: | Κοντά στο κανονικό |
| Deciles επόμενο υψηλότερο 20% | 7-8: | Πάνω από το κανονικό |
| Deciles υψηλότερο 20% | 9-10: | Πολύ πάνω από το κανονικό |

Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται αρκετά συχνά στην Αυστραλία. Μάλιστα, επιλέχθηκε ως μετεωρολογικός δείκτης ξηρασίας για το Εθνικό Σύστημα Παρακολούθησης της Ξηρασίας στην Αυστραλία (Australian Drought Watch System), διότι υπολογίζεται σχετικά εύκολα και απαιτεί λιγότερα στοιχεία και προϋποθέσεις από ότι ο Palmer Drought Severity Index (Smith et al., 1993). Αυτή η κανονικοποίηση σε κατηγορίες ξηρασίας (deciles), σε αντίθεση με ένα σύστημα βασισμένο στον Percent of Normal, έχει βοηθήσει τις Αυστραλιανές αρχές στη λήψη κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης. Τέλος, βασικά πλεονεκτήματα των Deciles είναι ότι παρέχουν μια ακριβή στατιστική μέτρηση της βροχοπτώσης και υπολογίζονται εύκολα, ενώ σημαντικό μειονέκτημα είναι, όπως και στον Percent of Normal, η απαίτηση μακροχρόνιων δεδομένων -τουλάχιστον 30 ετών- ώστε να ο δείκτης είναι αξιόπιστος.



Σχήμα 3.5: Δείκτης Deciles στην Αυστραλία για τον Ιούνιο του 2010

Πηγή: http://www.weatherzone.com.au/httpdata_r/images/climate/clim_rain_decile_austr_mth.gif

Στον ακόλουθο πίνακα αναφέρονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των κυριότερων δεικτών ξηρασίας:

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

Πίνακας 3.2: Συνοπτικά χαρακτηριστικά των κυριότερων δεικτών ξηρασίας

Πηγή: Ε.Ε., MEDAWater, MEDROPLAN (2006)

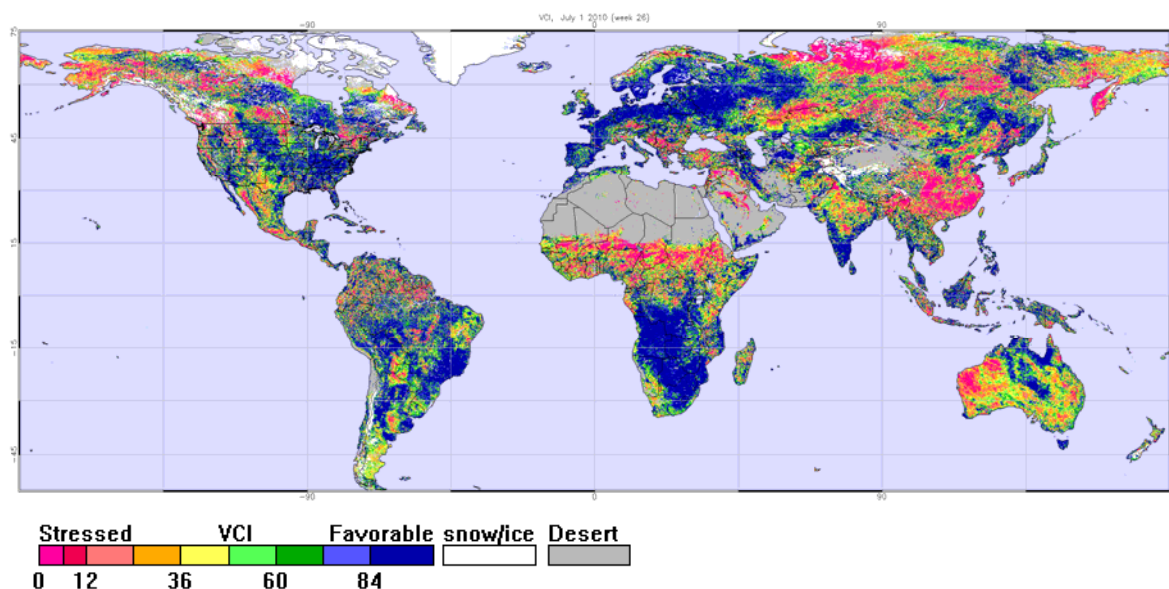
Άλλοι δείκτες ξηρασίας

Εκτός από τους παραπάνω δείκτες, αξίζει να αναφερθούν και οι εξής:

Ο **EDI** (Effective Drought Index) δημιουργήθηκε για να ξεπεράσει δυσκολίες που έχουν κάποιοι δείκτες στην αναγνώριση της έναρξης και της λήξης ενός επεισοδίου ξηρασίας και συνεπώς, στον υπολογισμό της διάρκειας του επεισοδίου (Byun and Wilhite, 1999). Ο EDI υπολογίζεται σε ημερήσιο βήμα, παίρνει τιμές από -2,5 ως 2,5 και, επειδή είναι κανονικοποιημένες, είναι δυνατή η σύγκριση διαφορετικών περιοχών (Quiring, 2009).

Ο **VCI** (Vegetation Condition Index) αναπτύχθηκε από τον Kogan (1995) για την εκτίμηση της κατάστασης της βλάστησης ελέγχοντας τυχόν διαφοροποιήσεις στην παραγωγικότητα του τοπικού οικοσυστήματος. Υπολογίζεται μέσω δορυφόρου, χρησιμοποιώντας ραδιομετρητές πολύ υψηλής ανάλυσης (Advanced Very High Resolution Radiometer-AVHRR) που, με τη βοήθεια υπέρυθρης ακτινοβολίας επεξεργάζονται κλιματικά και περιβαλλοντικά δεδομένα, καθώς και δεδομένα ανάπτυξης των φυτών. Ο VCI μπορεί να ανιχνεύσει την ένταση και τη

διάρκεια ενός επεισοδίου ξηρασίας, αλλά επειδή βασίζεται σε δεδομένα βλάστησης, έχει περιορισμένη αποτελεσματικότητα την κρύα περίοδο, όταν δηλαδή δεν υπάρχει ανάπτυξη φυτών.



Σχήμα 3.6: Δείκτης VCI (Παγκόσμιος) για τον Ιούνιο 2010 (εβδομάδα 26η)

Πηγή: http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php

Ο **BMDI** (Bhalme – Mooley Drought Index) δημιουργήθηκε από τους Bhalme and Mooley (1980) και παρέχει μια καλή εκτίμηση τρεχόντων επεισοδίων ξηρασίας που είναι αποτελέσματα μικρών ξηρών περιόδων. Υπολογίζεται εύκολα καθώς δεν περιλαμβάνει όρους όπως εξατμισοδιαπνοή ή χωρητικότητα υγρασίας εδάφους, που δύσκολα εκτιμώνται. Αντίθετα, βασίζεται μόνο σε δεδομένα μηνιαίας βροχόπτωσης (Tsakiris and Pangalou, 2009).

Ο **RI** (National Rainfall Index- Εθνικός Δείκτης Βροχόπτωσης) δημιουργήθηκε από τους Gommes and Petrassi (1994) για να συγκρίνει τιμές βροχόπτωσης με έντονη διακύμανση σε ηπειρωτική κλίμακα στην Αφρική (Hayes, 1999). Για κάθε χώρα υπολογίστηκε ο δείκτης βασιζόμενος στην ετήσια μέση βροχόπτωση της κάθε χώρας διορθωμένη σύμφωνα με τη μέση τιμή των βροχοπτώσεων μεγάλης χρονοσειράς για κάθε σταθμό χωριστά. Οι Gommes and Petrassi υποστηρίζουν ότι ο δείκτης βροχόπτωσης (RI) συνδυάζεται ικανοποιητικά με την εθνική παραγωγή αγροτικών προϊόντων στην Αφρική.

Έτσι, αν ο δείκτης έχει σαν σκοπό να συνδυάσει τη βροχόπτωση με την ανάπτυξη των φυτών, τότε ο δείκτης βροχόπτωσης (RI) μπορεί να δώσει χρήσιμα αποτελέσματα. Στην περίπτωση όμως που ο δείκτης χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό υδρολογικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων ενός επεισοδίου ξηρασίας τότε τα αποτελέσματά του είναι χωρίς σημασία.

Ο **CZI** (China-Z Index) είναι ένας δείκτης ξηρασίας που δημιουργήθηκε στην Κίνα στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και χρησιμοποιείται από το National Meteorological Centre of China

(NMCC) (Wu et al., 2001) σαν βασικό εργαλείο για την παρακολούθηση ξηρασιών και πλημμύρων. Χρησιμοποιεί μόνο δεδομένα βροχόπτωσης, υπολογίζεται και αυτός σε διάφορες χρονικές κλίμακες (π.χ. 1-, 3-, 6-, 9-, 12-μηνιαίες κλίμακες), ενώ η συμπεριφορά του είναι αρκετά όμοια με αυτή του SPI. Βασικά του πλεονεκτήματα έναντι του SPI και άλλων δεικτών είναι ο απλούστερος υπολογισμός του και η ευελιξία του σε περίπτωση απουσίας μερικών δεδομένων (Wu et al, 2001).

Ο **ADI** (Aggregated Drought Index) δημιουργήθηκε από τους Keyantash and Dracup (2004). Προσπαθώντας να διατηρήσουν μια στενή σχέση μεταξύ της ξηρασίας και των βασικών στοιχείων του υδρολογικού κύκλου, εισήγαγαν στο δείκτη 6 μεταβλητές: βροχόπτωση, απορροή, όγκος αποθηκευμένου νερού, εδαφική υγρασία, χιόνι και δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Χρησιμοποιείται κυρίως στην Αυστραλία και βασικό του πλεονέκτημα θεωρείται ότι αντιμετωπίζει την ξηρασία από μια πιο ευρεία προοπτική, πέρα από τις παραδοσιακές κατηγοριοποιήσεις (μετεωρολογική, υδρολογική, γεωργική ξηρασία) (Barua et al, 2009).

Ακόμη, υπάρχουν 2 διαφορετικοί δείκτες με παρόμοιο όνομα:

Ο **RDI** (Reclamation Drought Index) δημιουργήθηκε από το Bureau of Reclamation των ΗΠΑ (1988) για την αρωγή βοήθειας σε διάφορες πολιτείες σε περιόδους ξηρασίας. Μοιάζει με τον SWSI, καθώς υπολογίζεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής και ενσωματώνει στοιχεία βροχόπτωσης, χιονιού, απορροών, στάθμων ταμιευτήρων. Διαφέρει στο ότι απαιτεί επιπλέον δεδομένα θερμοκρασίας (Hayes, 1999). Μειονέκτημά του είναι η αδυναμία σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών λεκανών, αφού ο δείκτης είναι μοναδικός για καθεμία.

Ο **RDI** (Reconnaissance Drought Index) δημιουργήθηκε από τον Tsakiris (2004) και βασίζεται στην αναλογία μεταξύ των αθροιστικών ποσοτήτων της βροχόπτωσης και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Μπορεί να υπολογιστεί και αυτός για διάφορες χρονικές κλίμακες, ενώ η κανονικοποιημένη του μορφή έχει παρόμοια συμπεριφορά με τον SPI. Σημαντικό πλεονέκτημα θεωρείται η ενσωμάτωση και θερμοκρασιακών δεδομένων, ιδίως για περιοχές όπου αναμένονται έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές λόγω κλιματικής αλλαγής (Tsakiris et al., 2007).

3.5. Ο ρόλος των Δεικτών στη Διαχείριση της Ξηρασίας

Οι δείκτες ξηρασίας είναι απαραίτητα στοιχεία για τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή της ξηρασίας, καθώς συνοψίζουν την περίπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ κλιματικών μεταβλητών και σχετικών διεργασιών. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι οι δείκτες ξηρασίας δεν είναι ο σκοπός, αλλά το μέσο με το οποίο γίνεται προσπάθεια ανάλυσης της ξηρασίας. Η διαχείριση της ξηρασίας εξαρτάται από δείκτες που εντοπίζουν τις συνθήκες ξηρασίας και

όρια που ενεργοποιούν την απόκριση στην ξηρασία. Οι δείκτες και τα όρια είναι σημαντικοί στον εντοπισμό της έναρξης των συνθηκών ξηρασίας, στη συνεχή καταγραφή και εκτίμηση των γεγονότων ξηρασίας και στην ποσοτικοποίηση του κινδύνου. Ακόμη, απλοποιούν τις κλιματικές πληροφορίες ώστε να είναι κατανοητές στον κόσμο. Μερικοί μπορεί να χρησιμοποιηθούν για προβλέψεις της πιθανής εξέλιξης μιας ήδη υπάρχουσας ξηρασίας χρησιμοποιώντας στοχαστικά μοντέλα, ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για τη σωστή διαχείριση των υδάτινων πόρων. Για αυτό το σκοπό έχουν χρησιμοποιηθεί ο Palmer Index (Karl et al., 1986; Cancelliere et al., 1996; Lohani et al., 1998) αλλά και ο SPI (Cancelliere, Mauro, Bonaccorso and Rossi, 2007).

Ο παρών κοινός προσανατολισμός συνίσταται στην εφαρμογή μιας ομάδας διαφορετικών δεικτών σε ένα σύστημα συνεχούς παρακολούθησης και καταγραφής των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών και της διαθεσιμότητας των υδατικών πόρων, που θα παρέχεται από «κέντρα συνεχούς παρακολούθησης και καταγραφής». Ο κύριος σκοπός τους θα είναι η υποστήριξη των αποφασιζόντων για την έγκαιρη διαπίστωση της έναρξης της ξηρασίας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας τέτοιας προσπάθειας είναι το εργαλείο-προϊόν Drought Monitor (DM) που δημιουργήθηκε στις ΗΠΑ το 2000 με τη συνεργασία των National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), U.S. Department of Agricultural (USDA) και το National Drought Mitigation Center (Svoboda, 2000). Χρησιμοποιώντας δείκτες όπως οι PDI, CMI, satellite-based Vegetation Health Index, SWSI, SPI αλλά και δεδομένα όπως στάθμες επιφανειακών και υπόγειων νερών, εδαφική υγρασία και άλλα, το DM επιχειρεί να εκτιμήσει την ξηρασία χρησιμοποιώντας όλους τους διαθέσιμους δείκτες και δεδομένα, ενσωματώνοντάς τα σε ένα προϊόν που θα είναι εύχρηστο σε κάθε αρμόδιο χρήστη (Heim, 2002). Παρόμοια προσπάθεια έχουμε και στην Ιταλία, όπου το Department of Italian National Technical Services σχεδιάζει να εφαρμόσει ένα εργαλείο παρακολούθησης ξηρασίας (Drought Monitor) το οποίο πρόκειται να χρησιμοποιεί τους Percent of Normal, SPI, Deciles και Palmer Index (Bordi, Frigio, Parenti, Speranza and Sutera, 2001)

3.6. Αδυναμίες Δεικτών Ξηρασίας

Όπως είναι φυσικό, οι δείκτες παρουσιάζουν κάποιες αδυναμίες που δε θα πρέπει να αγνοήσουμε. Οι πιο κοινές είναι οι εξής:

- Οι περισσότεροι δείκτες είναι προϊόντα στατιστικής επεξεργασίας και μαθηματικών, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η δυνατότητά τους να περιγράψουν πολύπλοκες φυσικές διεργασίες, όπως αυτή της ξηρασίας.
- Οι περισσότεροι δείκτες δεν μπορούν να υπολογίσουν με ακρίβεια την έναρξη, τη λήξη και τη συνολική ένταση ενός επεισοδίου ξηρασίας.
- Δεν λαμβάνουν υπόψη τις συνέπειες της απορροής και της εξατμισοδιαπνοής, που εξελίσσονται διαρκώς.

- Έχουν περιορισμένη αποτελεσματικότητα στην παρακολούθηση μιας εξελισσόμενης ξηρασίας διότι το βήμα τους είναι μηνιαίο.
- Οι πιο πολλοί δείκτες αδυνατούν να διαφοροποιήσουν τις επιπτώσεις μιας ξηρασίας στους επιφανειακούς και στους υπόγειους υδατικούς πόρους.

Αυτές οι αδυναμίες αναλύθηκαν από τους Byun and Wilhite (1999), οι οποίοι πρότειναν τη δημιουργία νέων δεικτών με ημερήσιο αντί για μηνιαίο βήμα και λαμβάνοντας υπόψη την ενεργή βροχόπτωση.

3.7. Ο δείκτης SPI (Standardized Precipitation Index)

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα η δυνατότητα των δεικτών να ενσωματώνουν πολλά και διαφορετικά δεδομένα, όπως ύψη βροχής (η σημαντικότερη παράμετρος), πάχος του στρώματος του χιονιού, αποθέματα του νερού στο έδαφος, θερμοκρασία, εξατμισοδιαπνοή κ.ά., τους επιτρέπει να απεικονίζουν μια πιο ξεκάθαρη και ολοκληρωμένη εικόνα του φαινομένου της ξηρασίας. Πιο συγκεκριμένα, μπορούν και παρουσιάζουν μία απλή και ποιοτική ανάλυση των κύριων χαρακτηριστικών της, ενώ χρησιμοποιούνται για προβλέψεις, έγκαιρη καταγραφή και για χρονικές και χωρικές συγκρίσεις. Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι χρήση τους χωρίς τη σωστή εφαρμογή των περιορισμών του κάθε δείκτη μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εξαγωγή λανθασμένων συμπερασμάτων.

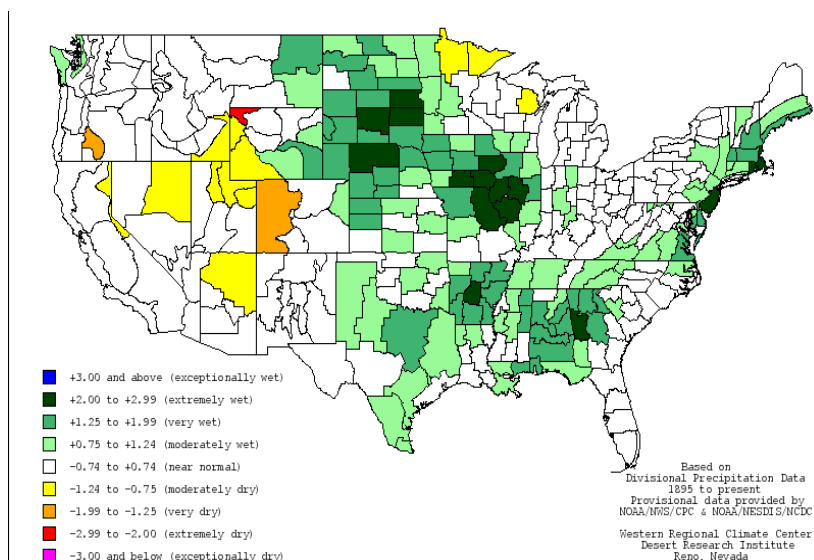
Ένας δείκτης ξηρασίας που κερδίζει συνεχώς την εκτίμηση της επιστημονικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια είναι ο Standardized Precipitation Index ή SPI. Ο SPI διαφέρει από τους περισσότερους δείκτες, διότι μπορεί και αναγνωρίζει τα διάφορα επεισόδια ξηρασίας έγκαιρα, ενώ μπορεί να υπολογιστεί για διαφορετικά χρονικά κατώφλια δίνοντας σε κάθε περίπτωση ανάλογα αποτελέσματα. Έχει προταθεί με σκοπό τον πιο εύκολο εντοπισμό και την συστηματικότερη καταγραφή των επεισοδίων ξηρασίας. Αρκετοί θεωρούν πως ο δείκτης SPI αποτελεί μια βελτίωση των προηγούμενων δεικτών ξηρασίας, αφού χαρακτηρίζεται από εύκολη χρήση και χρονική και χωρική ευελιξία και για του λόγους αυτούς επιλέχθηκε η εφαρμογή του στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για την ανάλυση της ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Τα χαρακτηριστικά του δείκτη SPI αναφέρονται εκτενώς παρακάτω:

Οι McKee et al. (1993) από το Colorado State University δημιούργησαν τον δείκτη SPI με σκοπό να οριστεί, να καταγραφεί και να προβλεφθεί η ξηρασία. Πολλά ερευνητικά κέντρα (National Drought Mitigation Center -NDMC, Western Regional Climate Center -WRCC) χρησιμοποιούν σήμερα το δείκτη SPI για την καταγραφή και παρακολούθηση των διαφόρων επεισοδίων ξηρασίας. Η φύση του επιτρέπει τον εντοπισμό ενός σπάνιου επεισοδίου ξηρασίας ή ενός εξαιρετικά υγρού επεισοδίου που μπορεί να παρατηρηθεί σε οποιοδήποτε

περιοχή και οποιαδήποτε χρονική στιγμή, αρκεί να υπάρχουν επαρκή δεδομένα βροχοπτώσεων. Ο δείκτης βασίζεται στις παρατηρήσεις βροχόπτωσης για μια ορισμένη χρονική περίοδο. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η περίοδος τόσο πιο αξιόπιστα είναι τα αποτελέσματα του SPI (Wu et al., 2005; Cancelliere and Bonaccorso, 2009). Σύμφωνα με τους McKee et al. (1993) η περίοδος πρέπει να είναι διάρκειας τουλάχιστον 30 ετών. Μαθηματικά, ο SPI είναι ο αριθμός των τυπικών αποκλίσεων που, το άθροισμα βροχοπτώσεων για μια περίοδο (3, 6, 9, 12 μήνες κλπ), απέχει από τη μέση τιμή μιας μακροχρόνιας χρονοσειράς, εάν υποθέταμε πως οι βροχοπτώσεις ακολουθούσαν κανονική κατανομή. Επειδή όμως αυτό δε συμβαίνει, γίνεται πρώτα ένας μετασχηματισμός, όπως θα δούμε παρακάτω.

Χρονικές κλίμακες SPI

Η κατανόηση ότι η έλλειψη βροχόπτωσης έχει διαφορετικά αποτελέσματα στο υπόγειο νερό, στην ικανότητα κατακράτησης νερού, στην υγρασία του εδάφους, στην εμφάνιση του χιονιού και στα επιφανειακά ύδατα οδήγησαν τους McKee et al (1993) να αναπτύξουν τον Standardized Precipitation Index (SPI). Ο SPI σχεδιάστηκε για να υπολογίζει την έλλειψη βροχόπτωσης σε διάφορες χρονικές κλίμακες ώστε να αντικατοπτρίζονται οι συνέπειες της ξηρασίας σε διαφορετικούς τομείς υδάτινων πόρων. Οι συνθήκες της εδαφικής υγρασίας, που ενδιαφέρουν τις αγροτικές εφαρμογές, ανταποκρίνονται στις διακυμάνσεις της βροχόπτωσης σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, ενώ οι συνθήκες στα υπόγεια και επιφανειακά νερά, που ενδιαφέρουν τη διαχείριση υδάτινων πόρων, ανταποκρίνονται σε πιο μακροχρόνιες καταστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι μικρές χρονικές κλίμακες αναφέρονται στη γεωργική και στη μετεωρολογική ξηρασία, ενώ οι μεγαλύτερες αφορούν την υδρολογική ξηρασία (Heim, 2002). Για αυτό το λόγο, οι McKee et al. (1993) υπολόγισαν τον SPI σε 3-, 6-, 12-, 24- και 48-μηνες χρονικές κλίμακες. Μάλιστα, ο SPI 3- ή 6-μηνών έχει αποδειχθεί ότι έχει μεγάλη σχέση με την εδαφική υγρασία (Sims et al., 2002; Ji and Peters, 2003), που είναι καθοριστική για τη βλάστηση και τη γεωργία και άρα ελέγχεται η γεωργική, όπως επίσης και η μετεωρολογική ξηρασία (McKee et al., 1993; Hayes et al., 1999), ενώ ο SPI 12-μηνών σχετίζεται με τους υδάτινους πόρους (ταμειυτήρες, ποτάμια, υπόγεια νερά) και συνεπώς, ελέγχεται η υδρολογική ξηρασία (Szalai et al., 2000; Hayes et al., 1999).



Σχήμα 4.1: Ο SPI-12μηνών για τον Ιούνιο του 2010 στις ΗΠΑ.

Πηγή: <http://www.wrcc.dri.edu/cgi-bin/spiFmap.pl?spi12>

Κλίμακα ταξινόμησης επεισοδίων ξηρασίας με βάση το SPI

Ο SPI υπολογίζεται από τη διαφορά της βροχόπτωσης από τη μέση τιμή για μία ορισμένη χρονική περίοδο διαιρώντας την με την τυπική απόκλιση. Επειδή όμως η βροχόπτωση δεν έχει κανονική κατανομή, γίνεται μία ρύθμιση η οποία επιτρέπει στον δείκτη SPI να έχει κανονική κατανομή. Τα δεδομένα προσαρμόζονται σε μια πιθανοτική κατανομή Probability Density Function (PDF) και έπειτα, αυτή μετασχηματίζεται σε μία κανονικοποιημένη μεταβλητή z , η οποία είναι η τιμή του SPI. Επομένως, η μέση τιμή του SPI για μία χρονική περίοδο και για συγκεκριμένη περιοχή είναι 0 και η τυπική απόκλιση είναι 1. Όπως και ο Palmer Index, ο SPI είναι αδιάστατος δείκτης, όπου θετικές τιμές υποδεικνύουν βροχοπτώσεις υψηλότερες από το 50% των παρατηρήσεων και αντίστοιχα, αρνητικές τιμές υποδεικνύουν βροχοπτώσεις χαμηλότερες από το 50% των παρατηρήσεων. Αυτή η κανονικοποίηση του δείκτη SPI αποτελεί πλεονέκτημα, έτσι ώστε τα υγρότερα και ξηρότερα επεισόδια να μπορούν να αναπαρασταθούν με τον ίδιο τρόπο.

Οι χαρακτηρισμοί των επεισοδίων ξηρασίας, βασιζόμενοι στην κλίμακα ταξινόμησης του δείκτη SPI κατά McKee et al. (1993), δίνονται στον Πίνακα 4.1. Αυτή η ταξινόμηση είναι μετά τις τροποποιήσεις από το National Drought Mitigation Center με βάση και τις επιστημονικές του Agnew (2000), ο οποίος πρότεινε μια διαφορετική ταξινόμηση. Ωστόσο, η εικονιζόμενη είναι η πιο συνήθης (National Drought Mitigation Center, Guttman). Ο πίνακας αυτός περιέχει επίσης τις αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης κάθε κατηγορίας. Επίσης, καθορίστηκαν τα κριτήρια ενός επεισοδίου ξηρασίας σε οποιαδήποτε χρονική κλίμακα. Ένα επεισόδιο ξηρασίας αρχίζει όταν ο δείκτης SPI παίρνει αρνητική τιμή, συνεχίζει με αρνητικές τιμές και γίνεται έντονο όταν ο δείκτης πάρει τιμή μικρότερη ή ίση με το -1.5 . Το επεισόδιο τελειώνει όταν ο δείκτης πάρει θετική τιμή. Έτσι κάθε επεισόδιο ξηρασίας έχει τη διάρκειά του, η οποία

καθορίζεται από μία αρχή, ένα τέλος και μια ένταση για κάθε μήνα που το επεισόδιο συνεχίζεται.

| Τιμές SPI | Κατηγορία Επεισοδίου | Πιθανότητα % |
|-----------------------------|--------------------------|--------------|
| $SPI \geq +2.00$ | Εξαιρετικά υγρή περίοδος | 2.3 |
| $1.50 \leq SPI \leq 1.99$ | Πολύ υγρή περίοδος | 4.4 |
| $1.00 \leq SPI \leq 1.49$ | Υγρή περίοδος | 9.2 |
| $0.00 \leq SPI \leq 0.99$ | Κανονικές Βροχοπτώσεις | 34.1 |
| $-0.99 \leq SPI \leq 0$ | Κανονικές Βροχοπτώσεις | 34.1 |
| $-1.49 \leq SPI \leq -1.00$ | Ξηρασία | 9.2 |
| $-1.99 \leq SPI \leq -1.5$ | Σημαντική Ξηρασία | 4.4 |
| $SPI \leq -2.00$ | Εξαιρετική Ξηρασία | 2.3 |

Πίνακας 4.1: Ταξινόμηση ξηρασίας με βάση τον δείκτη SPI και αντιστοιχούσες πιθανότητες εμφάνισης.

Πηγή: Κωτσοβίνος και Αγγελίδης

Το συσσωρευμένο απόθεμα της ξηρασίας μπορεί να μετρηθεί ως το άθροισμα των δεικτών SPI για όλους τους μήνες σε ένα επεισόδιο ξηρασίας (Hayes, 1999). Μάλιστα, οι McKee et al. (1993) όρισαν το μέγεθος Drought Magnitude (DM) :

$$DM = - \left(\sum_{j=1}^x SPI_{ij} \right)$$

Όπου για j ξεκινάει η τιμή του SPI του 1^{ου} μήνα της ξηρασίας και συνεχίζει να αυξάνει ως τον τελευταίο μήνα (x) της ξηρασίας, για οποιαδήποτε χρονική κλίμακα. Η μονάδα του DM είναι μήνες και αν ο SPI κάθε μήνα ήταν ίσος με -1, το DM θα ήταν ίσο με τη διάρκεια της ξηρασίας. Συνεπώς, μέσω του SPI μπορούν να καθοριστούν η ένταση, η διάρκεια και το μέγεθος της ξηρασίας, καθώς επίσης και το έλλειμμα βροχόπτωσης, το ποσοστό σε σχέση με τη μέση (κανονική) τιμή και την πιθανότητα υπέρβασης του εκάστοτε επεισοδίου.

Πιθανοτικές κατανομές για τον υπολογισμό του SPI

Υπάρχουν διάφορες πιθανοτικές κατανομές που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του SPI. Αυτό είναι σημαντικό καθώς διαφορετικές κατανομές παράγουν διαφορετικές τιμές SPI, ακόμη και με τα ίδια δεδομένα. Οι McKee et al. (1993) αρχικά εφάρμοσαν τη Γάμμα κατανομή. Ο Guttman (1999) μελέτησε διάφορες κατανομές, καταλήγοντας πως η Pearson III είναι η καλύτερη για τον SPI. Μαζί του συμφωνεί και ο Vicente-Serrano (2006) για μελέτη στην Ιβηρική χερσόνησο, ανεξάρτητα της χρονικής κλίμακας που υπολογίζεται ο SPI. Οι Lana et al. (2001) συμπέραναν πως η Poisson-Γάμμα κατανομή ταιριάζει καλύτερα στην Καταλονία. Από την άλλη, οι Livada and Assimakopoulos (2006) πρότειναν ως καλύτερη τη 2-παραμετρική θεωρητική Weibull κατανομή για δεδομένα βροχοπτώσεων από όλη την Ελλάδα, ενώ οι Kotsovinos and Angelidis πρότειναν τη χρήση Λογαριθμοκανονικής και Κανονικής κατανομής.

Συνεπώς, το θέμα αυτό παραμένει ανοικτό, καθώς και άλλες έρευνες έχουν αναγνωρίσει άλλες κατανομές ως πιο κατάλληλες για την εκτίμηση πιθανότητας μηνιαίων βροχοπτώσεων (Linsley et al., 1982; Legates, 1991; Husak et al., 2007). Εντούτοις, πολλά ερευνητικά κέντρα, πανεπιστήμια και οργανισμοί (π.χ. National Drought Mitigation Center, National Agricultural Decision Support System, University of Nebraska - Lincoln) έχουν υιοθετήσει την 2-παραμετρική Γάμμα κατανομή για τον υπολογισμό του SPI και επίσης, έχει διανεμηθεί το υπολογιστικό πακέτο για τον SPI (software) με βάση αυτή την κατανομή σε 60 περίπου χώρες (Wu et al., 2007). Αυτή η κατανομή χρησιμοποιήθηκε και εδώ. Θα πρέπει να επισημανθεί όμως ότι σύμφωνα με τους Barger et al. (1959) για βροχοπτώσεις πολύ μικρών χρονικών κλιμάκων - της τάξης 1-,2-,3-εβδομάδων - η Γάμμα κατανομή δεν είναι αρκετά αξιόπιστη και το πρόβλημα γίνεται εντονότερο για πολύ ξηρές περιοχές ή εποχές, όταν και έχουμε μεγάλες πιθανότητες μηδενικών βροχοπτώσεων. Το ίδιο πρόβλημα έχει τονιστεί και από τους Lloyd-Hughes and Saunders (2002) και Sonmez et al. (2005). Επομένως, σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να γίνεται προσεκτική χρήση και ερμηνεία του SPI. Μάλιστα, οι Wu et al. (2007) προτείνουν ότι τότε θα πρέπει να δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στη διάρκεια της ξηρασίας από ότι μόνο τη δριμύτητα.

Προφανώς, μια σταθερή και τυποποιημένη μέθοδος υπολογισμού του SPI θα ήταν επιθυμητή ώστε να είναι δυνατές οι συγκρίσεις μεταξύ των ερευνητών. Για αυτό το λόγο, γίνονται διάφορες προσπάθειες ώστε να υπάρξει ευρεία συμφωνία σχετικά με τη μοναδική και ίδια για όλους πιθανοτική κατανομή που θα πρέπει να χρησιμοποιείται για την εύρεση του SPI (Guttman, 1998).

Παραδείγματα χρήσης SPI για την ανάλυση ξηρασίας

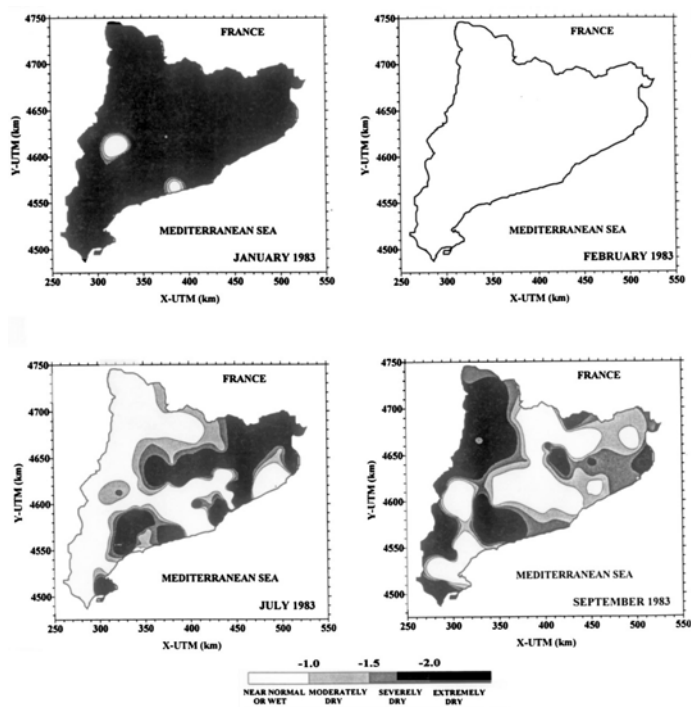
Μετά την εμφάνιση του δείκτη SPI, όλο και περισσότεροι ερευνητές πείθονται για την χρησιμότητά του. Υπάρχουν αρκετές μελέτες που τον έχουν συγκρίνει με άλλους δείκτες και έχει αποδειχθεί η υπεροχή του. Για παράδειγμα, ο Quiring (2009) αξιολόγησε τους SPI, PDSI, Z-index, VCI, EDI, Percent Normal και Deciles και κατέληξε πως οι SPI και Deciles είναι οι πιο κατάλληλοι για τον έλεγχο της μετεωρολογικής ξηρασίας. Στην υπεροχή των SPI και Deciles έναντι του PDSI κατέληξαν και οι Keyantash and Dracup (2002) μέσα από μια διαδικασία αξιολόγησης. Βέβαια, υπάρχει και η μελέτη των Barua et al. (2009) που, συγκρίνοντας τους SPI, SWSI και ADI σε περιοχή της Αυστραλίας, συμπεραίνει πως ο ADI (δείκτης που χρησιμοποιείται κυρίως στην Αυστραλία) υπερτερεί έναντι των άλλων 2 στην ανίχνευση της ξηρασίας.

Επίσης, τα U.S. National Drought Mitigation Center και the U.S. Western Regional Climate Center συνηγορούν υπέρ του SPI σε σχέση με τον παραδοσιακό PDSI (Redmond, 2000). Οι Hayes et al. (1999) μελετώντας τους SPI και PDSI στις νοτιοδυτικές πολιτείες των ΗΠΑ, συμφώνησαν πως ο SPI είναι πιο αξιόπιστος δείκτης και ειδικότερα, ανιχνεύει τα επεισόδια ξηρασίας πιο γρήγορα από τον PDSI. Ο Guttman (1998), συγκρίνοντας το δείκτη SPI με το δείκτη PDSI απέδειξε την υπεροχή του πρώτου. Μάλιστα, συμπέρανε πως, σε αντίθεση με τον SPI, ο PDSI δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών

περιοχών, ενώ για την ίδια περιοχή απέδειξε πως ο PDSI έχει παρόμοια συμπεριφορά με τον 12_μηνών SPI. Στο ίδιο συμπέρασμα έχουν καταλήξει και οι McKee et al. (ΗΠΑ, 1993), Lloyd-Hughes and Saunders (Ευρώπη, 2002) και Bussay et al. (Ουγγαρία, 1998) ενώ και οι Szalai and Szinell (2000) μελέτησαν τη σχέση των δύο δεικτών (PDSI και SPI) για την Ουγγαρία.

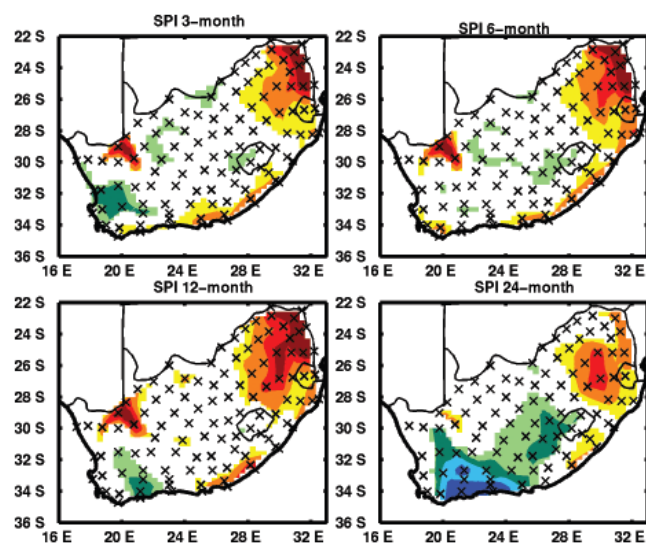
Οι Lloyd-Hughes and Saunders (2002) απέδειξαν ότι ο δείκτης SPI, συγκρινόμενος με το δείκτη PDSI, αποτελεί ένα απλό και εύχρηστο μέσο για την ανάλυση της ξηρασίας σε ολόκληρη την Ευρώπη. Οι Cancelliere, Mauro, Bonaccorso and Rossi (2006) απέδειξαν τις προγνωστικές ικανότητες του δείκτη στη Σικελία. Οι Wu et al. (2001) μελέτησαν τη σχέση ανάμεσα στο δείκτη SPI και τον China Z-Index (CZI), δείκτης που εφαρμόζεται ευρέως στην Κίνα, οι Morid, Smakhtin and Moghaddasi (2006) σύγκριναν τον SPI με άλλους 6 δείκτες στη περιοχή του Ιράν, οι Loukas et al. (2003) σύγκριναν τον SPI με άλλους 4 δείκτες σε περιοχές της Ελλάδας, ενώ οι Min et al. (2003) χρησιμοποίησαν το δείκτη SPI για να μελετήσουν χρονικά και χωρικά την ξηρασία ανάμεσα στην Κορέα και την ανατολική Ασία. Επιπρόσθετα, οι Yamoah et al. (2000) συνδύασαν το δείκτη SPI με την ανάπτυξη των θρεπτικών συστατικών σε σπόρους καλαμποκιού, ο Vicente-Serrano (2007) μελέτησε τη σχέση ανάμεσα στον SPI και στον VCI για την επίδραση της ξηρασίας στη βλάστηση σε περιοχή της Ισπανίας, ενώ οι Seiler, Hayes and Bressan (2002) χρησιμοποίησαν το δείκτη SPI για τον εντοπισμό και τη μελέτη των πλημμύρων στην Αργεντινή και οι Khan, Gabriel and Rana (2008) για την ανάλυση των υπογείων νερών στην Αυστραλία. Ακόμη, όσον αφορά τη γεωργική ξηρασία (μικρές χρονικές κλίμακες), οι Sims et al. (2002) για διάφορες περιοχές των ΗΠΑ και οι Quiring and Parakryiakou (2003) για τον Καναδά συμπέραναν πως ο SPI παρέχει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα σε σύγκριση με τον PDSI. Τέλος, υπάρχουν διάφορες έρευνες που εξετάζουν τη σχέση του SPI με κλιματικές μεταβολές παγκόσμιας κλίμακας, όπως αυτές των Bordi and Sutera (2001) και των Tadesse et al. (2004).

Άλλα χρήσιμα παραδείγματα εφαρμογής του δείκτη: Η Pita (2000) εφάρμοσε το δείκτη SPI στην Ανδαλουσία, οι Edwards and McKee (1997) στις ΗΠΑ, οι Lana et al. (2001) στην περιοχή της Καταλονίας (βλ. Σχήμα 4.2), οι Vicente-Serrano et al. (2004) στην περιοχή της Βαλένθια, ο Komuscu (1999) στην Τουρκία, οι Anctil et al. (2002) στον Καναδά, οι Rouault and Richard (2003) στη Νότια Αφρική (βλ. Σχήμα 4.3), οι Bonaccorso et al. (2003) στην Ιταλία, οι Ntale and Gan (2003) στην ανατολική Αφρική, οι Tsakiris and Vangelis (2004) στην Κρήτη (βλ. Σχήμα 4.4), η Αναγνωστοπούλου (2003) (βλ. Σχήμα 4.5), όπως και οι Livada and Assimakopoulos (2006) σε όλη την Ελλάδα, ο Vicente-Serrano (2006) στην Ιβηρική Χερσόνησο, οι Bonaccorso et al. (2003) στη Σικελία, οι Patel et al. (2007) σε περιοχή της Ινδίας και οι Paulo et al. (2005) στην Πορτογαλία.



Σχήμα 4.2: Ο SPI-1μήνα για τους Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Ιούλιο και Σεπτέμβριο του 1983 στην Καταλονία (Ισπανία).

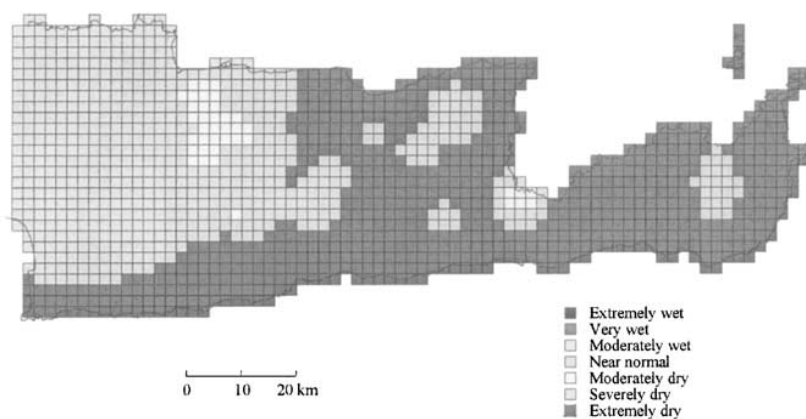
Πηγή: Lana et al. (2001).



Σχήμα 4.3: Ο SPI-3, -6, -12 και 24μηνών για τον Δεκέμβριο του 1982 στη Νότιο Αφρική.

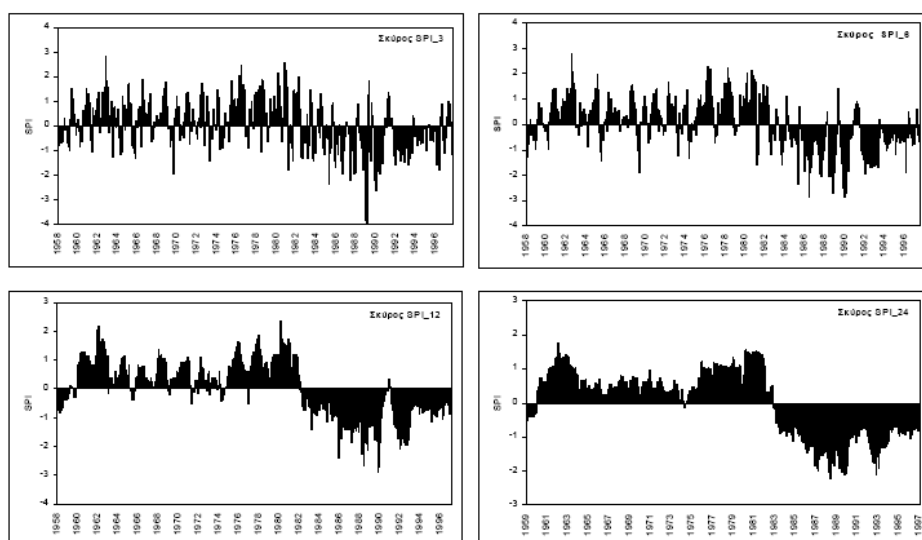
Καφέ (-3 ως -2), Κόκκινο (-2 ως -1.5), Πορτοκαλί (-1.5 ως -1), Κίτρινο (-1 ως -0.5), Σκούρο Μπλε (3 ως 2), Ανοιχτό Μπλε (2 ως 1.5), Σκούρο Πράσινο (1.5 ως 1), Πράσινο (1 ως 0.5)

Πηγή: Rouault and Richard (2003).



Σχήμα 4.4: Χωρική κατανομή του SPI στην ανατολική Κρήτη για το έτος 1989-1990.

Πηγή: Tsakiris and Vangelis (2004).



Σχήμα 4.5: Τιμές του δείκτη SPI σε διαφορετικές κλίμακες για το σταθμό της Σκύρου για την περίοδο 1958-1997.

Πηγή: Αναγνωστοπούλου (2003).

Από τις παραπάνω αναφορές γίνεται σαφές ότι η αύξηση της χρήσης του δείκτη SPI τα τελευταία χρόνια είναι χαρακτηριστική. Ο δείκτης SPI επιλέχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία για την ανάλυση της ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΥΔΑΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ SPI

4.1. Εισαγωγή

Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας είναι από τα πλέον ελλειμματικά του Ελλάδας με ανταγωνιστικές χρήσεις και επικρατούσα τη γεωργική. Η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που έχει συχνά παρατηρηθεί, χωρίς όμως να έχει γίνει μια συστηματική ανάλυση αυτής σε όλη την έκταση του διαμερίσματος. Στο παρόν κεφάλαιο αναλύεται η εμφάνιση επεισοδίων εξαιρετικής ξηρασίας, σημαντικής ξηρασίας και ξηρασίας με χρήση του δείκτη SPI σε 23 υδρομετεωρολογικούς σταθμούς διανεμημένους σε όλη την περιοχή μελέτης. Σκοπός είναι η ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών της ξηρασίας (ένταση, συχνότητα εμφάνισης, διάρκεια) καθώς και η χωρική κατανομή και χρονική εξέλιξη αυτής, προκειμένου να περιγραφεί πλήρως το φαινόμενο και να τεθούν οι βάσεις για τη διαχείρισή της.

Για τις ανάγκες της εργασίας επιλέχθηκε να υπολογιστούν ο SPI 1-μήνα και ο SPI 12- μηνών ώστε να γίνει σύγκριση της διαφορετικής συμπεριφοράς του SPI για μικρές (1-μήνα) και για μεγαλύτερες (12-μηνών) χρονικές κλίμακες. Ο SPI-1month αναγνωρίζει τη μετεωρολογική ξηρασία, καθώς αυτή εμφανίζεται αμέσως μόλις καταγραφεί η έλλειψη της βροχής. Ο SPI-12months σχετίζεται με τους υδάτινους πόρους (υπόγεια και επιφανειακά νερά) και άρα ελέγχεται η υδρολογική ξηρασία, αφού παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνισή της σε σχέση με τη μετεωρολογική ξηρασία επειδή χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να φανούν τα ελλείμματα των βροχοπτώσεων στα στοιχεία του υδρολογικού συστήματος. Συνεπώς, στόχος είναι η αναγνώριση της ξηρασίας στο Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας από:

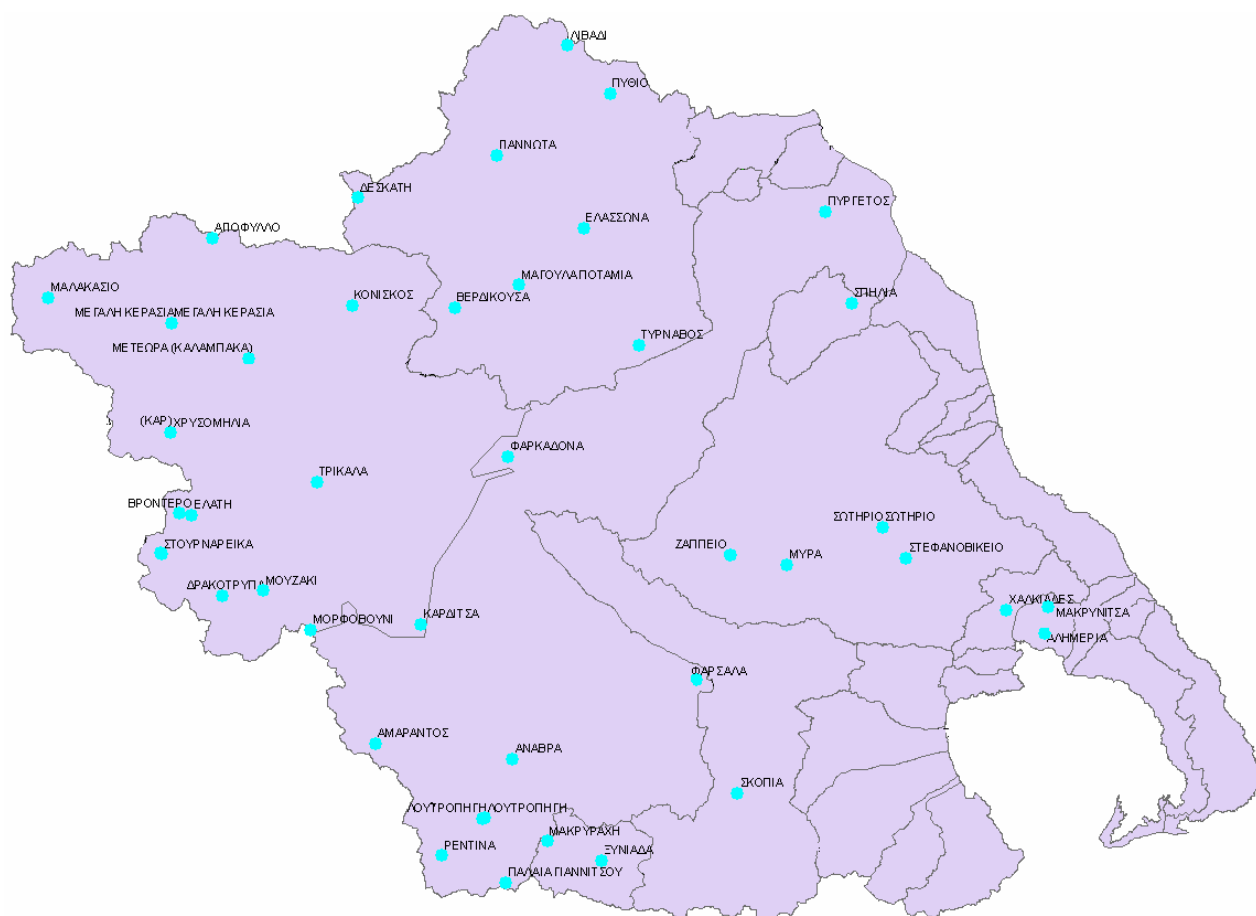
- μετεωρολογική σκοπιά αφού επιδιώκεται η ανίχνευση τυχόν μείωσης των βροχοπτώσεων για την περίοδο 1980-2008, και
- υδρολογική σκοπιά, καθώς το νερό του υδρολογικού κύκλου χρησιμοποιείται για διαφορετικούς ανταγωνιστικούς μεταξύ τους σκοπούς, ιδιαίτερα κρίσιμους για την ανάπτυξη της Θεσσαλίας (άρδευση, ύδρευση, κτηνοτροφία).

Για την πληρέστερη κατανόηση της χωρικής κατανομής των επεισοδίων ξηρασίας οι δείκτες Ο SPI-1month και SPI-12months υπολογίστηκαν για 23 σταθμούς, οι οποίοι ανάλογα με τη θέση τους κατατάχθηκαν σε 6 υπο-περιοχές της Θεσσαλίας (ΒΔ, ΒΑ, ΚΔ, ΚΑ, ΝΔ, ΝΑ).

4.2. Μεθοδολογία Ανάλυσης Ξηρασίας με το δείκτη SPI

4.2.1. Συλλογή και Ανάλυση Δεδομένων

Για τον υπολογισμό του δείκτη SPI χρησιμοποιήθηκαν μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης από τις υπηρεσίες της ΔΕΗ (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού), του ΥΠΕΚΑ (Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής) και του ΥΠΑΑΤ (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων). Αφού αρχικά συγκεντρώθηκαν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, επιλέχθηκαν τελικά 23 σταθμοί για την ανάλυση. Οι σταθμοί αυτοί επιλέχθηκαν έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη έκταση του διαμερίσματος, διαφορετικά υψόμετρα (50–1150 μ.) και να έχουν όσο το δυνατό πληρέστερες χρονοσειρές βροχόπτωσης για την περίοδο 1980-2008. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καλύπτουν τη χρονική περίοδο 01/1980-10/2008, εκτός από 2 σταθμούς -Τύρναβος και Ρεντίνα- για τους οποίους υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα ως το 2006 και 2007 αντίστοιχα. Ακολουθεί ο Πίνακας 4.2 με τους σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση, ενώ η θέση τους φαίνεται στο Σχήμα 4.1.:



Σχήμα 4.1: Οι 23 Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

| Σταθμός | Γ.Μ. (Χ) | Γ.Π. (Ψ) | Υψόμετρο (μ.) | Διαθέσιμη χρονοσειρά βροχόπτωσης | Υπηρεσία |
|----------------|----------|-----------|---------------|----------------------------------|----------|
| ΑΓΙΟΦΥΛΛΟ | 291301.1 | 4415169.8 | 584.1 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΑΝΑΒΡΑ | 334835.8 | 4339724.5 | 196.3 | 01/1980 ως 08/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΑ | 326428.8 | 4405138 | 914.6 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΓΙΑΝΝΩΤΑ | 332524.2 | 4427208 | 554 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ | 292721.5 | 4363406.5 | 574.2 | 01/1980 ως 09/2008 | ΔΕΗ |
| ΕΛΑΣΣΟΝΑ | 345164.9 | 4416624 | 276.3 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΕΛΑΤΗ | 288230.3 | 4375035 | 809 | 01/1980 ως 04/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΖΑΠΠΕΙΟ | 365623.2 | 4368876 | 172.3 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΚΑΡΔΙΤΣΑ | 321566.5 | 4359249 | 106.7 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΛΙΒΑΔΙ | 342765.7 | 4442654 | 1150.4 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ | 330770.5 | 4331303 | 722.1 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑ | 412512.8 | 4361712 | 685.4 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΜΕΓΑΛΗ ΚΕΡΑΣΙΑ | 285469.8 | 4402923 | 509 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΜΕΤΕΩΡΑ | 296524.4 | 4397761 | 241.8 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΜΟΥΖΑΚΙ | 298672.5 | 4364438 | 226.2 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΡΕΝΤΙΝΑ | 324581.4 | 4325742 | 884.9 | 01/1980 ως 10/2007 | ΥΠΕΚΑ |
| ΣΚΟΠΙΑ | 367511.7 | 4334785 | 444.7 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΣΠΗΛΙΑ | 383993.6 | 4405819 | 809 | 01/1980 ως 08/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΪΚΑ | 283947.8 | 4369383.9 | 761.5 | 01/1980 ως 09/2008 | ΔΕΗ |
| ΣΩΤΗΡΙΟ | 388572.8 | 4373339 | 52.4 | 01/1980 ως 09/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΤΥΡΝΑΒΟΣ | 353141.5 | 4399696 | 97.1 | 01/1980 ως 12/2006 | ΥΠΕΚΑ |
| ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ | 334138.6 | 4383516 | 86.2 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |
| ΧΡΥΣΟΜΗΛΙΑ | 285306.9 | 4386977 | 911.1 | 01/1980 ως 10/2008 | ΥΠΕΚΑ |

Πίνακας 4.2: Οι 23 Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση ξηρασίας στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

4.2.2. Υπολογισμός Δείκτη SPI

Ο Thom (1958) απέδειξε ότι τα κλιματικά δεδομένα των βροχοπτώσεων ακολουθούν Γάμμα κατανομή. Η Γάμμα κατανομή είναι από τις πιο διαδεδομένες κατανομές της τεχνικής υδρολογίας. Είναι θετικά ασύμμετρη και ορίζεται μόνο για θετικές τιμές της μεταβλητής (Κουτσογιάννης, 1997). Η συχνότητα ή το κλάσμα της πιθανότητας δίνεται από τη σχέση:

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

Όπου

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

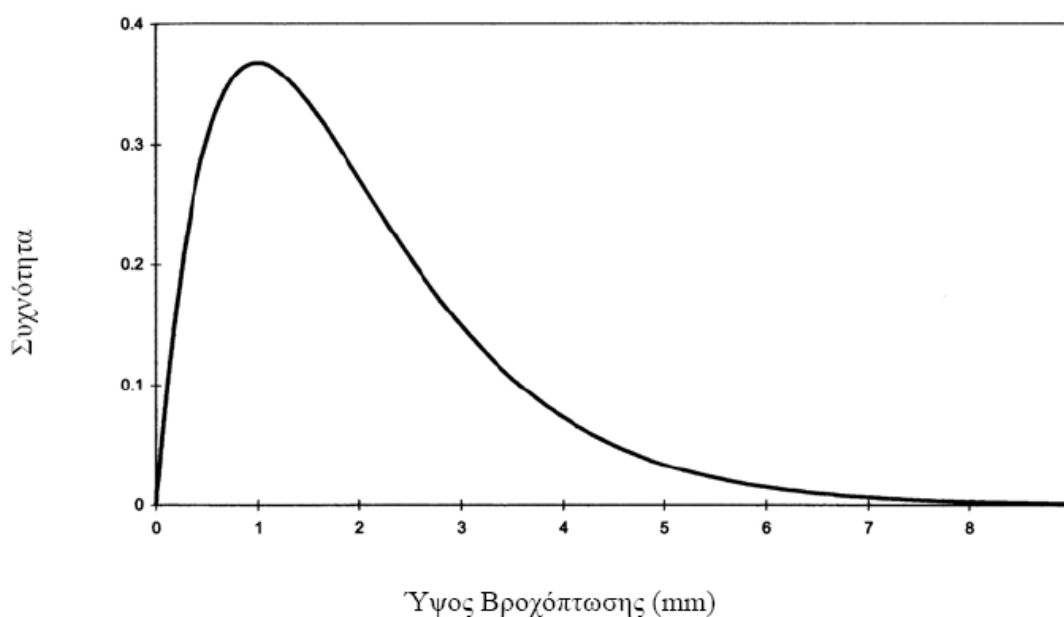
$\beta > 0$, β είναι παράμετρος κλίμακας (scale)

$x > 0$, x είναι το ποσό βροχόπτωσης

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

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

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



Σχήμα 4.2: Η μορφή της Γάμμα κατανομής για $a=2$ και $\beta=1$

Πηγή: Αναγνωστοπούλου (2003).

Στο σχήμα 4.6 απεικονίζεται η κατανομή Γάμμα με παραμέτρους $a=2$ και $\beta=1$. Η κατανομή αυτή είναι ασύμμετρη και το μεγαλύτερο μέρος της βρίσκεται αριστερά και φθίνει σταδιακά, όπως είναι και η κατανομή της συχνότητας της βροχόπτωσης.

Στον υπολογισμό του δείκτη SPI περιλαμβάνεται το κλάσμα της πιθανότητας της κατανομής Γάμμα για το ύψος βροχής κάποιου σταθμού. Οι παράμετροι a και β του κλάσματος της πιθανότητας της κατανομής Γάμμα υπολογίζονται για κάθε σταθμό ξεχωριστά και για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα χρειάζεται (3 μήνες, 12 μήνες, 48 μήνες κ.ο.κ). Σύμφωνα με τον Thom (1958), οι παράμετροι αυτοί υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right), \quad \beta = \frac{\bar{x}}{a}$$

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

και n είναι το πλήθος τιμών της χρονοσειράς.

Έχοντας ήδη τις χρονοσειρές των μηνιαίων βροχοπτώσεων κάθε σταθμού, για τον υπολογισμό του SPI-1month, χρειάστηκε να δημιουργηθούν νέες χρονοσειρές για τον υπολογισμό του SPI-12months όπου οι τιμή του κάθε μήνα είναι το άθροισμα της τιμής αυτού του μήνα και των 11 προηγούμενων μηνών. Για παράδειγμα, ο SPI-12months για τον Ιανουάριο του 1981, χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό του το άθροισμα των υψών βροχόπτωσης για τους μήνες: Φεβρουάριος 1980 έως και Ιανουάριος 1981. Το ίδιο έγινε για όλους τους υπόλοιπους μήνες, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν οι νέες χρονοσειρές για το SPI-12months. Έπειτα, χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις του Thom και μέσω του λογισμικού Excel, υπολογίστηκαν οι παράμετροι α και β για τις 2 χρονοσειρές (1 και 12 μηνών) κάθε σταθμού. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι επειδή δεν ορίζεται ο λογάριθμος του 0 και υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις μηδενικής βροχής ($x=0$), θεωρήθηκε σε αυτές τις περιπτώσεις ότι υπήρξε βροχόπτωση 0,0001 mm, δηλαδή αμελητέα.

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των παραμέτρων χρησιμοποιούνται για να βρεθεί μια αθροιστική πιθανότητα ενός γνωστού επεισοδίου βροχής για ένα ορισμένο μήνα και για χρονικό διάστημα που επιθυμείται (3 μήνες, 12 μήνες, 48 μήνες κ.ο.κ) για τον καθορισμένο σταθμό. Η αθροιστική πιθανότητα δίνεται από την σχέση:

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

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

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

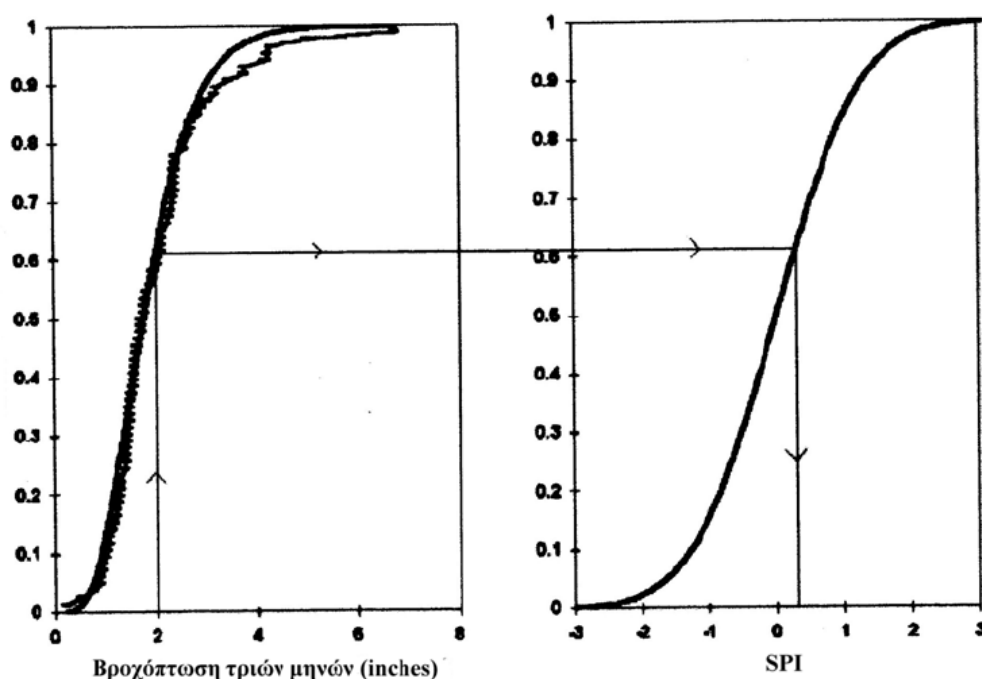
Επειδή η συνάρτηση Γάμμα δεν ορίζεται για $x=0$, ενώ η κατανομή της βροχής μπορεί να πάρει την τιμή μηδέν, η αθροιστική πιθανότητα παίρνει τελικώς τη μορφή (Lloyd-Hughes, 2002):

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

όπου q είναι η πιθανότητα εμφάνισης μηδενικής βροχόπτωσης. Εάν m είναι το πλήθος των περιπτώσεων με μηδενική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς, τότε ο Thom (1958) έδειξε ότι το q μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση $q=m/n$. Άλλες προσεγγίσεις για το χειρισμό των μηδενικών βροχοπτώσεων είναι η αντικατάστασή τους από μια πολύ μικρή ποσότητα (π.χ. 1mm) (Loukas and Vasiliades, 2004) ή η χρήση της Poisson-Γάμμα

κατανομής αντί της Γάμμα κατανομής, όπως προτείνεται από τους Lana and Burgueno (2000). Εδώ χρησιμοποιήθηκε η προσέγγιση της $H(x)$. Ο Thom (1958) χρησιμοποίησε πίνακες της ελλειπούς συνάρτησης Γάμμα για να ορίσει την αθροιστική πιθανότητα $G(x)$, ενώ αντίθετα οι McKee et al. (1993) ανέπτυξαν κάποιον αλγόριθμο για να καθορίσουν την αθροιστική πιθανότητα. Στην παρούσα εργασία, για την εύρεση της $G(x)$ χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Minitab v.16, έχοντας γνωστές από πριν τις παραμέτρους α (σχήματος) και β (κλίμακας).

Η αθροιστική πιθανότητα, $H(x)$, στη συνέχεια, μετασχηματίζεται σε μία κανονικοποιημένη μεταβλητή z , της οποίας η μέση τιμή είναι μηδέν, ενώ η τυπική απόκλιση ισούται με τη μονάδα. Η τιμή αυτή είναι ο δείκτης SPI. Η μετατροπή αυτή αποτελεί μετατροπή ίσης πιθανότητας σύμφωνα με τους Panofsky and Brier (1958). Οι δύο ερευνητές είχαν τη βασική ιδέα της μετατροπής μιας τιμής από κάποια κατανομή (π.χ. γάμμα κατανομή) σε κατανομή με καθορισμένη μορφή (π.χ. κανονική). Η μετατροπή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η πιθανότητα να υπάρχει μία τιμή μικρότερη από ένα καθορισμένο όριο της πρώτης κατανομής να είναι ίση με την αντίστοιχη πιθανότητα της μετατρεπόμενης κατανομής.



Σχήμα 4.3: Μετατροπή ίσης πιθανότητας από γνωστή κατανομή (Γάμμα κατανομή) σε κανονική κατανομή (SPI). Στο αριστερό διάγραμμα εμφανίζονται ποσά βροχόπτωσης τριών μηνών (σε inches).

Πηγή: Αναγνωστοπούλου (2003).

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3, όπου το ποσό της βροχόπτωσης για τρεις μήνες (Ιανουάριο μέχρι Μάρτιο) μετατρέπεται σε μία τιμή του SPI με μέση τιμή το μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με ένα. Στο αριστερό σχήμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές της

βροχόπτωσης για τους τρεις μήνες (άξονας X) Ιανουάριο μέχρι και Μάρτιο, για το χρονικό διάστημα από 1911 έως 1995. Η διακεκομμένη γραμμή επίσης ορίζει την εμπειρική κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας (άξονας Y) για την περίοδο μελέτης. Η εμπειρική αθροιστική πιθανότητα υπολογίζεται όπως προτείνουν οι Panofsky and Brier (1958), όταν τα δεδομένα της βροχόπτωσης τοποθετούνται με αύξουσα σειρά μεγέθους. Η ομαλοποιημένη καμπύλη στο αριστερό διάγραμμα αντιστοιχεί στην κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας της κατανομής Γάμμα που ακολουθούν τα δεδομένα της βροχόπτωσης. Η ομαλή καμπύλη στο δεξιό διάγραμμα ορίζει την κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας της κανονικοποιημένης μεταβλητής z, χρησιμοποιώντας την ίδια κλίμακα με το αριστερό διάγραμμα, ενώ στον άξονα X βρίσκονται οι κανονικοποιημένες τιμές της μεταβλητής z (ή οι τιμές του δείκτη SPI). Για παράδειγμα, για να βρεθεί η τιμή του δείκτη SPI, που αντιστοιχεί σε 2 ίντσες βροχόπτωσης, ακολουθείται η εξής διαδικασία: Από το αριστερό διάγραμμα βρίσκουμε την τιμή 2 ίντσες στον άξονα των X, φέρουμε παράλληλη προς τον άξονα Y έως την καμπύλη. Από το σημείο αυτό φέρουμε παράλληλη προς τον άξονα X και προεκτείνουμε έως την καμπύλη του δεξιού διαγράμματος. Τέλος, από το σημείο τομής της παράλληλης με την καμπύλη του δεύτερου διαγράμματος φέρουμε κάθετη στον άξονα X με σκοπό να προσδιορίσουμε την τιμή του SPI. Στη περίπτωση αυτή, η τιμή του SPI είναι περίπου +0.3 (Αναγνωστοπούλου, 2003).

Επειδή, όμως, αυτός ο τρόπος μετατροπής είναι επίπονος εφόσον πρέπει να δημιουργηθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα για όλους τους σταθμούς, για όλα τα χρονικά διαστήματα και για κάθε μήνα κάθε έτους, η τιμή του SPI είναι πιο εύκολο να υπολογιστεί, χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις (Edwards and McKee, 1997):

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

$$z = \text{SPI} = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{για } 0.5 < H(x) < 1.0$$

όπου

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

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \quad \text{για } 0.5 < H(x) < 1.0$$

και

$$c_0 = 2,515517 \quad c_1 = 0,802853 \quad c_2 = 0,010328$$

$$d_1 = 1,432788 \quad d_2 = 0,189269 \quad d_3 = 0,001308$$

Οι σχέσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν μέσω του λογισμικού Excel και προέκυψαν οι τιμές του SPI-1month και του SPI-12monthσ κάθε μήνα για όλους τους σταθμούς.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο SPI (ή z) αντιστοιχεί σε μια τιμή τυπικής απόκλισης που είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από τη μέση τιμή. Αυτό δεν ισχύει απόλυτα σε μικρές χρονικές κλίμακες, εξαιτίας του γεγονότος ότι τα ύψη βροχοπτώσεων σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζουν κάποια λοξότητα.

4.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης Ξηρασίας με το Δείκτη SPI

4.3.1. Σύγκριση δεικτών SPI 1- και SPI 12- μηνών

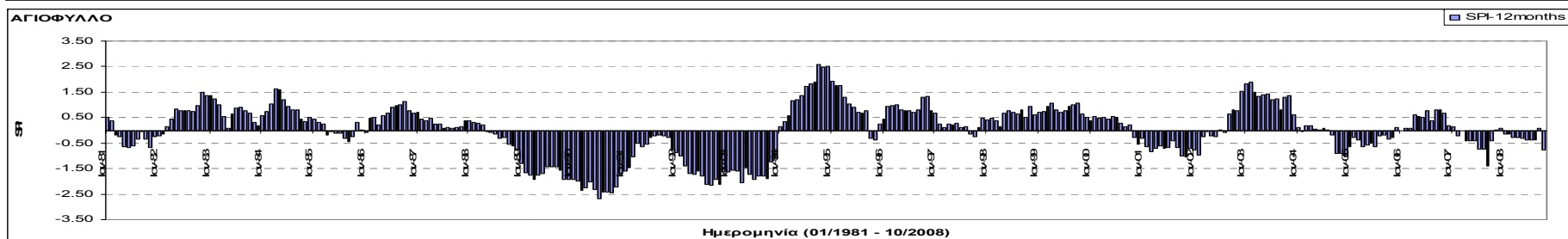
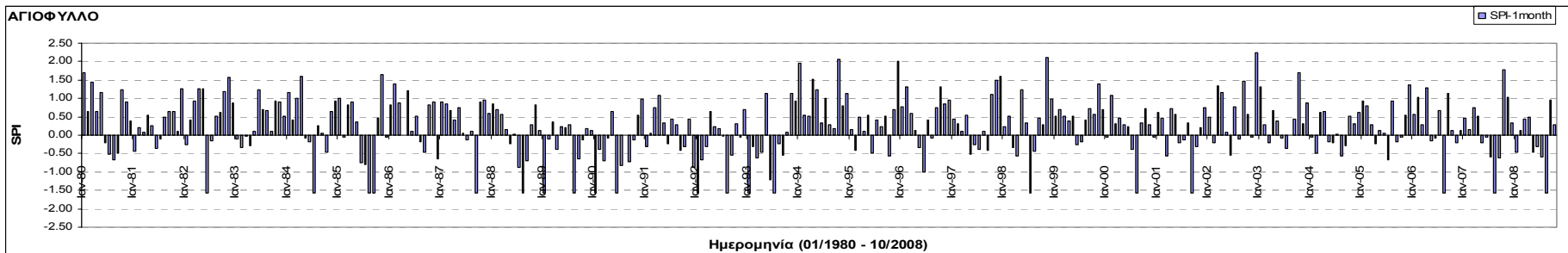
Για τις ανάγκες της εργασίας επιλέχθηκε να υπολογιστεί ο δείκτης SPI για δύο διαφορετικά χρονικά κατώφλια (1-μήνας και 12-μήνες) και για τους 23 σταθμούς κατά τη διάρκεια της περιόδου Ιανουαρίου 1980 – Οκτωβρίου 2008. Στα ακόλουθα διαγράμματα 4.1 – 4.23 δίνεται η χρονική κατανομή των δεικτών SPI για τα 2 χρονικά κατώφλια για όλους τους .

Χαρακτηριστική είναι η έντονη διακύμανση που παρουσιάζει ο δείκτης με την αλλαγή της χρονικής κλίμακας. Για το μικρό χρονικό κατώφλι του 1 μήνα (SPI-1month) η συχνότητα του δείκτη αυξάνει, ενώ η διάρκειά του μειώνεται. Δηλαδή για μικρές χρονικές κλίμακες, η ξηρασία εμφανίζεται συχνά αλλά διαρκεί για μικρό χρονικό διάστημα. Αντίθετα, για μεγάλα χρονικά κατώφλια 12-μηνών (SPI-12months) η ξηρασία δεν εμφανίζεται συχνά αλλά διαρκεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτό είναι λογικό, καθώς στις μικρές χρονικές κλίμακες ο κάθε μήνας επηρεάζει σημαντικά τον υπολογισμό του δείκτη, με αποτέλεσμα τη γρήγορη ανταπόκρισή του και μετάβασή του από υγρές σε ξηρές τιμές και αντίστροφα. Όσο όμως μεγαλώνει η χρονική κλίμακα, κάθε νέος μήνας έχει μικρότερη επίδραση και έτσι ο δείκτης ανταποκρίνεται πιο αργά, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα λιγότερα επεισόδια ξηρασίας, αλλά με μεγαλύτερη διάρκεια

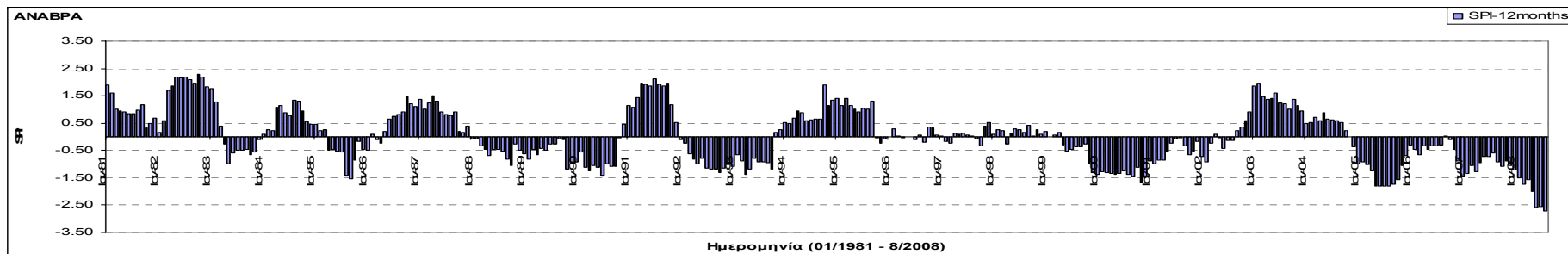
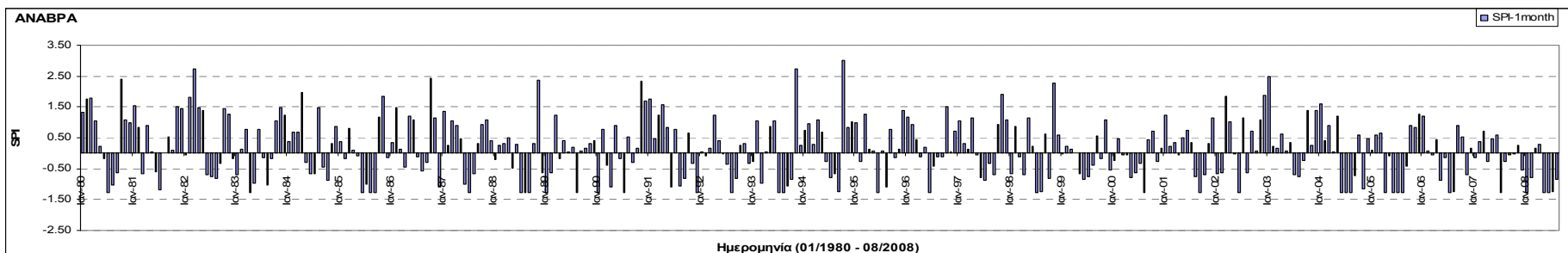
Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό που διαπιστώνεται από τα διαγράμματα 4.1 έως 4.23 είναι ότι ο δείκτης SPI αντιδρά διαφορετικά στην απουσία ή παρουσία της βροχόπτωσης ανάλογα με την χρονική κλίμακα και ανάλογα με το σταθμό. Ο SPI-1month αντιδρά γρήγορα στις ξηρές ή υγρές αλλαγές, γεγονός που σημαίνει ότι ο δείκτης του κάθε μήνα επηρεάζεται σημαντικά από το ύψος βροχής της συγκεκριμένης χρονικής κλίμακας. Αντίθετα, όσο η χρονική κλίμακα αυξάνει ο δείκτης αντιδρά με μικρότερους ρυθμούς, δηλαδή ο δείκτης επηρεάζεται λιγότερο από το ύψος βροχής της αντίστοιχης χρονικής κλίμακας, γεγονός που συνεπάγεται λιγότερα επεισόδια ξηρασίας αλλά με μεγαλύτερη διάρκεια. Βλέπουμε λοιπόν ότι ανάλογα με το επιλεγθέν χρονικό κατώφλι ο δείκτης SPI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επισήμανση διαφορετικών κατηγοριών/τύπων ξηρασίας (μετεωρολογική, υδρολογικά κ.λ.π). Ο SPI 1-month αναγνωρίζει τη μετεωρολογική ξηρασία, καθώς αυτή εμφανίζεται αμέσως

μόλις καταγραφεί η έλλειψη της βροχής. Ο SPI 12-month σχετίζεται με τους υδάτινους πόρους (υπόγεια και επιφανειακά νερά) και ελέγχει την υδρολογική ξηρασία, αφού παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνισή της σε σχέση με τη μετεωρολογική ξηρασία επειδή χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να φανούν τα ελλείμματα των βροχοπτώσεων στα στοιχεία του υδρολογικού συστήματος.

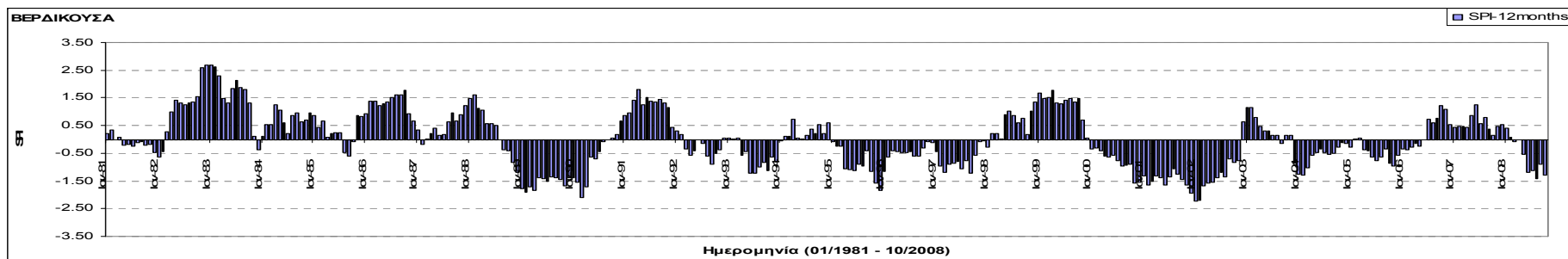
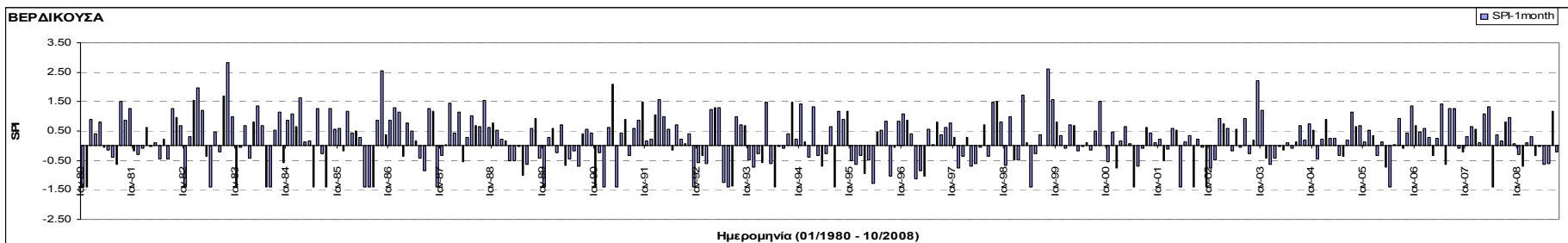
Τέλος, από την σύγκριση της χρονικής κατανομής των SPI-1month και SPI-12months για τους σταθμούς της Θεσσαλίας προκύπτει ότι η συχνότητα και η διακύμανση των επεισοδίων ξηρασίας ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και δεν είναι δυνατός ο εντοπισμός των ορίων έναρξης και λήξης των επεισοδίων ξηρασίας στα μικρά χρονικά κατώφλια. Χαρακτηριστική όμως, είναι η εμφάνιση επεισοδίων ξηρασίας για τα μεγάλα χρονικά κατώφλια (SPI-12months) όπου στην περίπτωση αυτή, τα όρια των επεισοδίων ξηρασίας είναι εμφανή. Σύμφωνα με το δείκτη SPI-12months, ο σταθμός Αγιοφύλλο εμφανίζει ένα εξαιρετικό επεισόδιο ξηρασίας από το Μάιο 1988-Δεκέμβριο 1993, ενώ μικρότερα επεισόδια λαμβάνουν χώρα το 1981, 2001-02, 2004-05 και 2007-08. Ο σταθμός Μουζάκι εμφανίζει χαρακτηριστική αλλαγή στην εμφάνιση της βροχόπτωσης στη διάρκεια της μελετούμενης περιόδου: από το 1981 έως το 1988 χαρακτηρίζεται από θετικές τιμές των δεικτών SPI που σημαίνει ότι στην περιοχή οι βροχοπτώσεις ήταν τόσο κανονικές ($0 < SPI < 1.0$) όσο και πάνω από τη μέση τιμή ($SPI > 1.0$), ενώ από το 1989 και μετά οι δείκτες εμφανίζουν τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές (εναλλαγές υγρών και ξηρών περιόδων), και από το 2000 έως το 2008 εμφανίζεται μια έντονη ξηρή περίοδος (με εξαίρεση κάποιους μήνες το 2003). Ο σταθμός Σωτήριο εμφανίζει μια παρατεταμένη περίοδο έντονης ξηρασίας από τον Οκτώβριο 1986-Μάρτιο 1991, ενώ τέλος σχεδόν σε όλους τους σταθμούς παρατηρούνται επεισόδια ξηρασίας το 2007-08.



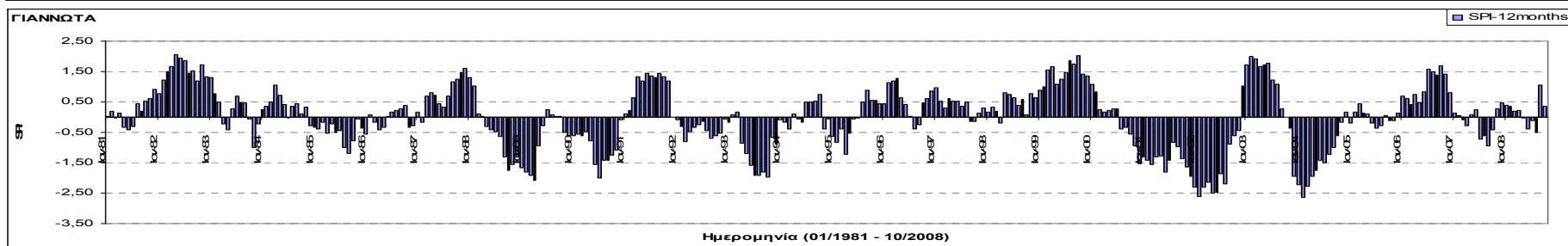
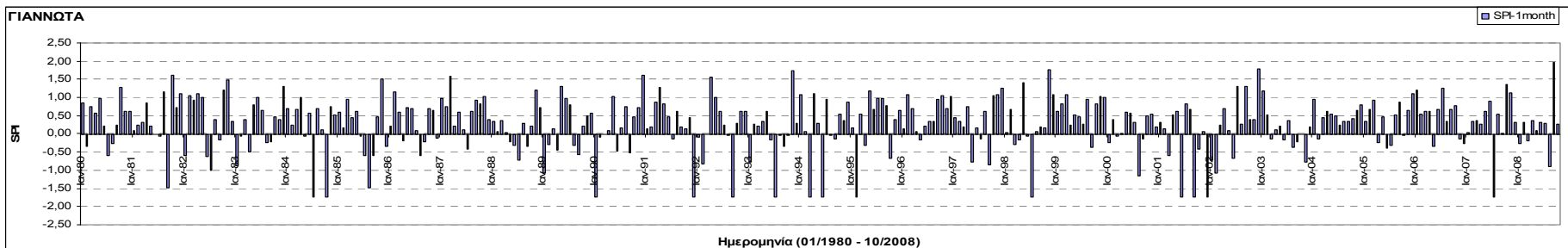
Διάγραμμα 4.1: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Αγίοφυλλο



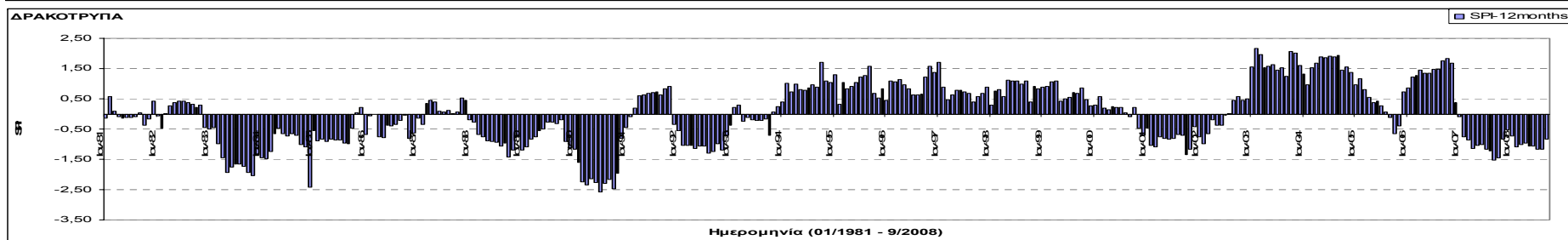
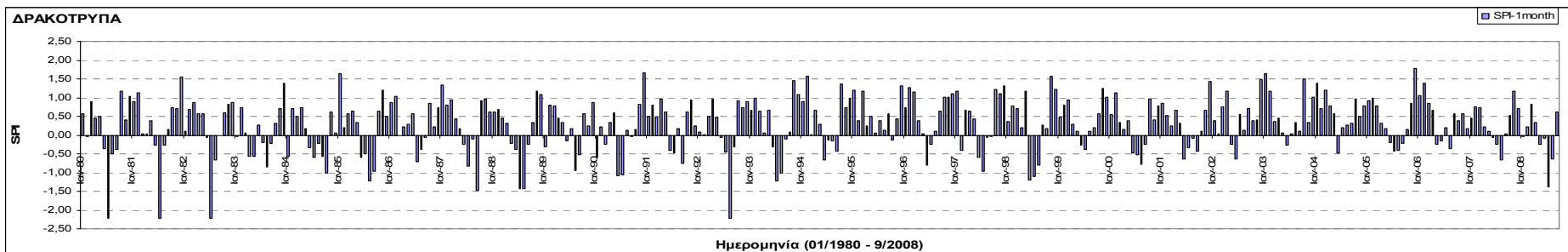
Διάγραμμα 4.2: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Ανάβρα



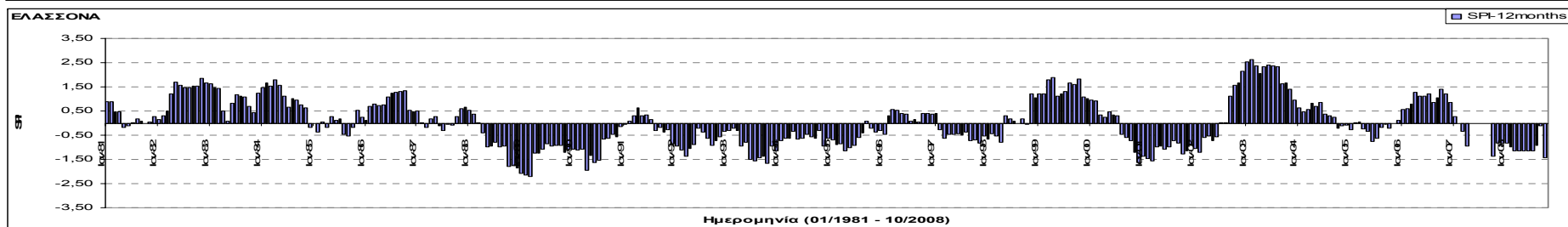
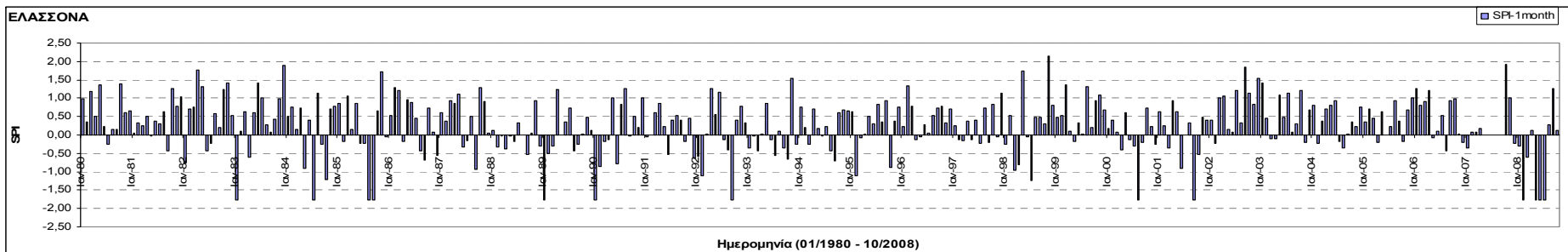
Διάγραμμα 4.3: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Βερδικούσα



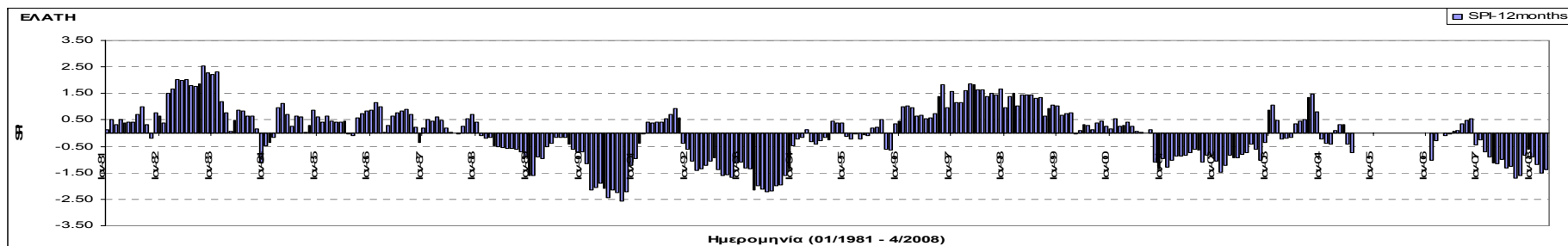
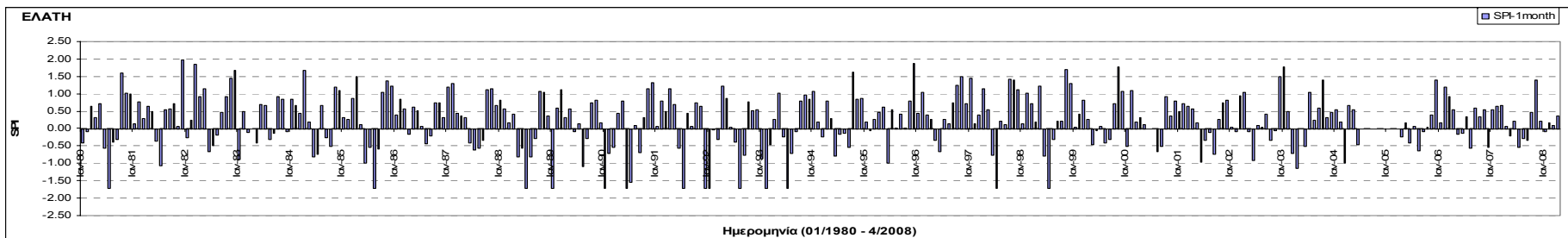
Διάγραμμα 4.4: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Γιαννωτά



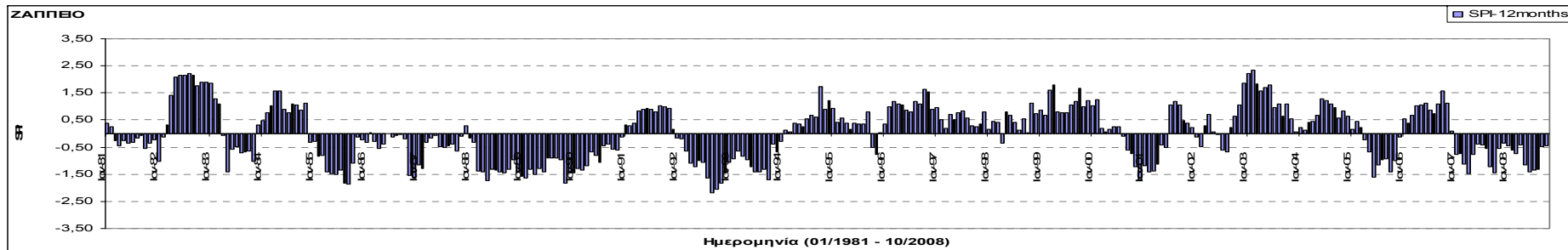
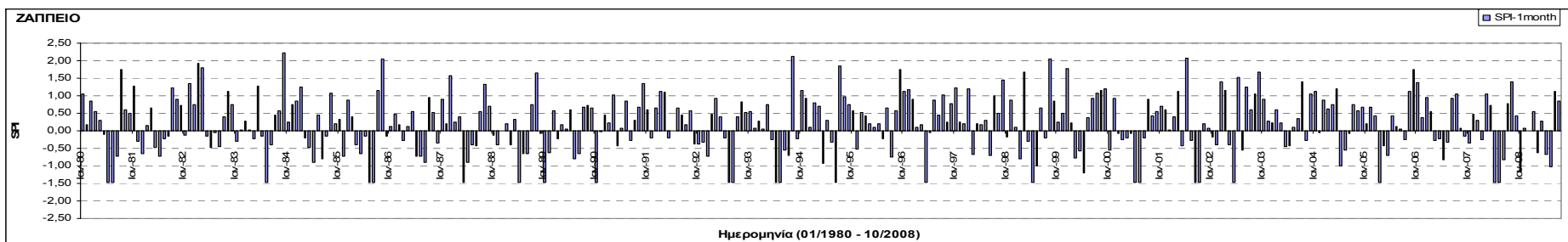
Διάγραμμα 4.5: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Δρακότρυπα



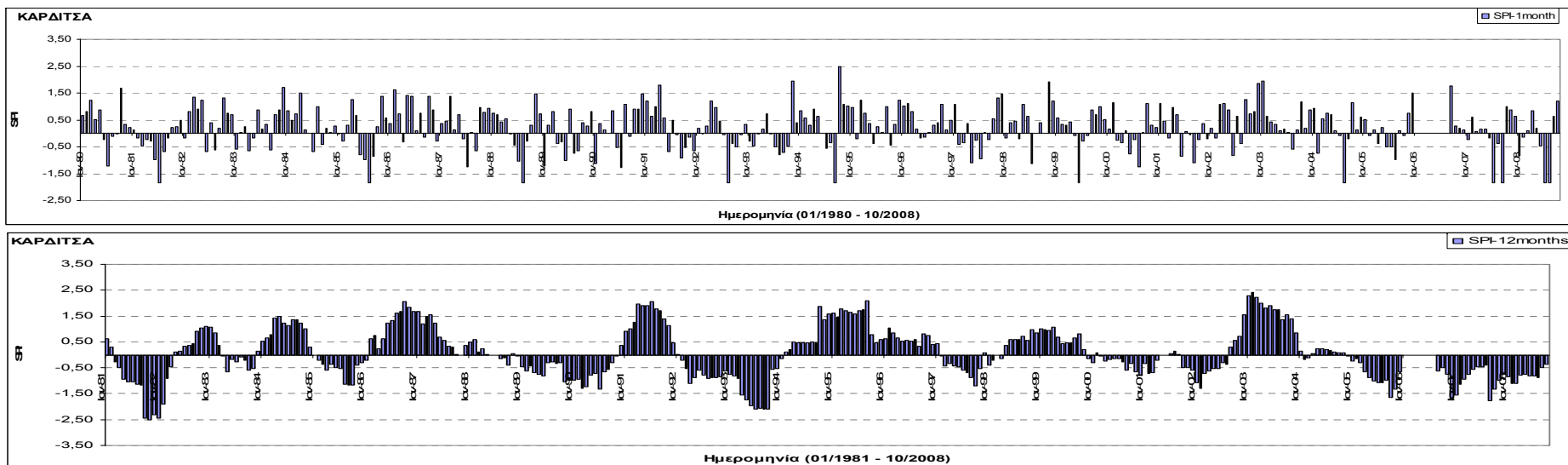
Διάγραμμα 4.6: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Ελασσόνα



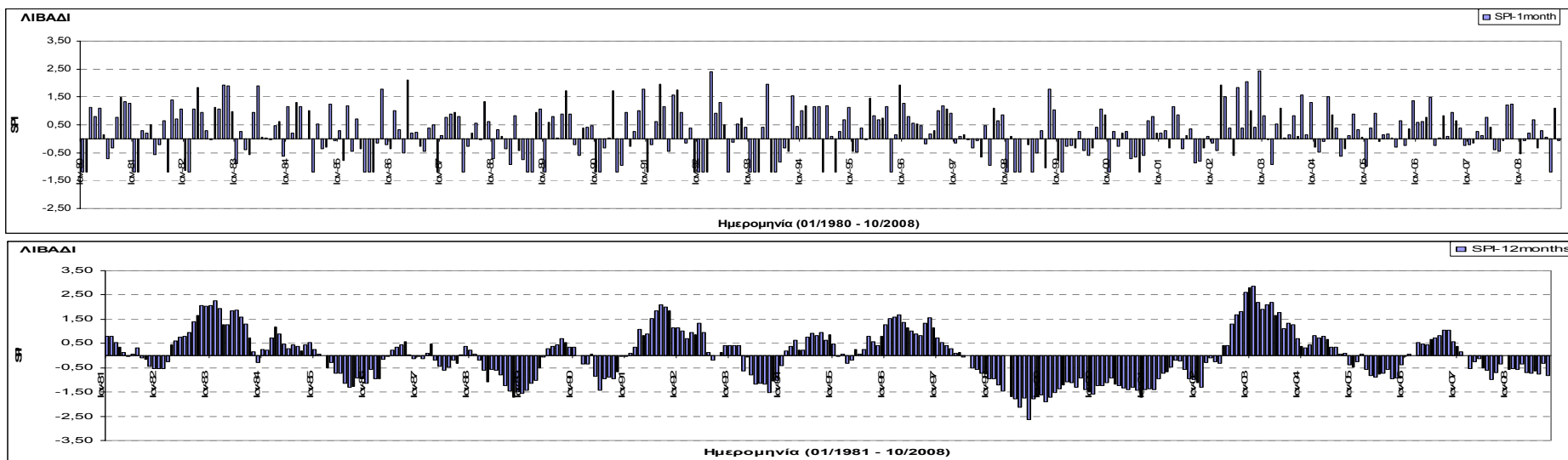
Διάγραμμα 4.7: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Ελάτη



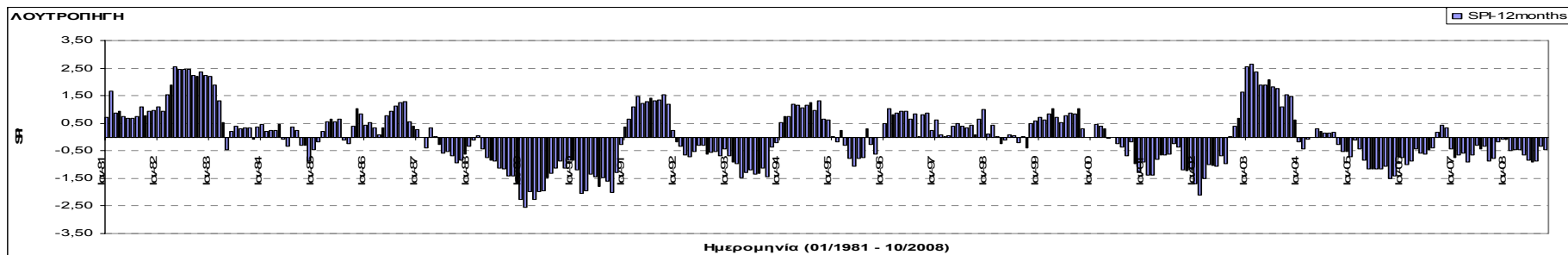
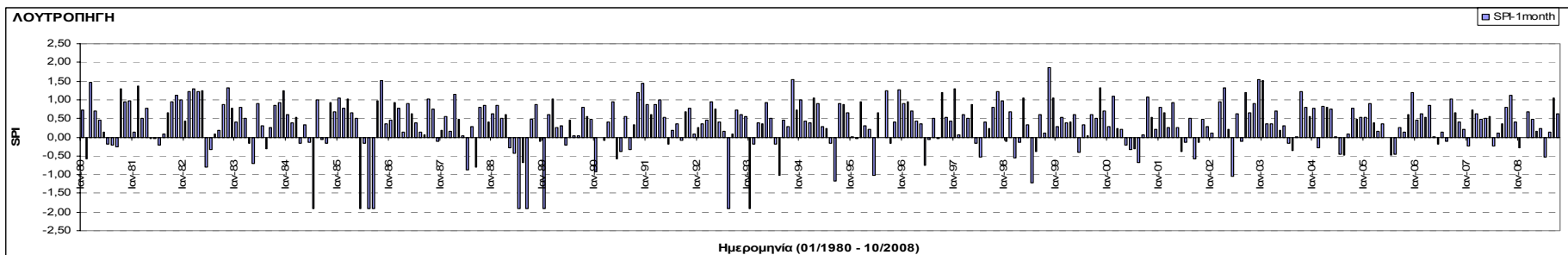
Διάγραμμα 4.8: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Ζάππειο



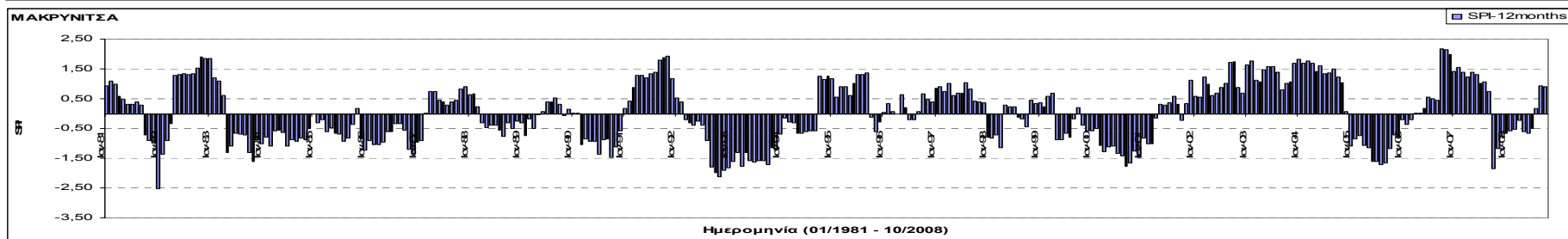
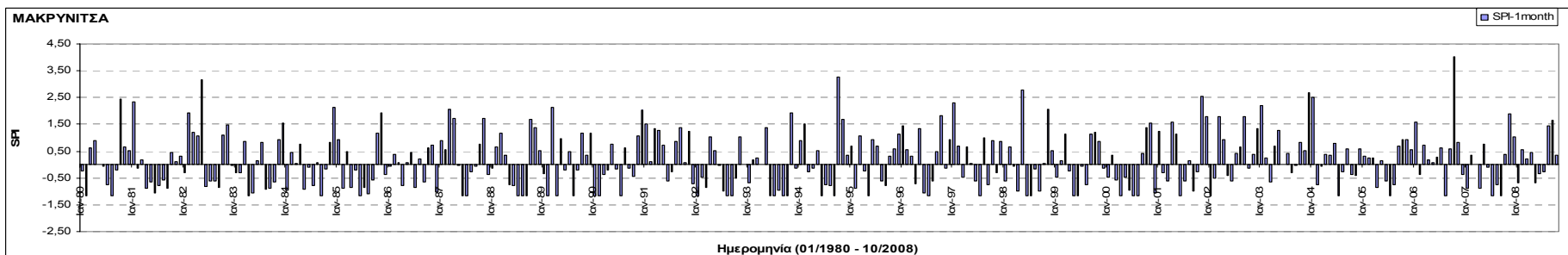
Διάγραμμα 4.9: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Καρδίτσα



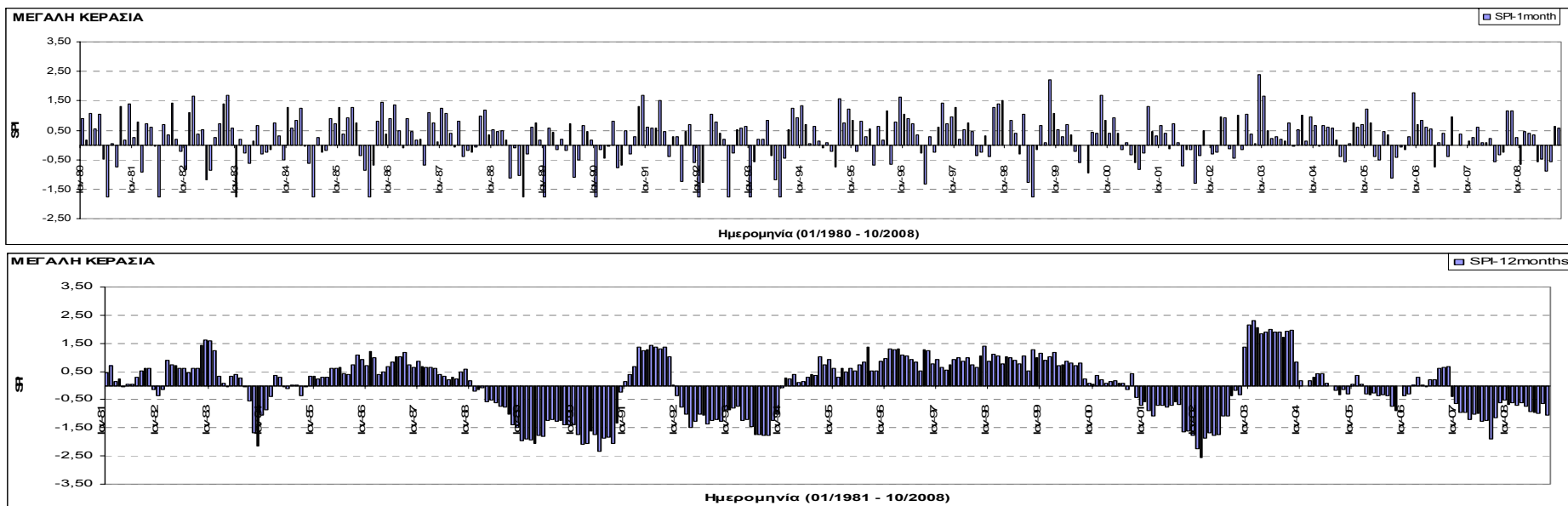
Διάγραμμα 4.10: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Λιβάδι



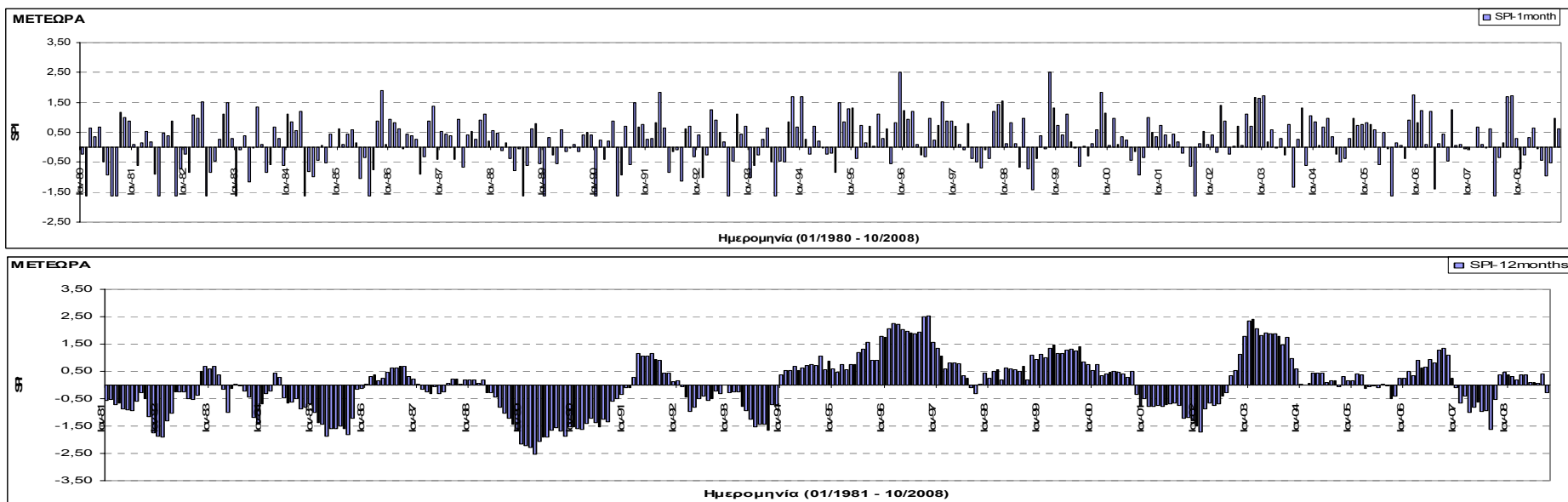
Διάγραμμα 4.11: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Λουτροπηγή



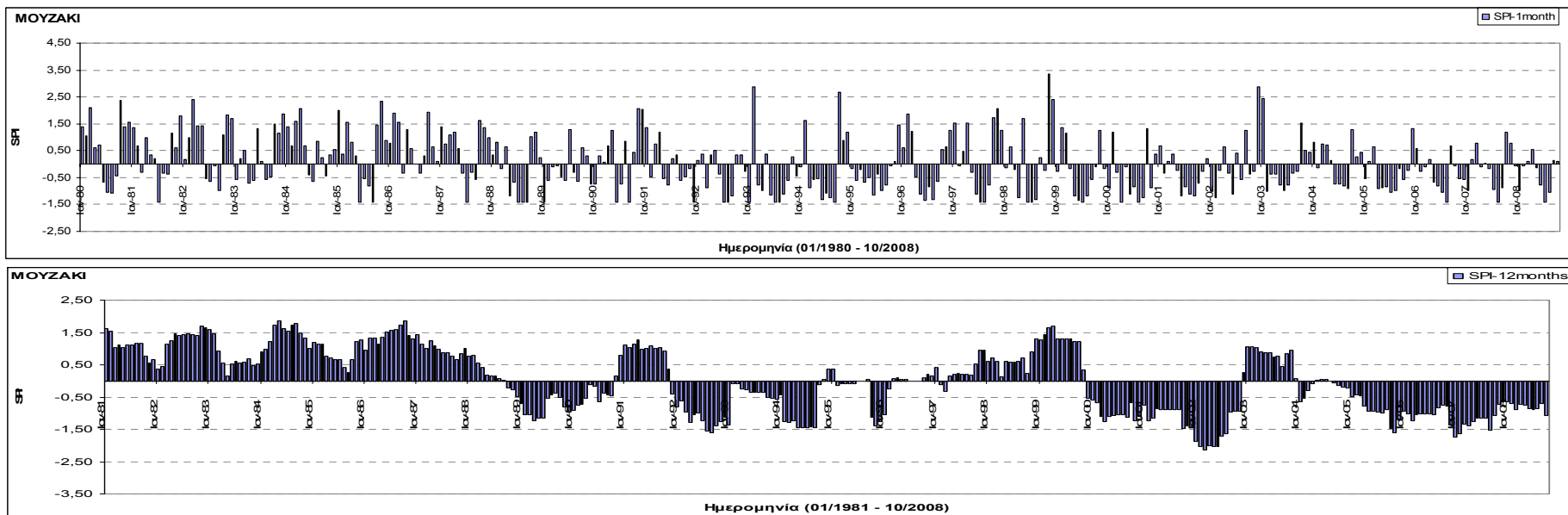
Διάγραμμα 4.12: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Μακρυνίτσα



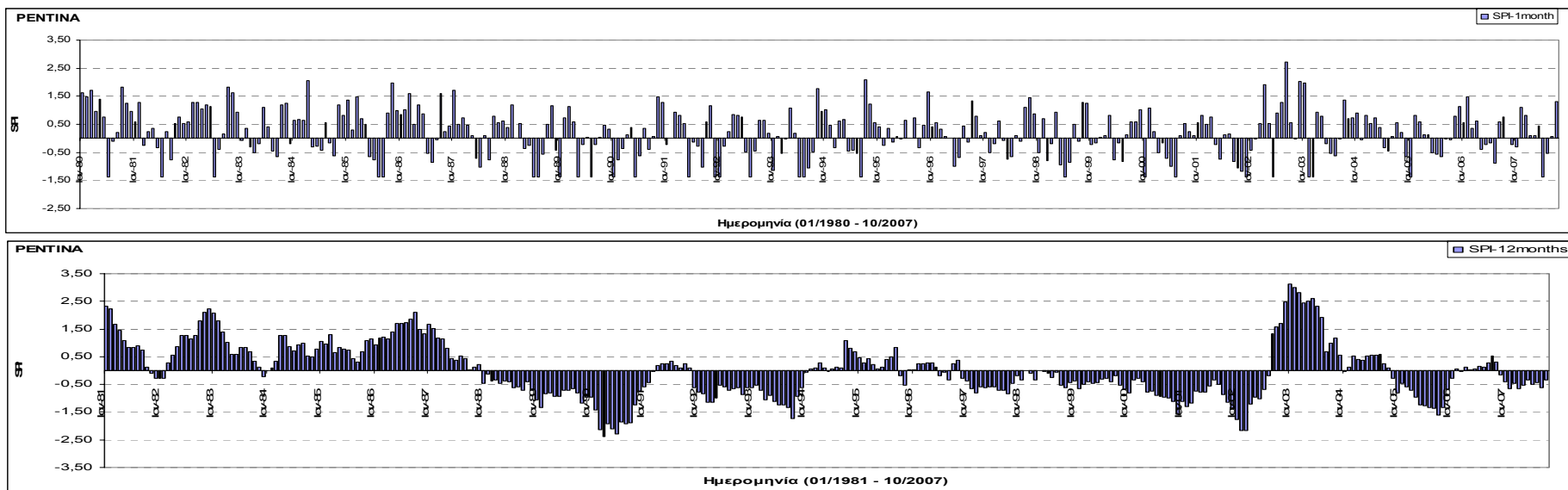
Διάγραμμα 4.13: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Μεγάλη Κερασιά



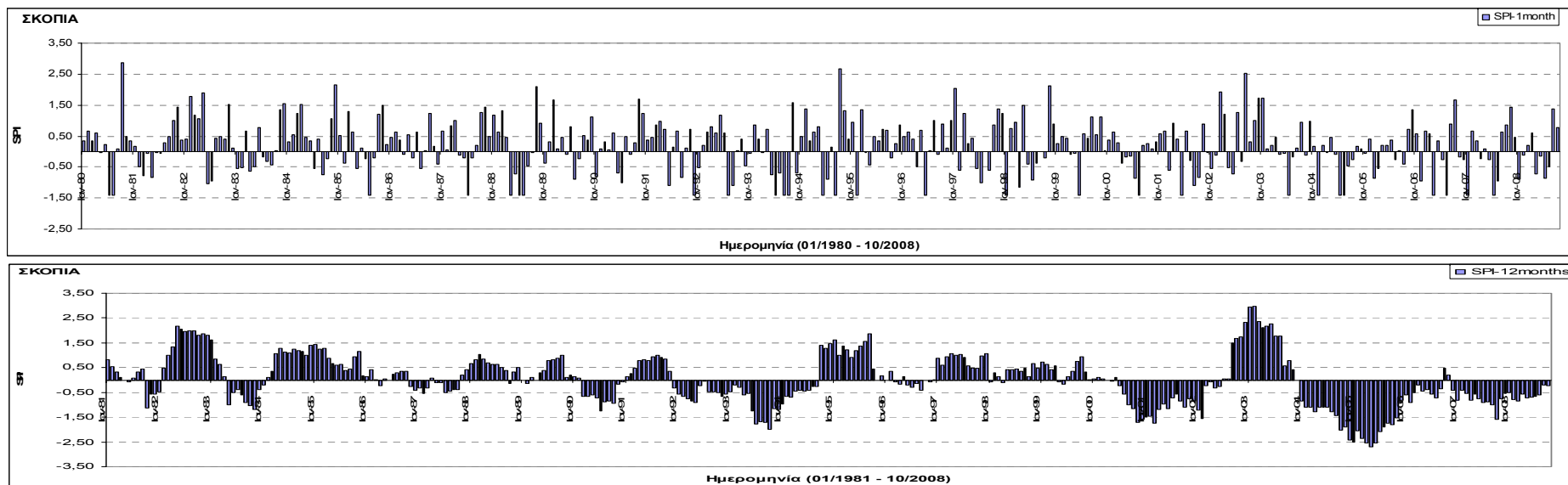
Διάγραμμα 4.14: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Μετέωρα



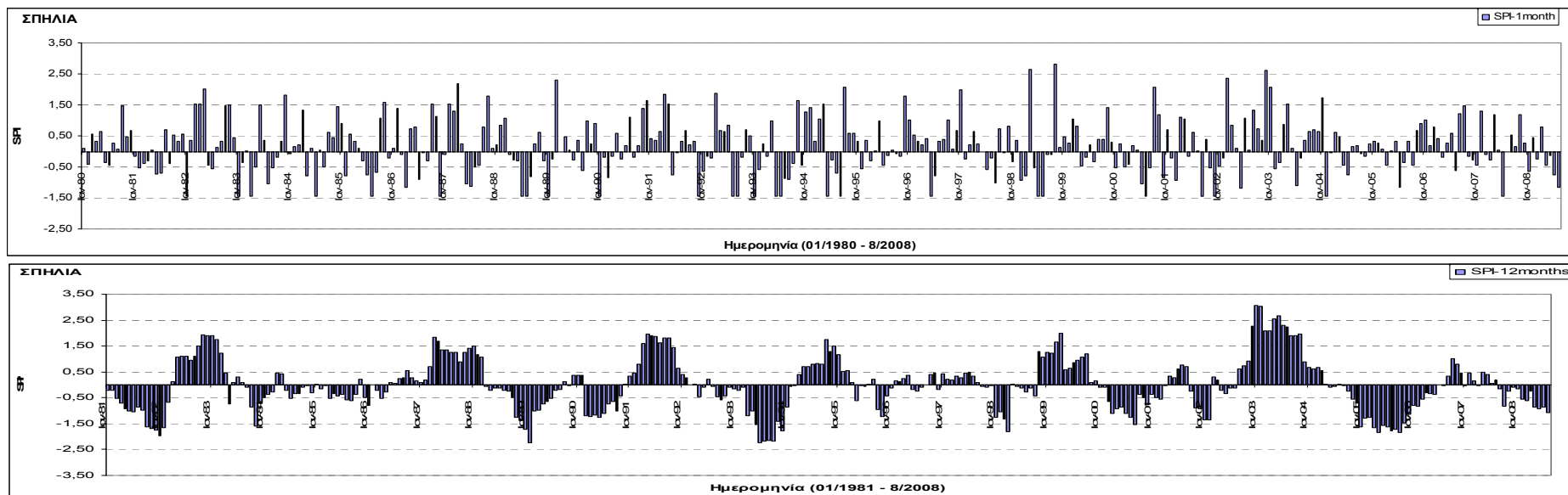
Διάγραμμα 4.15: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Μουζάκι



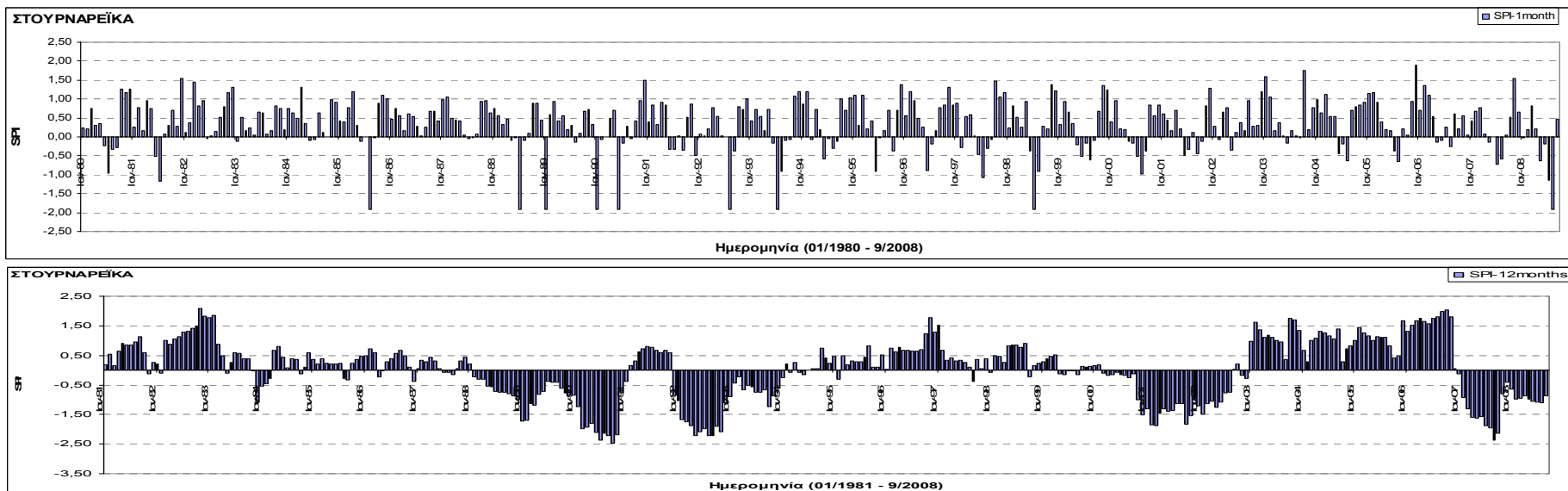
Διάγραμμα 4.16: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Ρεντίνα



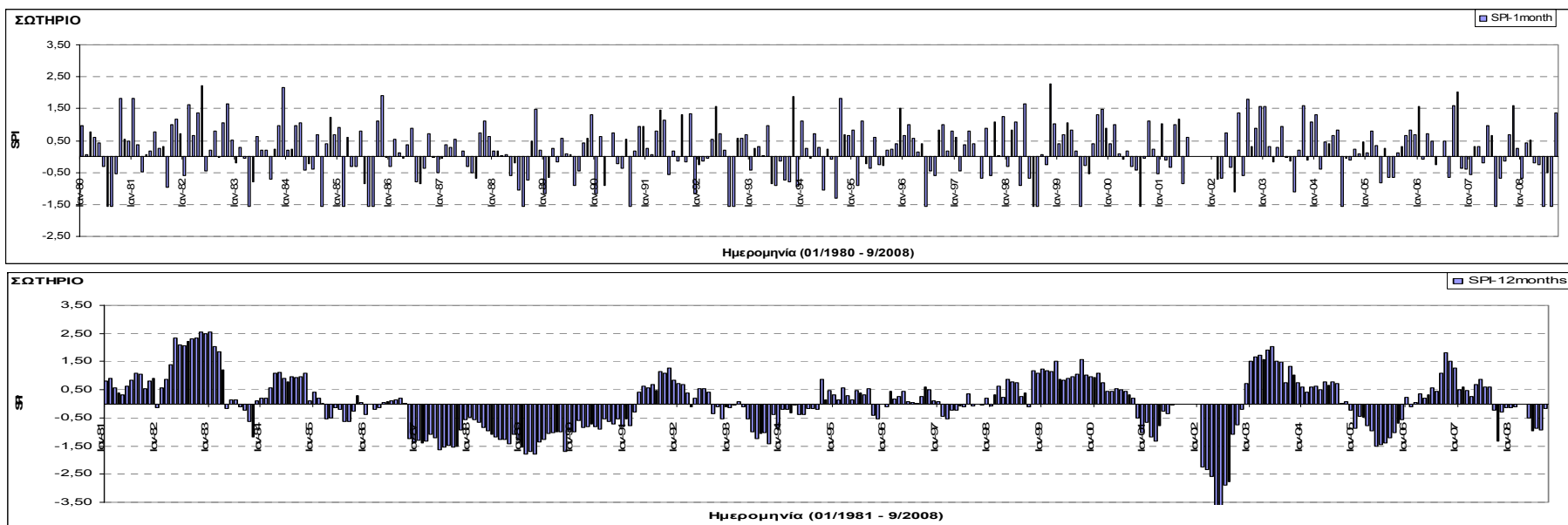
Διάγραμμα 4.17: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Σκοπιά



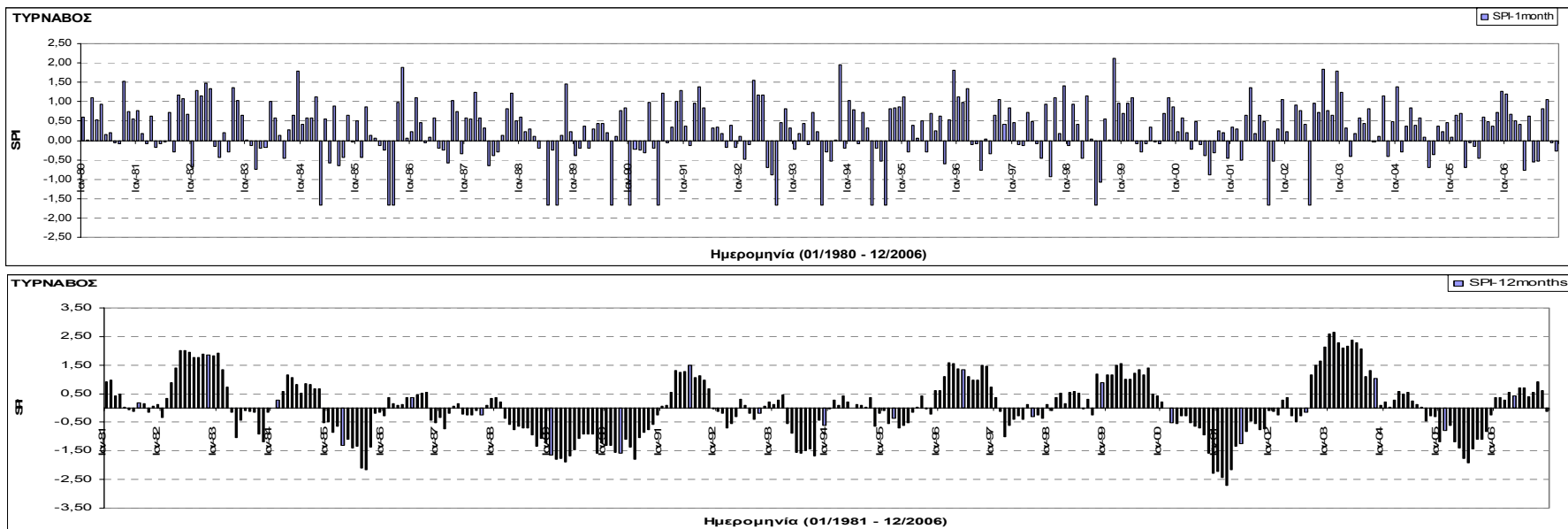
Διάγραμμα 4.18: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Σπηλιά



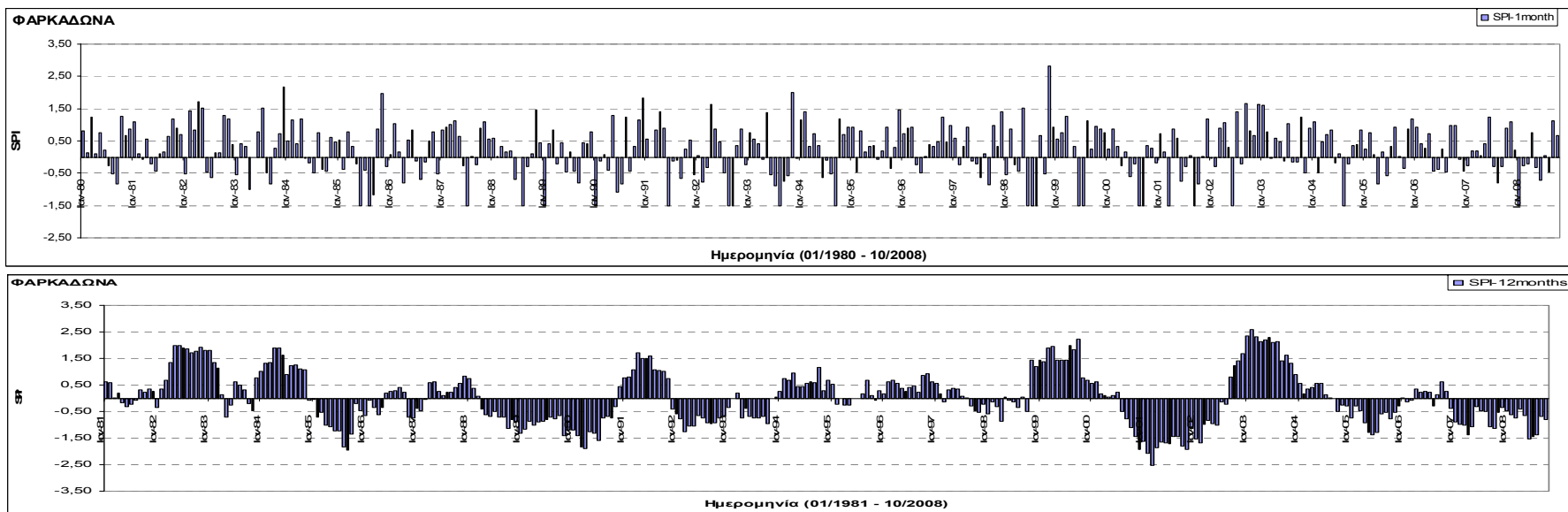
Διάγραμμα 4.19: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Στουρναρέικα



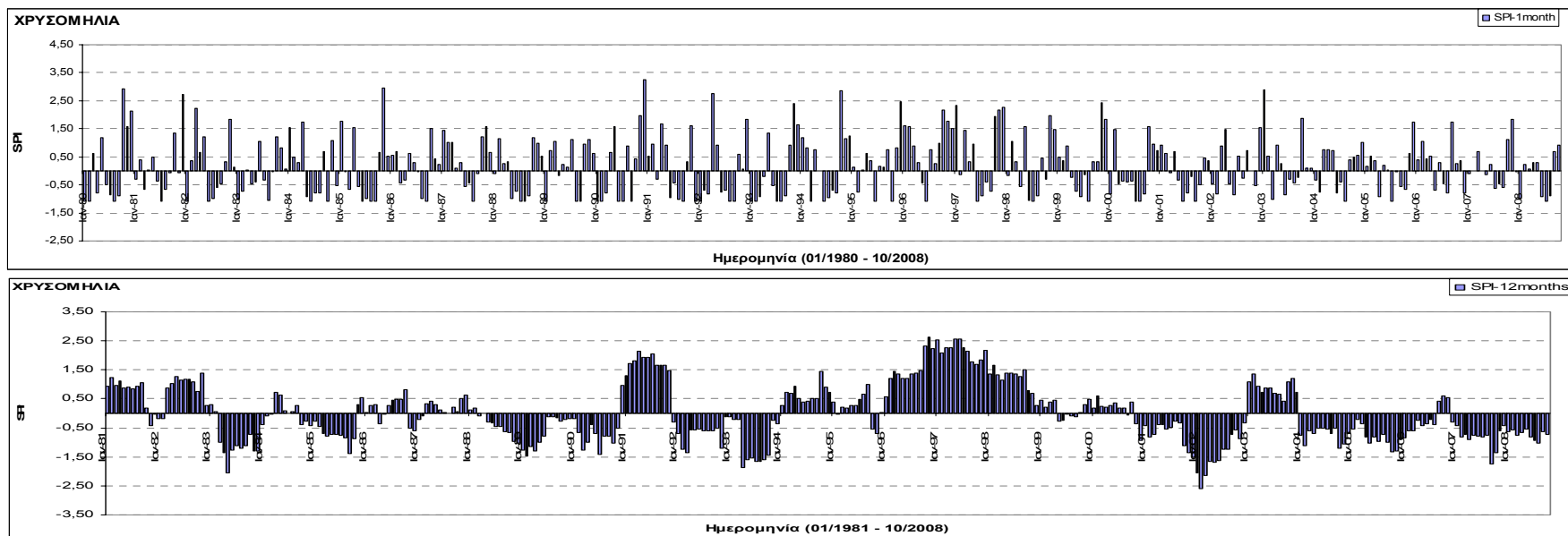
Διάγραμμα 4.20: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Σωτήριο



Διάγραμμα 4.21: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Τύρναβος



Διάγραμμα 4.22: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Φαρκαδώνα



Διάγραμμα 4.23: SPI-1month (επάνω) και SPI-12months (κάτω) για το σταθμό Χρυσομηλιά

4.3.2. Συχνότητα εμφάνισης των επεισοδίων ξηρασίας

Στο πίνακα 4.1 δίνεται η συχνότητα εμφάνισης (αριθμός επεισοδίων) εξαιρετικής ξηρασίας ($SPI \leq -2.0$), σημαντικής ξηρασίας ($-1.99 \leq SPI \leq -1.5$) και ξηρασίας ($-1.49 \leq SPI \leq -1.0$) για την περίοδο 1981 – 2008 στα 2 χρονικά κατώφλια (1-μήνας, 12-μήνες) για καθένα από τους 23 σταθμούς. Επίσης υπολογίζονται οι στατιστικές παράμετροι (μέσος όρος, διάμεσος, τυπική απόκλιση διακύμανση) όλων των σταθμών.

| Σταθμός | Εξαιρετική Ξηρασία | | Σημαντική Ξηρασία | | Ξηρασία | |
|------------------------|--------------------|-------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| | SPI-1month | SPI-12month | SPI-1month | SPI-12month | SPI-1month | SPI-12month |
| ΑΓΙΟΦΥΛΛΟ | 0 | 14 | 20 | 25 | 2 | 15 |
| ΑΝΑΒΡΑ | 0 | 4 | 0 | 11 | 50 | 42 |
| ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΑ | 0 | 3 | 0 | 20 | 35 | 37 |
| ΓΙΑΝΝΩΤΑ | 0 | 12 | 14 | 20 | 5 | 20 |
| ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ | 4 | 10 | 0 | 9 | 12 | 40 |
| ΕΛΑΣΣΟΝΑ | 0 | 4 | 13 | 13 | 4 | 40 |
| ΕΛΑΤΗ | 0 | 13 | 24 | 12 | 4 | 31 |
| ΖΑΠΠΕΙΟ | 0 | 2 | 0 | 15 | 28 | 50 |
| ΚΑΡΔΙΤΣΑ | 0 | 9 | 11 | 5 | 11 | 31 |
| ΛΙΒΑΔΙ | 0 | 2 | 0 | 15 | 42 | 40 |
| ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ | 0 | 6 | 9 | 10 | 5 | 35 |
| ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑ | 0 | 2 | 0 | 19 | 50 | 36 |
| ΜΕΓΑΛΗ ΚΕΡΑΣΙΑ | 0 | 8 | 13 | 23 | 11 | 35 |
| ΜΕΤΕΩΡΑ | 0 | 5 | 18 | 25 | 9 | 25 |
| ΜΟΥΖΑΚΙ | 0 | 5 | 0 | 9 | 58 | 57 |
| ΡΕΝΤΙΝΑ | 0 | 6 | 0 | 8 | 34 | 26 |
| ΣΚΟΠΙΑ | 0 | 9 | 0 | 14 | 35 | 25 |
| ΣΠΗΛΙΑ | 0 | 5 | 0 | 19 | 36 | 28 |
| ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΪΚΑ | 0 | 13 | 9 | 21 | 3 | 24 |
| ΣΩΤΗΡΙΟ | 0 | 3 | 20 | 23 | 8 | 32 |
| ΤΥΡΝΑΒΟΣ | 0 | 7 | 15 | 16 | 1 | 27 |
| ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ | 0 | 2 | 23 | 16 | 3 | 34 |
| ΧΡΥΣΟΜΗΛΙΑ | 0 | 4 | 0 | 11 | 57 | 32 |
| Μ.Ο. 23 σταθμών | 0,17 | 6,43 | 8,22 | 15,61 | 21,87 | 33,13 |
| Διάμεσος | 0,00 | 5,00 | 9,00 | 15,00 | 11,00 | 32,00 |
| Τυπική απόκλιση | 0,83 | 3,87 | 8,84 | 5,77 | 19,88 | 9,41 |
| Διακύμανση | 0,70 | 14,98 | 78,09 | 33,25 | 395,39 | 88,57 |
| Μέγιστο | 4,00 | 14,00 | 24,00 | 25,00 | 58,00 | 57,00 |
| Ελάχιστο | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 5,00 | 1,00 | 15,00 |

Πίνακας 4.1: Αριθμός επεισοδίων εξαιρετικής ξηρασίας ($SPI \leq -2.0$), σημαντικής ξηρασίας ($-1.99 \leq SPI \leq -1.5$) και ξηρασίας ($-1.49 \leq SPI \leq -1.0$) για την περίοδο 1981 – 2008 στα 2 χρονικά κατώφλια (1-μήνας, 12-μήνες) για καθένα από τους 23 σταθμούς της Θεσσαλίας.

Η μέση συχνότητα εμφάνισης εξαιρετικών ξηρασιών και σημαντικών ξηρασιών στη Θεσσαλία σύμφωνα με το δείκτη SPI-1month, είναι 0,17 και 8,22 επεισόδια αντίστοιχα (Πίνακας 4.1). Παρατηρούμε ότι με βάση τον SPI-12months ο αριθμός των επεισοδίων ξηρασίας ανά σταθμό αυξάνει σε σχέση με τον SPI-1month, καθώς και η αντίστοιχη μέση συχνότητα όλων των σταθμών. Έτσι η μέση συχνότητα εμφάνισης εξαιρετικής ξηρασίας είναι 6,4, σημαντικής ξηρασίας είναι 15,6 και ξηρασίας 33,1. Επίσης η απόκλιση της μέσης συχνότητας εμφάνισης

των επεισοδίων όπως αυτή αξιολογείται από τους SPI-12months SPI-1month είναι της τάξης 34% για την ξηρασία, 47% για τη σημαντική ξηρασία και 97% για την εξαιρετική ξηρασία (με τον SPI-1month να δίνει πάντα χαμηλότερες συχνότητες εμφάνισης). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ο SPI-1month παρουσιάζει αδυναμία στην απεικόνιση των επεισοδίων σημαντικής και ιδίως εξαιρετικής ξηρασίας και χρειάζεται ανάλυση με μεγαλύτερο χρονικό κατώφλι (12 μήνες, 48 μήνες) για να αποτυπωθούν επακριβώς τα επεισόδια αυτά.

Οι συχνότητες εμφάνισης των επεισοδίων ξηρασίας παρουσιάζονται ακολούθως ανά περιοχή της Θεσσαλίας (BA, ΒΔ, ΚΑ, ΚΔ, ΝΑ, ΝΔ) προκειμένου να αξιολογηθεί η χωρική εμφάνιση των επεισοδίων. Οι 23 σταθμοί κατατάχθηκαν στις προτεινόμενες περιοχές ανάλογα με τη θέση τους. Έτσι,

Η ΒΔ περιοχή περιλαμβάνει 5 σταθμούς: Αγιόφυλο, Βερδικούσα, Γιαννωτά, Μεγάλη Κερασιά, Μετέωρα

Η ΒΑ περιοχή περιλαμβάνει 4 σταθμούς: Ελασσόνα, Λιβάδι, Σπηλιά, Τύρναβος

Η ΚΔ περιοχή περιλαμβάνει 6 σταθμούς: Δρακότρυπα, Ελάτη, Μουζάκι, Στουρναρέικα, Φαρκαδώνα, Χρυσομηλιά

Η ΚΑ περιοχή περιλαμβάνει 2 σταθμούς: Ζάππειο, Σωτήριο

Η ΝΔ περιοχή περιλαμβάνει 4 σταθμούς: Ανάβρα, Καρδίτσα, Λουτροπηγή, Ρεντίνα

Η ΝΑ περιοχή περιλαμβάνει 2 σταθμούς: Μακρυνίτσα, Σκοπιά

| Περιοχή Θεσσαλίας | Εξαιρετική Ξηρασία | | Σημαντική Ξηρασία | | Ξηρασία | |
|------------------------------------------------|--------------------|-------------|-------------------|-------------|--------------|--------------|
| | SPI-1month | SPI-12month | SPI-1month | SPI-12month | SPI-1month | SPI-12month |
| ΒΔ Μ.Ο. 5 σταθμών Τυπική απόκλιση | 0 0 | 8.4 4.6 | 13 7,8 | 22.6 2.5 | 12,4 13,1 | 26.4 9.5 |
| ΒΑ Μ.Ο. 4 σταθμών Τυπική απόκλιση | 0 0 | 4.5 2.1 | 7 8,1 | 15.8 2.5 | 20,8 21,3 | 33.8 7.2 |
| ΚΔ Μ.Ο. 6 σταθμών Τυπική απόκλιση | 0,7 1,6 | 7.8 4.8 | 9,3 11,5 | 13 4.7 | 22,8 27,1 | 36.3 11.4 |
| ΚΑ Μ.Ο. 2 σταθμών Τυπική απόκλιση | 0 0 | 2.5 0.7 | 10 14,1 | 19 5.7 | 18 14,1 | 41 12.7 |
| ΝΔ Μ.Ο. 4 σταθμών Τυπική απόκλιση | 0 0 | 6.25 2.1 | 5 5,8 | 8.5 2.6 | 25 20,8 | 33.5 6.8 |
| ΝΑ Μ.Ο. 2 σταθμών Τυπική απόκλιση | 0 0 | 5.5 4.9 | 0 0 | 16.5 3.5 | 42,5 10,6 | 30.5 7.8 |

Πίνακας 4.2: Μέσος αριθμός επεισοδίων εξαιρετικής ξηρασίας ($SPI \leq -2.0$), σημαντικής ξηρασίας ($-1.99 \leq SPI \leq -1.5$) και ξηρασίας ($-1.49 \leq SPI \leq -1.0$) για την περίοδο 1981 – 2008 στα 2 χρονικά κατώφλια (1-μήνας, 12-μήνες) ανά περιοχή της Θεσσαλίας.

Σύμφωνα με το δείκτη SPI-1month η μοναδική περιοχή με εμφάνιση εξαιρετικής ξηρασίας είναι η ΚΔ, ενώ η περιοχή με τη συχνότερη εμφάνιση σημαντικής ξηρασίας είναι η ΒΔ και

κατόπιν η ΚΑ και ΚΔ (Πίνακας 4.2). Στη ΝΔ και ΝΑ Θεσσαλία παρατηρείται το μεγαλύτερο πλήθος επεισοδίων ξηρασίας (όχι όμως σημαντικής και εξαιρετικής). Σύμφωνα με τον SPI-12months οι περιοχές με τη συχνότερη εμφάνιση εξαιρετικής ξηρασίας (Πίνακας 4.2) είναι η ΒΔ (8,4) και η ΚΔ (7,8) Θεσσαλία, ενώ οι περιοχές με τη συχνότερη εμφάνιση σημαντικής ξηρασίας είναι η ΒΔ (13) και η ΚΔ (9,3) και ΚΑ (10) Θεσσαλία.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η χρονική εξέλιξη και κατανομή των επεισοδίων η εξεταζόμενη περίοδος χωρίστηκε σε 3 χρονικές υποπεριόδους 1980-1989 (10 έτη), 1990-1999 (10 έτη), 2000-2008 (8 έτη). Παράλληλα καταγράφηκαν τα επικρατέστερα (κύρια) επεισόδια εξαιρετικής και σημαντικής ξηρασίας ανά σταθμό όπως φαίνονται στους Πίνακες 4.3-4.4. Θεωρώντας ότι κύριο επεισόδιο είναι αυτό το οποίο έχει καταγραφεί σε τουλάχιστον 5 σταθμούς, σύμφωνα με τον SPI-1month, δεν παρατηρήθηκαν κύρια επεισόδια εξαιρετικής ξηρασίας (καταγραφή μόνο στο σταθμό Δρακότρυπα), ενώ τα κύρια επεισόδια σημαντικής ξηρασίας παρατηρήθηκαν τους εξής μήνες: Ιουλ-84, Αυγ-85, Αυγ-88, Ιαν-89, Ιαν-90, Αυγ-92, Σεπ-92, Ιουλ-93, Ιουλ-98, Σεπ-01. Σύμφωνα με τον SPI-12month τα κύρια επεισόδια εξαιρετικής ξηρασίας παρατηρήθηκαν τους εξής μήνες: Φεβ-89, Απρ-89, Μαρ-90, Απρ-90, Ιουν-90, Ιουλ-90, Οκτ-90, Φεβ-90.

| Επικρατέστερα επεισόδια Σημαντικής Ξηρασίας με βάση τον SPI-1month | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Περιοχή / Σταθμοί | 1984 | 1985 | 1988 | 1989 | 1990 | 1992 | | 1993 | 1998 | 2001 |
| | Ιουλ-84 | Αυγ-85 | Αυγ-88 | Ιαν-89 | Ιαν-90 | Αυγ-92 | Σεπ-92 | Ιουλ-93 | Ιουλ-98 | Σεπ-01 |
| ΒΔ ΑΓΙΟΦΥΛΛΟ ΓΙΑΝΝΩΤΑ ΜΕΓΑΛΗ ΚΕΡΑΣΙΑ ΜΕΤΕΩΡΑ | x | x | x | x | x | x | | x | x | x |
| | x | | | | x | | x | x | x | x |
| | x | | x | | x | x | | x | x | |
| | | x | x | x | x | x | | x | | x |
| ΒΑ ΕΛΑΣΣΟΝΑ ΤΥΡΝΑΒΟΣ | x | x | | x | x | | x | | | x |
| | | x | | | x | | x | x | x | x |
| ΚΔ ΕΛΑΤΗ ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΪΚΑ ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ | | x | | x | x | x | | x | x | |
| | | x | | x | x | x | | x | x | |
| | | x | x | x | x | x | x | | x | x |
| ΚΑ ΣΩΤΗΡΙΟ | | x | x | | | x | x | | x | |
| ΝΔ ΚΑΡΔΙΤΣΑ ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ | | x | x | | | x | | | | |
| | x | x | | x | | x | | | | |
| σύνολο σταθμών | 5 | 10 | 6 | 7 | 9 | 9 | 5 | 7 | 8 | 6 |

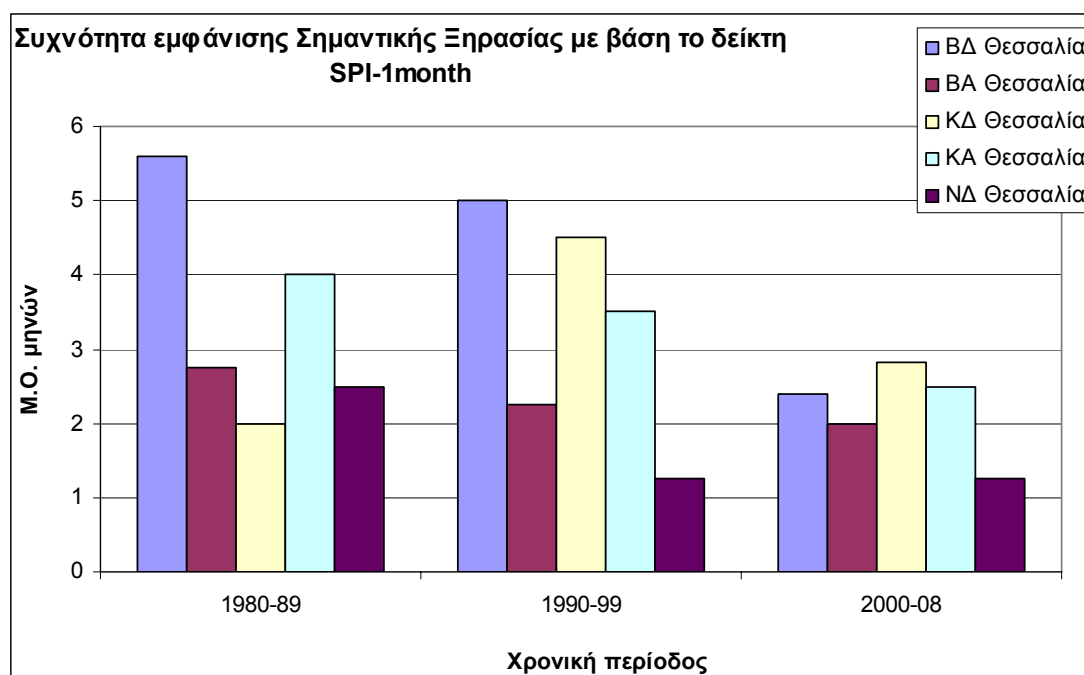
Πίνακας 4.3: Επικρατέστερα επεισόδια σημαντικής ξηρασίας με βάση τον SPI-1month

| Επικρατέστερα επεισόδια Εξαιρετικής Ξηρασίας με βάση τον SPI-12months | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| Περιοχή / Σταθμοί | 1989 | | 1990 | | | | 2002 | |
| | Φεβ-89 | Απρ-89 | Μαρ-90 | Απρ-90 | Ιουν-90 | Ιουλ-90 | Οκτ-90 | Φεβ-02 |
| ΒΔ ΑΓΙΟΦΥΛΛΟ ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΑ ΓΙΑΝΝΩΤΑ ΜΕΓΑΛΗ ΚΕΡΑΣΙΑ ΜΕΤΕΩΡΑ | | | x | x | x | x | x | |
| | | | x | | | | | x |
| | | x | | | | x | | x |
| | | x | x | x | | x | x | x |
| ΒΑ ΕΛΑΣΣΟΝΑ | x | | | x | | | | |

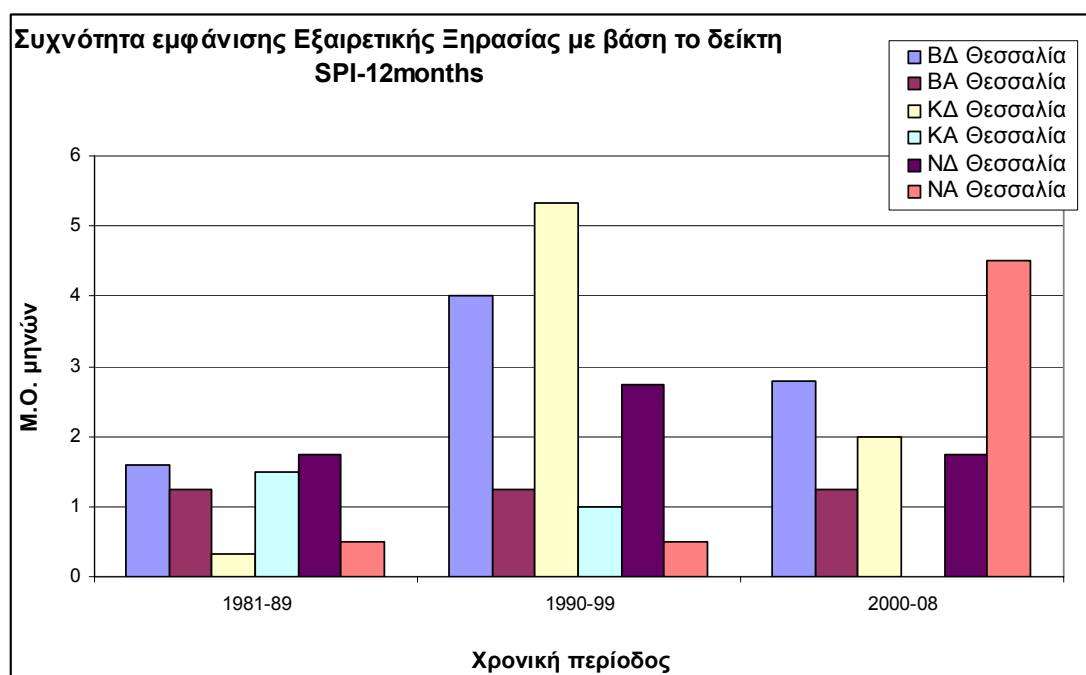
| | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | ΣΠΗΛΙΑ | x | | | | | | | |
| ΚΔ | ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ | | | x | x | x | x | x | |
| | ΕΛΑΤΗ | | | x | x | x | x | x | |
| | ΜΟΥΖΑΚΙ | | | | | | | | x |
| | ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΪΚΑ ΧΡΥΣΟΜΗΛΙΑ | | | | | x | x | x | x |
| ΚΑ | ΣΩΤΗΡΙΟ | x | x | | | | | | |
| ΝΔ | ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ | | x | x | | | | x | x |
| | ΡΕΝΤΙΝΑ | | | x | x | x | x | | x |
| σύνολο σταθμών | | 5 | 5 | 7 | 6 | 5 | 7 | 6 | 7 |

Πίνακας 4.4: Επικρατέστερα Επεισόδια εξαιρετικής ξηρασίας με βάση τον SPI-12months

Αξιοσημείωτη είναι η εξέλιξη που παρουσιάζει η συχνότητα εμφάνισης σημαντικής και εξαιρετικής ξηρασίας από τη μία υποπερίοδο στην άλλη (Διαγράμματα 4.24, 4.25). Τα σημαντικά επεισόδια ξηρασίας για τον SPI-1month μειώνονται σε όλες της περιοχές της Θεσσαλίας εκτός της ΚΔ όπου από τη δεκαετία του 1980-89 υπερδιπλασιάζεται στην αμέσως επόμενη (1990-99) και μειώνεται κατόπιν την περίοδο 2000-08 (παραμένοντας όμως σε υψηλότερα επίπεδα από το 1980-89). Σύμφωνα με τον SPI-12months τα εξαιρετικά επεισόδια ξηρασίας αυξάνονται από το 1981-89 στις επόμενες δεκαετίες σε όλες τις περιοχές της Θεσσαλίας εκτός της ΚΑ όπου παρατηρείται σταδιακή μείωση αυτών. Από την περίοδο 1981-89 στην επόμενη δεκαετία 1990-99 παρατηρείται μεγάλη αύξηση των επεισοδίων στο Δυτικό τμήμα της Θεσσαλίας (ΚΔ 1660%, ΒΔ 150%, ΝΔ 57%). Στην ακόλουθη περίοδο 2000-08 η συχνότητα αυτή μειώνεται, παραμένει βέβαια σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με το 1981-89. Στην ΝΑ Θεσσαλία ενώ η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων είναι σχετικά χαμηλή το 1981-89 και 1990-99 παρατηρείται μεγάλη έξαρση το 2000-08 (αύξηση 800%).



Διάγραμμα 4.24: Εξέλιξη σημαντικής ξηρασίας ανά 10ετία με βάση το δείκτη SPI-1month.



Διάγραμμα 4.25: Εξέλιξη εξαιρετικής ξηρασίας ανά 10ετία με βάση το δείκτη SPI-12months.

4.3.3. Διάρκεια ξηρασίας

Η μέση διάρκεια των επεισοδίων εξαιρετικής και σημαντικής ξηρασίας (διάρκεια επεισοδίου = το πλήθος των συνεχόμενων μηνών με $SPI \leq -2.0$ και $-1.99 \leq SPI \leq -1.5$) για τα 2 χρονικά κατώφλια (1-μήνας, 12-μήνες) φαίνεται στους παρακάτω πίνακες:

| Συχνότητα εμφάνισης σημαντικής ξηρασίας ανά σταθμό (με βάση το δείκτη SPI-1month) | Περιοχή | Σταθμός | Διάρκεια επεισοδίου σε μήνες | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------|---------|------------------------------|-----------|---|---|---|---|---|---|----|--|
| | | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| | | | ΒΔ Θεσσαλία | ΑΓΙΟΦΥΛΛΟ | 1 | | | | | | | |
| ΒΑ Θεσσαλία | ΕΛΑΣΣΟΝΑ | 2 | | | | | | | | | | |
| ΚΔ Θεσσαλία | ΕΛΑΤΗ | | | | | | | | | 1 | | |
| ΚΑ Θεσσαλία | ΣΩΤΗΡΙΟ | 4 | | | | | | | | | | |
| ΝΔ Θεσσαλία | ΚΑΡΔΙΤΣΑ | 1 | | | | | | | | | | |
| ΝΑ Θεσσαλία | ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ | 1 | | | | | | | | | | |

Πίνακας 4.5: Μέση διάρκεια των επεισοδίων σημαντικής ξηρασίας με βάση το δείκτη SPI-1month.

| Περιοχή | Σταθμός | Διάρκεια επεισοδίου σε μήνες | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| ΒΔ Θεσσαλία | ΑΓΙΟΦΥΛΛΟ | 1 | | | | | | | | 1 | |
| | ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΑ | 1 | | | | | | | | | |
| | ΓΙΑΝΝΩΤΑ | | 1 | | | 1 | | | | | |
| | ΜΕΓΑΛΗ ΚΕΡΑΣΙΑ | 2 | | | | | | | | | |
| | ΜΕΤΕΩΡΑ | | | | 1 | | | | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 1,3 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | 1 | - | 1 | |
| ΒΑ Θεσσαλία | ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ | | | | | | | 1 | | | |
| | ΕΛΑΣΣΟΝΑ | | | 1 | | | | | | | |
| | ΛΙΒΑΔΙ | | | | | | | | | | |
| | ΣΠΗΛΙΑ | | | 1 | | | | | | | |
| | ΤΥΡΝΑΒΟΣ | 1 | | | 1 | | | | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 1 | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | |
| ΚΔ Θεσσαλία | ΕΛΑΤΗ | 1 | | 1 | | 1 | | | | | |
| | ΜΟΥΖΑΚΙ | | | | 1 | | | | | | |
| | ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΪΚΑ | 3 | | | | 1 | | | | | |
| | ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ | 1 | | | | | | | | | |
| | ΧΡΥΣΟΜΗΛΙΑ | 1 | | | | | | | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 1,5 | - | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | |
| ΚΑ Θεσσαλία | ΖΑΠΠΕΙΟ | 1 | | | | | | | | | |
| | ΣΩΤΗΡΙΟ | | | | | | | | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| ΝΔ Θεσσαλία | ΑΝΑΒΡΑ | | | | 1 | | | | | | |
| | ΚΑΡΔΙΤΣΑ | | | 1 | 1 | | | | | | |
| | ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ | 1 | | | | | | | | | |
| | ΡΕΝΤΙΝΑ | 3 | | | | | | | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 2 | - | 1 | 1 | - | - | - | - | - | |
| ΝΑ Θεσσαλία | ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑ | 1 | | | | | | | | | |
| | ΣΚΟΠΙΑ | | | | | | | 1 | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | |

Πίνακας 4.6: Μέση διάρκεια των επεισοδίων εξαιρετικής ξηρασίας με βάση το δείκτη SPI-12months.

| Περιοχή | Σταθμός | Διάρκεια επεισοδίου σε μήνες | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|------------------------------|------------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| ΒΔ Θεσσαλία | ΑΓΙΟΦΥΛΛΟ | 1 | | 3 | 2 | | | | | | |
| | ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΑ | 2 | 1 | 2 | | | | | | | |
| | ΓΙΑΝΝΩΤΑ | 2 | 1 | | 1 | | | | | | |
| | ΜΕΓΑΛΗ ΚΕΡΑΣΙΑ | 3 | 2 | 2 | | | | | | | |
| | ΜΕΤΕΩΡΑ | | 1 | | | 1 | | | | 1 | |
| | Μέση Συχνότητα | 2.0 | 1.3 | 2.3 | 1.5 | 1 | - | - | - | 1 | |
| ΒΑ Θεσσαλία | ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ | | | | | 1 | | | | | |
| | ΕΛΑΣΣΟΝΑ | 2 | 2 | | | | | | | | |
| | ΛΙΒΑΔΙ | 2 | 1 | 1 | | | | | | | |
| | ΣΠΗΛΙΑ | | | | 1 | | 1 | | | | |
| | ΤΥΡΝΑΒΟΣ | 2 | 1 | | 1 | | | | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 2.0 | 1.3 | 1 | 1 | 1 | 1 | - | - | - | |
| ΚΔ Θεσσαλία | ΕΛΑΤΗ | 3 | 2 | | | | | | | | |
| | ΜΟΥΖΑΚΙ | 3 | | | | | | | | | |
| | ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΪΚΑ | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | |
| | ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ | 5 | | 1 | | | | | | | |
| | ΧΡΥΣΟΜΗΛΙΑ | | 1 | | | 1 | | | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 3.3 | 1.3 | 1 | 1 | 1 | - | - | - | - | |
| ΚΑ Θεσσαλία | ΖΑΠΠΕΙΟ | 3 | | | | | | | | | |
| | ΣΩΤΗΡΙΟ | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 2 | 2 | 1 | 1 | - | - | - | - | | |
| ΝΔ Θεσσαλία | ΑΝΑΒΡΑ | | 1 | | | 1 | | | | | |
| | ΚΑΡΔΙΤΣΑ | 2 | | | | | | | | | |
| | ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ | 1 | | | | | | | | | |
| | ΡΕΝΤΙΝΑ | | 1 | | | | | | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 1.5 | 1 | - | - | 1 | - | - | - | | |
| ΝΑ Θεσσαλία | ΜΑΚΡΥΝΙΤΣΑ | 2 | 1 | | 2 | | | | | | |
| | ΣΚΟΠΙΑ | 1 | | 2 | | | | | | | |
| | Μέση Συχνότητα | 1.5 | 1 | 2 | 2 | - | - | - | - | | |

Πίνακας 4.7: Μέση διάρκεια των επεισοδίων σημαντικής ξηρασίας με βάση το δείκτη SPI-12months.

Με βάση το δείκτη SPI-1month παρατηρούμε ότι μόνο 9 σταθμοί παρουσιάζουν επεισόδια σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια μεγαλύτερη του 1 μήνα. Η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων με διάρκεια 2 μηνών κυμαίνεται από 1-4 (μέση συχνότητα 1.75), ενώ 1 φορά και σε ένα σταθμό παρουσιάστηκαν επεισόδια σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια 3 και 9 μήνες.

Με βάση το δείκτη SPI-12months όλοι οι σταθμοί (πλην 2, το Λιβάδι και το Σωτήριο) παρουσιάζουν επεισόδια εξαιρετικής ξηρασίας με διάρκεια μεγαλύτερη του 1 μήνα. Η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων με διάρκεια 2 μηνών κυμαίνεται από 1-3 (μέση συχνότητα 1.4), ενώ επεισόδια σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια 3 και 10 μήνες έχουν συχνότητα εμφάνισης 1 σε διάφορους σταθμούς. Η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων εξαιρετικής ξηρασίας με διάρκεια ≥ 2 μηνών παρατηρείται στην ΚΔ και ΒΔ Θεσσαλία.

Με βάση το δείκτη SPI-12months όλοι οι σταθμοί παρουσιάζουν επεισόδια σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια μεγαλύτερη του 1 μήνα. Η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων με διάρκεια 2 μηνών κυμαίνεται από 1-5 (μέση συχνότητα 2,2), με διάρκεια 3 μηνών από 1-2 (μέση συχνότητα 1,3), με διάρκεια 4 μηνών από 1-3 (μέση συχνότητα 1,6), με διάρκεια 5 μηνών από 1-2 (μέση συχνότητα 1,3), ενώ η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια 6, 7, 10 μήνες είναι 1. Η ΚΔ Θεσσαλία έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια 2 και 3 μήνες, ενώ η ΒΔ έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια 4 μήνες καθώς και τη μοναδική εμφάνιση διάρκειας 10 μηνών.

Γενικά παρατηρούμε ότι η διάρκεια των επεισοδίων εξαιρετικής ξηρασίας αυξάνει ανάλογα με το χρονικό κατώφλι που χρησιμοποιείται. Συγκεκριμένα, ο δείκτης SPI-1month παρουσιάζει μικρές ακολουθίες ο δείκτης SPI-12months παρουσιάζει μεγάλες ακολουθίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μια συμβολή στη μελέτη της ξηρασία στο Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας που είναι από τα πλέον ελλειμματικά του Ελληνικού χώρου. Εφαρμόζοντας στατιστικές μεθόδους ανάλυσης της βροχόπτωσης, και συγκεκριμένα το δείκτη Standardized Precipitation Index (SPI) μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά της ξηρασίας για την περίοδο 1980-2008, και προέκυψαν χρήσιμα αποτελέσματα που μπορούν να συμβάλουν στη διαμόρφωση Σχεδίων Διαχείρισης Ξηρασίας στη περιοχή. Στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης SPI για δύο διαφορετικά χρονικά κατώφλια (1-μήνας, 12-μήνες) προκειμένου να αποτιμηθεί τόσο η μετεωρολογική όσο και η υδρολογική ξηρασία.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα αυτά μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποιες βασικές διαπιστώσεις, οι οποίες αφορούν τόσο τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ξηρασίας στην Θεσσαλία, όσο και τη συμπεριφορά του δείκτη SPI στην ανάλυση αυτών.

5.1. Η Ξηρασία στο Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας

Θεωρώντας ότι κύριο επεισόδιο είναι αυτό το οποίο έχει καταγραφεί σε τουλάχιστον 5 σταθμούς, σύμφωνα με τον SPI-1month, δεν παρατηρήθηκαν κύρια επεισόδια εξαιρετικής ξηρασίας, ενώ τα κύρια επεισόδια σημαντικής ξηρασίας παρατηρήθηκαν τους εξής μήνες: Ιουλ-84, Αυγ-85, Αυγ-88, Ιαν-89, Ιαν-90, Αυγ-92, Σεπ-92, Ιουλ-93, Ιουλ-98, Σεπ-01. Σύμφωνα με τον SPI-12month τα κύρια **επεισόδια εξαιρετικής ξηρασίας** παρατηρήθηκαν τους εξής μήνες: Φεβ-89, Απρ-89, Μαρ-90, Απρ-90, Ιουν-90, Ιουλ-90, Οκτ-90, Φεβ-90.

Αξιοσημείωτη είναι η **χρονική εξέλιξη** που παρουσιάζει η συχνότητα εμφάνισης σημαντικής και εξαιρετικής ξηρασίας. Τα σημαντικά επεισόδια ξηρασίας για τον SPI-1month μειώνονται σε όλες της περιοχές της Θεσσαλίας εκτός της ΚΔ όπου από τη δεκαετία του 1980-89 υπερδιπλασιάζεται στην αμέσως επόμενη (1990-99) και μειώνεται κατόπιν την περίοδο 2000-08 (παραμένοντας όμως σε υψηλότερα επίπεδα από το 1980-89). Σύμφωνα με τον SPI-12months τα εξαιρετικά επεισόδια ξηρασίας αυξάνονται από το 1981-89 στις επόμενες δεκαετίες σε όλες τις περιοχές της Θεσσαλίας εκτός της ΚΑ όπου παρατηρείται σταδιακή μείωση αυτών. Από την περίοδο 1981-89 στην επόμενη δεκαετία 1990-99 παρατηρείται μεγάλη αύξηση των επεισοδίων στο Δυτικό τμήμα της Θεσσαλίας (ΚΔ 1660%, ΒΔ 150%, ΝΔ 57%). Στην ακόλουθη περίοδο 2000-08 η συχνότητα αυτή μειώνεται, παραμένει βέβαια σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με το 1981-89. Στην ΝΑ Θεσσαλία ενώ η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων είναι σχετικά χαμηλή το 1981-89 και 1990-99 παρατηρείται μεγάλη έξαρση το 2000-08 (αύξηση 800%).

Η **μέση συχνότητα εμφάνισης** επεισοδίων ξηρασίας στη Θεσσαλία σύμφωνα με την κατάταξη σε κλίμακες του δείκτη SPI-12months είναι 6,4 για την εξαιρετική ξηρασία, 15,6 για τη σημαντικής ξηρασία και 33,1 για την ξηρασία.

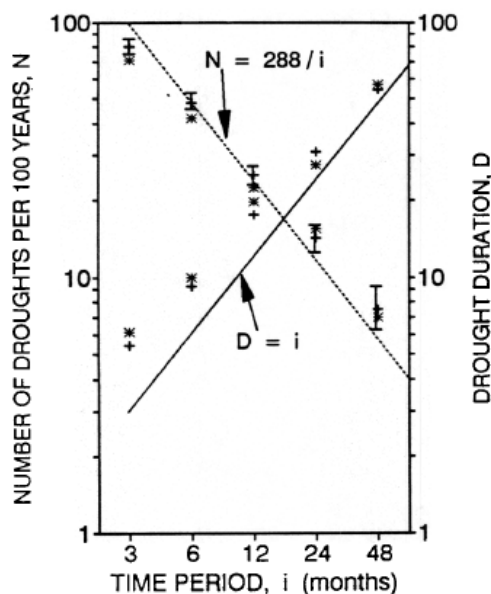
Σύμφωνα με το δείκτη SPI-1month η μοναδική περιοχή με εμφάνιση εξαιρετικής ξηρασίας είναι η ΚΔ, ενώ η περιοχή με τη συχνότερη εμφάνιση σημαντικής ξηρασίας είναι η ΒΔ και κατόπιν η ΚΑ και ΚΔ. Στη ΝΔ και ΝΑ Θεσσαλία παρατηρείται το μεγαλύτερο πλήθος επεισοδίων ξηρασίας (όχι όμως σημαντικής και εξαιρετικής). Σύμφωνα με τον SPI-12months οι περιοχές με τη συχνότερη εμφάνιση εξαιρετικής ξηρασίας είναι η ΒΔ (8,4) και η ΚΔ (7,8) Θεσσαλία, ενώ οι περιοχές με τη συχνότερη εμφάνιση σημαντικής ξηρασίας είναι η ΒΔ (13) και η ΚΔ (9,3) και ΚΑ (10) Θεσσαλία.

Η **διάρκεια** των επεισοδίων εξαιρετικής ξηρασίας αυξάνει ανάλογα με το χρονικό κατώφλι που χρησιμοποιείται. Συγκεκριμένα, ο δείκτης SPI-1month παρουσιάζει μικρές ακολουθίες ο δείκτης SPI-12months παρουσιάζει μεγάλες ακολουθίες. Με βάση το δείκτη SPI-12months όλοι οι σταθμοί πλην 2 παρουσιάζουν επεισόδια εξαιρετικής ξηρασίας με διάρκεια μεγαλύτερη του 1 μήνα. Η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων με διάρκεια 2 μηνών κυμαίνεται από 1-3 (μέση συχνότητα 1,4), ενώ επεισόδια σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια 3 και 10 μήνες έχουν συχνότητα εμφάνισης 1 σε διάφορους σταθμούς. Η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων εξαιρετικής ξηρασίας με διάρκεια ≥ 2 μηνών παρατηρείται στην ΚΔ και ΒΔ Θεσσαλία. Η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων σημαντικής ξηρασίας (σύμφωνα με το SPI-12months) με διάρκεια 2 μηνών κυμαίνεται από 1-5 (μέση συχνότητα 2,2), με διάρκεια 3 μηνών από 1-2 (μέση συχνότητα 1,3), με διάρκεια 4 μηνών από 1-3 (μέση συχνότητα 1,6), με διάρκεια 5 μηνών από 1-2 (μέση συχνότητα 1,3), ενώ η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια 6, 7, 10 μήνες είναι 1. Η ΚΔ Θεσσαλία έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια 2 και 3 μήνες, ενώ η ΒΔ έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων σημαντικής ξηρασίας με διάρκεια 4 μήνες καθώς και τη μοναδική εμφάνιση διάρκειας 10 μηνών.

5.2. Συμπεριφορά του δείκτη SPI

Χαρακτηριστική είναι η έντονη διακύμανση που παρουσιάζει ο δείκτης με την αλλαγή της χρονικής κλίμακας. Για τα μικρά χρονικά κατώφλια (1-μήνας, 3-μήνες) η συχνότητα των επεισοδίων αυξάνει, ενώ η διάρκειά τους μειώνεται. Δηλαδή για τις μικρές χρονικές κλίμακες, η ξηρασία εμφανίζεται συχνά αλλά διαρκεί για μικρό χρονικό διάστημα. Αντίθετα, για τα μεγάλα χρονικά κατώφλια (12-μήνες, 24-μήνες), η ξηρασία δεν εμφανίζεται συχνά αλλά διαρκεί μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτό φαίνεται και στο Σχήμα 5.1, όπου η διακεκομμένη γραμμή απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της συχνότητας της ξηρασίας (N) (αριθμός επεισοδίων ανά 100 χρόνια) και της χρονικής κλίμακας του SPI (i), ενώ η συνεχής γραμμή απεικονίζει τη

σχέση μεταξύ της διάρκειας (D) της ξηρασίας και της χρονικής κλίμακας του SPI (i), όπως υπολογίστηκαν από τους McKee et al. (1993) σε περιοχή των ΗΠΑ.



Σχήμα 5.1: Δεδομένα από μηνιαίες βροχοπτώσεις από Fort Collins, Colorado.

Πηγή: McKee et al. (1993).

Αυτό είναι λογικό, και παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της Θεσσαλίας, καθώς στις μικρές χρονικές κλίμακες (π.χ. 1-μήνας) ο κάθε μήνας επηρεάζει σημαντικά τον υπολογισμό του δείκτη, με αποτέλεσμα τη γρήγορη ανταπόκρισή του και μετάβασή του από υγρές σε ξηρές τιμές και αντίστροφα. Όσο όμως μεγαλώνει η χρονική κλίμακα, κάθε νέος μήνας έχει μικρότερη επίδραση και έτσι ο δείκτης ανταποκρίνεται πιο αργά, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα λιγότερα επεισόδια ξηρασίας, αλλά με μεγαλύτερη διάρκεια. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ανάλογα με το επιλεχθέν χρονικό κατώφλι ο δείκτης SPI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επισήμανση διαφορετικών κατηγοριών/τύπων ξηρασίας (μετεωρολογική, υδρολογικά κ.λ.π). Ο SPI 1-month αναγνωρίζει τη μετεωρολογική ξηρασία, καθώς αυτή εμφανίζεται αμέσως μόλις καταγραφεί η έλλειψη της βροχής. Ο SPI 12-month σχετίζεται με τους υδάτινους πόρους (υπόγεια και επιφανειακά νερά) και ελέγχει την υδρολογική ξηρασία, αφού παρουσιάζει υστέρηση στην εμφάνισή της σε σχέση με τη μετεωρολογική ξηρασία επειδή χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να φανούν τα ελλείμματα των βροχοπτώσεων στα στοιχεία του υδρολογικού συστήματος.

Τέλος, από την σύγκριση της χρονικής κατανομής των SPI-1month και SPI-12months για τους σταθμούς της Θεσσαλίας προκύπτει ότι η συχνότητα και η διακύμανση των επεισοδίων ξηρασίας ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και δεν είναι δυνατός ο εντοπισμός των ορίων έναρξης και λήξης των επεισοδίων ξηρασίας στα μικρά χρονικά κατώφλια. Χαρακτηριστική όμως, είναι η εμφάνιση επεισοδίων ξηρασίας για τα μεγάλα χρονικά κατώφλια (SPI-12months) όπου στην περίπτωση αυτή, τα όρια των επεισοδίων ξηρασίας είναι εμφανή.

Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα του δείκτη SPI

Ο δείκτης SPI έχει αρκετά σημαντικά **πλεονεκτήματα**:

- Η ευκολία υπολογισμού του, σε σύγκριση για παράδειγμα με τον PDSI, καθώς απαιτούνται μόνο δεδομένα βροχόπτωσης. Μάλιστα, επειδή δεν εξαρτάται από την εδαφική υγρασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία τόσο για το καλοκαίρι όσο και για το χειμώνα. Επίσης δεν επηρεάζεται από την τοπογραφία.
- Η δυνατότητα υπολογισμού του σε διάφορες χρονικές κλίμακες, γεγονός που επιτρέπει την εκτίμηση συνθηκών ξηρασίας σε μεγάλη ποικιλία μετεωρολογικών, αγροτικών και υδρολογικών εφαρμογών. Αυτή η χρονική ευελιξία είναι αρκετά χρήσιμη και για την αναγνώριση της έναρξης και λήξης της ξηρασίας, κάτι που δύσκολα καταφέρνουν άλλοι δείκτες.
- Η κανονικοποίησή του, η οποία εξασφαλίζει τον εντοπισμό της συχνότητας ακραίων γεγονότων σε οποιαδήποτε θέση και με οποιαδήποτε χρονική ανάλυση. Δηλαδή, είναι χωρικά και χρονικά ανεξάρτητος (Guttman, 1998; Heim, 2002; Wu et al., 2007) και για αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες συγκρίσεις. Η κανονικοποίηση του SPI προσδιορίζει τη σπανιότητα ενός επεισοδίου ξηρασίας αφού σχετίζεται μοναδικά με κάποια πιθανότητα.
- Η βροχόπτωση που χρησιμοποιείται στον SPI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της έλλειψης βροχής για τη συγκεκριμένη περίοδο.
- Ο SPI έχει κανονική κατανομή και έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση τόσο υγρών όσο και ξηρών περιόδων και συνεπώς, είναι δυνατή η παρακολούθηση και υγρών επεισοδίων.
- Ο SPI μπορεί να υπολογιστεί και για άλλες υδάτινες παραμέτρους, όπως χιόνι, απορροφή, εδαφική υγρασία, υπόγειο νερό, ταμιευτήρες.
- Ο SPI κατανοείται και ερμηνεύεται εύκολα (π.χ. σε σχέση με τον PDSI) αφού η τιμή του βασίζεται μόνο σε δεδομένα βροχόπτωσης και αναφέρεται σε πόσες τυπικές αποκλίσεις μακριά είναι η παρατήρηση σε σχέση με τη μέση τιμή.
- Αναγνωρίζει τα νέα επεισόδια ξηρασίας πιο γρήγορα από τον Palmer Index (Hayes, 1999).

Ο δείκτης SPI έχει επίσης μερικά **μειονεκτήματα**:

- Η υπόθεση που πρέπει να γίνει εκ των προτέρων, ότι υπάρχει μια κατάλληλη θεωρητική κατανομή που προσαρμόζεται καλά στη χρονοσειρά δεδομένων. Τα πιο πολλά κέντρα των ΗΠΑ (όπου ανακαλύφθηκε και πρωτοεφαρμόστηκε ο δείκτης) σχετικά με τη ξηρασία χρησιμοποιούν την 2-παραμετρική Γάμμα κατανομή για τον υπολογισμό του SPI. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει κοινά αποδεκτή λύση και μάλιστα, για κάθε διαφορετική κατανομή έχουμε διαφορετικές τιμές SPI.
- Ο SPI απαιτεί δεδομένα χρονοσειρών μεγάλης διάρκειας και μάλιστα χωρίς ελλείψεις. Ο υπολογισμός του επηρεάζεται άμεσα από το μήκος της χρησιμοποιούμενης χρονοσειράς

(Wu et al. 2005; Cancelliere and Bonaccorso, 2009). Το ελάχιστο απαιτούμενο θεωρείται ότι είναι 30 χρόνια, ενώ για την εγκυρότητα ακραίων τιμών SPI απαιτούνται χρονοσειρές τουλάχιστον 80 ετών.

- Ο δείκτης SPI δεν είναι ικανός να διακρίνει, ότι κάποιες περιοχές είναι περισσότερο επιρρεπείς στην ξηρασία από άλλες. Ίδια τιμή του δείκτη σε δύο διαφορετικές περιοχές δεν σημαίνει ίδια έλλειψη νερού στις θέσεις αυτές,
- Κατά την εφαρμογή του σε μικρές χρονικές κλίμακες (1, 2 ή 3 μηνών) σε περιοχές με μικρή εποχική βροχόπτωση μπορεί να εμφανιστούν αναπάντεχα μεγάλες θετικές ή αρνητικές τιμές του δείκτη λόγω της δύσκολης προσαρμογής των περιπτώσεων μηδενικής βροχόπτωσης.
- Απαιτεί ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα βροχόπτωσης καθώς είναι η μοναδική παράμετρος του SPI και άρα είναι άμεσα εξαρτώμενος από την ποιότητα των δεδομένων, περισσότερο από άλλους δείκτες που εισάγουν και άλλες παραμέτρους (όπως π.χ. ο PDSI).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abrams M. D., Ruffner M. C. and Morgan T. A. (1998). "Tree-ring responses to drought across species and contrasting sites in the ridge and valley of central Pennsylvania". *Forest Science*, 44: 550–558.
2. Agnew C. T. (2000). "Using the SPI to Identify Drought". *Drought Network News*, Vol. 12, No. 1: 6-12, Winter 1999–Spring 2000.
3. Alley W. M. (1984). "The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions". *J. Clim. Appl. Meteorol.*, 23(1): 100-109.
4. American Meteorological Society, (AMS) (2004). "Statement on meteorological drought". *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 85: 771–773.
5. Anctil F., Larouche W. and Viau A. A. (2002). "Exploration of the standardized precipitation index with regional analysis". *Can. J. Soil Sci.* 82 (1): 115-125.
6. Austin R. B., Cantero-Martinez C., Arrue J. L., Playan E. and Cano-Marcellan P. (1998). "Yield–rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain". *Eur. J. Agron.* 8: 239–248.
7. Barger G. L., Shaw R. H. and Dale R. F. (1959-b). "Gamma Distribution Parameters for 2- and 3-Week Precipitation Totals in the North Central Region of the United States. Agricultural and home economic experiment station". Iowa State University: Ames, Iowa.
8. Barua S., Perera B. J. C. and Ng A. W. M. (2009). "A comparative drought assessment of Yarra River Catchment in Victoria, Australia". *Proceedings of 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17 July*, 3245-3251.
9. Beran M. and Rodier J. A. (1985). "Hydrological Aspects of Drought". *Studies and Reports in Hydrology 39*, Unesco-WMO, Paris.
10. Bhalme H. N. and Mooley D. A. (1980). "Large scale droughts/floods and monsoon circulation". *Monthly Weather Review*, 108: 1197–1211.
11. Bhalme H. N., Mooley D. A. and Jadhav S. K. (1983). "Fluctuations in the drought/flood area over India and relationships with the Southern Oscillation". *Monthly Weather Review*, Vol III: 86-94.
12. Blaikie P., Cannon T., Davis I. and Wisner B. (1994). "At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters". Rontledge, London.
13. Bonaccorso B., Bordi I., Cancelliere A., Rossi G. and Sutera A. (2003). "Spatial Variability of Drought: An Analysis of the SPI in Sicily". *Water Resources Management*, 17: 273–296.
14. Bordi I. and Sutera A. (2001). "Fifty years of precipitation: Some spatially remote teleconnections". *Water Resour. Manag.*, 15: 247–280.
15. Bordi I., Frigio S., Parenti P., Speranza A. and Sutera A. (2001). "The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: large-scale patterns". *Annali di Geofisica*, Vol. 44, N. 5-6: 965-978, October/December.

16. Bruce J. P. (1994). "A perspective on reducing losses from natural hazards". *Bull Am Meteorol Soc*, 75: 1237–1240.
17. Bruins H. J. and Berliner P. R. (1998). "Bioclimatic aridity, climatic variability, drought and desertification: definitions and management options". In: H. J. Bruins & H. Lithwick (eds), *The Arid Frontier-Interactive Management of Environment and Development*, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
18. Bryant E. A. (1991). "Natural Hazards". Cambridge University Press, 85-107.
19. Bryson R. and Murray T. (1979). "Climates and Hunger". Australian National University Press, Canberra, 171p.
20. Byun H. R. and Wilhite D. A. (1999). "Objective Quantification of Drought Severity and Duration". *Journal of Climate*, Vol. 12: 2747-2756, September.
21. Cancelliere A., Rossi G. and Ancarani A. (1996). "Use of Palmer Index as Drought Indicator in Mediterranean Regions". *Proc. IAHR Congress "From Flood to Drought"*, Sun City, South Africa, August 5-7, 1996, pp. S4.12. 1-25.
22. Cancelliere A., Mauro G., Bonaccorso B. and Rossi G. (2005). "Stochastic Forecasting of Standardized Precipitation Index". *Proc. XXXI IAHR Congress*, September 11~16, 2005, Seoul, Korea, pp. 3252-3260.
23. Cancelliere A., Di Mauro G., Bonaccorso B. and Rossi G. (2007). "Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index". *Water Resources Management*, 21: 801–819.
24. Cancelliere A. and Bonaccorso B. (2009). "Uncertainty analysis of the Standardized Precipitation Index in the presence of trend". *Hydrology Days*, 14-26.
25. Currie R. G. (1981). "Evidence of 18.6 year MN signal in temperature and drought conditions in N. America since 1800 A.D." *Journal Geophysical Research*, 86: 11055-11064.
26. Currie R. G. (1984). "Periodic (18.6 year) and cyclic (11 year) induced drought and flood in western North America". *Journal Geophysical Research*, 89: 7215-7250.
27. Dalezios R. N., Papazafiriou G. Z., Papamichail M. D. and Karacostas S. T., (1991). "Drought Assessment for the Potential of Precipitation Enhancement in Northern Greece". *Theoretical and Applied Climatology*, 44: 75-88.
28. Dalezios R. N., Loukas A., Vasiliadis L. and Liakopoulos E. (2000). "Severity-duration-frequency analysis of droughts and wet periods in Greece". *Hydrological Sciences-Journal- des Sciences Hydrologiques*, 45: 751-768.
29. Doesken N. J. and D. Garen (1991). "Drought monitoring in the western United States using a Surface Water Supply Index". *Preprints, Seventh Conf. on Applied Climatology*, Salt Lake City, UT, Amer. Meteor. Soc.: 266–269.
30. Dracup J. A., Lee K. S., and Paulson Jr., E. G. (1980). "On the definition of droughts". *Water Resour. Res.*, 16, 2: 297–302.

31. Edwards C. D. C., McKee T. B., Doesken N. J. and Kleist J. (1997). "Historical Analysis of Drought in the United States". 77th AMS Annual Meeting, Long Beach, California, 2-7 February: pp. 129-139.
32. European Environment Agency (2001). "Sustainable water use in Europe, Part 3: extreme hydrological events: floods and droughts". Environmental Issue Report No. 21.
33. Garcia R. V. (1984). "Nature Pleads not Guilty". Pergamon Press, 300 pp.
34. Geist H. J. and Lambin E. F. (2004). "Dynamic causal patterns of desertification". *Bioscience*, 54: 817–829.
35. Gibbs W. J. and Maher J. V. (1967). "Rainfall Deciles as Drought Indicators". Bureau of Meteorology bulletin No. 48. Commonwealth of Australia: Melbourne; 29.
36. Glantz M. H. (1994). "Drought, desertification and food production". In: H. H. Glantz (ed.), *Drought Follows the Plow*, Cambridge: Cambridge University Press: pp. 6–22.
37. Gommaes R. and Petrassi F. (1994). "Rainfall variability and drought in Sub-Saharan Africa since 1960". Agrometeorology Series Working Paper, Rome: Food and Agriculture Organization, No 9.
38. Gribbin J. (1978). "The Climatic Threat". Fontana, Glasgow.
39. Guttman N. B. (1998). "Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index". *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 34, No. 1: 113-121.
40. Guttman N. B. (1999). "Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm". *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 35, No. 2: 311-322.
41. Hagman G. (1984). "Prevention Better than Cure, Report on Human and Environmental Disasters in the Third World". Prepared for the Swedish Red Cross, Stockholm.
42. Hayes M. J. (1999). "Drought Indices". NDMC – Drought Happens, Drought Indices. <http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/indices.htm/>, updated 12 October 1999.
43. Hayes M. J. (2000). "Revisiting the SPI: Clarifying the Process". *Drought Network News*, Vol. 12, No. 1: 13-14, Winter 1999–Spring 2000.
44. Heim Jr. R. R. (2002). "A Review of Twentieth- Century Drought Indices Used in the United States". American Meteorological Society.
45. Husak G. J., Michaelson J. and Funk C. (2007). "Use of the gamma distribution to represent monthly rainfall in Africa for drought monitoring applications". *International Journal of Climatology* 27: pp. 935–944.
46. Ji L. and Peters A. (2003). "Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices". *Remote Sensing of Environment*, 87: pp. 85–89.
47. Jones P. D., Hulme M., Briffa K. R. and Jones C. G. (1996). "Summer moisture availability over Europe in the Hadley centre general circulation model based on the Palmer drought severity index". *Int. J. Climatol.*, 16: 155–172.

48. Kanti B. (1998). "Coping mechanisms practised by drought victims (1994/1995) in north Bengal, Bangladesh". *Applied Geography*, 18: 355–373.
49. Karl T. R. and Koscielny A. J. (1982). "Drought in the United States: 1895–1981". *J. Climatol.* 2: 313–329.
50. Karl T. R. and Knight R. W. (1985). "Atlas of the Monthly Palmer Hydrological Drought Indices (1931-1983) for the contiguous United States". *Historical Climatology Series*, 3-7, Asheville, NC: National Climatic Data Center.
51. Karl T. R., Knight R. W., Ezell D. S. and Quinlan F. T. (1986). "Probabilities and precipitation required to end/ameliorate droughts". *Historical Climatology Series*, 3-16, National Oceanic and Atmospheric Administration.
52. Keyantash J. A. and Dracup J. A. (2002). "The quantification of drought: An evaluation of drought indices". *Bulletin of the American Meteorological Society* 83: 1167–1180.
53. Keyantash J. A. and Dracup J. A. (2004). "An Aggregate Drought Index: Assessing Drought Severity based on Fluctuations in the Hydrologic Cycle and Surface Water Storage". *Water Resources Research*, 40, W09304, doi: 10.1029/2003WR002610.
54. Khan S., Gabriel H. F. and Rana T. (2008). "Standard Precipitation Index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas". *Irrig. Drainage Syst.*, 22: 159–177.
55. Kogan F. N. (1995). "Droughts in the late 1980's in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data". *Bulletin of American Meteorological Society*, 76: 655-668.
56. Kogan F. N. (1997). "Global drought watch from space". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78: 621–636.
57. Komuscu A. U. (1999). "Using the SPI to Analyze Spatial and Temporal Patterns of Drought in Turkey". *Drought Network News*, Vol. 11, No. 1: 7-13.
58. Lamb H. H. (1982). "Climate, History, and Modern World". Methuen, London.
59. Lana X., Serra C. and Burgueno A. (2001). "Patterns of monthly rainfall shortage and excess in terms of the Standardized Precipitation Index for Catalonia (NE Spain)". *International Journal of Climatology*, 21: 1669–1691.
60. Legates D. R. (1991). "An evaluation of procedures to estimate monthly precipitation probabilities". *Journal of Hydrology*, 122: 129-140.
61. Le Houerou H. N. (1996). "Climate change, drought and desertification". *J. Arid Environ.*, 34: 133–185.
62. Linsley R. K., Kohler M. A. and H. Paulhus J. L. (1982). "Hydrology for Engineers". McGraw Hill. New York, NY: 508 pp.
63. Livada I. and Assimakopoulos V. D. (2007). "Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI)". *Theor. Appl. Climatol.* 89, 143–153.
64. Lloyd-Hughes B. and Saunders M. A. (2002). "A drought climatology for Europe". *International Journal of Climatology*, 22: 1571–1592.

65. Lohani V. K., Loganathan G. V. and Mostaghimi S. (1998). "Long-term analysis and short term forecasting of dry spells by Palmer Drought Severity Index". *Nordic Hydrology*, Vol. 29(1): pp. 21-40.
66. López Bermúdez F., Sánchez M.C. (1997). "Las sequías y su impacto en el riesgo de desertificación de la cuenca del Segura". *Apuntes para la gestión y sostenibilidad del agua*. Areas 17: 155–168.
67. Loukas A., Vasiliadis L. and Dalezios R. N. (2000). "Hydroclimatic Variability of Regional Droughts in Greece Using the Palmer Moisture Anomaly Index". *Nordic Hydrology*, 33: 425-442.
68. Loukas A., Vasiliades L., Dalezios N. R. and Domenikiotis C. (2001). "Rainfall-Frequency Mapping for Greece". *Phys. Chem. Earth (B)*, Vol. 26, No. 9, pp. 669-674.
69. Loukas A. and Vasiliades L. (2004). "Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4: 719–731.
70. Mabbutt J. A. (1985). "Desertification of the world's rangelands". *Desertification Control Bull.*, 12: 1–11.
71. McKee T. B., Doesken N. J. and Kleist J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales". *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17-23 January.
72. McKee T. B., Doesken N. J. and Kleist J. (1995). "Drought monitoring with multiple time scale". *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society, Boston.
73. Meteorological Office (1991). "The Meteorological Glossary". Sixth Edition, London, HMSO.
74. Min S. K., Kwon W. T., Park E. H. and Choi Y. (2003). "Spatial and temporal comparisons of Droughts over Korea with East Asia". *International Journal of Climatology*, 23: 223-233.
75. Morales A., Olcina J. and Rico A. M. (2000). "Diferentes persepciones de la sequia en Espana: Adaptacion, catastrofismo e intentos de correccion". *Investigaciones Geograficas*, 23: 5–46.
76. Morid S., Smakhtin V. and Moghaddasi M. (2006). "Comparison of seven Meteorological Indices for Drought Monitoring in Iran". *International Journal of Climatology*, 26: 971–985.
77. Namias J. (1983). "Some causes of United States drought". *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22: 30–39.
78. Narasimhan B. and Srinivasan R. (2005). "Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring". *Agricultural & Forest Meteorology*, 133: 69-88.
79. Nastos P.T. and Zerefos C. S. (2009). "Spatial and temporal variability of consecutive dry and wet days in Greece". *Atmospheric Research* 94: 616–628.

80. National Drought Mitigation Center (2007). "Drought Preparedness Planning: The 10-Step Process". National Drought Mitigation Center 09-07.
81. National Oceanic and Atmospheric Administration –NOAA 2003: Available online at <http://www.ngdc.noaa.gr>
82. New M., Todd M., Hulme M. and Jones P. (2002). "Precipitation measurements and trends in the twentieth century". *Int. J. Climatol.*, 21: 1899–1922.
83. Nicholson S. E., Tucker C. J. and Ba M. B. (1998). "Desertification, drought and surface vegetation: An example from the west African Sahel". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79: 815–829.
84. Ntale H. K. and Gan T. (2003). "Drought indices and their application to East Africa". *International Journal of Climatology* 23: 1335–1357.
85. Obasi G. O. P. (1994). "WMO's role in the international decade for natural disaster reduction". *Bull. Am. Met. Soc.* 75: 1655–1661.
86. Oladipo O. E. (1985). "A comparative performance analysis of three meteorological drought indexes". *International Journal of Climatology*, 5: 655-664.
87. Orwing D. A. and Abrams M. D. (1997). "Variation in radial growth responses to drought among species, site and canopy strata". *Trees*, 11: 474–484.
88. Palmer W. C. (1965). "Meteorological drought". U.S. Weather Bureau Research Paper 45, 58 pp. [Available from NOAA Library and Information Services Division, Washington, DC 20852.]
89. Palmer W. C. (1968). "Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index". *Weatherwise*, 21: 156-161.
90. Panofsky H. A. and Brier W. G. (1958). "Some Applications of Statistics to Meteorology". Pennsylvania State University, University Park: 224p.
91. Patel N. R., Chopra P. and Dadhwal V. K. (2007). "Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index". *Meteorological Applications*, 14: 329–336.
92. Paulo A. A., Ferreira E., Coelho C. and Pereira L. S. (2005). "Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning". *Agric. Water Manag.* 77: 59–81.
93. Pausas J. G. (2004). "Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin)". *Climatic Change*, 63: 337–350.
94. Pickup G. (1998). "Desertification and climate change – the Australian perspective". *Climate Research*, 11: 51–63.
95. Pita F. M. (2000). "Un nouvel indice de sécherresse pour les domaines Méditerranéens. Application au bassin du Guadalquivir (Sud-Ouest de l'Espagne)". *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*. 14: 1-9.
96. Quiring S. M. and Papakryiakou T. N. (2003). "An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies". *Agr. Forest Meteorol.*, 118: 49–62.

97. Quiring S. M. (2009). "Monitoring Drought: An Evaluation of Meteorological Drought Indices". *Geography Compass*, 3/1: 64–88.
98. Redmond K. T. (2000). "Integrated Climate Monitoring for Drought Detection Drought: A Global Assessment". D. A. Wilhite ed., Routledge, Taylor & Francis Group, 1:145-1:158.
99. Riebsame W. E., Changnon Jr. S. A. and Karl T. R. (1990). "Drought and Natural Resources Management in the United States: Impacts and Implications of the 1987-89 Drought". Westview Press, Boulder, Colorado. U.S.A.
100. Ropelewski C. F. and Halpert M. S. (1987). "Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern oscillation". *Monthly Weather Review* 115: 1606–1626.
101. Ropelewski C. F. and Halpert M. S. (1989). "Precipitation patterns associated with the high phase of the Southern Oscillation". *Journal of Climate*, 2: 268–284.
102. Rossi G. (2003). "Requisites for a Drought Watch System". In: Rossi, G., Cancelliere A. et al. (eds), *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*, Kluwer Academic Publishing, Dordrecht: pp. 147-157.
103. Rouault M. and Richard Y. (2003). "Intensity and spatial extension of drought in South Africa at different time scales". *Water SA*, Vol. 29, No. 4: 489-500.
104. Schlesinger W. H., Reynolds J. F., Cunningham G. L., Huenneke L. F., Jarrell W. M., Virginia R. A. and Whitford W. G. (1990). "Biological feedbacks in global desertification". *Science*, 247: 1043–1048.
105. Seiler R. A., Hayes M. J. and Bressan L. (2002). "Using the Standardized Precipitation Index for Flood Risk Monitoring". *International Journal of Climatology*, 22: 1365–1376.
106. 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". *Proceedings 13th Conference of the 50th Annual Western Snow*.
107. Sims A. P., Niyogi D. S. and Raman S. (2002). "Adopting drought indices for estimating soil moisture: A North Carolina case study". *Geophys. Res. Lett.*, 29, 8, 1183.
108. Smith D. I., Hutchinson M. F. and McArthur R. J. (1992). "Climatic and Agricultural drought: Payments and policy". Center for Resource and Environmental Studies RES 7, Candaera: Australian National University.
109. Smith D. I., Hutchinson M. F. and McArthur R. J. (1993). "Australian climatic and agricultural drought". *Drought Network News* 5: 11–12.
110. Sonmez F. K., Komuscu A. U., Erkan A. and Turgu E. (2005). "An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Natural Hazards* 35: 243–264.
111. Svoboda M., LeCompte D., Hayes M., Heim R., Gleason K., Angel J., Rippey B., Tinker R., Palecki M., Stooksbury D., Miskus D. and Stephens S. (2002). "The drought monitor". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83: 1181–1190.

- 112.Szalai S. and Szinell C. (2000). "Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary — a case study". In *Drought and Drought Mitigation in Europe*, Vogt JV, Somma F (eds). Kluwer: Dordrecht: 161–166.
- 113.Szinell S. C., Bussay A. and Szentimrey T. (1998). "Drought tendencies in Hungary". *International Journal of Climatology*, 18: 1479-1491.
- 114.Tadesse T., Wilhite D. A., Harms S. K., Hayes M. J. and Goddard S. (2004). "Drought monitoring using data mining techniques: A case study for Nebraska, USA". *Natural Hazards*, 33: 1–21.
- 115.Tannehill I. R. (1947). "Drought: Its causes and Effects". Princeton NJ, Princeton University Press.
- 116.Thom H. C. S. (1958). "A note on the gamma distribution". *Mon. Weather Rev.*, 86: 117-122.
- 117.Tsakiris G. and Vangelis H. (2004). "Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI". *Water Resources Management*, 18: 1–12.
- 118.Tsakiris G., Pangalou D. and Vangelis H. (2007). "Regional Drought Assessment Based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)". *Water Resources Management*, 21: 821–833.
- 119.Tsakiris G., Pangalou D., Tigkas D. and Vangelis H. (2007). "Assessing the Areal Extent of Drought". *Water Resources Management: New Approaches and Technologies*, European Water Resources Association, Chania, Crete - Greece, 14-16 June.
- 120.Thornthwaite W. C. and Mather J. R. (1957). "Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance". *Publication of Climatology*, John Hopkins University, Vol, 10.
- 121.Thornthwaite W. C. (1948). "An approach toward a rational classification of climate". *Geogr. Rev.* 38: 55-94.
- 122.Tsakiris G. and Pangalou D. (2009). "Drought Characterisation in the Mediterranean". Springer Science and Business Media B.V.
- 123.Vicente-Serrano S. M., González-Hidalgo J. C., de Luis M. and Raventós J. (2004). "Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain)". *Climate Research*, Vol. 26: 5–15.
- 124.Vicente-Serrano S. M. (2006). "Differences in Spatial Patterns of Drought on Different Time Scales: An Analysis of the Iberian Peninsula". *Water Resources Management*, 20: 37–60.
- 125.Vicente-Serrano S. M. (2007). "Evaluating the Impact of Drought Using Remote Sensing in a Mediterranean, Semi-arid Region". *Natural Hazards*, 40: 173–208.
- 126.Wallen C. C., (1967). "Aridity definition and their applicability". *Geographiska Annaler*, Stockholm, 49A: 367-384.
- 127.Whipple W. J. (1966). "Regional drought frequency analysis". *Proceedings of the American Society of the Civil Engineers*: 11-31.

128. White D. H., Howden S. M., Walcott J. J. and Cannon R. M. (1998). "A Framework for Estimating the Extent and Severity of Drought, Based on a Grazing System in South-eastern Australia". *Agricultural Systems*, Vol. 57, No. 3: pp. 259-270.
129. Wilhite D. A. and Glantz N. H. (1985). "Understanding the drought phenomenon: The role of definitions". *Water International*, 10: 111-120.
130. Wilhite D. A., Hayes M. J., Knutson C. and Smith K.H. (2000). "Planning for drought: Moving from crisis to risk management". *Journal of the American Water Resources Association*, 36: 697-710.
131. Wilhite D. A. (1991). "Drought planning: A process for state government". *Water Resour. Bull.*, 27(1): 29-38.
132. Wilhite D. A. (1996). "A Methodology for Drought Preparedness". *Natural Hazards* 13: 229-252.
133. Wilhite D. A. (1997). "Improving Drought Management in the West - The Role of Mitigation and Preparedness". Report to the Western Water Policy Review Advisory Commission, National Drought Mitigation Center University of Nebraska.
134. Wilhite D. A. (2000). "Drought as a natural hazard: Concepts and definitions, in *Drought: A Global Assessment*". Edited by Wilhite D. A., Routledge: 3-18.
135. Willeke G., Hosking J. R. M., Wallis J. R. and Guttman N. B. (1994). "The National Drought Atlas". Institute for Water Resources Rep. 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, VA: 587 pp.
136. WMO (World Meteorological Organization) (1975). "Drought and Agriculture". World Meteorological Organization Technical Note No 138: 392, Geneva, Switzerland.
137. WMO (World Meteorological Organization) (1986). "The Global Climate System, A contribution to the Global Environmental Monitoring System". CSM R84 /86, Geneva: World Meteorological Organization.
138. Wu H., Hayes M. J., Weiss A. and Hu Q. (2001). "An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the Statistical Z-Score". *International Journal of Climatology*, 21: 745-758.
139. Wu H., Hayes M. J., Wilhite D. A. and Svoboda M. D. (2005). "The effect of data length on the standardized precipitation index calculation". *International Journal of Climatology* 25: 505-520.
140. Wu H., Svoboda M. D., Hayes M. J., Wilhite D. A. and Wen F. (2007). "Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons". *International Journal of Climatology*, 27: 65-79.
141. Yamoah F. C., Walters T. D., Shapiro A. C., Francis A. C. and Hayes J. M. (2000). "Standardized precipitation Index and nitrogen rate effects on crop yields and risk distribution in maize". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80: 113-120.
142. Αναγνωστοπούλου Χ. Γ. (2003). «Συμβολή στη μελέτη της ξηρασίας στον ελληνικό χώρο». Διδακτορική διατριβή. Παράρτημα της Επιστημονικής Επετηρίδας του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ., Αριθμός 74.

- 143.Γκούμας, Κ., Οι αρδεύσεις στη Θεσσαλική Πεδιάδα: Επιπτώσεις στα υπόγεια και επιφανειακά νερά, Πρακτικά ημερίδας «Υδατικοί Πόροι και Γεωργία», σ. 39–53, Ελληνική Υδροτεχνική Ένωση, Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2006.
- 144.Ε.Ε, Ευρω-Μεσογειακό Περιφερειακό Πρόγραμμα για Τοπική Διαχείριση Υδάτων (MEDAWater), Μεσογειακή Ετοιμότητα και Σχεδιασμός Περιορισμού της Ξηρασίας (MEDROPLAN). (2006). Οδηγίες Διαχείρισης της Ξηρασίας. <http://www.iamz.ciheam.org/medroplan/guidelines/downloads.html>
- 145.Ελληνική Μετεωρολογική Εταιρία (1998). “Ερμηνευτικό λεξικό Μετεωρολογικών και Κλιματολογικών όρων”. Αθήνα, σελ 161.
- 146.ΕΣΥΕ, Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδος κατά την απογραφή της 17ης Μαρτίου 1991, Αθήνα, 1994.
- 147.ΕΣΥΕ, Στατιστική επετηρίδα της Ελλάδος 1992–93, Αθήνα, 1995.
- 148.ΕΣΥΕ, Πραγματικός πληθυσμός της Ελλάδος κατά νομούς, δήμους, δημοτικά διαμερίσματα και οικισμούς (αποτελέσματα απογραφής 2001), Πληροφορίες από την ιστοσελίδα της ΕΣΥΕ (<http://www.statistics.gr/>), Αθήνα, 2002.
- 149.ΕΥΔΕ Αχελώου και ΕΝΒΕCO, Συνολική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων της Εκτροπής του Αχελώου, ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 1995.
- 150.Κ/Ξ Διαχείρισης Υδάτων Κεντρικής & Δυτικής Ελλάδος, Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας, Ηπείρου, Θεσσαλίας και Αττικής, Φάση Α, Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (08), Έκθεση Επιφανειακής Υδρολογίας, Τεύχος 08-A-II-1, Αθήνα, 2005.
- 151.Κουτσογιάννης, Δ., Υδρολογική διερεύνηση του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας, Τελική Έκθεση, ΕΜΠ, ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα, 1988.
- 152.Κουτσογιάννης Δ. (1997). «Στατιστική Υδρολογία», 4^η έκδοση, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- 153.Κουτσογιάννης, Δ., Α. Ευστρατιάδης, και Ν. Μαμάσης, Αποτίμηση του επιφανειακού υδατικού δυναμικού και των δυνατοτήτων εκμετάλλευσής του στη λεκάνη του Αχελώου και τη Θεσσαλία, Κεφ. 5 της Μελέτης Υδατικών Συστημάτων, Συμπληρωματική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων εκτροπής του Αχελώου προς τη Θεσσαλία, Εργοδότης: Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημόσιων Έργων, Ανάδοχος: Υδροεξυγιαντική, Συνεργαζόμενοι: Δ. Κουτσογιάννης, 2001.
- 154.Κωτσοβίνος Ν. και Αγγελίδης Π. «Η Περιβαλλοντική Σημασία του Δείκτη Ξηρασίας SPI. Προτάσεις Εναλλακτικού Στατιστικού Υπολογισμού του». ΥΔΡΟΓΑΙΑ, Τιμητικός Τόμος στον Καθηγητή Χρήστο Τζιμόπουλο.
- 155.Μαχαίρας Π. (1992). «Αίτια και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της ξηρασίας στον ελληνικό χώρο». Πρακτικά Συμποσίου «Λειψυδρία και Πλημμύρες». Γεωτεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Θεσσαλονίκη 17-18 Μαρτίου 1992. 159-169.
- 156.Μελισσάρης, Π., Αποδελτίωση και αξιολόγηση των υφιστάμενων μελετών και έργων των σχετικών με τους υδατικούς πόρους της χώρας, Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, ΥΒΕΤ, 1990.

ΥΠΕΧΩΔΕ, ΓΓΔΕ, ΕΥΔΕ Αχελώου, Παροχή υπηρεσιών συμβούλου για την υποβοήθηση της Υπηρεσίας στην προσαρμογή των μελετών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εκτροπή του Αχελώου στη Θεσσαλία (υδραυλικά-υδρολογικά-υδρογεωλογικά θέματα), Παράρτημα Δ : Μελέτη υδατικών συστημάτων, Υδροεξυγιαντική Λ. Σ. Λαζαρίδης & Σία Ε.Ε. (Σύμβουλος), 1995.

157.

158.ΥΠΕΧΩΔΕ, ΓΓΔΕ, Διεύθυνση Εγγειοβελτιωτικών Έργων, Επαναδημιουργία λίμνης Κάρλας: Περιβαλλοντική-τεχνική έκθεση, μελέτη κόστος-οφέλους και υποστηρικτικές μελέτες, Παράρτημα ΠΙ.3- Υποστηρικτική Υδραυλική Μελέτη, Γραφείο Μαχαίρα ΑΕ, Υδροεξυγιαντική Λ. Σ. Λαζαρίδης & Σία Ε.Ε. Υδροδομική Θ. Ι. Μαντζιάρας & Σία Ε.Ε., Παπαρηγορίου Σπύρος, Παπαγεωργίου Τορτοπίδη Νίκη, Περλέρος Β., Λαζαρίδης και Συνεργάτες ΑΤΕΜ, Αθήνα, 1999.

159.ΥΠΕΧΩΔΕ, ΚΥΥ (2008).ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ 2008.